



# วิทยานิพนธ์

การจัดการน้ำชลประทานในนาข้าวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลง  
สภาพภูมิอากาศ

**IRRIGATED WATER MANAGEMENT IN PADDY FIELDS  
FOR ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE**

นายสุรสิทธิ์ ปัญญาวรณศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๖๔



## ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)  
.....  
ปริญญา

วิศวกรรมชลประทาน  
.....  
สาขา

วิศวกรรมชลประทาน  
.....  
ภาควิชา

เรื่อง การจัดการน้ำชลประทานในนาข้าวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

Irrigated Water Management in Paddy Fields for Adaptation to Climate Change

นามผู้วิจัย นายสุรสิทธิ์ ปัญญาวรณศิริ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....  
(รองศาสตราจารย์บัญชา ขวัญยืน, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์, วศ.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....  
(รองศาสตราจารย์ศรีจิตรา เจริญลาภนพรัตน์, Ph.D.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 7 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2564

สืบศิริ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจัดการน้ำชลประทานในนาข้าวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

Irrigated Water Management in Paddy Fields for Adaptation to Climate Change

โดย

นายสุรสิทธิ์ ปัญญาวรณศิริ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

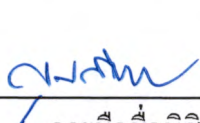
พ.ศ. 2564

สุรสิทธิ์ ปัญญาวรณศิริ 2564: การจัดการน้ำชลประทานในนาข้าวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปรินญาปรัชญาคุณฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

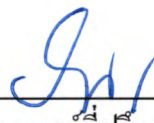
สาขาวิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:  
รองศาสตราจารย์บัญชา ขวัญยืน, Ph.D. 401 หน้า

จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเพาะปลูกข้าวในเขตชลประทานอาจได้รับผลกระทบจากการจัดการน้ำ การเกษตรชลประทานต้องเผชิญกับความท้าทายเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพ การศึกษานี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการจัดการน้ำชลประทานในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก โดยทำการเพาะปลูกข้าวด้วยวิธีนาข้าวด้วยพันธุ์พิษณุโลก-2 ช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ พ.ศ. 2560 ในพื้นที่เขตชลประทานสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 2 (พิษณุโลก) โดยเทคนิคการชลประทานแบบประหยัดน้ำด้วยวิธีการส่งน้ำ 3 รูปแบบ ได้แก่ วิธีขังน้ำในระดับต้น (SCF) กับวิธีแบบเปียกสลับแห้ง (AWD1 และ AWD2) และประยุกต์ใช้แบบจำลองพืช DSSAT ด้วยข้อมูลภูมิอากาศในอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกจากฐานข้อมูล CMIP5 ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5 และ RCP 8.5

ผลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5 และ RCP 8.5 บ่งชี้ว่า อุณหภูมิค่าสุดเฉลี่ยและอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.70-1.01 °C และ 0.89-1.12 °C รวมทั้งปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.32-0.39 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 ผลการทดลอง พบว่า การให้น้ำชลประทานด้วยเทคนิคการชลประทานแบบประหยัดน้ำทั้ง 3 วิธี สามารถลดการใช้น้ำและได้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างกับวิธีการเพาะปลูกแบบวิธีเกษตรกรทั่วไปด้วยการขังน้ำในแปลงนาระดับสูงตลอดฤดูปลูก นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลอง DSSAT-CERES-Rice พบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลเชิงลบต่อผลผลิตข้าวมากกว่าปริมาณน้ำฝนและค่าพลังงานแสงอาทิตย์มีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าว จากการวิเคราะห์วิธีการใช้น้ำชลประทานแบบวิธีขังน้ำ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวรายฤดูกาลในอนาคตช่วงปี พ.ศ. 2564-2593 ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวจากการทดลองในปี พ.ศ. 2559 และ พ.ศ. 2560 โดยผลผลิตข้าวในอนาคตที่ร้อยละ 75 % มีแนวโน้มลดลง 6.78 % และการใช้น้ำชลประทานโดยเฉลี่ยในอนาคตที่ร้อยละ 50-75 % มีแนวโน้มความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 3.73-6.58 % จากผลการศึกษานี้ วิธีการชลประทานแบบประหยัดน้ำสามารถลดการใช้น้ำชลประทานในอนาคตเฉลี่ยได้ถึง 42.73 % เมื่อเทียบการเพาะปลูกแบบวิธีเกษตรกรทั่วไป ดังนั้น เทคนิคการชลประทานแบบประหยัดน้ำโดยวิธีขังน้ำในระดับต้นและวิธีแบบเปียกสลับแห้งเป็นแนวทางการจัดการน้ำชลประทานที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าวนาชลประทาน โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวและเป็นวิธีเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทานสำหรับลดการใช้น้ำในภาคการเกษตรของประเทศไทยได้



ลายมือชื่อนิสิต



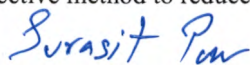
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

30 / พ.ศ. / 256๕

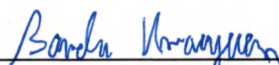
Surasit Punyawansiri 2021: Irrigated Water Management in Paddy Fields for Adaptation to Climate Change. Doctor of Engineering (Irrigation Engineering),  
Major Field: Irrigation Engineering, Department of Irrigation Engineering. Thesis Advisor:  
Associate Professor Bancha Kwanyuen, Ph.D. 401 pages.

Due to climate change, rice cultivation in irrigated areas may be affected by water management. Irrigated agriculture faces the challenge of optimizing its limited water resources. This study assessed the impact of climate change on irrigation management in Phitsanulok province. The study was conducted by field experiments with the transplanting cultivation method using the Phitsanulok-2 variety during the dry season in 2016 and 2017 at the irrigation fields of the Phitsanulok irrigation water management research station. The water-saving irrigation technique with shallow continuous flooding (SCF) and alternate wetting and drying methods (AWD1 and AWD2) were used in this study, and the DSSAT crop simulation model was combined with an ensemble of four global climate models (GCMs) based on CMIP5 under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios.

Future climate forecasts for 2021–2050 indicate that minimum and maximum temperatures are likely to increase by 0.70–1.01 °C and 0.89–1.12 °C, and annual rainfall will increase by 0.32–0.39 mm. under RCP 4.5 and RCP 8.5 situations compared to 1961–2018. The results showed that irrigation by the three water-saving irrigation techniques were able to save water and paddy yields that are not different than conventional farming methods with high-levels of waterlogging throughout the growing season, and the analysis results from the model DSSAT-CERES-Rice found that temperature had a more negative influence on rice yield than precipitation, and solar radiation had a positive effect on rice yield. According to an examination of the method of irrigation utilizing 15 cm of waterlogging throughout the growing season, the predicted average seasonal rice yields in the years 2021–2050 are lower than the average rice yields from the 2016–2017 experiment. The future rice yield at 75 percent is likely to decrease by 6.78 percent, and the average future use of irrigation water at 50–75 percent is likely to increase water demand by 3.73–6.58 percent. According to the results of this study, water-saving irrigation techniques can reduce the average future irrigation water consumption by 42.73 percent compared to conventional farming methods. Therefore, the water-saving irrigation technique using SCF, AWD1 and AWD2 methods is a suitable water management approach for irrigated rice cultivation without affecting rice yield and is an effective method to reduce the use of water in the agricultural sector of Thailand.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

30 / Nov / 2021

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บัญชา ขวัญยืน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ รวมทั้งการตรวจสอบผลการวิจัย รายงานบทความวิชาการและเล่มวิทยานิพนธ์นี้ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จวัตถุประสงค์การศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์ ประธานสอบ และศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต ชาลีรักษ์ตระกูล ผู้ทรงคุณภายนอก กรรมการสอบ ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้อันเป็นประโยชน์ และขอขอบคุณ คุณกัญชวลินี แจ่มปุย และเจ้าหน้าที่สถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 2 (พิษณุโลก) ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสำหรับการทดลองในภาคสนาม และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตยา ผกามาศ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณามอบข้อมูลและบทความวิชาการเกี่ยวกับแบบจำลองข้าว ขอขอบคุณหน่วยงานต่าง ๆ ที่ความกรุณามอบข้อมูลการศึกษาวิจัยนี้ ได้แก่ กรมชลประทาน, กรมอุตุนิยมวิทยา และสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาในระดับปริญญาเอก โครงการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา สำหรับการศึกษาวิจัยนี้ รวมทั้งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ นิสิตนักศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอกในภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการศึกษานี้

คุณประโยชน์อันใดที่อาจเกิดประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ บิดามารดา ผู้มีพระคุณ และคุณครู อาจารย์ทุกท่านทุกระดับ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้และให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าตั้งแต่ต้นมา

สุรสิทธิ์ ปัญญาวรณศิริ

พฤศจิกายน 2564

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(12)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	96
อุปกรณ์	96
วิธีการ	97
ผลและวิจารณ์	115
ผล	115
วิจารณ์	186
สรุปและข้อเสนอแนะ	196
สรุป	196
ข้อเสนอแนะ	198
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	201
ภาคผนวก	228
ภาคผนวก ก กราฟ Histogram ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันช่วงก่อนและหลังการ ปรับแก้ค่าอคติในช่วงปีพื้นฐาน	229
ภาคผนวก ข กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา รายวันในช่วงปี ค.ศ. 2013-2018	238
ภาคผนวก ค ผลคาดการณ์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายเดือนเฉลี่ย ปี ค.ศ. 2021-2050 ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5 และ RCP 8.5	243
ภาคผนวก ง ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559	308
ภาคผนวก จ ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	331
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลการประมวลผลแบบจำลอง DSSAT-CERES-Rice	352

**สารบัญ (ต่อ)**

	<b>หน้า</b>
ภาคผนวก ข ผลการประมวลผลแบบจำลอง DSSAT-CERES-Rice ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 1961-2018	367
ภาคผนวก ข ผลการประมวลผลแบบจำลอง DSSAT-CERES-Rice ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050	384
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	401



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณการใช้น้ำของข้าวตามช่วงอายุข้าวตลอดฤดูปลูก (นาดำ)	44
2	ปริมาณความต้องการธาตุอาหารหลักของการเพาะปลูกข้าว	59
3	กระบวนการจำลองของแบบจำลอง CSM-CSM-CERES-Rice	71
4	การกำหนดระยะการพัฒนารุ่นของข้าวในแบบจำลอง CSM-CERES-Rice	74
5	แสดงความหมายค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวของแบบจำลอง CSM-CERES-Rice	79
6	แสดงค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวสำหรับแบบจำลอง CSM-CERES-Rice	81
7	สรุปค่าเฉลี่ยข้อมูลสถิติภูมิอากาศในคาบเวลา 30 ปี (ปี ค.ศ. 1981-2010)	100
8	แบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCMs) ที่ใช้ในการศึกษา	104
9	แสดงค่าสถิติข้อมูลอุณหภูมิตายวันในช่วงปี ค.ศ. 1961-2012	115
10	แสดงค่าสถิติข้อมูลอุณหภูมิตายเดือนในช่วงปี ค.ศ. 1961-2012	116
11	ค่าสถิติของแนวโน้มภูมิอากาศด้วยวิธี Mann-Kendall (S) ช่วงปีพื้นฐาน ค.ศ. 1961-2012	117
12	การเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติจาก EC-EARTH model	118
13	การเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติจาก GFDL-CM3 model	119
14	การเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติจาก MIROC5 model	120
15	การเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติจาก MPI-ESM-MR model	121
16	ค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติในช่วงปีพื้นฐาน	126
17	ค่าทางสถิติของการปรับแก้ค่าอคติของตัวแปรอุณหภูมิตายวันในช่วงปีพื้นฐาน	128
18	ค่า BIAS ของแบบจำลอง GCMs จากการคาดการณ์ของตัวแปรอุณหภูมิตายวัน ปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 4.5	133
19	ค่า RMSE ของแบบจำลอง GCMs จากการคาดการณ์ของตัวแปรอุณหภูมิตายวัน ปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 4.5	133
20	ค่า BIAS ของแบบจำลอง GCMs จากการคาดการณ์ของตัวแปรอุณหภูมิตายวัน ปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 8.5	133
21	ค่า RMSE ของแบบจำลอง GCMs จากการคาดการณ์ของตัวแปรอุณหภูมิตายวัน ปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 8.5	134
22	แสดงค่าสถิติของข้อมูลอุณหภูมิค่าสุครายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 4.5	134

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
23	แสดงค่าสถิติของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 4.5	134
24	แสดงค่าสถิติของข้อมูลปริมาณฝนรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 4.5	135
25	แสดงค่าสถิติของข้อมูลชั่วโมงแสงแดดรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 4.5	135
26	แสดงค่าสถิติของข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 8.5	135
27	แสดงค่าสถิติของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 8.5	136
28	แสดงค่าสถิติของข้อมูลปริมาณฝนรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 8.5	136
29	แสดงค่าสถิติของข้อมูลชั่วโมงแสงแดดรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 8.5	136
30	ค่าเฉลี่ยตัวแปรอุณหภูมิตหารายวัน ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 จากแบบจำลอง EC-EARTH	144
31	ค่าเฉลี่ยตัวแปรอุณหภูมิตหารายวัน ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 จากแบบจำลอง GFDL-CM3	144
32	ค่าเฉลี่ยตัวแปรอุณหภูมิตหารายวัน ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 จากแบบจำลอง MIROC5	145
33	ค่าเฉลี่ยตัวแปรอุณหภูมิตหารายวัน ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 จากแบบจำลอง MPI-ESM-MR	145
34	ค่าสถิติแนวโน้มตัวแปรอุณหภูมิตหารายวันจากแบบจำลอง EC-EARTH ด้วยวิธี Mann-Kendall (S) ปี ค.ศ. 2021-2050	146
35	ค่าสถิติแนวโน้มตัวแปรอุณหภูมิตหารายวันจากแบบจำลอง GFDL-CM3 ด้วยวิธี Mann-Kendall (S) ปี ค.ศ. 2021-2050	146
36	ค่าสถิติแนวโน้มตัวแปรอุณหภูมิตหารายวันจากแบบจำลอง MIROC5 ด้วยวิธี Mann-Kendall (S) ปี ค.ศ. 2021-2050	147
37	ค่าสถิติแนวโน้มตัวแปรอุณหภูมิตหารายวันจากแบบจำลอง MPI-ESM-MR ด้วยวิธี Mann-Kendall (S) ปี ค.ศ. 2021-2050	147

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
38	คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของดินในแปลงศึกษาที่ระยะความลึก 0-30 เซนติเมตร	148
39	ความสูงของต้นข้าวในระยะการเจริญเติบโตช่วงต่าง ๆ ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559	150
40	ความสูงของต้นข้าวในระยะการเจริญเติบโตช่วงต่าง ๆ ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	151
41	จำนวนต้นข้าวต่อกอช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559	152
42	จำนวนต้นข้าวต่อกอช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	153
43	จำนวนรวงต่อกอของต้นข้าวช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560	154
44	ความยาวรวงของต้นข้าวช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560	155
45	จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวงในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560	156
46	ค่าน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ด จากการเพาะปลูกฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560	157
47	ปริมาณผลผลิตของข้าวในการเพาะปลูกฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559	158
48	ปริมาณผลผลิตของข้าวในการเพาะปลูกฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	159
49	ปริมาณการใช้น้ำของการเพาะปลูกข้าวฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560	160
50	ค่าผลิตภาพน้ำของการเพาะปลูกฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560	162
51	ค่ารอยเท้าน้ำของการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560	163
52	ค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติในช่วงปีพื้นฐาน	168
53	ค่าเฉลี่ยผลการจำลองการส่งน้ำชลประทานแบบขังน้ำที่ระดับต่าง ๆ (ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100%)	169
54	ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ของผลคาดการณ์ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 จากแบบจำลอง GCMs	172
55	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง GCMs	173
56	ค่าเฉลี่ยผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs	175

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
57	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทด์ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง GCMs	176
58	ค่าเฉลี่ยผลการจำลองค่าศักย์การคายระเหย (มิลลิเมตร) ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs	177
59	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทด์ผลการจำลองศักย์การคายระเหย (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง GCMs	178
60	ค่าเฉลี่ยผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs	179
61	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทด์ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง GCMs	180
ตารางผนวกที่		
ค1	ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิชญ โลก	244
ค2	ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิชญ โลก	246
ค3	ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิชญ โลก	248
ค4	ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิชญ โลก	250
ค5	ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิชญ โลก	252
ค6	ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิชญ โลก	254

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค7 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	256
ค8 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	258
ค9 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	260
ค10 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	262
ค11 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	264
ค12 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	266
ค13 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	268
ค14 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	270
ค15 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	272
ค16 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	274
ค17 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	276
ค18 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	278
ค19 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	280

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค20 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	282
ค21 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	284
ค22 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	286
ค23 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	288
ค24 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	290
ค25 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	292
ค26 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	294
ค27 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	296
ค28 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก	298
ค29 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	300
ค30 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	302
ค31 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	304
ค32 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก	306

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า	
ง1	ความสูงต้นข้าว (ซม.) ของแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตจากวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2559	309
ง2	จำนวนต้นข้าวต่อกอของแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตจากวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2559	310
ง3	จำนวนรวงข้าวต่อกอจากวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2559	312
ง4	ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ CF ปี พ.ศ. 2559	313
ง5	ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD1 ปี พ.ศ. 2559	314
ง6	ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD2 ปี พ.ศ. 2559	315
ง7	จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ CF ปี พ.ศ. 2559	317
ง8	จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD1 ปี พ.ศ. 2559	318
ง9	จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD2 ปี พ.ศ. 2559	319
ง10	ปริมาณผลผลิตและน้ำหนักเมล็ด จำนวน 1,000 เมล็ด ปี พ.ศ. 2559	320
ง11	ปริมาณการใช้น้ำและระดับน้ำในแปลงนาทดลอง ปี พ.ศ. 2559	321
ง12	เวลาการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชการทดลอง ปี พ.ศ. 2559	325
จ1	ความสูงต้นข้าว (ซม.) ของแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตจากวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2560	332
จ2	จำนวนต้นข้าวต่อกอของแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตจากวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2560	333
จ3	จำนวนรวงข้าวต่อกอจากวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2560	335
จ4	ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ CF ปี พ.ศ. 2560	336
จ5	ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD1 ปี พ.ศ. 2560	337
จ6	ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD2 ปี พ.ศ. 2560	338
จ7	จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ CF ปี พ.ศ. 2560	339
จ8	จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD1 ปี พ.ศ. 2560	339
จ9	จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD2 ปี พ.ศ. 2560	340
จ10	ปริมาณผลผลิตและน้ำหนักเมล็ด จำนวน 1,000 เมล็ด ปี พ.ศ. 2560	341
จ11	ปริมาณการใช้น้ำและระดับน้ำในแปลงนาทดลอง ปี พ.ศ. 2560	342

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ12	เวลาการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชการทดลอง ปี พ.ศ. 2560	346
ช1	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการ ขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	368
ช2	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำ ที่ระดับ 5 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	368
ช3	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ ระดับ 5 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	369
ช4	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	369
ช5	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการ ขังน้ำที่ระดับ 10 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	370
ช6	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำ ที่ระดับ 10 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	370
ช7	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ ระดับ 10 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	371
ช8	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 10 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	371
ช9	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการ ขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	372
ช10	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำ ที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	372
ช11	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	373
ช12	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	373
ช13	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการ ขังน้ำที่ระดับ 20 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	374



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า	
ช14	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโกลรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 20 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	374
ช15	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 20 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	375
ช16	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 20 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก	375
ช1	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 4.5	385
ช2	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 8.5	386
ช3	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 4.5	387
ช4	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 8.5	388
ช5	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 4.5	389
ช6	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 8.5	390
ช7	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 4.5	391
ช8	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 8.5	392
ช9	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 4.5	393
ช10	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 8.5	394
ช11	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 4.5	395
ช12	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 8.5	396
ช13	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 4.5	397
ช14	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 8.5	398
ช15	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 4.5	399
ช16	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 8.5	400

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่แสดงอันดับประเทศที่มีความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว	15
2	การถ่ายเทของพลังงานจากแสงอาทิตย์สู่โลกตามกฎอนุรักษ์พลังงาน	22
3	รายชื่อกระบวนการและพารามิเตอร์ภายในแบบจำลองภูมิอากาศโลก	22
4	แสดงตำแหน่งกริดที่พื้นผิวและปริมาตรในบรรยากาศของแบบจำลองภูมิอากาศโลก	24
5	แสดงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ RCPs	26
6	แผนผังการลดมาตราส่วนเชิงสถิติจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก	28
7	แสดงระยะการเจริญเติบโตของข้าว	35
8	แสดงระบบนิเวศของการใช้น้ำในนาข้าว	40
9	แสดงองค์ประกอบสมดุลของน้ำในนาข้าว	42
10	การให้น้ำชลประทานแบบท่วมผิวดินเป็นผืนใหญ่ (Flooding)	48
11	การให้น้ำชลประทานแบบน้ำท่วมเป็นผืนยาว (Graded border method)	49
12	การให้น้ำชลประทานแบบน้ำท่วมเป็นผืนราบ (Level border method)	49
13	การให้น้ำชลประทานแบบน้ำท่วมผืนตามแนวเส้นของเนิน (Contour levee method)	50
14	การให้น้ำชลประทานแบบท่วมจากคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour ditch method)	51
15	ปริมาณความต้องการน้ำและวิธีการให้น้ำแบบประหยัดน้ำแก่ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 120 วัน (ปลูกโดยวิธีนาดำ)	55
16	แสดงระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวและวิธีทำนาแบบเปียกสลับแห้ง	57
17	ปฏิทินกิจกรรมการเพาะปลูกข้าวแบบวิธีเปียกสลับแห้ง	58
18	องค์ประกอบของรอยเท้า น้ำ (Water Footprint)	64
19	แสดงองค์ประกอบของแบบจำลอง DSSAT version 4.7.5	67
20	แสดงข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ของแบบจำลอง CERES-Rice	69
21	ขั้นตอนการประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของข้าวในแบบจำลอง CERES-Rice	80
22	แสดงที่ตั้งพื้นที่ศึกษา	97
23	เว็บไซต์ดาวน์โหลดข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก ฐานข้อมูล CMIP5	103
24	แสดงกราฟิกขั้นตอนการปรับแก้ค่าอคติรายเดือน	108
25	แสดงการประมวลผลของแบบจำลอง CERES-Rice	114

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	กราฟ Boxplot ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดจากข้อมูล historical ของ GCMs ในช่วงปี พื้นฐาน	122
27	กราฟ Boxplot ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดจากข้อมูล historical ของ GCMs ในช่วงปี พื้นฐาน	123
28	กราฟ Histogram ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากข้อมูล historical ของ GCMs ในช่วงปี พื้นฐาน	123
29	กราฟ CDF ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากข้อมูล historical ของ GCMs ในช่วงปีพื้นฐาน	124
30	กราฟ Boxplot ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดจากข้อมูล historical ของ GCMs ในช่วงปี พื้นฐาน	124
31	กราฟ Boxplot ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของ แบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน	130
32	กราฟ Boxplot ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของ แบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน	130
33	กราฟ Boxplot ข้อมูลปริมาณน้ำฝนช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของ แบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน	131
34	กราฟ Boxplot ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของ แบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน	131
35	กราฟ Histogram ข้อมูลตัวแปรอุณหภูมิรายวัน ปี ค.ศ. 2013-2018 ของแบบจำลอง MIROC5 ภายใต้ RCP 4.5	138
36	กราฟ Histogram ข้อมูลตัวแปรอุณหภูมิรายวัน ปี ค.ศ. 2013-2018 ของแบบจำลอง MIROC5 ภายใต้ RCP 8.5	138
37	กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 4.5	140
38	กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 8.5	140
39	กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 4.5	141

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
40	กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 8.5	141
41	กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 4.5	142
42	กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 8.5	142
43	กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายวัน ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 4.5	143
44	กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายวัน ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 8.5	143
45	แสดงระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนในแปลงนาทดลองนาปรัง ปี พ.ศ. 2559	160
46	แสดงระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนในแปลงนาทดลองนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	161
47	ผลการจำลองผลผลิตข้าวภายใต้การจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำโดยวิธี CF, AWD1, AWD2 ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559	164
48	ผลการจำลองผลผลิตข้าวภายใต้การจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำโดยวิธี CF, AWD1, AWD2 ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	165
49	ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำโดยวิธี CF, AWD1, AWD2 ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559	166
50	ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำโดยวิธี CF, AWD1, AWD2 ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	167
51	ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโกลกรัมต่อเฮกตาร์) ภายใต้การขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 1961-2018	169
52	ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 1961-2018	170

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
53	ผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 1961-2018	170
54	ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ภายใต้การขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 1961-2018	171
55	ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5	174
56	ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5	176
57	ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5	178
58	ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5	180
59	ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนอุณหภูมิต่ำสุด	181
60	ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนอุณหภูมิสูงสุด	182
61	ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนปริมาณฝน	182

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
62	ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนรังสีอาทิตย์	183
63	ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนอุณหภูมิสูงสุด	184
64	ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนอุณหภูมิต่ำสุด	184
65	ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนปริมาณฝน	185
66	ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนรังสีอาทิตย์	185
<b>ภาพผนวกที่</b>		
ก1	กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง EC-EARTH ในช่วงปีพื้นฐาน	230
ก2	กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง GFDL-CM3 ในช่วงปีพื้นฐาน	230
ก3	กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน	231

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า	
ก4	กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MPI-ESM-MR ในช่วงปีพื้นฐาน	231
ก5	กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง EC-EARTH ในช่วงปีพื้นฐาน	232
ก6	กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง GFDL-CM3 ในช่วงปีพื้นฐาน	232
ก7	กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน	233
ก8	กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MPI-ESM-MR ในช่วงปีพื้นฐาน	233
ก9	กราฟ Histogram ข้อมูลปริมาณฝนช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง EC-EARTH ในช่วงปีพื้นฐาน	234
ก10	กราฟ Histogram ข้อมูลปริมาณฝนช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง GFDL-CM3 ในช่วงปีพื้นฐาน	234
ก11	กราฟ Histogram ข้อมูลปริมาณฝนช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน	235
ก12	กราฟ Histogram ข้อมูลปริมาณฝนช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MPI-ESM-MR ในช่วงปีพื้นฐาน	235
ก13	กราฟ Histogram ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง EC-EARTH ในช่วงปีพื้นฐาน	236
ก14	กราฟ Histogram ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง GFDL-CM3 ในช่วงปีพื้นฐาน	236
ก15	กราฟ Histogram ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน	237
ก16	กราฟ Histogram ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MPI-ESM-MR ในช่วงปีพื้นฐาน	237

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข1 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5	239
ข2 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 8.5	239
ข3 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5	240
ข4 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 8.5	240
ข5 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลปริมาณฝนในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5	241
ข6 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลปริมาณฝนในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 8.5	241
ข7 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5	242
ข8 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 8.5	242
ง1 การเตรียมแปลงนาทดลองการทดลองการเพาะปลูกข้าว ฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2559	326
ง2 การปักดำกล้าในการเพาะปลูกข้าว ฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2559	326
ง3 ระบบส่งน้ำชลประทานในการเพาะปลูกข้าว ฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2559	327
ง4 การจัดเก็บข้อมูลวัดความสูงต้นข้าว ฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2559	327
ง5 การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ที่อายุข้าว 56-57 วัน	328
ง6 การพ่นสารกำจัดโรคและแมลงศัตรูข้าวฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2559	328
ง7 การป้องกันศัตรูข้าวจากนก	329
ง8 การสุ่มเก็บผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2559	329
ง9 การตรวจผลผลิตเมล็ดข้าว ฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2559	330
ง10 การตรวจวัดองค์ประกอบผลผลิต ฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2559	330



## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
จ1 การเตรียมแปลงนาทดลองการทดลองการเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	347
จ2 ระบบท่อส่งน้ำและมิเตอร์วัดน้ำในการเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	347
จ3 แปลงนาทดลองการเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	348
จ4 การจัดเก็บข้อมูลวัดความสูงต้นข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	348
จ5 เครื่องมือวัดปริมาณฝนในพื้นที่ศึกษา	349
จ6 การพันสารกำจัดโรคและแมลงศัตรูข้าวฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	349
จ7 การสุ่มจัดเก็บข้อมูลวัดความสูงต้นข้าวช่วงหลังข้าวตั้งตัว	350
จ8 การสุ่มเก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	350
จ9 การสุ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	351
จ10 การตรวจวัดผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560	351
ฉ1 ไฟล์ข้อมูลการจัดการในระดับแปลงนาทดลอง (FILE X)	353
ฉ2 ไฟล์ข้อมูลการจัดการในระดับรายฤดูกาล ระดับน้ำ 15 เซนติเมตร (FILE X)	354
ฉ3 ไฟล์ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าว (พันธุ์พิชญุโลก 2)	355
ฉ4 ไฟล์ข้อมูลดินจากแปลงนาทดลอง	356
ฉ5 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 2 ปี 2015-2017	357
ฉ6 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศสถานีตรวจอากาศพิชญุโลก ปี 1961-2018	358
ฉ7 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง EC-EARTH RCP 4.5 ปี 2021-2050	359
ฉ8 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง EC-EARTH RCP 8.5 ปี 2021-2050	360
ฉ9 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง GFDL-CM3 RCP 4.5 ปี 2021-2050	361
ฉ10 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง GFDL-CM3 RCP 8.5 ปี 2021-2050	362
ฉ11 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง MIROC5 RCP 4.5 ปี 2021-2050	363
ฉ12 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง MIROC5 RCP 8.5 ปี 2021-2050	364
ฉ13 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง MPI-ESM-MR RCP 4.5 ปี 2021-2050	365
ฉ14 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง MPI-ESM-MR RCP 8.5 ปี 2021-2050	366

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ช1 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	376
ช2 ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	376
ช3 ผลการจำลองค่าศักย์การคายระเหย (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	377
ช4 ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	377
ช5 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 10 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	378
ช6 ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 10 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	378
ช7 ผลการจำลองค่าศักย์การคายระเหย (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 10 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	379
ช8 ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 10 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	379
ช9 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	380

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ช10 ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	380
ช11 ผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	381
ช12 ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	381
ช13 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	382
ช14 ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	382
ช15 ผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	383
ช16 ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100% ปี ค.ศ. 2021-2050	383
ช1 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 4.5	385
ช2 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 8.5	386
ช3 กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 4.5	387
ช4 กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 8.5	388
ช5 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 4.5	389
ช6 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 8.5	390

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ซ7	กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 4.5	391
ซ8	กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 8.5	392
ซ9	กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 4.5	393
ซ10	กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 8.5	394
ซ11	กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 4.5	395
ซ12	กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 8.5	396
ซ13	กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 4.5	397
ซ14	กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 8.5	398
ซ15	กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 4.5	399
ซ16	กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 8.5	400

# การจัดการน้ำชลประทานในนาข้าวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

## Irrigated Water Management in Paddy Fields for Adaptation to Climate Change

### คำนำ

ปัจจุบัน “ภาวะโลกร้อน (Global warming)” ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีแปรปรวนบ่อยครั้งและมีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากสถานะอุณหภูมิที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน รวมทั้งตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลทำให้เกิดภัยธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศ อาทิ อุทกภัย ภัยแล้ง รวมทั้งพายุลมมรสุมที่รุนแรงและบ่อยครั้งขึ้น ผลกระทบเหล่านี้ ส่งผลเสียหายต่อภาคเศรษฐกิจที่สำคัญ เช่น การเกษตร การท่องเที่ยว อุตสาหกรรม รวมถึงการบริหารจัดการน้ำ การพัฒนาเมือง การอพยพย้ายถิ่นฐานของประชากร และการแพร่ระบาดของโรค (IPCC, 2014a; USGCRP, 2016; Kaykhosravi *et al.*, 2020)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงเป็นประเด็นที่สำคัญที่ได้รับความสนใจในหลายประเทศทั่วโลก ที่ผ่านมามีประเทศไทยได้ตระหนักถึงความรุนแรงของปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจส่งผลกระทบต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ทั้งนี้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นฐานทางเศรษฐกิจแบบพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติ ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีอุตสาหกรรมและภาคบริการที่ต้องใช้วัตถุดิบทางการเกษตรหรือทรัพยากรธรรมชาติเป็นพื้นฐาน ประเทศไทยจึงมีแนวโน้มว่าจะได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลกระทบต่อภาคเกษตรกรรมเป็นอย่างมาก ผลผลิตพืชแต่ละสายพันธุ์จะมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแตกต่างกัน พืชหลายชนิดมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิในช่วงการออกผลผลิตที่มีอุณหภูมิเหมาะสม หากสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงขึ้นสามารถทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงได้ (IPCC, 2014b; Asseng *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2017)

นอกจากผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากค่าอุณหภูมิแล้ว ทรัพยากรน้ำ นับเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับภาคผลิตทางการเกษตร การที่พืชจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดี ต้องมีปริมาณน้ำพอเพียงต่อช่วงความต้องการใช้น้ำของพืช โดยเฉพาะข้าวที่เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ เกษตรกรไทยมีการเพาะปลูกข้าวเป็นพืชหลัก สามารถส่งออกผลผลิตข้าวเป็นอันดับต้นของโลกอย่างต่อเนื่อง ผลผลิตข้าวไทยส่วนใหญ่มาจากพื้นที่นาชลประทาน โดยปกติการเพาะปลูกข้าวของประเทศไทยในเขตชลประทานจะมีการทำนากันอย่างต่อเนื่อง มักเกิดปัญหาการบริหารจัดการน้ำสำหรับการเพาะปลูกข้าวในฤดูแล้ง เนื่องจากมีความต้องการใช้น้ำมาก รวมทั้งเกษตรกรยังมีความเค็มดินที่จะใช้น้ำเพื่อรักษาระดับน้ำท่วมขังในนาข้าวประมาณ 15-20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ซึ่งการรักษาระดับน้ำที่สูงในแปลงนามากขนาดนี้ จะต้องใช้น้ำทำนอย่างน้อย 2,000 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ สำหรับหนึ่งฤดูปลูก และการให้น้ำขังในแปลงนาข้าวตลอดฤดูปลูก ส่งผลให้มีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้น (Win *et al.*, 2020) ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

กิจกรรมการเกษตรและการชลประทานอาจจะต้องมีการปรับตัวและเปลี่ยนแปลงเพื่อตอบสนองต่อผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการจัดการทรัพยากรน้ำ (Cai *et al.*, 2015) ดังนั้น แนวทางการบริหารจัดการน้ำชลประทานเพื่อการเพาะปลูกข้าวให้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำในอนาคตอันเนื่องมาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นประเด็นที่สำคัญเกี่ยวข้องกับหลายภาคส่วนทั้งภาครัฐและภาคประชาชน

ปัจจุบันการศึกษาวิจัยด้านผลกระทบที่เกิดจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยยังมีอยู่จำนวนไม่มาก โดยเฉพาะการศึกษาวิจัยเรื่องผลกระทบต่อการรองรับความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศต่อการจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อการเกษตร ดังนั้น การประเมินความเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันเนื่องมาจากความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศในอนาคตด้วยตัวแปรอุตุนิยมวิทยาที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเพาะปลูกข้าว ได้แก่ อุณหภูมิ, ปริมาณน้ำฝน และพลังงานแสงอาทิตย์ รวมทั้งการศึกษาแนวทางการปรับตัวต่อผลกระทบด้านการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน จึงเป็นประเด็นที่สำคัญและเป็นประโยชน์เพื่อนำไปสู่การวางแผนปฏิบัติและกำหนดนโยบายต่าง ๆ ที่จะช่วยลดผลกระทบความเสียหายที่จะเกิดขึ้นและนำไปสู่การบริหารจัดการอย่างเป็นรูปธรรม

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและประยุคต์ใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลกสำหรับการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในช่วงอนาคตที่มีอิทธิพลต่อการจัดการน้ำชลประทานในระดับแปลงนา
2. เพื่อศึกษาทดลองแนวทางวิธีการจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำสำหรับการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่นาชลประทานช่วงฤดูนาปรัง
3. เพื่อประเมินผลวิธีการจัดการน้ำชลประทานรูปแบบต่าง ๆ ด้วยข้อมูลผลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศอนาคตในระดับท้องถิ่นจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. วิธีการจัดการน้ำชลประทานในนาข้าวช่วงฤดูแล้งที่เหมาะสมสำหรับการรองรับผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำต้นทุนและเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทานและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่โครงการชลประทานอื่น ๆ ทั่วประเทศ
2. เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการประเมินระบบการผลิตข้าวที่จะเปลี่ยนแปลงไป โดยปัจจัยเสี่ยงจากปริมาณทรัพยากรน้ำและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับท้องถิ่น
3. เป็นข้อมูลสร้างการตระหนักรู้สำหรับเกษตรกร ผู้สนใจ และองค์กรผู้เกี่ยวข้องด้านการบริหารจัดการน้ำของหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) สำนักทรัพยากรน้ำแห่งชาติ ที่กำลังส่งเสริมเทคโนโลยีการปลูกข้าวแบบใช้น้ำน้อยแก่เกษตรกร รวมทั้งการส่งเสริมงานวิจัยเทคโนโลยีชลประทานที่ช่วยลดการสูญเสียน้ำเพื่อเพิ่มความสามารถของน้ำในระบบการผลิตและใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับนโยบายการเพิ่มศักยภาพความมั่นคงของน้ำ (Water security) และนโยบายการยกระดับผลิตภาพน้ำ (Water productivity) ด้านภาคการเกษตรของประเทศไทย

## ขอบเขตการศึกษา

เพื่อให้ได้มาซึ่งผลการวิจัยตรงตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวไว้เบื้องต้น การศึกษานี้จะดำเนินการศึกษาข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอดีตและวิเคราะห์คาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตจากผลลัพธ์แบบจำลองภูมิอากาศโลกด้วยเทคนิคการลดมาตราส่วนเชิงสถิติในพื้นที่ศึกษา พร้อมทำการทดลองเพาะปลูกข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงด้วยพันธุ์ข้าวพิษณุโลก-2 ด้วยวิธีนาดำบริเวณสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 2 (พิษณุโลก) ในเขตชลประทานพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ช่วงฤดูนาปรัง 2 ฤดู ในปี พ.ศ. 2559 และ 2560 โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) ในแปลงนาทดลองขนาด 8×10 ตารางเมตร ระยะห่างระหว่างแปลงทดลองกว้าง 1.0 เมตร เก็บผลการทดลอง 3 ซ้ำ (Replications) มีระยะปักดำกล้าระยะแถว 30 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างกอ 20 เซนติเมตร วางเกณฑ์วิธีการจัดการน้ำชลประทานแบบวิธีประหยัดน้ำ จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ วิธีขังน้ำในแปลงนาข้าวระดับต้น 5 เซนติเมตร ตลอดอายุการเพาะปลูกข้าว กับวิธีที่ 2 แบบเปียกสลับแห้ง 2 ครั้ง และวิธีที่ 3 แบบเปียกสลับแห้ง 3 ครั้ง ดำเนินการเก็บข้อมูลในแปลงนาและวิเคราะห์ผลการศึกษาด้านผลผลิต, องค์ประกอบผลผลิตและประเมินผลผลิตภาพการใช้น้ำชลประทานของการเพาะปลูกข้าวนาชลประทาน จากนั้นนำข้อมูลผลการทดลองมาใช้ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ผลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต เพื่อประเมินผลการจัดการน้ำชลประทานสำหรับนาข้าวชลประทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

## นิยามศัพท์

การชลประทาน (Irrigation) หมายถึง การให้น้ำแก่พืชโดยการบรรจุลงในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เพื่อให้ดินนั้นมีความชุ่มชื้นพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช (วิบูลย์, 2526)

พื้นที่ชลประทาน (Irrigation area) หมายถึง พื้นที่เพาะปลูกที่สามารถส่งน้ำชลประทานไปถึงได้ในเขตโครงการชลประทาน พื้นที่ชลประทานจึงเป็นพื้นที่โครงการทั้งหมดและถูกหักออกจากพื้นที่ไม่ต้องการส่งน้ำชลประทานให้ เช่น ที่ลุ่ม หนอง บึง ลำน้ำ ที่อยู่อาศัยประชาชน ฯลฯ และพื้นที่ซึ่งส่งน้ำชลประทานไม่ได้ เช่น ที่สูง ที่เนิน ภูเขา เป็นต้น

ในเขตชลประทาน หมายถึง พื้นที่ปลูกพืชในเขตโครงการชลประทานซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของกรมชลประทาน



นอกเขตชลประทาน หมายถึง พื้นที่ปลูกพืชนอกเขตโครงการชลประทาน ซึ่งอาศัยแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่หรืออาศัยเครื่องสูบน้ำหรืออยู่ในเขตสูบน้ำด้วยไฟฟ้าของหน่วยงานองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบในแต่ละพื้นที่

เกษตรชลประทาน (Agricultural irrigation) หมายถึง การเกษตรหรือการปลูกพืชที่ใช้น้ำจากการชลประทานหรือการเกษตรที่อยู่ในเขตชลประทาน อันหมายถึง การปลูกพืช เลี้ยงสัตว์โดยอาศัยน้ำจากการชลประทาน แต่ในด้านการชลประทานแล้วจะหมายถึง งานชลประทานที่เกี่ยวข้องกับหลักการและวิธีการใช้น้ำจากการชลประทานให้พอเหมาะกับ เวลา ชนิดของพืช ลักษณะของดินที่ปลูกพืช หรือกล่าวได้ว่า “เกษตรชลประทาน” คือ งานควบคุมประสิทธิภาพของการชลประทาน โดยทำหน้าที่รวบรวมตรวจสอบ วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำของพืช

ข้าวนาปรัง (Off-season rice) หมายถึง ข้าวที่ปลูกนอกฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมและเก็บเกี่ยวอย่างช้าที่สุดไม่เกินเดือนเมษายน-พฤษภาคม นิยมปลูกในท้องที่ที่มีระบบการชลประทานดี

การใช้น้ำของพืช (Consumptive use of water) หมายถึง ปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่สู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ปริมาณน้ำที่พืชคายไปจากดินนำไปใช้สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อและคายออกทางใบสู่บรรยากาศ และปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบ ๆ ต้นพืช จากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่รวมทั้งจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝนหรือการให้น้ำ (อภิชาติ และคณะ, 2524; วิบูลย์, 2526)

## การตรวจเอกสาร

### 1. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตามความหมายทางอุตุนิยมวิทยา หมายถึง การเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศเฉลี่ยในพื้นที่หนึ่ง ลักษณะอากาศเฉลี่ย หมายความว่ารวมถึงลักษณะทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับอากาศ เช่น อุณหภูมิ ฝน ลม เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตามกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nation Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) คือ การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของอากาศซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม อันทำให้ส่วนประกอบของบรรยากาศโลกเปลี่ยนแปลงไป นอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติในช่วงเวลาเดียวกัน (กันทรีย์, 2553) ส่วนความหมายที่ใช้ในคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไม่ว่าจะเนื่องมาจากความผันแปรตามธรรมชาติหรือจากกิจกรรมของมนุษย์ (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.) และอีกความหมาย คือ การเปลี่ยนของสภาพภูมิอากาศ (State of the climate) ซึ่งสามารถระบุได้โดยวิธีการทดสอบทางสถิติโดยการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยและหรือความผันแปร (Variability) คุณสมบัติบางประการของภูมิอากาศอย่างต่อเนื่องในหลายทศวรรษหรือมากกว่า (IPCC, 2013)

จากคำจำกัดความของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเบื้องต้น โดยรวมแล้วมีความหมายใกล้เคียงกันคือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หมายถึง ความผันแปรและเปลี่ยนแปลงของอากาศของข้อมูลเชิงสถิติในระยะเวลายาวนานและครอบคลุมพื้นที่ในวงกว้าง ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้าน โลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, 2559)

จากรายงานประเมินของ IPCC ปี ค.ศ. 2013-2014 ถึงปัจจุบัน ยืนยันว่าสาเหตุการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณและความหนาแน่นของก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยเฉพาะภายหลังยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.8-4.0 องศาเซลเซียส ในไม่ถึง 100 ปีข้างหน้า จะทำให้สภาพภูมิอากาศของโลกในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะ

พื้นที่ในเขตอบอุ่นและร้อนชื้นจะส่งผลให้ภาคการเกษตรกรรมที่ไม่สามารถปรับตัวได้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นจะได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง นอกจากนี้สภาวะอุณหภูมิร้อนที่ขึ้นจะส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง รวมทั้งยังส่งผลถึงการแพร่ระบาดของแมลงศัตรูพืชมีการแพร่พันธุ์มากขึ้น และยังทำให้พื้นดินในฤดูร้อนมีความชุ่มชื้นน้ำลดน้อยลง เนื่องจากอัตราการคายระเหยของน้ำมากขึ้น

## 1.1 สาเหตุการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การศึกษาทางวิทยาศาสตร์แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่อง ปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลง จากรายงานการประเมินครั้งที่ 4 ของ IPCC ระบุว่าอุณหภูมิผิวพื้นของโลกในช่วง พ.ศ. 2538-2549 มีจำนวน 11 ปีจาก 12 ปี ที่เป็นปีที่ร้อนที่สุดเท่าที่เคยบันทึกได้โดยตรงตั้งแต่ พ.ศ. 2393 และในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2449-2548) อุณหภูมิผิวพื้นของโลกเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 0.75 องศาเซลเซียส ในช่วง พ.ศ. 2522-2548 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวพื้นของโลกหรือเหนือพื้นดินมีอัตราสูงกว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทะเลประมาณ 2 เท่า คือ 0.27 องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ จากเดิม 0.13 องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ (IPCC, 2007)

ปัจจัยที่มีผลควบคุมภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงลมฟ้าอากาศที่สำคัญ ได้แก่ ความร้อนและความเย็นในชั้นบรรยากาศที่ได้รับจากดวงอาทิตย์และพลังงานภายในโลก ซึ่งแต่ละพื้นที่อาจได้รับพลังงานความร้อนในแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากัน บางส่วนได้รับพลังงานความร้อนมากกว่าสูญเสียความร้อน ในขณะที่บางส่วนสูญเสียพลังงานความร้อนไปมากกว่าที่ได้รับ สาเหตุดังกล่าวเนื่องจากแต่ละพื้นที่มีขนาดแตกต่างกันและมีความแตกต่าง ณ ตำแหน่งที่ตั้ง และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ได้แก่

1.1.1 ละติจูด (Latitude) เนื่องจากโลกเป็นทรงกลมและมีแกนเอียงทำมุมกับดวงอาทิตย์ประมาณ 23.5 องศา แสงอาทิตย์จึงตกกระทบพื้นโลกตามละติจูดแตกต่างกัน ในขณะที่ตำแหน่งพิกัดละติจูดต่ำมักจะได้รับแสงตั้งฉาก พลังงานแสงอาทิตย์จะมากกว่าละติจูดที่สูงขึ้นไป บริเวณละติจูดต่ำจะมีอากาศร้อนและถึงโซนร้อน ส่วนในเขตละติจูดสูงได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยลงจึงมีภูมิอากาศหนาวเย็น ในเวลาเที่ยงวันบริเวณศูนย์สูตรได้รับรังสีจากแสงอาทิตย์เป็นมุมชันจนถึงมุมฉาก ความเข้มแสงอาทิตย์มากอุณหภูมิจะสูง แต่บริเวณขั้วโลกได้รับรังสีจากแสงอาทิตย์เป็นมุมเฉียง ความเข้มแสงอาทิตย์จึงน้อยลง ส่งผลให้มีอุณหภูมิต่ำ

1.1.2 พื้นดินและพื้นน้ำ (Land and water) พื้นดินและพื้นน้ำที่มีคุณสมบัติในการรับและคายความร้อนแตกต่างกัน โดยภาคพื้นดินรับและคายความร้อนได้เร็วกว่าพื้นน้ำ บริเวณที่ห่างจากชายฝั่งในฤดูร้อนจะร้อนมากกว่าบริเวณใกล้ชายฝั่ง และในฤดูหนาวก็จะหนาวมากกว่า

1.1.3 กระแสน้ำในมหาสมุทร (Ocean and current) การหมุนเวียนของกระแสน้ำในมหาสมุทร เกิดจากอิทธิพลของลมและปริมาณของการรับความร้อนของกระแสน้ำทำให้เกิดกระแสน้ำอุ่นและกระแสน้ำเย็นไหลถ่ายเทไปมา โดยกระแสน้ำเย็นไหลจากเขตนานและอบอุ่นมายังเขตร้อน และกระแสน้ำอุ่นไหลจากเขตร้อนไปยังเขตอากาศเย็น กระแสน้ำในมหาสมุทร ได้แก่ กระแสน้ำอุ่นกัลฟ์สตรีม กระแสน้ำเย็นลาบดอร์ เป็นต้น กระแสน้ำในมหาสมุทร มีความสำคัญในการนำพาความร้อนและความเย็น โดยสามารถดูดซับความร้อนจากละติจูดหนึ่งไปยังเขตละติจูดอื่น ๆ ได้ ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนของพื้นที่รอบชายฝั่ง บริเวณที่มีกระแสน้ำอุ่นไหลผ่านก็จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าและมีปริมาณฝนตกมากกว่าบริเวณที่มีกระแสน้ำเย็นไหลผ่าน เช่น ชายฝั่งประเทศนอร์เวย์ ในฤดูหนาวจะมีอากาศอบอุ่นกว่าบริเวณที่อยู่ในระดับละติจูดเดียวกัน เพราะได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำอุ่น แอตแลนติกเหนือ (North Atlantic Drift) เป็นต้น

1.1.4 ความสูงของพื้นที่ (Altitude) ในสภาพทั่วไปอุณหภูมิจะลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นจากพื้นโลก ซึ่งเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามปกติหรือตามธรรมชาติ (Normal temperature lapse rate หรือ Environmental lapse rate) โดยเฉลี่ยแล้วอุณหภูมิของอากาศจะลดลงประมาณ 6.4 เซลเซียส ต่อ 1 กิโลเมตร ดังนั้นพื้นที่ในที่หุบเขาจะมีอุณหภูมิสูง แต่บริเวณยอดเขาจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า

1.1.5 ลักษณะภูมิประเทศ (Topography) ท้องถิ่นแต่ละแห่งมีลักษณะภูมิประเทศแตกต่างกันไป เช่น ที่ราบ ที่ราบสูง ภูเขา ทะเลและมหาสมุทร เป็นต้น ลักษณะภูมิประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งเทือกเขาสูงสามารถจะกีดขวางการเคลื่อนที่ของอากาศและกระแสลมประจำที่พัดผ่าน นอกจากนี้เมื่อมีลมร้อนขึ้นที่พัดผ่านทะเลมาปะทะด้านหน้าของภูเขา (Windward) ลมร้อนขึ้นจะลอยตัวสูงขึ้นเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำก่อตัวเป็นเมฆ และทำให้เกิดฝนตก ส่วนด้านหลังเขา (Leeward) ไม่ได้รับลม อากาศจะจมตัวลง อุณหภูมิสูงขึ้น ไม่เกิดการกลั่นตัว ฝนจึงไม่ตกเป็นเขตเงาฝน (Rain shadow)

1.1.6 มนุษย์ (Human) ถือว่าเป็นตัวแปรสำคัญหนึ่งที่สามารถควบคุมหรือมีอิทธิพลต่อการผันแปรของสภาพอากาศ เพราะการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การตัดต้นไม้ทำลายป่าไม้ การใช้รถยนต์ มลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น จะส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศทั้งสิ้น ใน

ปัจจุบันผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศเชื่อได้ว่ากิจกรรมการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจของมนุษย์ช่วยเร่งให้บรรยากาศมีความร้อนสะสมเพิ่มมากขึ้น เพราะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีที่ใช้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นยังมีสารที่ทำลายและทำให้ส่วนประกอบของชั้นบรรยากาศเสียดูด เช่น ก๊าซมีเทน ก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน เป็นต้น

## 1.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยมีการศึกษาทั้งทางสถิติและการคาดการณ์โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศรูปแบบต่าง ๆ จากข้อมูลการตรวจวัดที่ผิวพื้นและในบรรยากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ บ่งชี้ว่าอุณหภูมิในประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2548-2552 (คาบ 55 ปี) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ระดับความเชื่อมั่น 99 %) โดยค่าเฉลี่ยรายปีของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.86, 0.95 และ 1.45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อทศวรรษเท่ากับ 0.16, 0.17 และ 0.26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยต่อทศวรรษของประเทศไทย (0.17 องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ) มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่าของโลก (0.13 องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ) (อัสมนและแสงจันทร์, 2554) นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยรายปีของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิมิแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราการระเหยของน้ำกลับลดลง สำหรับปริมาณฝนสะสมรายปีของประเทศไทยในคาบ 55 ปีที่ผ่านมา มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนสะสมของประเทศไทยมีความเชื่อมโยงกับปรากฏการณ์เอนโซ (ENSO warm event หรือ warm phase of ENSO) โดยจะมีปริมาณฝนสะสมรายปีต่ำกว่าเกณฑ์ปกติในปีที่เกิดเหตุการณ์เอลนีโญ (El Niño) และปริมาณฝนสะสมรายปีจะเพิ่มขึ้นในปีที่ตรงกับเหตุการณ์ลานีญา (La Niña) (ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, 2554ข)

การศึกษาในระยะต่อมาได้รายงานผลสรุปมาจากการจำลองสถานการณ์สภาพภูมิอากาศอนาคตในโครงการ “การจำลองสภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง” ซึ่งเป็นผลศึกษาจากความร่วมมือระหว่างศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบัน The Met Office Hadley Center for Climate Change ซึ่งเป็นหน่วยงานวิจัยทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในสหราชอาณาจักร โดยการจำลองสภาพภูมิอากาศที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงและครอบคลุม

พื้นที่ประเทศไทยทั้งหมดตลอดจนประเทศข้างเคียง เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภูมิภาคนี้ อันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต ภายใต้แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ 3 แนวทาง ได้แก่ (1) แนวทาง A2 คือ แนวทางที่คล้ายกับลักษณะการพัฒนาของโลกที่ผ่านมาในอดีตถึงปัจจุบัน กล่าวคือเป็นโลกที่มีความแตกต่างและหลากหลายในเชิงเศรษฐกิจ การเมืองและการเข้าถึงเทคโนโลยีต่าง ๆ โดยที่การพัฒนาจะเน้นการเจริญเติบโตในเชิงเศรษฐกิจมากกว่าความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม และนำไปสู่ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศที่สูงถึง 1,250 ส่วนในล้านส่วน ภายในปลายคริสต์ศตวรรษที่ 21 (2) แนวทาง B2 คือ แนวทางการพัฒนาแบบสมดุลและเปลี่ยนแปลงสู่การพัฒนาควบคู่กับการดูแลรักษาธรรมชาติอย่างยั่งยืน เน้นการแก้ปัญหาท้องถิ่น ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน ซึ่งจะนำไปสู่ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศที่ 800 ส่วนในล้านส่วน ภายในปลายคริสต์ศตวรรษที่ 21 และ (3) แนวทาง A1B คือ แนวทางการพัฒนาที่มีการใช้พลังงานแบบผสมผสานสมดุลทุกแหล่ง กล่าวคือ มีการนำพลังงานชีวมวลมาใช้ อย่างผสมผสานและสมดุลกับแหล่งพลังงานอื่น ๆ ซึ่งเป็นการพัฒนาดูแลสิ่งแวดล้อมและมีความร่วมมือระหว่างโลกและภูมิภาคอย่างสมดุล ซึ่งจะนำไปสู่ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศที่ 850 ส่วนในล้านส่วน ภายในปลายคริสต์ศตวรรษที่ 21 และในการวิเคราะห์สภาพอากาศในแต่ละแนวทางเลือกใช้ผลจากแบบจำลอง 4 ชนิด ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรายวัน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน ทิศทางและความเร็วลมรายวัน โดยแบ่งช่วงการศึกษาเป็น 4 คาบเวลา คาบละ 30 ปี คือ ปี ค.ศ.1980-2009 (พ.ศ. 2523-2552) ซึ่งกำหนดเป็นปีฐาน (Baseline) ของการศึกษา และปีอนาคต 3 คาบเวลา คือ ช่วงต้น กลาง และปลายคริสต์ศตวรรษ ได้แก่ ปี ค.ศ. 2010-2039 (พ.ศ. 2553-2582) ปี ค.ศ. 2040-2069 (พ.ศ. 2583-2611) และปี ค.ศ. 2070-2099 (พ.ศ. 2613-2642) และทำการสรุปผลการคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับภาพรวมทั้งประเทศตามช่วงของคาบเวลาศึกษาในเชิงของค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และความเบี่ยงเบนจากกันและกันของลักษณะอากาศในอนาคตเป็นรายจังหวัด ซึ่งในที่นี่จะสรุปผลการศึกษาในส่วนของภาพรวมของประเทศไทย ดังนี้

ปริมาณน้ำฝน ผลสรุปการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทั่วทุกภาคของประเทศไทยทั้งในด้านปริมาณและการกระจายตัวของพื้นที่ที่มีปริมาณฝนตกเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษ ในส่วนของจำนวนวันที่ฝนตกในรอบปี ซึ่งใช้เกณฑ์คือ วันที่มีฝนตกเกินกว่า 3 มิลลิเมตรขึ้นไป พบว่าจำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยในแต่ละปีในเกือบทุกพื้นที่ยังคงใกล้เคียงกับที่เคยเป็นมาในอดีต แสดงให้เห็นถึงลักษณะและความยาวนานของฤดูฝนที่อาจจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลงไปจากที่เป็นอยู่ในปัจจุบันมากนัก แต่ปริมาณ

น้ำฝนในแต่ละปีของเกือบทุกพื้นที่ที่จะเพิ่มขึ้น จึงอาจจะบ่งชี้ว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละครั้งในอนาคตจะเพิ่มสูงขึ้นหรืออาจจะเรียกได้ว่าฝนที่ตกแต่ละครั้งจะตกหนักมากขึ้นกว่าที่เป็นมาในอดีต ซึ่งหมายถึงความเสี่ยงต่อภาวะน้ำท่วมฉับพลัน น้ำหลาก และภัยธรรมชาติที่จะเกิดตามมาจากอุทกภัยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

อุณหภูมิสูงสุด ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแบบ A2 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในประเทศไทยในช่วงต้นคริสต์ศตวรรษ ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากช่วงปลายคริสต์ศตวรรษก่อนมากนัก แต่ในช่วงกลาง และปลายคริสต์ศตวรรษเป็นต้นไป มีแนวโน้มอุณหภูมิสูงสุดเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ภาคของประเทศ ส่วนสภาพอุณหภูมิสูงสุดในอนาคตภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแบบ B2 ก็เป็นไปได้ในทิศทางที่เพิ่มสูงขึ้นในเกือบทุกพื้นที่ในประเทศไทยเช่นกัน แต่เพิ่มสูงขึ้นในระดับที่ต่ำกว่าแนวทาง A2 เล็กน้อย ในส่วนของระยะเวลาที่มีอากาศร้อนในรอบปี หรือวันที่มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับหรือสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส นั้น ผลสรุปแสดงให้เห็นว่าในช่วงปลายศตวรรษที่ผ่านมา บริเวณที่มีจำนวนวันที่มีอากาศร้อนมากที่สุดในบริเวณภาคกลาง ตะวันตกและตอนกลางของภาคใต้ โดยมีจำนวนวันที่มีอากาศร้อนยาวนานถึงประมาณ 5-6 เดือนต่อปี และนานมากถึง 7-8 เดือนต่อปี ในบางพื้นที่ ผลจากการคาดการณ์แสดงให้เห็นว่าฤดูร้อนจะยืดยาวขึ้นในเกือบทุกพื้นที่ในประเทศไทย ซึ่งอาจยาวนานขึ้นกว่าเดิมถึง 2-3 เดือนในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษนี้

อุณหภูมิต่ำสุด สภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ทั่วประเทศมีแนวโน้มที่อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยจะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอาจเพิ่มสูงขึ้น 3-4 องศาเซลเซียส ในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแบบ A2 ส่วนภายใต้สถานการณ์แบบ B2 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยตลอดปีก็มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แต่เป็นไปได้ในระดับที่ต่ำกว่าแนวทางแบบ A2 กล่าวคือ ประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส ในส่วนของระยะเวลาที่มีอากาศเย็นในรอบปีโดยเฉลี่ยนั้นในช่วงต้นคริสต์ศตวรรษนี้พื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนจะมีจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส ยาวนานที่สุดประมาณ 1-2.5 เดือน โดยยังคงมีพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส ยาวนานกว่า 2 เดือน ปรากฏให้เห็นอยู่ทางตอนบนของพื้นที่ แต่ระยะเวลาที่มีอากาศเย็นนี้จะหดสั้นลง โดยเริ่มเห็นได้ตั้งแต่ช่วงกลางคริสต์ศตวรรษและเห็นได้อย่างชัดเจนในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษ ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแบบ A2 ทั้งนี้ พื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส จะเหลืออยู่เพียงตามพื้นที่ที่เทือกเขาบางแห่งเท่านั้น อย่างไรก็ตามสถานการณ์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงแบบ B2 จะเปลี่ยนน้อยกว่า โดยบางส่วนของ

ภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนยังคงมีระยะเวลาที่อากาศเย็นประมาณ 1 เดือน อยู่บ้าง แต่พื้นที่ดังกล่าวก็มีแนวโน้มลดลง

ทิศทางและความเร็วลม สรุปผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ตอนบนของประเทศที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางตอนบน ในรอบ 100 ปี ข้างหน้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการพัดปกคลุมของลมมากนัก โดยทิศทางของลมที่พัดปกคลุมยังคงมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับที่เคยเป็นมาในอดีต การเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับทิศทางและความเร็วของลมเริ่มปรากฏในพื้นที่ใกล้ชายฝั่งตั้งแต่บริเวณภาคกลางตอนล่างและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และในพื้นที่ภาคใต้ซึ่งมีลักษณะเป็นคาบสมุทรยื่นออกมาจากแผ่นดินจะเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน

นอกจากนี้ ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (2559) ได้จัดทำรายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย (Thailand's Assessment Report on Climate Change, TARCC) ครั้งที่ 2 โดยรายงานได้รวบรวมผลการศึกษาวิจัยด้านภูมิอากาศวิทยา (Climatological study) ซึ่งแสดงให้เห็นความก้าวหน้าจากรายงาน TARCC เมื่อครั้งที่ 1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรภูมิอากาศในประเทศไทย และภูมิภาคอินโด-แปซิฟิก รวมถึงการศึกษาความสัมพันธ์และกลไกความเชื่อมโยงระหว่างความแปรปรวนของตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยากับความผันแปรและปรากฏการณ์ของระบบภูมิอากาศโลกในโหมดต่าง ๆ โดยในช่วงเวลามากกว่าสิบกว่าปีที่ผ่านมาที่มีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้นจากรายงาน TARCC ครั้งที่ 1 (พ.ศ. 2554) อย่างต่อเนื่อง พบว่า การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝนในภาพรวมของประเทศไทย ยังไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวอย่างมีนัยสำคัญ แต่ความแปรปรวนในระยะสั้นที่มีความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์ ENSO (El Niño-Southern Oscillation) และ ปรากฏการณ์ PDO (Pacific Decadal Oscillation) สามารถสรุปได้ดังนี้

จากการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศใกล้พื้นผิวในประเทศไทยทั้งในระดับภาพรวมทั้งประเทศและในระดับพื้นที่เฉพาะ แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศใกล้พื้นผิวในประเทศไทยอยู่ในระดับสูง ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศใกล้พื้นผิวที่สังเกตพบในภูมิภาคอินโด-แปซิฟิกและภูมิภาคอื่น ๆ โดยในรอบ 40 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2513-2552) อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีของประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.96, 0.92 และ 1.04 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม



การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดังกล่าว มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ หรือปัจจัยระดับท้องถิ่นอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ เช่น โคมความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่เมือง เป็นต้น

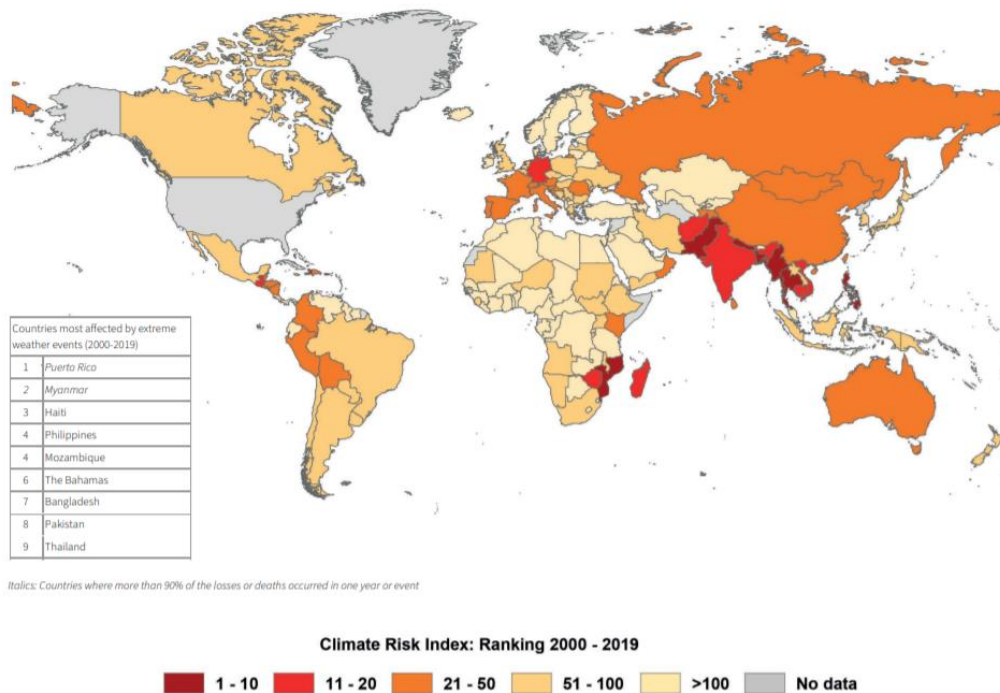
การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝนในภาพรวมของประเทศไทยยังไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวอย่างมีนัยสำคัญ แต่ความแปรปรวนในระยะสั้นมีความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์ ENSO (El Niño-Southern Oscillation) และปรากฏการณ์ PDO (Pacific Decadal Oscillation) อย่างไรก็ตาม การศึกษาได้ช่วยเพิ่มเติมหลักฐานแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อวิเคราะห์ในมาตราส่วนพื้นที่และเวลาที่มีความละเอียดขึ้น โดยพบว่าปริมาณฝนสะสมรวมรายปีในพื้นที่ภาคใต้ฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทยในช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2498-2557 มีแนวโน้มทั้งลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ปริมาณฝนสะสมรวมเฉพาะในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายนในรอบ 60 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2498-2557) ภาพรวมของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในอัตรา 64.8 มิลลิเมตร

จากการบันทึกข้อมูลการตรวจวัดพายุหมุนเขตร้อนในรอบ 64 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2494-2557) โดยกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่ามีพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนตัวเข้าสู่ประเทศไทย จำนวน 189 ลูก ซึ่งประเทศไทยได้รับผลกระทบโดยเฉลี่ย 3 ลูกต่อปี โดยเดือนตุลาคมเป็นเดือนที่มีความถี่ของพายุหมุนเขตร้อนเกิดขึ้นสูงสุด (53 ครั้ง จากทั้งหมด 189 ครั้ง) พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนตัวเข้าสู่ประเทศไทยส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มพายุดีเปรสชันเขตร้อน มีเพียง 14 ลูกจัดอยู่ในระดับพายุโซนร้อน และ 1 ลูกจัดอยู่ในระดับพายุไต้ฝุ่น โดยความถี่ของพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การลดลงของพายุหมุนเขตร้อนในภาพรวมดังกล่าว ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณฝนและภาวะแห้งแล้งในประเทศไทย แต่เมื่อพิจารณาในรายละเอียดภายใต้การลดลงของความถี่ของพายุหมุนเขตร้อนนั้นแล้ว พบว่าจำนวนพายุหมุนเขตร้อนในระดับที่รุนแรงกว่าพายุดีเปรสชันเขตร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในรอบทุก ๆ 10 ปี กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ทศวรรษที่ 70 บ่งชี้ถึงความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของประเทศไทยต่อเหตุการณ์สภาวะสุดขีดของลมฟ้าอากาศ ทั้งจากเหตุการณ์ฝนตกหนักและน้ำท่วมที่เกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ สลับกับการเกิดภาวะความแห้งแล้งที่ยาวนานขึ้น ผลการประมวลและสังเคราะห์องค์ความรู้พบว่าหลักฐานและระดับความมั่นใจต่อแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพายุหมุนเขตร้อนในประเทศไทยอยู่ในระดับปานกลาง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาวะสุดขีดของลมฟ้าอากาศในประเทศไทยในช่วงเวลาหลังจากปี ค.ศ. 2011-2018 ให้ผลการวิเคราะห์และหลักฐานที่สอดคล้องกัน ก่อให้เกิด

ความมั่นใจในระดับสูงถึงข้อสรุปที่ว่าสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิในประเทศไทยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในรอบ 40-50 ปีที่ผ่านมา ซึ่งตอบสนองต่อการความร้อนที่เพิ่มขึ้นของประเทศไทย ซึ่งองค์ความรู้ใหม่ ๆ จากการศึกษาในช่วงระยะนี้ยังช่วยเพิ่มเติมความชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะสุดขีดของฝนในประเทศไทย โดยผลการศึกษาบ่งชี้ให้เห็นถึงความถี่ของเหตุการณ์ฝนและระยะเวลาที่ฝนตกอย่างต่อเนื่องในพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง แต่ความรุนแรงของฝนและความเข้มของฝนจากเหตุการณ์ฝนตกหนัก รวมถึงปริมาณฝนรวมจากเหตุการณ์ฝนตกหนักกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงสภาวะสุดขีดของฝนดังกล่าว มักนำไปสู่เหตุการณ์ภัยพิบัติทางภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ดังเช่นเหตุการณ์อุทกภัยครั้งใหญ่ในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย เมื่อปี ค.ศ. 2011 (พ.ศ. 2554) ซึ่งเป็นปีที่ประเทศไทยมีสภาวะสุดขีดของฝนสูงที่สุดในรอบ 60 ปี ซึ่งปริมาณฝนสะสมรวมในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายนของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในอัตรา 64.8 มิลลิเมตร ในคาบเวลา 60 ปีที่ผ่านมา (อัสมน และคณะ, 2560)

สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยจากรายงานการศึกษาจากดัชนีความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Risk Index: CRI) ของสถาบัน German Watch ซึ่งเป็นองค์กรพัฒนาเอกชนที่ไม่แสวงหากำไรประเทศเยอรมัน ได้จัดทำรายงานในปี พ.ศ. 2564 พบว่า ประเทศไทยถูกจัดให้อยู่ในอันดับ 9 จาก 10 ประเทศที่มีความเสี่ยงสูงที่สุดในโลกที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว (The Long-Term Climate Risk Index) จากข้อมูล ปี ค.ศ. 2000-2019 โดยผลกระทบสำคัญที่ประเทศไทยได้รับ ประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ยที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ฤดูกาลที่แปรปรวนและความผันผวนของสภาพอากาศที่รุนแรงมากขึ้น ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นในฤดูน้ำหลากและน้อยลงในฤดูแล้ง ซึ่งผลกระทบเหล่านี้ส่งผลให้ประเทศไทยตกอยู่ในสถานการณ์ความเสี่ยงทั้งจากอุทกภัยและภัยแล้งที่มีความถี่เพิ่มขึ้นและทวีความรุนแรงมากขึ้น ความเสี่ยงดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมใน 6 สาขา ได้แก่ การจัดการน้ำเพื่อการเกษตรและความมั่นคงทางอาหาร, การสาธารณสุข, การท่องเที่ยว, การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ, การตั้งถิ่นฐาน และความมั่นคงของมนุษย์ ซึ่งความเสี่ยงและผลกระทบเหล่านี้จะเป็นเงื่อนไขใหม่ต่อการพัฒนาประเทศให้บรรลุตามเป้าหมายที่วางไว้ในอนาคต (Eckstein *et al.*, 2020)



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงอันดับประเทศที่มีความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว

ที่มา: Eckstein *et al.* (2021)

นอกจากนี้ จากผลการประเมินในรายงาน World Risk Report ของ Bündnis Entwicklung Hilft และ Ruhr University Bochum ประเทศเยอรมนี ซึ่งเป็นการประเมินความเสี่ยงต่อภัยพิบัติ 5 ประเภท ได้แก่ น้ำท่วม พายุ แผ่นดินไหว ภัยแล้ง และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล โดยผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีดัชนีความเสี่ยงในช่วง 3 ปีที่ผ่านมา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ดัชนีความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงระดับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น) จาก 6.12 เป็น 6.48 และ 6.54 ในปี ค.ศ. 2018, 2019 และปี ค.ศ. 2020 ตามลำดับ (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2563) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานดัชนีชี้วัดความเสี่ยงทางด้านสภาพภูมิอากาศในระดับโลก ปี พ.ศ. 2563 ของสถาบัน German Watch ที่รายงานว่าในระยะเวลา 20 ปี (ปี พ.ศ. 2541-2561) ที่ผ่านมา ประเทศเมียนมา ฟิลิปปินส์ เวียดนาม และไทย คือประเทศที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากที่สุดใน 10 อันดับแรกของโลก ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ภูมิภาคอาเซียนมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและได้รับความเสียหายอย่างหนักจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ เนื่องจากจำนวนประชากรและกิจกรรมทางเศรษฐกิจ ส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่

ใกล้พื้นที่ชายฝั่ง รวมถึงการดำเนินชีวิตของประชาชนผูกพันกับภาคเกษตรกรรมที่พึ่งพาสิ่งแวดล้อม ทรัพยากรธรรมชาติและป่าไม้

### 1.3 ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเป็นปัญหาสำคัญระดับโลกที่ส่งผลกระทบต่อทั้งด้านระบบนิเวศ สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม ซึ่งจะเป็นผลสืบเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศโลกและเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในช่วงเวลาเดียวกัน ในปัจจุบันก๊าซเรือนกระจกเกิดจากกิจกรรมการพัฒนาประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก จากทั้งในภาคส่วนต่าง ๆ อาทิเช่น ภาคขนส่ง พลังงาน อุตสาหกรรม และภาคการเกษตร ที่ได้ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวนมากสู่ชั้นบรรยากาศและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนส่งผลให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น

จากสถานการณ์โลกร้อนจะส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตและการพัฒนาเศรษฐกิจสังคมของมนุษย์ในหลายด้าน (IPCC, 2001) ได้แก่

1.3.1 ผลกระทบต่อความมั่นคงของแหล่งอาหารและน้ำจืด ผลผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพทางการเกษตร ปศุสัตว์และการประมงลดลง

1.3.2 ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์และความหลากหลายทางชีวภาพ พืชและสัตว์บางชนิดสูญพันธุ์ มีผลต่อสมดุลระบบนิเวศ

1.3.3 ผลกระทบต่อการอพยพถิ่นฐานของประชากรโลกเนื่องจากภัยธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม ความแห้งแล้ง ความขัดแย้งด้านอาหาร แหล่งน้ำและพื้นที่ทำกิน

1.3.4 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย การแพร่ระบาดของโรคต่าง ๆ เจ็บป่วยจากภาวะอุณหภูมิสูง และเครียดจากการปรับตัวทางเศรษฐกิจและสังคม และภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นบ่อย

โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อภาคผลผลิตการเกษตร ซึ่งพื้นฐานแล้วพืชต้องการสภาวะอากาศที่เหมาะสมเพื่อการเจริญเติบโตและการติดดอกออกผลผลิต การเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิทั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝน การกระจายตัวของฝน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างช่วงฤดูเพาะปลูก จะมีผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตของพืชต่าง ๆ ซึ่งอาจแตกต่างกันไปตามความอ่อนไหวของพืชแต่ละชนิดที่มีต่อสภาพอากาศที่พืชนั้น ๆ จะทนทานหรือเติบโตได้ การเปลี่ยนแปลงผลผลิตที่ลดน้อยลงนำมาซึ่งความจำเป็นที่จะต้องเตรียมการปรับตัวเพื่อให้แน่ใจได้ว่าผลผลิตทางการเกษตรยังคงอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับความต้องการบริโภคและเพียงพอต่อการผลิตทางด้านอุตสาหกรรมเกษตรตลอดจนการค้าระหว่างประเทศในอนาคต

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศกับทรัพยากรการผลิตผลทางการเกษตร นอกจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตการเกษตรดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตยังส่งผลต่อพื้นที่เพาะปลูกและทรัพยากรการผลิตด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านทรัพยากรน้ำต้นทุนในพื้นที่ชลประทานต่าง ๆ ในบางพื้นที่อาจเปลี่ยนแปลงไปภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตที่มีแนวโน้มที่จะส่งผลโดยตรงต่อภาคการเกษตรของประเทศไทย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางอุณหภูมิตามทฤษฎี เช่น อุณหภูมิ ปริมาณฝน ความชื้น และพลังงานแสงอาทิตย์ ในหลายพื้นที่อาจทำให้ปัจจัยการผลิตของภาคการเกษตรเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับภาคการเกษตรก็อาจเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณฝนที่เปลี่ยนไปในอนาคต โดยการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่และช่วงระยะเวลา (Spatiotemporal) ผลสืบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อภาคการผลิตผลทางการเกษตรและการบริหารจัดการน้ำภายใต้ภาวะความเสี่ยงที่แตกต่างไปจากสถานการณ์ปัจจุบัน ดังนั้นภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจึงควรวางแนวทางที่จะปรับตัวต่อสถานการณ์ในอนาคตเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศภายใต้ภาวะโลกร้อนอาจส่งผลกระทบต่อภาคการเกษตรในหลายทิศทาง (ศุภกร และพนมศักดิ์, 2559)

#### 1.4 การพยากรณ์ภูมิอากาศในอนาคต

การพยากรณ์ (Forecasting) เป็นกระบวนการของการคาดการณ์โดยอาศัยข้อมูลในอดีตและปัจจุบัน โดยมีหลักการคือการวิเคราะห์แนวโน้ม ในทางอุทกวิทยาคำว่า “พยากรณ์” และ “การพยากรณ์” บางครั้งจำกัดไว้สำหรับการประมาณค่าในอนาคตที่เฉพาะเจาะจง เพื่อนำค่าพยากรณ์ที่ได้มาวางแผนและใช้ประกอบในการตัดสินใจ

การพยากรณ์เป็นการทำนายหรือคาดการณ์เหตุการณ์ในอนาคต แต่เนื่องจากเหตุการณ์ในอนาคตเป็นเรื่องที่ไม่แน่นอน ฉะนั้นการพยากรณ์โดยทั่วไปย่อมจะมีความคลาดเคลื่อน เป้าหมายของการพยากรณ์คือพยายามลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง ซึ่งจะลดลงได้มากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ในปัจจัยเหล่านี้ปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งคือเทคนิคการพยากรณ์ที่เลือกใช้ ซึ่งเทคนิคหรือวิธีการพยากรณ์ที่จะใช้พยากรณ์ตัวแปรหรือเหตุการณ์ในอนาคตมีหลายวิธีด้วยกันที่อาจนำมาใช้ได้ วิธีการพยากรณ์ส่วนใหญ่จะเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตที่เกี่ยวข้อง เพื่อหารูปแบบหรือแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้อธิบายข้อมูลนั้นได้ในช่วงเวลาอนาคต

การพยากรณ์อากาศ หมายถึง การคาดหมายสภาวะอากาศและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งในอนาคต ส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับสภาวะอากาศที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิต เช่น ฝน, อุณหภูมิ, เมฆหมอก และคลื่นลม รวมทั้งภัยธรรมชาติที่รุนแรงและไม่รุนแรง ได้แก่ พายุหมุนเขตร้อน, พายุฝนฟ้าคะนอง, การเกิดอุทกภัย, ภัยแล้ง เป็นต้น การที่จะพยากรณ์อากาศได้ต้องมีองค์ประกอบ 3 ประการ ประการแรกคือ ความรู้ความเข้าใจในปรากฏการณ์และกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ ประการที่สองคือ สภาวะอากาศปัจจุบัน และประการสุดท้ายคือความสามารถที่จะผสมผสานองค์ประกอบทั้งสองข้างต้นเข้าด้วยกันเพื่อคาดหมายการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคต การพยากรณ์สภาวะอากาศดังกล่าว แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามช่วงเวลาของการพยากรณ์ คือ

#### 1.4.1 การพยากรณ์สภาวะอากาศ แบ่งตามช่วงเวลาของการพยากรณ์

ก. การพยากรณ์อากาศระยะสั้น (Short-range forecast) เป็นการพยากรณ์อากาศในช่วงเวลาไม่เกิน 72 ชั่วโมง ใช้ข้อมูลผลการตรวจอากาศ และแผนที่อากาศในปัจจุบันมาวิเคราะห์ตามแนวทางทฤษฎีอุตุนิยมวิทยา เพื่อการพยากรณ์อากาศ สามารถแบ่งช่วงเวลาการพยากรณ์ออกได้

- 1) การพยากรณ์อากาศปัจจุบัน (Nowcast) ช่วงเวลาพยากรณ์ไม่เกิน 3 ชั่วโมง
- 2) การพยากรณ์อากาศสั้นมาก (Very short range) ช่วงเวลาพยากรณ์ไม่เกิน 12 ชั่วโมง
- 3) การพยากรณ์อากาศสั้น (Short-range) ช่วงเวลาพยากรณ์ไม่เกิน 72 ชั่วโมง

ข. การพยากรณ์อากาศระยะปานกลาง (Medium-range forecast) คือ การพยากรณ์อากาศในระยะเวลามากกว่า 72 ชั่วโมง จนถึง 10 วัน ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาปัจจุบันร่วมกับข้อมูลจากสถิติภูมิอากาศในการพยากรณ์

ค. การพยากรณ์อากาศระยะนาน (Long-range forecast) เป็นการพยากรณ์อากาศในช่วงเวลามากกว่า 10 วันขึ้นไป ใช้ข้อมูลสถิติทางอุตุนิยมวิทยาในการพยากรณ์

การพยากรณ์อากาศเป็นการประยุกต์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อคาดการณ์ลักษณะบรรยากาศในตำแหน่งหนึ่ง ๆ มนุษย์ได้พยายามพยากรณ์อากาศอย่างไม่เป็นทางการมานานหลายศตวรรษแล้ว ตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 19 การพยากรณ์อากาศทำได้โดยการรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณเกี่ยวกับลักษณะปัจจุบันของบรรยากาศและใช้กระบวนการทำความเข้าใจบรรยากาศเพื่อเสนอว่าบรรยากาศจะเปลี่ยนแปลงต่อไปอย่างไร ซึ่งความรู้ความเข้าใจในปรากฏการณ์และกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศได้มาจากเฝ้าสังเกตและบันทึกไว้ มนุษย์ได้มีการสังเกตลมฟ้าอากาศมานานแล้วเพราะมนุษย์อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมฟ้าอากาศโดยไม่อาจหลีกเลี่ยงได้จึงมีความจำเป็นที่ต้องทราบลักษณะลมฟ้าอากาศที่เป็นประโยชน์และลักษณะอากาศที่เป็นภัย การสังเกตทำให้สามารถอธิบายถึงสาเหตุของการเกิดลักษณะอากาศแบบต่าง ๆ ได้ อย่างไรก็ตามความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับลมฟ้าอากาศนั้นยังมีอยู่น้อยมาก เมื่อเทียบกับปรากฏการณ์ของบรรยากาศที่มนุษย์ยังไม่มี ความเข้าใจอย่างแท้จริง ทั้งนี้เพราะศาสตร์อุตุนิยมวิทยาซึ่งเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับบรรยากาศและปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องนั้น มีการพัฒนาด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์มาได้ไม่นานนัก โดยสภาวะอากาศปัจจุบันที่ต้องใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการพยากรณ์อากาศนั้น ได้มาจากการตรวจอากาศ ซึ่งมีทั้งการตรวจอากาศผิวพื้นและการตรวจอากาศชั้นบนในระดับความสูงต่างๆ สิ่งสำคัญที่ต้องทำการตรวจเพื่อพยากรณ์อากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ, ความกดอากาศ, ความชื้น, ความเร็วลม และปริมาณฝน การที่จะพยากรณ์อากาศในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ต้องใช้ข้อมูลผลการตรวจอากาศในบริเวณนั้น ร่วมกับผลการตรวจอากาศจากบริเวณที่อยู่โดยรอบด้วยเพราะปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา สิ่งที่เกิดขึ้นนอกจากพื้นที่การพยากรณ์อาจเคลื่อนตัวมามีผลต่อสภาพอากาศในบริเวณที่จะพยากรณ์ได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลผลการตรวจอากาศระหว่างประเทศ เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการพยากรณ์อากาศนอกเหนือจากการตรวจอากาศผิวพื้นทั้งบนพื้นดิน พื้นน้ำ และการตรวจอากาศชั้นบนแล้ว

แม้ว่าในปัจจุบันการพยากรณ์อากาศจะมีเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว แต่การพยากรณ์อากาศให้ถูกต้องแม่นยำโดยไม่มี ความคลาดเคลื่อนเลยนั้น ยังเป็นปัญหาที่สำคัญ สาเหตุ

สำคัญสามประการของค่าคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์อากาศ คือ ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางอุตุนิยมวิทยายังไม่สมบูรณ์, สภาพบรรยากาศเป็นสิ่งที่ต่อเนื่องและมีการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา แต่ข้อมูลค่าสังเกตการณ์จากสถานีตรวจวัดอากาศมีจำนวนน้อยและอยู่ห่างกันมาก รวมทั้งบางพื้นที่มีการตรวจวัดเพียงบางช่วงเวลาเท่านั้น ทำให้ไม่อาจทราบสถานะที่แท้จริงของสภาพบรรยากาศได้ เมื่อไม่ทราบสภาพอากาศที่กำลังเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ จึงเป็นไปได้ที่จะพยากรณ์อากาศให้มีรายละเอียดถูกต้อง รวมทั้งธรรมชาติของกระบวนการที่เกิดขึ้นในบรรยากาศมีความละเอียดอ่อนซับซ้อนอย่างยิ่ง เช่น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระยะสั้น ๆ ที่ไม่อาจตรวจพบได้จากการตรวจวัดอากาศ อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพลมฟ้าอากาศเป็นอย่างมากในระยะเวลาดังกล่าว ซึ่งจะทำให้ผลการพยากรณ์อากาศเกิดความคลาดเคลื่อนไปได้อย่างมาก สาเหตุประการสุดท้ายนี้เป็นข้อจำกัดอย่างยิ่งในการพยากรณ์อากาศเพราะเป็นเหตุให้การพยากรณ์อากาศจะมีความแม่นยำลดลงตามระยะเวลา นั่นคือ การพยากรณ์สำหรับช่วงเวลาอนาคตอันใกล้จะมีความถูกต้องมากกว่าการพยากรณ์สำหรับช่วงเวลาอนาคตระยะยาว

#### 1.4.2 การพยากรณ์อากาศ มี 3 วิธี คือ

ก. วิธีแนวโน้ม เป็นการพยากรณ์อากาศโดยใช้ทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ของระบบลมฟ้าอากาศที่กำลังเกิดขึ้น เพื่อคาดหมายว่าในอนาคตระบบดังกล่าวจะเคลื่อนที่ไปอยู่ ณ ตำแหน่งใด วิธีนี้ใช้ได้ดีกับระบบลมฟ้าอากาศที่ไม่มีการเปลี่ยนความเร็ว ทิศทาง และความรุนแรง มักใช้วิธีนี้สำหรับการพยากรณ์ฝนในระยะเวลายาวไม่เกินครึ่งชั่วโมง

ข. วิธีภูมิอากาศ คือการคาดหมายโดยใช้ค่าเฉลี่ยจากสถิติภูมิอากาศหลาย ๆ ปี วิธีนี้ใช้ได้ดีเมื่อลักษณะของลมฟ้าอากาศมีสภาพใกล้เคียงกับสภาวะปกติของช่วงฤดูกาลนั้น ๆ มักใช้สำหรับการพยากรณ์ระยะยาว

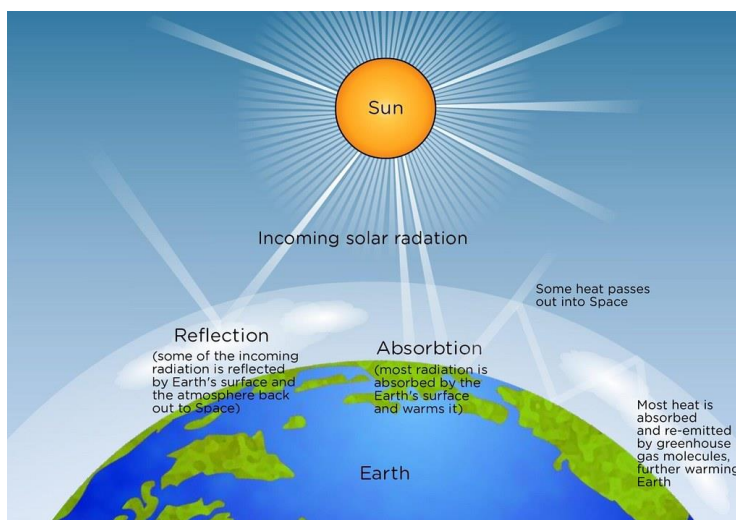
ค. การพยากรณ์อากาศด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์คำนวณการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะของลมฟ้าอากาศ โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical model) ซึ่งเป็นการจำลองบรรยากาศและพื้นโลกด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ละเอียดอ่อนและซับซ้อน ข้อจำกัดของวิธีนี้คือแบบจำลองไม่มีรายละเอียดครบถ้วนเหมือนธรรมชาติจริง ในทางปฏิบัติ นักพยากรณ์อากาศมักใช้วิธีการพยากรณ์อากาศหลายวิธีร่วมกันตามความเหมาะสม เพื่อให้ได้ผลการพยากรณ์ที่ถูกต้องแม่นยำที่สุดเท่าที่จะทำได้ (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.)



## 1.5 แบบจำลองภูมิอากาศโลก

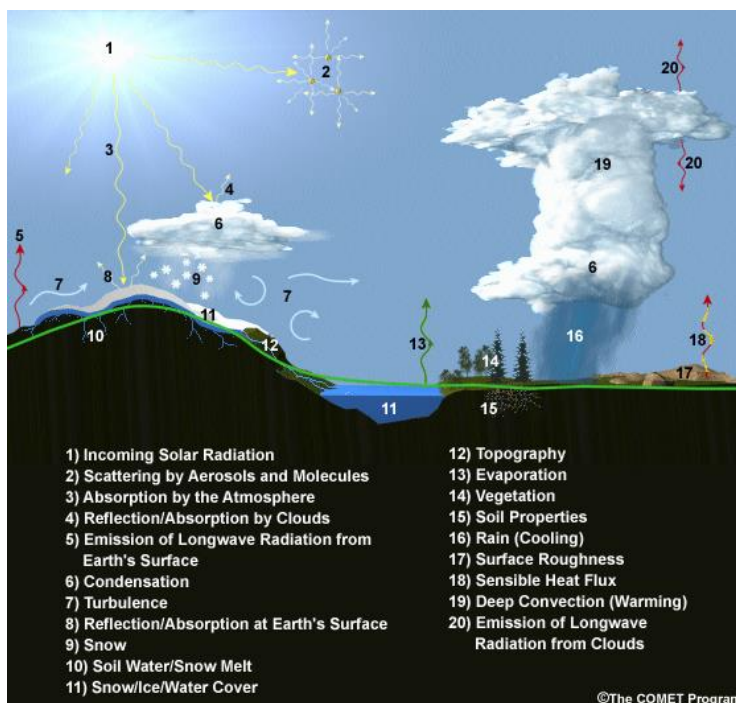
แบบจำลองภูมิอากาศโลก (Global Climate Model, GCM) หรือแบบจำลองการหมุนเวียนภูมิอากาศ (General Circulation Model, GCM) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณในการจำลอง (Simulate) ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานในบรรยากาศ มหาสมุทร พื้นดิน และแผ่นน้ำแข็ง แบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ในการศึกษาผลกระทบด้านต่าง ๆ ของระบบภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาพลวัตของสภาพภูมิอากาศและการสร้างภาพฉายการเปลี่ยนแปลงในอนาคต แบบจำลองภูมิอากาศโลกทุกชนิดใช้หลักการของสมดุลพลังงานโลก เช่น พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ในรูปรังสีคลื่นสั้น การส่งถ่ายพลังงานออกไปนอกบรรยากาศโลกในรูปรังสีคลื่นยาว หรือรังสีความร้อน โดยความไม่สมดุลของพลังงานที่เข้าสู่โลกและส่งออกจากโลกด้วยกระบวนการต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก (ภาพที่ 2) ส่งผลให้ความแปรปรวนและสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไป การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นแรงขับเคลื่อนหลักที่ใช้ในแบบจำลองสภาพภูมิอากาศสำหรับการสร้างภาพฉายการเปลี่ยนแปลงในอนาคต

การจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้เริ่มต้นขึ้นในทศวรรษที่ 1980s โดยแบบจำลองภูมิอากาศโลกได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในช่วงเกือบสี่ทศวรรษที่ผ่านมา การสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตต้องอาศัยความรู้พื้นฐานด้านสภาพภูมิอากาศเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางวิทยาศาสตร์ที่สลับซับซ้อน โดยภาษาโค้ดสำหรับการคำนวณอาจมีความยาวถึง 18,000 หน้ากระดาษและจำเป็นต้องใช้ซูเปอร์คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล (รพีพัฒน์, 2563) โดยแบบจำลองสภาพภูมิอากาศนับเป็นเครื่องมือที่จำเป็นและได้รับการยอมรับในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างเป็นระบบตามหลักวิชาการ ซึ่งการศึกษาในด้านนี้ได้มีการพัฒนาและมียุคความรู้ใหม่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยองค์การคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (IPCC) ได้ดำเนินการทบทวนและสังเคราะห์องค์ความรู้ด้านการศึกษาและจัดทำภาพฉายจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ ซึ่งได้มีการเผยแพร่รายงานอย่างสม่ำเสมอ



ภาพที่ 2 การถ่ายเทของพลังงานจากแสงอาทิตย์สู่โลกตามกลไกอนุรักษ์พลังงาน

ที่มา: Weir (2017)



ภาพที่ 3 รายชื่อกระบวนการและพารามิเตอร์ภายในแบบจำลองภูมิอากาศโลก

ที่มา: The COMET Program, UCAR (n.d.)

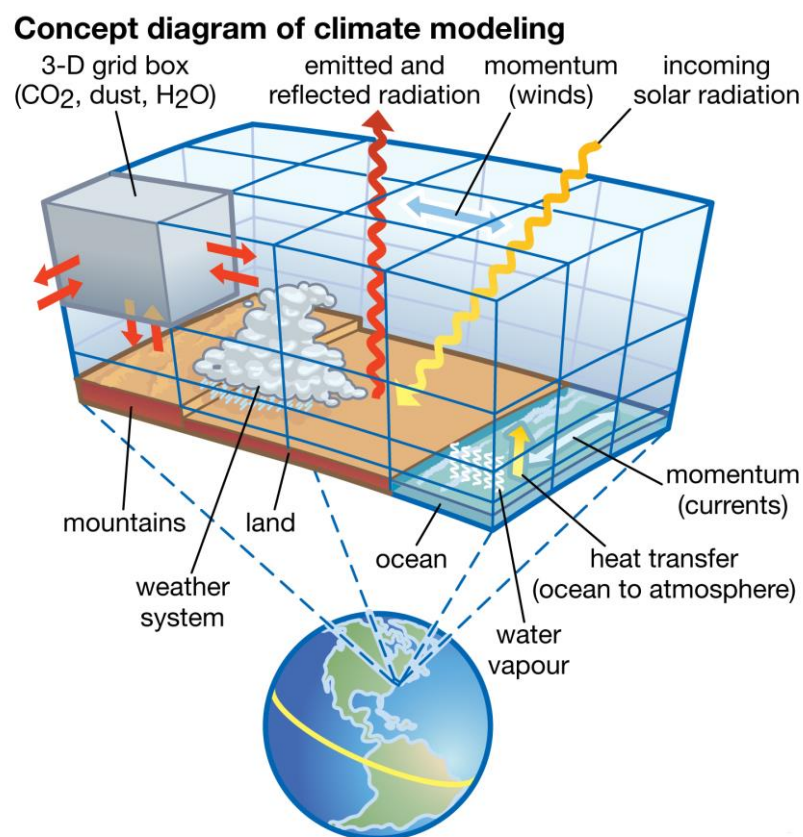
แบบจำลองภูมิอากาศโลกจะอธิบายสภาพภูมิอากาศโดยใช้ตำแหน่งกริด (Grid) ที่มีลักษณะเป็นสามมิติ โดยมีความละเอียดในแนวนอน (Horizontal resolution) อยู่ระหว่าง 100 ถึง 300 กิโลเมตร และมีความละเอียดในแกนตั้ง (Vertical resolution) อยู่ระหว่าง 10-20 ชั้น ในชั้นบรรยากาศ และมากกว่า 30 ชั้นในบริเวณมหาสมุทร จะเห็นได้ว่าแบบจำลองภูมิอากาศโลกจะมีลักษณะความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ค่อนข้างหยาบ ซึ่งจะส่งผลต่อการศึกษาและประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยิ่งไปกว่านั้นกระบวนการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับเมฆ มีขนาดมาตราส่วนที่เล็กจึงไม่สามารถทำการจำลองได้ ต้องทำการกำหนดตัวแปรเสริม (Parametrizations) เพื่อใช้ในการรวมกระบวนการต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น การพัดพาความร้อน (Convection) กระบวนการผิวดิน (Land surface processes) และอุทกวิทยา (Hydrology) รวมถึงการปกคลุมของเมฆ (Cloud Cover) นี่เป็นหนึ่งที่มาของความไม่แน่นอน (Uncertainty) ในการจำลองสภาพภูมิอากาศโลกในอนาคต โครงสร้างของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ประกอบด้วย (สุจริต และคณะ, 2560)

1.5.1 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศหลัก (Simple General Circulation Models, SGCMs) เป็นแบบจำลองหลักของการจำลองสภาพภูมิอากาศ ซึ่งประกอบด้วย ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของสสาร เช่น อุณหภูมิ ให้เข้ากับตัวแปรทางฟิสิกส์พลศาสตร์ ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อศึกษากระบวนการของบรรยากาศที่ไม่ซับซ้อน จึงไม่เหมาะต่อการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศโลกในอนาคต

1.5.2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศส่วนชั้นบรรยากาศ (Atmospheric General Circulation Models, AGCMs) เป็นแบบจำลองส่วนของบรรยากาศที่รวมผิวดิน โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ อุณหภูมิของน้ำทะเลและสภาพเคมีของบรรยากาศ (Atmospheric Chemistry) เข้าด้วยกัน โดยมีการกำหนดตัวแปรเสริมเพื่อใช้ในการรวมกระบวนการต่าง ๆ เช่น การพัดพาความร้อน, กระบวนการผิวดิน และอุทกวิทยา รวมถึงการปกคลุมของเมฆ

1.5.3 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศส่วนมหาสมุทร (Oceanic General Circulation Models, OGCMs) เป็นแบบจำลองสภาพการไหลวนของมหาสมุทรกับความสัมพันธ์ของชั้นบรรยากาศ โดยแบบจำลองจะรวมหรือไม่รวมน้ำแข็งในทะเล จะขึ้นอยู่กับแบบจำลองของแต่ละสถาบันที่ทำการวิจัยและพัฒนาแบบจำลอง

1.5.4 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศชั้นบรรยากาศ-มหาสมุทร (Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Models, AOGCMs) เป็นแบบจำลองที่รวมเอาส่วนชั้นบรรยากาศและส่วนมหาสมุทรมารวมเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถวิเคราะห์แบบจำลองสภาพภูมิอากาศให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง ซึ่งจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการจำลองสภาพภูมิอากาศจากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) แบบจำลองสภาพภูมิอากาศชั้นบรรยากาศ-มหาสมุทรมีความสลับซับซ้อนในการคำนวณสูง แต่มีความเหมาะสมในการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศโลกในอนาคต



ภาพที่ 4 แสดงตำแหน่งกริดที่พื้นผิวและปริมาตรในบรรยากาศของแบบจำลองภูมิอากาศโลก

ที่มา: Ruddiman (2000)

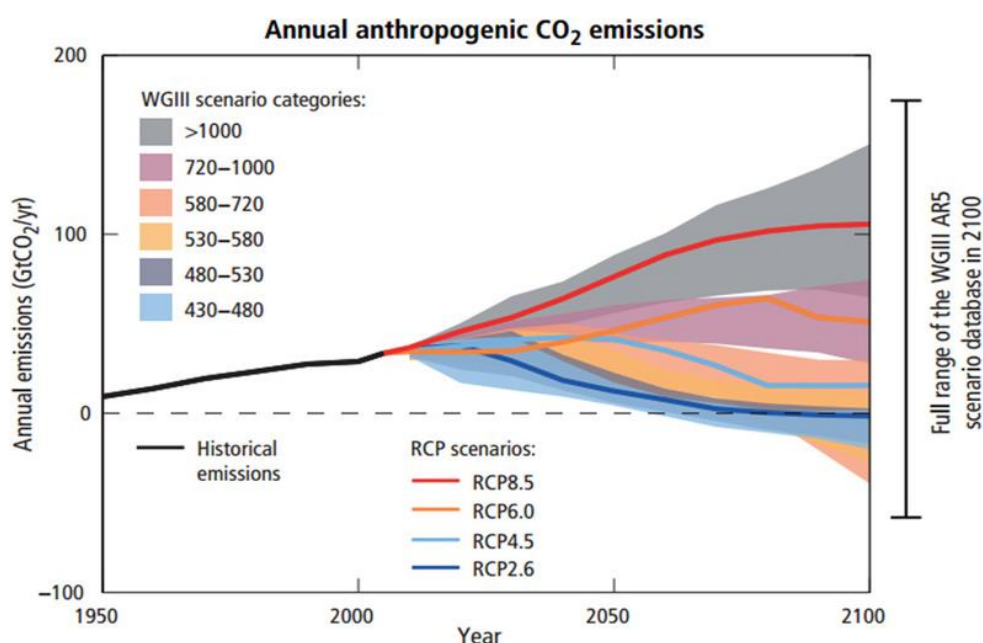
ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตจำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองภูมิอากาศโลก เพื่อทำการจำลองสภาพภูมิอากาศอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงระดับก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ แบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็น

การจำลองกระบวนการทางฟิสิกส์ของชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร น้ำแข็งในทะเล หรือน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกเหนือ น้ำแข็งบริเวณขั้วโลกใต้และผืนดิน โดยจำลองทางหลักการคณิตศาสตร์ของการไหลวนของบรรยากาศและมหาสมุทร โดยอาศัยพื้นฐานข้อแรกของเทอร์โมไดนามิกส์หรือกฎอนุรักษ์พลังงาน (Law of conservation of energy) ที่ว่าด้วยพลังงานสามารถเปลี่ยนจากสถานะหนึ่งไปเป็นอีกสถานะหนึ่งได้ แต่ไม่สามารถสร้างหรือทำให้พลังงานหายไปได้ในระบบปิด ซึ่งแหล่งพลังงานที่สร้างความร้อนให้กับชั้นบรรยากาศโลกก็คือแสงอาทิตย์นั่นเอง อีกหนึ่งสมการสำคัญคือกฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann law) ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างรังสีที่แผ่ออกมากับอุณหภูมิของวัตถุ กฎดังกล่าวใช้เป็นเครื่องมือที่นักวิทยาศาสตร์แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของก๊าซเรือนกระจกที่มีอยู่ในธรรมชาติ แบบจำลองยังใช้หลักการระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) ในการรวบรวมความหลากหลายของการเคลื่อนที่ของของไหลทางเคมีและสมการทางชีวภาพ ความสัมพันธ์ของสมการเหล่านี้เป็นพื้นฐานการจำลองสภาพภูมิอากาศโลกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขั้นสูงที่สลับซับซ้อน การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นการทำความเข้าใจและการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตรวมถึงการพยากรณ์อากาศสำหรับการประเมินผลกระทบ (Impact assessment) ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอีกด้วย

ในปัจจุบันมีสถาบันการศึกษาอตุณิยมวิทยาชั้นนำทั่วโลกที่ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศโลกจากความร่วมมือระหว่าง The World Climate Research Programme (WCRP) และ International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) ร่วมกันจัดทำแบบจำลองสภาพภูมิอากาศภายใต้โครงการ Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) สำหรับการจำลองภาพฉายอนาคตของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate scenarios) จากฐานข้อมูล CMIP5 ได้ใช้เกณฑ์แนวโน้มปริมาณการแผ่รังสีความร้อนโดยมีการคำนึงถึงนโยบายที่เกี่ยวข้อง โดยการกำหนดเป็น Representative Concentration Pathways (RCPs) ประกอบไปด้วย เกณฑ์ภาพฉายอนาคต (Scenarios) 4 ระดับ โดยชื่อเรียกแต่ละ RCP จะสะท้อนถึงระดับปริมาณการแผ่รังสีความร้อนจากก๊าซเรือนกระจก (Radiative Forcing) ในปี ค.ศ. 2100 สัมพันธ์กับยุคก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม ดังนี้

RCP 2.6 แนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตราที่ต่ำ เป็นการจำลองแนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยมาตรการหรือนโยบายควบคุมในการลดก๊าซเรือนกระจก โดยมีมาตรการบังคับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดการปล่อยมลพิษตลอดเวลา โดย RCP 2.6 จะทำการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือมีการแผ่รังสี 3.1 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่อย ๆ ลดลงเหลือ 2.6 วัตต์ต่อตารางเมตร จนถึงสิ้นยุคปี ค.ศ. 2100 ซึ่งถือว่าเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตราที่ต่ำ RCP 2.6 ได้รับ

การพัฒนาจาก PBL Netherlands Environmental Assessment Agency ประเทศเนเธอร์แลนด์ RCP 2.6 ได้กำหนดสมมติฐานดังต่อไปนี้ - ลดการใช้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล - การใช้พลังงานบนโลกในอัตราต่ำ- จำนวนประชากรโลกจะมีจำนวน 9 พันล้านคน เมื่อสิ้นสุด ค.ศ. 2100 - เพิ่มอัตราการใช้พื้นที่ทำการเพาะปลูก โดยใช้พลังงานชีวภาพ - การเลี้ยงปศุสัตว์มีประสิทธิภาพ - มีการปล่อยก๊าซมีเทนลดลงร้อยละ 40 - จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณคงที่จนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 2040 และเริ่มลดลงและอาจติดลบจนสิ้นสุด ปี ค.ศ. 2100 - จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดในปี ค.ศ. 2050 และจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลดลง 400 ppm



ภาพที่ 5 แสดงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ RCPs

ที่มา: IPCC (2014a)

RCP 4.5 แนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตราปานกลาง-ต่ำ เป็นการจำลองแนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยมีการกำหนดมาตรการและนโยบายควบคุมในการลดก๊าซเรือนกระจก รวมถึงมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีที่มีความทันสมัย RCP 4.5 มีความคล้ายคลึงกับ RCP 6 ในการตั้งสมมติฐานบางอย่าง โดย RCP 4.5 จะทำการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือมีการแผ่รังสี 4.5 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกสูงสุดในปี ค.ศ. 2100 จากนั้นจะอยู่ในระดับคงที่ (Stabilization) ซึ่งถือว่าเป็น RCP ที่มีความสอดคล้องกับความพยายามในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปัจจุบัน ถ้าทำการเทียบเคียงกับตัวแทนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรายงานการประเมิน

ฉบับที่ 4 (Fourth Assessment Report, AR4) คือ SRES B1 ซึ่งเป็นการตั้งสมมติฐานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ RCP 4.5 ได้รับการพัฒนาจาก Pacific Northwest National Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา RCP 4.5 ได้กำหนดสมมติฐานดังต่อไปนี้ - การใช้พลังงานบนโลกในอัตราต่ำ- มีการส่งเสริมการปลูกป่าเพื่อลดปัญหาภาวะโลกร้อน - ลดอัตราการใช้พื้นที่ทำการเพาะปลูกและทุ่งหญ้าในการปศุสัตว์ เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของผลผลิตจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี - มีนโยบายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเข้มงวด - มีการปล่อยก๊าซมีเทนในระดับคงที่ - จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก่อนจะเริ่มลดลงในปี ค.ศ. 2040

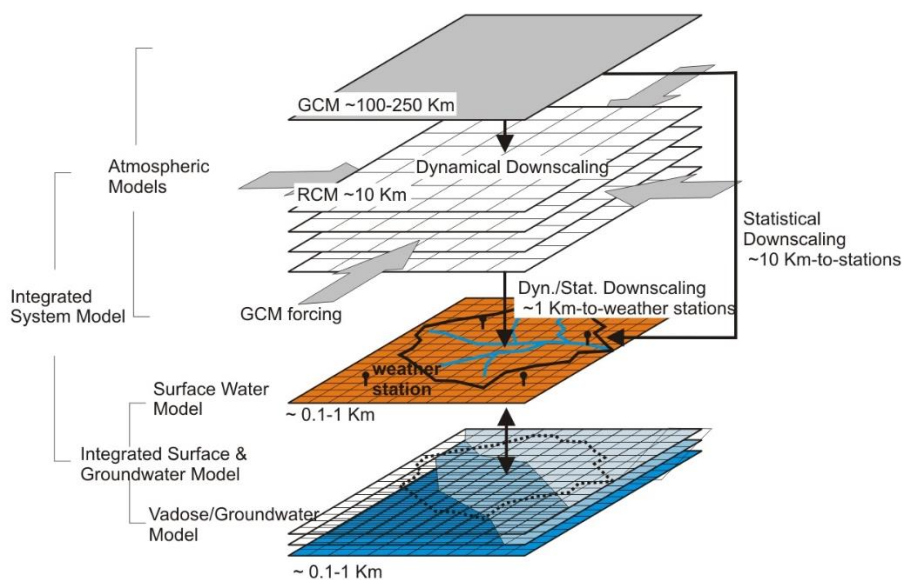
RCP 6.0 แนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตราปานกลางเป็นการจำลองแนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยมีการกำหนดมาตรการและนโยบายควบคุมในการลดก๊าซเรือนกระจก รวมถึงมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีในระดับหนึ่ง โดย RCP 6.0 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือมีการแผ่รังสี 6.0 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกสูงสุดในปี ค.ศ. 2100 จากนั้นจะอยู่ในระดับคงที่ (Stabilization) ซึ่งถือว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตราปานกลาง ถ้าทำการเทียบเคียงกับตัวแทนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรายงานการประเมินฉบับที่ 4 (Fourth Assessment Report, AR4) คือ SRES B2 ซึ่งเป็นการตั้งสมมติฐานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปานกลาง-ต่ำ RCP 6.0 ได้รับการพัฒนาจาก National Institute for Environmental Studies ประเทศญี่ปุ่น RCP 6.0 ได้กำหนดสมมติฐานดังต่อไปนี้ - พึ่งพาการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างหนัก - การใช้พลังงานบนโลกในอัตราปานกลาง - เพิ่มอัตราการใช้พื้นที่ทำการเพาะปลูกและลดอัตราการใช้พื้นที่ทุ่งหญ้าในการปศุสัตว์ - มีการปล่อยก๊าซมีเทนในระดับคงที่ - จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดที่ร้อยละ 75 ในปี ค.ศ. 2060 และลดลงร้อยละ 25 หลังจากผ่านปี ค.ศ. 2060

RCP 8.5 แนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตราที่สูง เป็นการจำลองแนวทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยไม่มีมาตรการหรือนโยบายควบคุมในการลดก๊าซเรือนกระจก โดย RCP 8.5 จะทำการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือมีการแผ่รังสี 8.5 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งถือว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตราที่สูง ถ้าทำการเทียบเคียงกับตัวแทนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรายงานการประเมินฉบับที่ 4 (Fourth Assessment Report, AR4) คือ SRES A1 F1 (Fossil intensive) ซึ่งเป็นตั้งสมมติฐานการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกที่สูง โดยเน้นการใช้พลังงานฟอสซิลเป็นหลัก RCP 8.5 ได้รับการพัฒนาจาก International Institute for Applied System Analysis ประเทศออสเตรีย RCP 8.5 ได้กำหนด สมมติฐานดังต่อไปนี้ - กำหนดว่าหนึ่งวันจะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวนสามครั้งจนถึง ปี ค.ศ. 2100 - มีการปล่อยก๊าซมีเทนที่รวดเร็วเพิ่มขึ้น - เพิ่มอัตราการ ใช้พื้นที่ทำการเพาะปลูกและทุ่งหญ้าในการปศุสัตว์ ซึ่งจะเป็นแรงกระตุ้นในการเพิ่มขึ้นของประชากร - กำหนดสมมติฐาน

จำนวนประชากรโลกจะมีจำนวน 12 พันล้านคน เมื่อสิ้นสุด ค.ศ. 2100 - อัตราการพัฒนาทางเทคโนโลยีอยู่ในระดับต่ำ - พึ่งพาการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างหนัก - การใช้พลังงานบนโลกในอัตราที่สูง - ไม่มีมาตรการหรือนโยบายควบคุมในการลดก๊าซเรือนกระจก

1.6 การพยากรณ์ภูมิอากาศด้วยเทคนิคการลดมาตราส่วนเชิงสถิติ

การลดมาตราส่วนเชิงสถิติ (Statistical Downscale, SD) คือกระบวนการทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับอุตุนิยมวิทยาเป็นเทคนิคการคาดการณ์ตัวแปรภูมิอากาศในอนาคต ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างซับซ้อน มีหลักการสมมติฐานว่า ตัวบ่งชี้ (Predictor) จากผลลัพธ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลกและตัวถูกทำนาย (Predictand) ซึ่งเป็นข้อมูลตัวแปรอุตุนิยมวิทยาในระดับท้องถิ่นจากข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศมีความสัมพันธ์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในอนาคต เพื่อนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาทำการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต วิธีการนี้ได้รับความนิยมสำหรับการศึกษาในพื้นที่ขนาดเล็ก ซึ่งวิธีนี้ไม่เหมาะสมกับการศึกษาในพื้นที่ที่มีข้อมูลอุตุนิยมวิทยาไม่สมบูรณ์และมีการบันทึกข้อมูลจำนวนน้อยปี การลดมาตราส่วนเชิงสถิติสามารถแสดงผลความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ (Climate extreme) และตามช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ดี (อำนาจ, 2553ข)



ภาพที่ 6 แผนผังการลดมาตราส่วนเชิงสถิติจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

ที่มา: John (2011)



จากเทคนิคการลดมาตราส่วนเชิงสถิติของข้อมูลภูมิอากาศ โดยการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศระดับโลกจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกและชุดข้อมูลตัวแปรอนุกรมระดับท้องถิ่นหรือข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศ สามารถเพิ่มรายละเอียดที่หายจากผลลัพธ์ของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับโลกเพื่อนำมาศึกษาผลกระทบในระดับลุ่มน้ำและระดับสถานีได้โดยตรง ผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์และประยุกต์ใช้ศึกษาทางด้านอุทกวิทยาและระบบนิเวศได้แก่ การบริหารจัดการน้ำ การวิเคราะห์ภัยความเสี่ยงพิบัติภัยแล้งหรืออุทกภัย เป็นต้น สามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่มวิธีหลัก ดังนี้

1.6.1 Linear methods เป็นวิธีการลดมาตราส่วน โดยสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวทำนายและตัวถูกทำนาย ใช้ข้อมูลที่ได้จากค่าการสังเกตการณ์หรือข้อมูลบันทึกในอดีตกับผลลัพธ์ชุดข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCM) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกัน และสังเคราะห์ผลการทำนายตามเงื่อนไขที่ต้องการ สามารถนำไปใช้กับคู่ตัวทำนายและตัวถูกทำนายเดียวกันหรือชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ของคู่ตัวทำนายและตัวถูกทำนายได้ เป็นวิธีหลักของเทคนิคการลดมาตราส่วนที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย แบบจำลองของวิธีการนี้ ได้แก่ แบบจำลอง SDSM (Wilby *et al.*, 2000), แบบจำลอง SD-GCM เป็นต้น

1.6.2 Weather classifications เป็นวิธีการลดมาตราส่วนโดยจำแนกสภาพอากาศระหว่างตัวแปรอนุกรมวิทยาในระดับท้องถิ่นให้เข้ากับผลลัพธ์ชุดข้อมูลที่คล้ายคลึงมากที่สุดสถานะของชุดข้อมูลในช่วงอดีตที่ถูกเลือกนั้นจะสอดคล้องกับค่าตัวแปรในท้องถิ่น ซึ่งจะถูกลดลงภายใต้สภาวะบรรยากาศในอนาคต วิธีนี้จะเหมาะสมอย่างยิ่งในการลดมาตราส่วนการกระจายแบบไม่ปกติ เช่น ค่าปริมาณน้ำฝน แต่อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลรายวันที่มีช่วงระยะเวลาที่บันทึกไว้ในอดีตจำนวนหลายปี (ประมาณ 30 ปีขึ้นไป) เพื่อประเมินสภาพอากาศที่เป็นไปได้ในอนาคต โดยมีขั้นตอนการคำนวณซับซ้อนมากกว่าวิธีแบบเชิงเส้น เนื่องจากมีการวิเคราะห์และสร้างชุดข้อมูลรายวันจำนวนมาก แบบจำลองของวิธีการนี้ ได้แก่ แบบจำลองการวิเคราะห์จัดกลุ่ม (Clustering methods) ได้แก่ k-means method (Enke and Spekat, 1997), แบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ได้แก่ ANN, แบบจำลองด้วยอัลกอริทึม KNN-WG เป็นต้น

1.6.3 Weather generators เป็นวิธีการลดมาตราส่วนโดยสร้างลำดับตัวแปรสภาพอากาศในแต่ละช่วงเวลาที่สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยปริมาณรายเดือนหรือรายปี วิธีการลดมาตราส่วนนี้สามารถจำลองผลกระทบที่ต้องใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดรายวัน การลำดับสภาพอากาศที่แตกต่างกันจะเชื่อมโยงกับชุดข้อมูลค่ารายเดือนหลายลำดับรายการจะถูกสร้างขึ้นเพิ่มเติมใน

แบบจำลอง วิธีนี้ใช้ข้อมูลจำนวนมากต้องการข้อมูลรายวันที่ต่อเนื่องกันเป็นเวลานานและมีความอ่อนไหวต่อข้อมูลที่ขาดหายไปในช่วงการสอบเทียบ แบบจำลองส่วนมากจะใช้การสังเคราะห์อากาศแบบอนุกรมเวลาสำหรับคำนวณหาค่าอนุกรมเวลาในอนาคตของข้อมูลภูมิอากาศในระดับสถานี แบบจำลองของวิธีการนี้ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ แบบจำลอง WGEN (Zhang *et al.*, 2004), MarkSim GCM (Trotochaud *et al.*, 2016) และแบบจำลอง LARS-WG (Semenov and Barrow, 2002) เป็นต้น

## 2. การเพาะปลูกข้าวในนาชลประทาน

### 2.1 ข้าว

ข้าว หมายถึง ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวที่เกษตรกรเพาะปลูกในรอบปีเพาะปลูก ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (Annual grass) ถูกจัดอยู่ในสกุลออไรซา (*Genus Oryza*) ของวงศ์เกรมินี (Family poaceae หรือ Gramineae) สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อน (Tropical) และเขตอบอุ่น (Temperate zone) จำนวนชนิด (Species) ทั้งหมดที่พบในสกุลออไรซาของข้าว นั้น มีประมาณ 20 ชนิดด้วยกัน โดยที่ส่วนใหญ่จะเป็นพวกที่มีจำนวนโครโมโซมจำนวน 14 แท่ง 2 ชุด (Diploid,  $2n = 24$ ) และส่วนน้อยเป็นพวกที่มีโครโมโซมจำนวน 4 ชุด (Tetraploid,  $2n = 4x = 48$ )

จากการตรวจสอบหลักฐานทางโบราณคดีพบว่าข้าวมีการเพาะปลูกมานานกว่า 2800 ปี ก่อนคริสตกาลในประเทศอินเดียและจีน และหลักฐานล่าสุดจากการค้นพบของนักโบราณคดี Donn T. Bayard และคณะ ที่ได้มาขุดค้นเรื่องราวทางประวัติศาสตร์โบราณคดีที่บ้านโนนนกทา อ.ภูเวียง จ.ขอนแก่น พบเมล็ดข้าวที่มีอายุประมาณ 3500 ปี ก่อนคริสตกาล จึงเชื่อว่าถิ่นกำเนิดของข้าว นั้นอยู่ในทวีปเอเชีย โดยเฉพาะทางภาคเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เนื่องจากมีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่ม ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ข้าวส่วนใหญ่ปรับตัวได้ดี และข้าวจัดเป็นแหล่งอาหารหลักที่ให้การโบไฮเดรตที่สำคัญในการดำรงชีวิตของประชากรโลกทั้งการใช้บริโภคเป็นอาหารหลักในชีวิตประจำวันและวัตถุดิบในด้านอุตสาหกรรม (บุญหงส์, 2547) พันธุ์ข้าวจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอันดับแรกในการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตข้าว โดยไม่ต้องเพิ่มต้นทุนการผลิต ถ้าหากว่ามีพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพ ที่ตรงกับความต้องการของตลาด มีความต้านทานต่อโรคแมลง และมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในแต่ละพื้นที่เพาะปลูกแล้ว จะเป็นการลดต้นทุนการผลิตข้าวได้เป็นอย่างดี

การจำแนกชนิดของข้าวนั้นมีหลายแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการจำแนกสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

### 2.1.1 การจำแนกตามสภาพพื้นที่เพาะปลูก แบ่งออกเป็น

ก. ข้าวไร่ (Upland rice) หมายถึงข้าวที่ปลูกในที่ดอนไม่มีน้ำขัง และไม่มีคันนาปลูกโดยอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว การปลูกเหมือนพืชไร่ทั่วไปและมีปลูกมากทางภาคเหนือ (ตามดอย) และภาคใต้ (ปลูกแซมสวนยางอายุ 1-3 ปี) มีพันธุ์ดีที่ทางราชการแนะนำปลูก เช่น ชิวแม่จัน (ภาคเหนือ) กุ้งเมืองหลวง และดอกพยอม (ภาคใต้) เป็นต้น

ข. ข้าวนาสวน (Lowland rice) เป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มมีระดับน้ำลึกไม่เกิน 80 เซนติเมตร เป็นข้าวที่ปลูกกันส่วนใหญ่ของประเทศและมีพื้นที่ปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง ส่วนมากจะให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าข้าวไร่ และข้าวขึ้นน้ำ (อยู่ในระหว่าง 30-50 ถึงต่อไร่)

ค. ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวนาเมืองหรือข้างฟางลอย (Floating rice) เป็นข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมลึกในฤดูน้ำหลาก โดยมีน้ำท่วมลึกเกินกว่า 80 เซนติเมตร บางที่น้ำอาจจะลึกถึง 3-4 เมตร ก็ได้ พันธุ์ข้าวชนิดนี้จะสามารถปรับตัวได้ตามระดับน้ำที่สูงขึ้นจึงเรียกว่าข้าวขึ้นน้ำ พบมากในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง ส่วนในภาคใต้พบบ้างเป็นบางแห่ง การปลูกมักจะใช้หว่านข้าวแห้งตอนต้นฤดูฝน พันธุ์ที่ทางราชการแนะนำได้แก่ เล็บมือนาง 111, ปิ่นแก้ว 56, ตะเภาแก้ว 161, นางฉลอง, กข.17, กข.19 เป็นต้น ผลผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 200-300 กก./ไร่ เมล็ดข้าวเมื่อนำไปสีมักจะแตกหักเนื่องจากข้าวสารมีท้องไขหรือท้องปลาชิวมาก พ่อค้าจึงนิยมเอาไปทำข้าวเหนียวเพราะเมื่อนำไปสีแล้วได้ข้าวสารที่มีคุณภาพดี

### 2.1.2 การจำแนกตามคุณสมบัติของเมล็ดข้าว

คุณสมบัติของเมล็ดข้าวจะประกอบด้วยแป้งส่วนใหญ่ 2 ชนิดคือ อะมัยโลเพคติน (Amylopectin) ทำให้เมล็ดข้าวมีสีขาวขุ่น เวลาต้มสุกแล้วจะเหนียว และอะมัยโลส (Amylose) ที่ทำให้ข้าวมีสีขาวใส เมื่อต้มสุกจะมีสีขาวขุ่นและร่วน ข้าวเหนียว (Glutinous rice) จะมีแป้งอะมัยโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่คือประมาณ 95% และมีแป้งอะมัยโลสน้อยมากหรือไม่มี ส่วนข้าวเจ้า (Non-glutinous rice) นั้นมีปริมาณอะมัยโลสสูง 10-30% มีอะมัยโลเพคติน 70-90% ตัวอย่างข้าวเจ้าพันธุ์ดีที่ทางการ

แนะนำ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105, ขาวตาแห้ง 17, เหลืองประทิว 123, กำผาย 41, กข.1, กข.5, กข.7 ฯลฯ ส่วนพันธุ์ข้าวเหนียวที่ทางการแนะนำ ได้แก่ เหนียวสันป่าตอง, กข.2, กข.4, กข.6, กข.8, กข.10 เป็นต้น

### 2.1.3 การจำแนกตามฤดูกาลหรือการตอบสนองต่อช่วงแสง แบ่งออกเป็น

ก. ข้าวพันธุ์ไวต่อช่วงแสง (Photoperiod sensitive varieties) เป็นพันธุ์ข้าวที่จะออกดอกได้ในช่วงวันสั้น (น้อยกว่า 12 ชั่วโมง) ในประเทศไทยจะอยู่ในช่วงเดือนกันยายน-ธันวาคม (ดังยกตัวอย่างมาแล้ว) ข้าวพันธุ์ไวต่อช่วงแสงนี้จะปลูกได้เฉพาะ นาปี ถ้าปลูกในนาปรังจะไม่ออกดอก พันธุ์ไวต่อช่วงแสงนี้ ได้แก่ พันธุ์พื้นเมืองทั่วไป และพันธุ์ กข. ที่ไวต่อช่วงแสงได้ กข.5, กข.6, กข.8, กข.13, กข.15, กข.19, และ กข.17 เป็นต้น

ข. ข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง (Photoperiod insensitive varieties) พันธุ์ข้าวจำพวกนี้จะออกดอกได้โดยไม่ขึ้นกับความยาวของช่วงวันจะขึ้นอยู่กัอายุเก็บเกี่ยวที่ค่อนข้างแน่นอน และใช้เป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกในนาปรัง ซึ่งต้องอาศัยน้ำชลประทาน พันธุ์ต่าง ๆ ได้แก่ กข.1, กข.2, กข.3, กข.4, กข.7, กข.9, กข.10, กข.11, กข.17, กข.21, กข.23, กข.25 และ กข.43 พิษณุโลก-1 พิษณุโลก-2 เป็นต้น ส่วนพันธุ์พื้นเมืองมีอยู่พันธุ์เดียว คือ พันธุ์เหลืองทอง

### 2.1.4 การจำแนกตามการปรับปรุงพันธุ์พืช แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ

ก. พันธุ์พื้นบ้านหรือพันธุ์พื้นเมือง (Land race varieties) เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรใช้ปลูกมาแต่ดั้งเดิม ส่วนมากมักเป็นพันธุ์ที่มีการปรับตัวดีในสภาพแวดล้อมของท้องถิ่น มักมีต้นสูง ใบดู่ (แข่งกับวัชพืช) ปรับตัวในสภาพดินไม่อุดมสมบูรณ์ได้ดี (มีการวิวัฒนาการที่ต่อเนื่องมาตอบสนองต่อปุ๋ยต่ำ) พันธุ์พื้นเมืองจะให้ผลผลิตต่ำถึงปานกลางในสภาพการปลูกของเกษตรกร (ใช้ปัจจัยการผลิตต่ำ) พันธุ์พื้นเมืองมีอยู่มาก และมักเรียกชื่อไปตามท้องถิ่น ส่วนมากจะมีคำว่า ขาว เหลือง ชื่อดอกไม้ ชื่อผู้หญิง เช่น ขาวนวล เจ้าขาว หอมเหลือง เหลืองน้อย แก่นจันทร์ ยาไทร นางมด ศรีนวล ฯลฯ

ข. ข้าวพันธุ์ดีทางราชการ คือ พันธุ์ข้าวที่ทางราชการได้ขยายพันธุ์และเผยแพร่ออกสู่เกษตรกร เป็นพันธุ์ข้าวที่คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ข้าวได้ตรวจสอบแล้วและประกาศเป็นทางการ ลักษณะโดยทั่วไปจะเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ตอบสนองต่อปุ๋ยสูง ด้านทานโรคและแมลง

มีเมล็ดได้มาตรฐาน คุณภาพการหุงต้มดี ลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้ จะมีอยู่ในแต่ละพันธุ์แตกต่างกันไป การได้มาของพันธุ์ดีทางราชการนั้น ได้มาจากการคัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมือง และการสร้างพันธุ์ขึ้นใหม่โดยวิธีการผสมพันธุ์ หรือชักนำให้กลายพันธุ์โดยการใช้รังสี ซึ่งจัดเป็นประเภท กข. ตัวอย่างพันธุ์ดีที่ได้รับการคัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมือง เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105, เหนียวสันป่าตอง, ขาวตาแห้ง 17, เหลืองประทิว 123, ขาวพวง 32, ปิ่นแก้ว 56, ทางภาคใต้มี นางพญา 132, แก่นจันทร์, เผือกน้ำ 43, พวงไร้ 2 เป็นต้น (เลขคู่เป็นข้าวเหนียวและ เลขคี่เป็นข้าวเจ้า) ข้าวพันธุ์ กข. ที่เกิดจากการชักนำให้กลายพันธุ์ด้วยรังสี เช่น กข.6, กข.10, กข.15 เป็นต้น ทางราชการจะมีรายชื่อพันธุ์ข้าวที่ส่งเสริมในทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งพันธุ์เหล่านั้นได้ผ่านการทดสอบในระดับท้องถิ่นมาแล้วว่า ได้รับผลดี ดังนั้น ในแต่ละพื้นที่จึงอาจจะมีพันธุ์เฉพาะแห่ง ในการทดลองวิจัยนี้ ได้คัดเลือกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งภาครัฐได้ส่งเสริมการกระจายการเพาะปลูกทั่วประเทศสำหรับตอบสนองต่อความต้องการของตลาดผู้บริโภค

#### 2.1.5 การจำแนกตามฤดูกาลปลูก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

ก. ข้าวนาปี คือ ข้าวที่ปลูกในฤดูการทำนาปกติตามฤดูฝน ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละภาคและท้องที่ ส่วนมากจะใช้พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวแสง พันธุ์ข้าวนาปียังแบ่งออกเป็นพันธุ์ข้าวหนัก ข้าวกลาง และข้าวเบา ตามอายุการเก็บเกี่ยว

ข. ข้าวนาปรัง คือ ข้าวที่ปลูกนอกฤดูทำนาปกติได้รับน้ำจากการชลประทาน ส่วนมากจะใช้พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวแสง สามารถจะกำหนดอายุเก็บเกี่ยวได้ของแต่ละพันธุ์ค่อนข้างแน่นอน

### 2.2 การเจริญเติบโตของข้าว

การศึกษาทางการเจริญเติบโตหรือสรีรวิทยาของพืชนั้นมีความสำคัญทำให้ทราบถึงขั้นตอนของกระบวนการมีชีวิตของพืชและอิทธิพลของปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อกระบวนการเจริญเติบโตหรือทำให้เกิดอาการผิดปกติไม่เต็มที่ ถ้าเราสามารถเข้าใจการตอบสนองของพืชดังกล่าวได้แล้ว ก็สามารถปรับปรุงแก้ไขให้พืชเจริญเติบโตได้ในสภาพปกติและให้ผลผลิตตามเป้าหมาย การเจริญเติบโตของข้าวโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็นระยะต่าง ๆ ได้ดังนี้

#### 2.2.1 การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) โดยมี 2 ระยะคือ

ก. ระยะต้นกล้า (Seedling stage) เป็นระยะจากข้าวงอกจนกระทั่งถึงข้าวแตกกอ ใช้ระยะเวลาประมาณ 20 วัน (ขึ้นอยู่กับพันธุ์) สิ้นสุดระยะนี้ต้นข้าวจะมีใบประมาณ 5-6 ใบ

ข. ระยะแตกกอ (Tillering stage) นับจากข้าวเริ่มแตกกอดังกล่าวจนถึงข้าวเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน (Panicle initiation) ใช้เวลาประมาณ 15-20 หลังจากระยะต้นกล้าขึ้นอยู่กับ การตอบสนองต่อช่วงแสงของพันธุ์ข้าว

2.2.2 การเจริญเติบโตทางด้านการเจริญพันธุ์ (Reproductive stage) เริ่มจากข้าวเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน ผ่านระยะตั้งท้อง (Booting stage) จนถึงออกช่อดอกและผสมเกสร (Heading, Flowering, Fertilization) โดยจะใช้ระยะเวลาช่วงนี้ประมาณ 45-50 วัน ลักษณะของระยะต่าง ๆ มีดังนี้

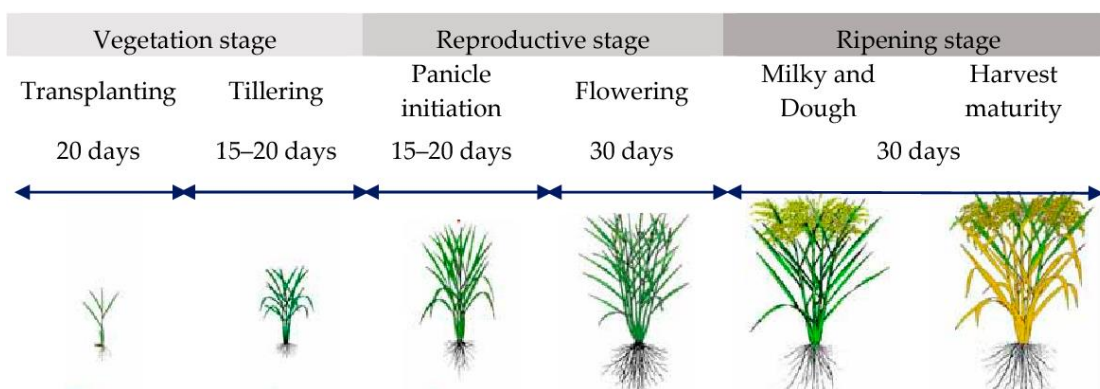
ก. ระยะเริ่มสร้างช่อรวงอ่อน หลังจากแตกกอเต็มที่แล้วก็จะเข้าสู่ระยะสร้างช่อรวงอ่อน (พันธุ์ที่ไวแสงจะต้องได้รับช่วงแสงที่เหมาะสมก่อน จึงจะก่อให้เกิดระยะนี้ได้) ระยะนี้ ต้นข้าวจะเปลี่ยนจากต้นที่มีลักษณะแบนเป็นต้นกลมและจะมีการยืดปล้อง (Stem elongation) ในอัตราเร็ว เมื่อผ่าลำต้นดูจะเห็นจุดกำเนิดช่อดอก (Panicle primordium) ลักษณะเป็นสามเหลี่ยมมีสีขาวปุย ๆ และจะเจริญเติบโตเรื่อย ๆ เป็นช่อดอกที่มีดอกเรียกว่า Spikelets

ข. ระยะตั้งท้อง เป็นระยะที่ช่อดอกอ่อนของข้าวขยายตัวใหญ่ขึ้นจนเป็นช่อดอกที่สมบูรณ์ ตรงกาบใบธงจะอ้วนพองขึ้น

ค. ระยะออกดอกและผสมเกสร ระยะที่ช่อดอกโผล่จากกาบใบ (Heading) ดอกข้าวบาน (Flowering) และผสมเกสร (Fertilization) ซึ่งจะเกิดพร้อมกันหรือเหลื่อมกันบางเพียงเล็กน้อย

2.2.3 การพัฒนาการของเมล็ด (Ripening stage) ได้แก่ ระยะภายหลังการผสมเกสร ซึ่ง รังไข่ที่ได้รับการผสมจะเจริญเติบโต อาหารที่ได้รับการสังเคราะห์แสงจะถูกสะสมในเมล็ดเป็น ลำดับ ในหลายแห่งจึงเรียกระยะนี้ว่าระยะสะสมในเมล็ด (Grain filling period) ในระยะแรกจะอยู่ในระยะน้ำนม (Milky) เปลี่ยนเป็นแป้งอ่อน (Dough) จนกระทั่งเมล็ดสุก (Ripening) เป็นแป้งแข็งเป็น ระยะสุกแก่หรือเก็บเกี่ยว (Harvest maturity) จะใช้เวลาการพัฒนาการของเมล็ดทั้งหมดประมาณ 30 วัน

ดังนั้น เมื่อรวมระยะต่าง ๆ แล้ว ข้าวจะมีอายุในระหว่าง 110-120 วัน สำหรับข้าวไม่ไวแสง และประมาณ 120-140 วันสำหรับข้าวไวแสง



ภาพที่ 7 แสดงระยะการเจริญเติบโตของข้าว

ที่มา: Prathumchai *et al.* (2018)

### 2.3 สภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของข้าว

การเจริญเติบโตของข้าวต้องอาศัยปัจจัยทางสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกับพืชทั่วไป เมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป สามารถส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าวในระยะต่าง ๆ ได้ ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพภูมิประเทศและสภาพดินฟ้าอากาศ ดังต่อไปนี้

2.3.1 ความสูงของพื้นที่ ข้าวขึ้นได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงที่สูง 2,500 เมตร สามารถเจริญเติบโตทั้งในที่ดอน (ข้าวไร่) และที่ราบลุ่ม (ข้าวนาสวน)

2.3.2 ดิน ขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิดยกเว้นดินทราย ส่วนใหญ่ชอบขึ้นในดินเหนียว และเหนียวร่วน มีความเป็นกรดและด่าง (pH) ตั้งแต่ 3-10 ขึ้นได้แม้กระทั่งในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

2.3.3 ปริมาณน้ำ น้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งต่อการเจริญเติบโตและมีส่วนสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการของผลผลิตข้าว โดยบทบาทของน้ำที่มีต่อข้าวแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ บทบาทที่มีต่อข้าวโดยตรงต่อต้นข้าว เป็นวัตถุดิบกระบวนการสร้างอาหารจากการสังเคราะห์

แสง (photosynthesis) และเป็นส่วนประกอบของเซลล์และเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของข้าว และบทบาทของน้ำที่มีต่อการเพาะปลูกข้าว เนื่องจากข้าวเป็นพืชที่มีความต้องการใช้น้ำมากกว่าพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นมาก อีกทั้งน้ำยังมีส่วนช่วยในการเตรียมดิน ซึ่งในช่วงการเตรียมดินนั้นควรมีน้ำประมาณ 200-300 มิลลิเมตร และช่วงที่เป็นต้นกล้าต้องการน้ำประมาณ 250-400 มิลลิเมตร จนถึงต้นกล้าอายุ 20-30 วัน ส่วนในช่วงปักดำจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนั้นควรมีน้ำอยู่ในระหว่าง 800-1,200 มิลลิเมตรตลอดจนใช้การป้องกันกำจัดวัชพืช (อัมมาร และ วิโรจน์, 2533)

2.3.4 แสงอาทิตย์ ปริมาณแสงมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตโดยที่ข้าวใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และช่วงเวลาสั้นๆของกลางวันกลางคืนยังมีผลต่อการเจริญเติบโต ระยะเจริญพันธุ์สร้างผลผลิตของข้าวไวแสง ข้าวต้องการพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันตามแต่ช่วงระยะการเจริญเติบโต ถ้าข้าวได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยในระยะการเจริญทางลำต้นและใบจะมีผลกระทบต่อผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตไม่มากนัก แต่ถ้าได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยในระยะการสืบพันธุ์ แล้วจะทำให้ผลผลิตลดลงเป็นอย่างมาก (เฉลิมพล, 2542) และจากรายงาน De Datta (1981) ได้พบว่า จุดวิกฤตที่ข้าวจะต้องได้รับพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเพียงพออยู่ในระยะกำเนิดช่อรวง (Panicle initiation) จนถึงก่อน ระยะสุกแก่ 10 วัน หรือประมาณ 45 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว ฉะนั้น ถ้าน้ำไม่เป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญเติบโต ข้าวที่ปลูกในฤดูร้อน (นาปรัง) จะให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวที่ปลูกในฤดูฝน (นาปี) เนื่องจากในฤดูร้อนข้าวได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงระยะวิกฤตได้อย่างเต็มที่

โดยทั่วไปข้าวเป็นพืชอายุการเก็บเกี่ยวอายุสั้นหรือพืชวันสั้น (Short-day plant) และตอบสนองต่อช่วงแสงแดด ดังนั้นวันยาวจะมีผลทำให้การออกดอกของข้าวล่าช้าออกไป ซึ่งจะมีผลกระทบต่ออย่างมากกับการปลูกข้าวพันธุ์ไวแสงในเขตอาศัยน้ำฝนหรือนอกเขตชลประทาน เนื่องจากการเพาะปลูกต้องรอฝน จึงทำให้บางครั้งวันปักดำเลยกำหนดจากวันปลูกที่เหมาะสม ส่งผลให้ข้าวมีอายุการเจริญทางลำต้นและใบสั้นกว่าปกติ และมีผลผลิตต่ำ สำหรับวันปลูกที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณช่วงเดือนมิถุนายน-พฤษภาคม ซึ่งจะทำให้ข้าวออกดอกในต้นเดือนตุลาคม รวมเวลาการเจริญเติบโตจนออกรวงประมาณ 120 วัน ซึ่ง เป็นระยะเวลาที่จำเป็นสำหรับต้นข้าวที่จะให้ผลผลิตสูง ปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลูกพันธุ์ข้าวไม่วางต่อช่วงแสง เนื่องจากจะไม่มีข้อจำกัดด้านฤดูกาลเพาะปลูกหรือพื้นที่ปลูก ดังนั้นข้าวที่จัดว่าเป็นข้าวพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงในปัจจุบันจึงมีแนวโน้มเป็นพันธุ์ข้าวไม่วางต่อช่วงแสง



2.3.5 อุณหภูมิ การศึกษาอุณหภูมิที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการให้ผลผลิต พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของข้าวในแต่ละระยะแตกต่างกัน อีกทั้งยังมีอุณหภูมิวิกฤตที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต เช่น ในระยะงอกอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 18-40 องศาเซลเซียส เมื่อถึงระยะแตกกออุณหภูมิที่เหมาะสม จะเปลี่ยนไปอยู่ในช่วง 25-31 องศาเซลเซียส แต่ที่ระยะออกดอกอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 30-33 องศาเซลเซียส และในระยะสุกแก่อุณหภูมิที่เหมาะสมจะเท่ากับ 20-29 องศาเซลเซียส (De Datta, 1981) หากสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไป ช่วงที่มีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ

นอกจากช่วงแสงที่มีอิทธิพลต่อการออกดอกของข้าวแล้ว อุณหภูมิที่มีผลต่อการออกดอก เช่นเดียวกัน (Fukai, 1999) โดยทั่วไปแล้วหลังจากข้าวกำเนิดรวง (Panicle initiation) ได้ประมาณ 30-35 วัน ข้าวจะออกดอก ถ้าได้รับอุณหภูมิต่ำจะทำให้การออกดอกของข้าวล่าช้าออกไปและในทางตรงกันข้าม ถ้าอุณหภูมิสูงจะเร่งให้ข้าวออกดอกเร็วขึ้น (Vergara and Chang, 1985) นอกจากนั้นแล้ว การที่ข้าวได้รับอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปในระยะการผสมเกสรจะทำให้ข้าวมีเมล็ดลีบเพิ่มขึ้น โดยจะมีผลต่อการแบ่งเซลล์ของละอองเรณู (Nishiyama, 1984) ในส่วนของการเจริญเติบโตของข้าว อุณหภูมิต่ำจะทำให้ต้นข้าวแคระแกรน มีการเจริญเติบโตและสะสมน้ำหนักร้างน้อย ทำให้การแตกกอ ความสูงของข้าวลดลง อัตราการยึดตัวของปล้องข้าวจะลดลง (Morishima, 1984) ส่วนอุณหภูมิสูง ส่งผลทำให้ปลายใบข้าวมีสีเขียว เป็นแผลไหม้ การแตกกอและความสูงลดลง การสะสมน้ำหนักร้างลดลง (Yoshida, 1981)

2.3.6 ความชื้นสัมพัทธ์ อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตของข้าวนั้นมักจะไม่ใช่ชัดเจน เพราะจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิ ในเชิงที่กลับกันคือ เมื่อความเข้มของแสงมากและอุณหภูมิสูงมักทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อุณหภูมิเย็นในเวลากลางคืนทำให้เกิดน้ำค้างสูง จะมีผลต่อการพัฒนาของเชื้อโรคของข้าวบางชนิด เช่น โรคใบไหม้ เป็นต้น

2.3.7 ลม ลมอ่อนที่พัดถ่ายเทอยู่ตลอดเวลา (ความเร็วประมาณ 0.75-2.25 เซนติเมตรต่อวินาที) จะช่วยให้มีการถ่ายเทก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ดี ทำให้ข้าวสามารถสังเคราะห์แสงได้มากยิ่งขึ้น แต่ถ้าลมแรงจะมีผลโดยตรงทำให้ต้นข้าวหักล้มเกิดความเสียหายแก่ผลผลิตได้

## 2.4 ความสำคัญของน้ำต่อการเพาะปลูกข้าว

น้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลิตผลของข้าวมาก เนื่องจากข้าวเป็นพืชกึ่งพืชน้ำ (Semi-aquatic plant) มีความแตกต่างไปจากพืชทั่วไป มีความต้องการน้ำมากกว่าพืชชนิดอื่น (ทศนิยม, 2550) และสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำขัง (ดวงกมล และหนูเดือน, 2561) เนื่องจากรากข้าวมีคุณสมบัติพิเศษที่พืชอื่นไม่มี ที่สามารถทำให้บริเวณรากข้าว (Root rhizosphere) อยู่ในสภาพเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidized) ได้ ข้าวจึงเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดเดียวที่สามารถขึ้นในน้ำ และวิโรจน์ (2531) กล่าวว่า ข้าวเป็นพืชที่ชอบขึ้นและเจริญเติบโตในสภาพน้ำขัง เนื่องจากข้าวมีคุณลักษณะพิเศษที่สามารถทำให้บริเวณรากข้าวอยู่ในสภาพเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยออกซิเจนจากอากาศจะซึมผ่านใบและลำต้นสู่ราก โดยผ่านทางช่องว่างในชั้นเนื้อเยื่อของเปลือกนอก (Cortex) หรือโพรง (Lacuna) ซึ่งทำให้รากข้าวได้รับปริมาณออกซิเจนอย่างเพียงพอและยังสามารถส่งผ่านรากไปยังพื้นที่รอบรากข้าว (Root rhizosphere) ได้อีกด้วย ข้าวมีความสามารถเจริญเติบโตได้ในหลายระบบนิเวศ อาทิ ข้าวไร่ที่ปลูกในที่ดอน หรือข้าวนาสวนที่ปลูกในนาชลประทาน และแต่ละระบบนิเวศการปลูกข้าวของแต่ละสายพันธุ์ข้าวจะมีลักษณะการเจริญเติบโตต่างกัน ส่งผลต่อความต้องการใช้น้ำไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตาม น้ำเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวในทุกช่วงระยะการเจริญเติบโต เริ่มตั้งแต่การเตรียมดิน น้ำช่วยให้ดินอ่อนนุ่ม ร่วนซุย ง่ายต่อการเตรียมดิน และการเจริญของรากข้าว การเจริญเติบโตแตกกอจนกระทั่งข้าวสุกแก่ น้ำเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แสงและตัวนำพาแร่ธาตุไปยังส่วนต่างๆ ของต้นข้าวในการเปลี่ยนแปลงขบวนการทางสรีรวิทยา รวมทั้งลำเลียงสารอาหารที่ข้าวสร้างได้จากการสังเคราะห์แสงไปเก็บสะสมในเมล็ด ทั้งยังช่วยรักษาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว น้ำนับได้ว่ามีบทบาทที่สำคัญในการผลิตข้าว

การเจริญเติบโตและผลิตผลข้าวที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงอาจลดลงอย่างมาก เพียงต้นข้าวขาดน้ำเล็กน้อยหรือขาดน้ำในระยะเวลาหนึ่งของการเจริญเติบโต แต่ในทางตรงข้าม ข้าวที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การขาดน้ำเพียงเล็กน้อยอาจไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อผลิตผล นอกจากความอุดมสมบูรณ์ของดินจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงของผลิตผลเมื่อข้าวขาดน้ำแล้ว ช่วงระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่มีความอ่อนไหว (Sensitive) ต่อการขาดน้ำมากที่สุด คือ ช่วงรอยต่อระหว่างช่วงการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบกับระยะเจริญพันธุ์ช่วงสร้างเมล็ดผลิตผล หรือช่วงที่ข้าวเริ่มสร้างช่อดอกถึงผสมเกสร หากข้าวขาดน้ำในช่วงนี้ผลิตผลจะลดลงอย่างมาก ทั้งนี้สาเหตุใหญ่เนื่องมาจากการขาดแคลนน้ำทำให้เกิดการฝ่อลีบของเมล็ดหรือผสมไม่ติด

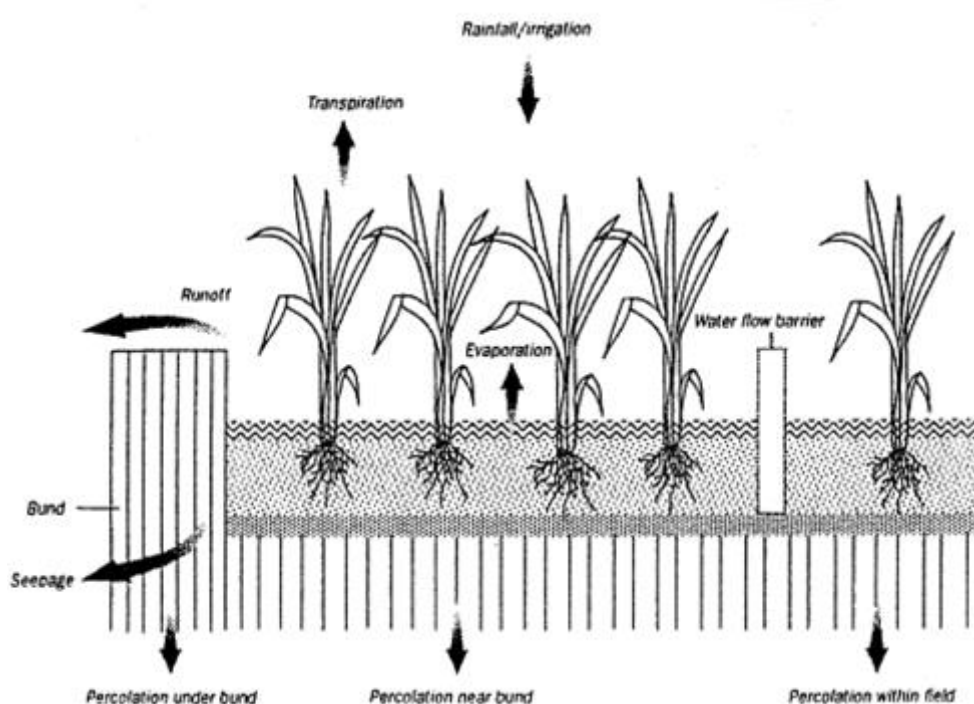
เมล็ด รวมทั้งปริมาณน้ำหนักแห้ง (Total dry matter) อาจมีปริมาณลดลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ขาดน้ำในช่วงระยะเวลาวิกฤตน้ำที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของข้าวดังกล่าว

การเพาะปลูกข้าวในประเทศไทยมีวิธีการเพาะปลูกข้าวแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้น้ำซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบนิเวศ คือระบบการใช้น้ำฝนและระบบใช้น้ำชลประทาน โดยเฉพาะการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่เขตเกษตรน้ำฝนนั้น การควบคุมปริมาณน้ำหรือจัดการน้ำในแปลงนาให้มีความสัมพันธ์กับช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าวทำได้ยาก เกษตรกรผู้ปลูกข้าวในเขตเกษตรน้ำฝนจะต้องทราบและศึกษาสภาพภูมิอากาศในพื้นที่แต่ละแหล่งปลูกเป็นอย่างดีเพื่อจัดการปลูกภายใต้ความสัมพันธ์ของดิน น้ำ พืช เป็นไปอย่างใกล้ชิดมาก เพื่อให้การผลิตข้าวที่ต้องการได้รับผลผลิตตามวัตถุประสงค์ แต่ในบางปีที่เกษตรกรประสบปัญหาสภาพอากาศแปรปรวนของฝน เช่น ฝนตกน้อยหรือมากเกินไปหรือมีการกระจายตัวของฝนไม่สม่ำเสมอ ก็อาจส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของข้าวและมีผลทำให้ได้รับผลผลิตต่ำ แม้แต่ในเขตชลประทานในบางปีที่มีปริมาณน้ำต้นทุนน้อย การผลิตข้าวนาปรังที่อยู่ในเขตชลประทานย่อมได้รับผลกระทบเช่นเดียวกัน ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวนาชลประทานประมาณ 15 ล้านไร่ แต่มีเพียงไม่กี่ล้านไร่เท่านั้นที่มีศักยภาพได้รับน้ำชลประทานอย่างสมบูรณ์และไม่มีปัญหาการขาดแคลนน้ำในระหว่างฤดูปลูก ดังนั้น น้ำจึงเป็นปัจจัยการผลิตข้าวขั้นพื้นฐานที่สำคัญ ซึ่งเกษตรกรจะต้องมีน้ำใช้สำหรับการเพาะปลูกข้าวในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพการเพาะปลูกและผลผลิตที่ดี

## 2.5 ความต้องการน้ำชลประทานเพื่อการเพาะปลูกข้าว

ปริมาณน้ำการใช้น้ำของข้าว (Water consumptive use of rice crop หรือ Consumptive Water Use, CWU) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ข้าวมีความต้องการใช้จริงสำหรับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต โดยหลักการปริมาณน้ำจำนวนนี้เป็นผลรวมของการใช้น้ำและสูญเสียน้ำจากการคายน้ำของต้นข้าว (Transpiration, T) และการระเหยน้ำไปจากผิวดินผิวน้ำ (Evaporation, E) สู่อากาศในรูปของไอน้ำ ซึ่งการใช้น้ำของข้าวทั้งการคายน้ำและระเหยน้ำจะเกิดควบคู่กันไปและไม่สามารถจะแบ่งแยกได้ว่าเกิดจากกระบวนการไหนมากกว่ากันเท่าใด แต่มีผู้ประมาณว่าการระเหยน้ำจากดินและการคายน้ำจากพืชเกิดพร้อมกันและมีอัตราการใช้น้ำอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน (ธวัชชัย, 2526) จึงนิยมเรียกการใช้น้ำรวมทั้งสองกระบวนการนี้ว่า “ศักย์การคายระเหย” (Evapotranspiration, ET) นอกจากนี้ จากการศึกษาของ ธวัชชัย (2526) รายงานว่า การคายระเหยน้ำจากแปลงเพาะปลูกในฤดูกาลหนึ่ง ๆ จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นกับช่วงเวลาของฤดูกาล, สภาพดินฟ้าอากาศ, ปริมาณน้ำ, ชนิดพืชปลูก, คุณสมบัติของดิน และการดูแลบำรุงรักษาการเพาะปลูกข้าวในปีฤดูปลูกปีนั้น โดยปกติ

การคายระเหยจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.1-1.0 เซนติเมตรต่อวัน นอกจากนี้ ยงยศ (2537) ได้สรุปค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าวในนาปรังดินเหนียวเขตภาคกลาง หรือ ET ในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.9 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 4.3 มิลลิเมตรต่อวัน เนื่องจากในฤดูฝนมีปริมาณฝนใช้การที่ต้นข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่า ส่วนค่าการคายระเหยจะมีค่าน้อยไม่เท่ากันในแต่ละช่วงระยะเวลาในฤดูปลูก โดยเฉพาะช่วงคาบเกี่ยวระหว่างระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและระยะการเจริญเติบโตทางด้านเจริญพันธุ์ ซึ่งตรงกับระยะข้าวเริ่มกำเนิดช่อดอก (Panicle initiation) จะมีอัตราการคายระเหยน้ำมากที่สุด และถือเป็นช่วงระยะเวลาวิกฤตที่ข้าวขาดน้ำไม่ได้ และเกิดผลกระทบต่อผลผลิตอย่างรุนแรงถ้าหากข้าวขาดน้ำในช่วงเวลานี้



ภาพที่ 8 แสดงระบบนิเวศของการใช้น้ำในนาข้าว

ที่มา: Liu *et al.* (2001)

การคำนวณการใช้น้ำของพืชในประเทศไทยนิยมใช้การคำนวณด้วย Penman-Monteith formula เป็นสมการที่องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) แนะนำให้ใช้ ประเมินค่าการใช้น้ำของพืชมากกว่าสมการอื่น ๆ เหตุผลสำคัญคือสมการนี้ได้รวบรวมองค์ประกอบตัวแปรอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการใช้น้ำมาอยู่ในสมการอย่างสมบูรณ์ ได้แก่ รังสี

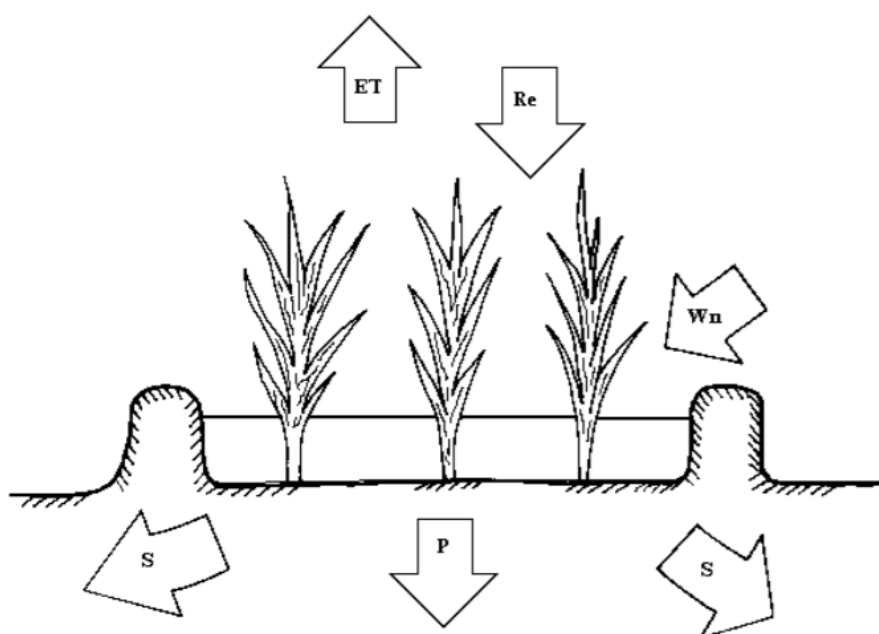
แสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นอากาศ และความเร็วลม นอกจากนี้ วิธีการสร้างสมการตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับกันมากกว่าสูตรการคำนวณอื่น ๆ แสดงได้ดังสมการ ดังนี้

$$ET = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)}$$

เมื่อ	ET	คือ	ปริมาณการใช้น้ำของพืช (mm day <sup>-1</sup> )
	R <sub>n</sub>	คือ	รังสีแสงอาทิตย์สุทธิ (MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )
	G	คือ	ปริมาณความร้อนในดิน (MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )
	T	คือ	อุณหภูมิอากาศ (°C)
	u <sub>2</sub>	คือ	ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2 เมตรจากผิวดิน (m s <sup>-1</sup> )
	e <sub>s</sub>	คือ	ความดันไอน้ำอิ่มตัว (kPa)
	e <sub>a</sub>	คือ	ความดันไอน้ำในอากาศ (kPa)
	e <sub>s</sub> - e <sub>a</sub>	คือ	ค่าความต่างระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัวกับความดันไอน้ำในอากาศ (kPa)
	Δ	คือ	ความชัน (slope) ของโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิตกับความดันไอน้ำ (kPa °C <sup>-1</sup> )
	γ	คือ	ค่าคงที่ของ psychometric (kPa °C <sup>-1</sup> )

การปลูกข้าวที่มีลักษณะนิเวศการปลูกในนาข้าว ยังมียังมีน้ำอีกส่วนหนึ่งซึ่งสูญเสียไปเนื่องจากการซึมลงลึก (Percolation, P) และการรั่วซึมทางด้านข้าง (Seepage, S) ถือน้ำส่วนนี้เป็นปริมาณการใช้น้ำของข้าวด้วย การสูญเสียน้ำจากการซึมลงลึกและซึมด้านข้างมีปริมาณค่อนข้างมากตามรายงานของ ขงยศ (2537) สรุปว่าในนาดินเหนียวภาคกลางมีค่าการซึมลงลึกหรือค่า P อยู่ระหว่าง 1.0-2.0 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วน ศจี (2537) รายงานจากการศึกษาปริมาณการใช้น้ำของข้าวในภาคกลาง 17 จังหวัด มีอัตราการซึมลงลึก, การรั่วซึมทางด้านข้าง และการสูญหายของน้ำนอกเหนือจากการคายระเหย มีค่าเฉลี่ย 1.5 มิลลิเมตรต่อวัน ดังนั้น ปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวจึงต้องรวมการสูญเสียน้ำจากการซึมลงลึกและการรั่วซึมทางด้านข้างด้วย โดยรวมเรียกว่าเป็นความต้องการน้ำในแปลงปลูก (Water requirement) เท่ากับ ET+P+S ในกรณีที่แปลงนาที่อยู่ข้าง ๆ มีน้ำข้างเหมือนกัน การรั่วซึมทางด้านข้างจะมีค่าไม่มาก

ค่าปริมาณฝนใช้การ (Effective rainfall, Re) หรือปริมาณฝนที่สามารถนำมาใช้แทนน้ำชลประทานได้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ปริมาณฝนใช้การสำหรับข้าวและปริมาณฝนใช้การสำหรับพืชไร่ สำหรับปริมาณฝนใช้การสำหรับเพาะปลูกข้าว ขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตกในช่วงฤดูปลูก สำหรับการเพาะปลูกข้าวนาปรังในฤดูแล้งส่วนใหญ่ถือได้ว่าฝนที่ตกช่วงฤดูปลูกสามารถนำมาใช้การได้ทั้งหมด



ภาพที่ 9 แสดงองค์ประกอบสมดุลของน้ำในนาข้าว

ที่มา: วราวุธ (2544)

เนื่องจากสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อการใช้น้ำ การสูญเสียน้ำและปริมาณฝนใช้การในแปลงนาข้าวต่างกันออกไป ดังนั้นการหาความต้องการใช้น้ำชลประทานสุทธิ (Net irrigation water requirement,  $W_n$ ) จะใช้หลักการสมดุลของน้ำ (Water balance) ในการหาความต้องการน้ำชลประทานสำหรับนาข้าว ซึ่งมีตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังแสดงในภาพที่ 9 และสามารถเขียนสมการแสดงความสมดุลของน้ำในแปลงนาได้ ดังนี้

$$W_n = ET + P + S - Re$$

เมื่อ	$W_n$	คือ	ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ ( $\text{mm day}^{-1}$ )
	ET	คือ	ปริมาณการใช้น้ำของข้าว ( $\text{mm day}^{-1}$ )
	P	คือ	การซึมลงลึก ( $\text{mm day}^{-1}$ )
	S	คือ	การรั่วซึมทางด้านข้าง ( $\text{mm day}^{-1}$ )
	Re	คือ	ปริมาณฝนใช้การ ( $\text{mm day}^{-1}$ )

จากข้อมูลองค์ประกอบสมดุลของน้ำในนาข้าวที่ได้กล่าวมาแล้ว สรุปได้ว่า ความต้องการน้ำชลประทานในแปลงนาข้าว หมายถึง ปริมาณการใช้น้ำของข้าวรวมการสูญเสียน้ำจากการซึมลงลึกและการรั่วซึมทางด้านข้างในแปลงนาหักลบด้วยปริมาณฝนใช้การ (วราวุธ, 2544) โดยปกติข้าวมีความต้องการใช้น้ำน้อยในช่วงเริ่มต้นการเพาะปลูกเพราะมีอัตราการคายน้ำต่ำในช่วงแรก เนื่องจากข้าวยังมีพื้นที่ใบมีน้อย และจะเพิ่มสูงขึ้นในระยะข้าวแตกกอ ตั้งท้อง ออกดอก ซึ่งมีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นและแผ่กางเต็มที่ การคายน้ำของข้าวจะลดลงช่วงข้าวสุกแก่ ส่วนการสูญเสียน้ำจากการระเหยจากผิวดินและผิวน้ำจะเกิดขึ้นมากในระยะเริ่มการเพาะปลูกและค่อย ๆ ลดลง (กรมการข้าว, ม.ป.ป.)

การจัดการน้ำให้สัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของข้าว ได้แบ่งออกเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ดังนี้ ระยะกล้า หรือระยะ 7-10 วันหลังปักดำ ข้าวมีความต้องการน้ำค่อนข้างน้อย มีความต้องการเพื่อการบังคับให้รากกล้างอก การพัฒนาของรากข้าวจะมีผลกระทบจากการขาดออกซิเจนมากกว่า แต่การควบคุมระดับน้ำในนาช่วงระยะแรก จะมีผลดีและส่งเสริมการใช้น้ำปัจจัยการผลิตในด้านการจัดการผลิตด้านอื่น ๆ เช่น กำจัดวัชพืช และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำปุ๋ยเคมี

ปริมาณน้ำที่ข้าวต้องการสำหรับการตกกล้า มีความต้องการน้ำในการเตรียมแปลงกล้า ประมาณ 150-200 มิลลิเมตร และต้องการอีกประมาณ 250-400 มิลลิเมตร สำหรับการหล่อเลี้ยงกล้า นาน 20-30 วัน (อัตราเพาะกล้า 100 ตารางเมตร เพื่อปักดำในพื้นที่นา 1 ไร่)

ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับเตรียมแปลงปลูก มีความต้องการน้ำในการเตรียมดิน ประมาณ 250-350 มิลลิเมตร ขึ้นกับชนิดของดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำและประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำ น้ำเตรียมแปลงช่วยให้ดินอ่อนตัว การปฏิบัติงานตามขั้นตอนของการเตรียมดินเป็นไปได้ง่าย ข้าวทั่วไปที่ปลูกในประเทศไทยจะมีช่วงการเจริญเติบโตประมาณตั้งแต่ 110-120 วัน และลดลง 10-20 วันสำหรับข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น ปริมาณการใช้น้ำขึ้นกับการจัดการน้ำที่ต้องการส่งน้ำในนา, ชนิดของดิน และการระเหยน้ำ โดยทั่วไปตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว

มีความต้องการน้ำประมาณ 800-1200 มิลลิเมตร (6-10 มิลลิเมตรต่อวัน) ปกติเกษตรกรไทยจะขังน้ำประมาณ 15-20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ถ้าสามารถจัดการน้ำได้

**ตารางที่ 1** ปริมาณการใช้น้ำของข้าวตามช่วงอายุข้าวตลอดฤดูปลูก (นาคำ)

ช่วงการเจริญเติบโต	จำนวนวัน	ปริมาณการใช้น้ำ	ปริมาณการใช้น้ำรวม
		รวมค่าการซึมลึก (มิลลิเมตร)	ค่าการซึมลึก (ลูกบาศก์เมตร/ไร่)
1. ระยะตั้งตัว (ปักดำ-แตกกอ)	8	55.84	89.34
2. ระยะแตกกอ	30	242.03	387.25
3. ระยะตั้งท้องออกดอก	25	236.35	378.16
4. ระยะสร้างผลผลิต	20	160.62	256.99
5. ระยะข้าวแก่	10	59.82	95.71
รวม	93	754.22	1,207.45

**ที่มา:** กรมวิชาการเกษตร (2547)

ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (เริ่มแตกกอ-แตกกอสูงสุด) ข้าวที่มีการแตกกอมาก ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่นำไปสู่ผลผลิตสูง หลังจากปักดำควรให้น้ำในแปลงอย่างเพียงพอเพื่อช่วยให้รากข้าวเจริญเติบโตแผ่ขยายทั้งในแนวราบและแนวตั้งภายหลังการพัฒนาของรากในระยะกล้า เพื่อช่วยให้ข้าวมีระบบรากแข็งแรง แตกกอได้ดีในแปลงนามีน้ำค่อนข้างน้อย การเจริญเติบโตของรากในแนวตั้งจะมีมากกว่าในแปลงนามีน้ำมากเกินไป ส่งผลทำให้ข้าวจะมีลำต้นสูงและมีอัตราการแตกกอต่ำ ใบมีสีเขียว อ่อนแอ ใบเปล่งน้ำ หักล้มได้ง่าย

ระยะการเจริญเติบโตทางด้านการเจริญพันธุ์ (สร้างรวงอ่อน-ออกดอก และสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ด) ระยะนี้เป็นช่วงที่ข้าวต้องการน้ำมากและเป็นช่วงวิกฤตที่ข้าวจะขาดน้ำไม่ไ้จะเกิดผล กระทบอย่างรุนแรงต่อผลผลิต เนื่องจากมีอัตราเมล็ดสีสูงมาก (มีน้ำ) แต่ถ้าข้าวได้รับน้ำมากเกินไปในระยะข้าวตั้งท้อง ต้นข้าวจะอ่อนและหักล้มง่ายซึ่งมีผลต่อผลผลิตเช่นเดียวกัน ถ้าการหักลมนั้นเกิดขึ้นในช่วงข้าวออกดอกและกำลังพัฒนาเมล็ด



ระยะสุกแก่ (ก่อนการเก็บเกี่ยว 1-2 สัปดาห์) เมล็ดข้าวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ข้าวไม่ต้องการน้ำ การระบายน้ำออกจากแปลงก่อนการเก็บเกี่ยว 10-15 วัน จะช่วยเร่งให้ข้าวสุกแก่สม่ำเสมอ และพืชนาแห้งเหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักรกล และทำให้มีอัตราการสูญเสียผลผลิต จากการเก็บเกี่ยวลดน้อยลง ปริมาณน้ำที่ข้าวต้องการในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตทั้งหมด รวมทั้งน้ำที่ใช้ในการตกกล้า เตรียมแปลงปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยว ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ หลายประการ ตั้งแต่ ฤดูกาลปลูก, ชนิดของดิน, ความอุดมสมบูรณ์ของดิน, ความลาดเทของพื้นที่, อัตราการสูญเสียน้ำ, ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน, พื้นที่ปลูกข้าว, ประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำ, ประเภทของข้าว, ระยะการเจริญเติบโตของข้าว, วิธีเตรียมดิน, วิธีปลูกและการระบายน้ำ

## 2.6 วิธีการทำนาในเขตชลประทาน

วิธีการปลูกข้าวในเขตนาชลประทานของประเทศไทย โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 วิธีหลัก ได้แก่

2.6.1 วิธีการปลูกข้าวนาดำ (Transplanting rice method) หมายถึง การปลูกข้าวนาดำในสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำขัง โดยใช้กล้าข้าวทำการปักดำลงไปดินนา แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการตกกล้า (เพาะกล้า) ในแปลงขนาดเล็ก ขั้นตอนที่สองได้แก่การถอนกล้าหรือย้ายกล้าไปปักดำในแปลงนาที่ได้เตรียมพื้นที่ไว้แล้ว โดยทั่วไปขั้นตอนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

ก. การเตรียมดิน พื้นที่ที่จะทำการปักดำจะต้องมีการไถตะไถแปรและคราด เอาเศษพืชจากนาออกไป เดิมเกษตรกรใช้ควาย วัว ปัจจุบันมีรถไถขนาดเล็กเรียกว่าควายเหล็กหรือรถไถเดินตาม นาโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็นแปลงเล็ก ๆ มีขนาดประมาณ 1 ไร่ หรือเล็กกว่า คันนามีไว้สำหรับเก็บกักน้ำ หรือปล่อยน้ำทิ้งจากแปลงนา ก่อนไถต้องรอให้ดินมีความชื้นพอที่จะไถได้เสียก่อน อาจจะรอให้ฝนตกหรือปล่อยน้ำเข้าไปในแปลง การไถตะไถแปร หมายถึง การไถครั้งแรกเพื่อทำลายวัชพืชในนาและพลิกกลับหน้าดิน ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ จึงทำการไถแปร ซึ่งหมายถึงการไถเพื่อตัดกับรอยไถตะไถแปร ทำให้รอยไถตะไถแปรแตกเป็นก้อนเล็ก ๆ จนวัชพืชออกจากดิน การไถแปรอาจจะไถมากกว่าหนึ่งครั้งก็ได้ขึ้นอยู่กับระดับน้ำและปริมาณวัชพืช หลังจากไถแปรแล้วควรทำคราดหน้า การคราดนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อเอาวัชพืชออกจากในนา การเตรียมพื้นที่ที่ดีจะปรับให้พื้นที่สม่ำเสมอ จะเป็นการดีสำหรับให้ระดับน้ำมีมาสม่ำเสมอในแปลง หากพื้นที่ไม่สม่ำเสมอพื้นที่สูงจะมีวัชพืชขึ้นและเป็นที่พักพิงของหนูทำลายข้าวในระยะต่อมา

ข. ขั้นการตกกล้า การตกกล้า หมายถึง การเอาเมล็ดไปหว่านในหิ้งอกและเจริญเติบโตขึ้นมาเป็นต้นกล้า สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตกกล้าในดินเปียกคือตกกล้าบนเทือก การตกกล้าในดินแห้งจะตกกล้าในพื้นที่คอนที่มีการปรับที่เรียบร้อยแล้ว เมล็ดพันธุ์ที่เอามาตกกล้าจะต้องเป็นเมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์ปราศจากเชื้อโรคต่าง ๆ การแยกเอาเมล็ดสมบูรณ์ ทำได้โดยใส่เมล็ดพันธุ์ในน้ำเกลือที่มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.08 (น้ำสะอาด 1 ลิตร ผสมเกลือแกง 1.7 กก. วัตถุประสงค์จากไข่เริ่มลอย) เมล็ดสมบูรณ์จะจมก้น ส่วนเมล็ดไม่สมบูรณ์จะลอย และตักออก เอาเมล็ดที่ต้องการใส่ถุงผ้าไปแช่ในน้ำนาน 12-24 ชั่วโมง แล้วนำมาฝังบนกระดานที่มีลมถ่ายเทสะดวก เอาผ้าหรือกระสอบเปียกน้ำคลุมไว้ 36-48 ชั่วโมง หลังจากนั้นเมล็ดข้าวจะงอก จึงเอาไปหว่านบนแปลงกล้าเปียกที่ได้เตรียมไว้ สำหรับตกกล้าในดินแห้งนั้นจะทำการหว่านเมล็ดบนแปลงกล้าที่เปิดเป็นร่องเป็นแถวแล้วกลบ อาจจะมีการรดน้ำช่วยให้ข้าวงอกเร็วขึ้นผ้าฝนไม่ตก โดยปกติใช้เมล็ดพันธุ์จำนวน 40-50 กก. ต่อเนื้อที่แปลงกล้าหนึ่งไร่ เมื่อกล้ามีอายุครบ 25-30 วันนับจากวันหว่านเมล็ดจะถอนต้นกล้าไปปักดำ

ค. ขั้นการปักดำ ใช้ต้นกล้าอายุ 15-20 วัน โดยถอนต้นกล้าจากแปลงแล้วมัดรวมกันเป็นมัด ๆ ถ้าต้นกล้าสูงมากก็ให้ตัดปลายใบทิ้ง นำไปปักดำในที่นาที่เตรียมไว้ ซึ่งควรมีน้ำขังอยู่ประมาณ 5 เซนติเมตร เพราะช่วยค้ำต้นข้าวไม่ให้ล้มได้เมื่อมีลมพัด ทำการปักดำเป็นแถวโดยใช้กล้า 2-3 ต้นต่อกอ ปลูกให้มีระยะห่างระหว่างแถวหรือกอไม่น้อยกว่า 20-25 เซนติเมตร

2.6.2 วิธีการปลูกข้าวนาหว่าน (Sowing, Broadcasting or Direct seeded rice method) หมายถึง การปลูกข้าวนาสวนในสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำขัง โดยใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวหว่านในพื้นที่แปลงนาเป็นการปลูกข้าวโดยการหว่านเมล็ดพันธุ์หว่านลงไปในพื้นที่นาที่ได้เตรียมไว้ พื้นที่ที่ทำข้าวนาหว่านนั้นมีการไถตะไถแปร โดยจะมีการไถพื้นที่พลิกดินไว้ก่อน 1-2 เดือน เพื่อรอฝน เมื่อฝนเริ่มมาจึงทำการหว่าน การหว่านมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การหว่านสำรวย หว่านคราด กลบหรือไถกลบ การหว่านหลังขี้ไถ และการหว่านน้ำตม

ก. การหว่านสำรวย หลังจากเตรียมดินโดยการไถตะไถแปรแล้วนำเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เพาะในหิ้งอกหว่านลงไปโดยตรง ปกติใช้เมล็ดพันธุ์ 1-2 ถังต่อไร่ (1 ถังข้าวเปลือก = 10 กก.) เมล็ดพันธุ์ที่หว่านจะตกอยู่ตามซอกก้อนดินและรอยไถ เมื่อฝนตกลงมา เมล็ดได้รับความชื้นก็จะงอก การหว่านแบบนี้ใช้กับดินที่มีความชื้นเพียงพออยู่แล้ว

ข. การหว่านคราดกลบหรือไถกลบ กระทำเช่นเดียวกับการหว่านสำรวย แต่ใช้คราดหรือไถเพื่อกลบเมล็ด หากดินมีความชื้นอยู่แล้วเมล็ดก็จะเริ่มงอกทันที ต้นกล้าที่ขึ้นมาโดยวิธีนี้จะตั้งตัวได้ดีกว่า

ค. การหว่านน้ำตม การหว่านแบบนี้นิยมใช้ในพื้นที่ที่มีน้ำขังประมาณ 3-5 เซนติเมตร การเตรียมดินเหมือนการเตรียมดินทำนาดำดังกล่าวแล้ว หลังจากดินตกตะกอนเป็นน้ำใสแล้ว จึงเอาเมล็ดพันธุ์จำนวน 1-2 ถังต่อไร่ เพาะในหังอกแล้วหว่านลงไป แล้วไขน้ำออกเมล็ดจะเจริญเติบโตเป็นต้นข้าว การหว่านข้าวแบบนี้จะต้องมีการปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอ และมีการควบคุมน้ำได้

นอกจากวิธีทำนาแบบนาดำและนาหว่านที่นิยมทำในเขตชลประทานแล้ว ยังมีวิธีการทำนาที่ได้รับการส่งเสริมหรือภูมิปัญญาท้องถิ่นในแต่ละพื้นที่นาชลประทานทั่วประเทศ อาทิเช่น วิธีการทำนาแบบนาโยนกล้า และวิธีการทำนาหยอด

## 2.7 วิธีการจัดสรรน้ำแก่แปลงนาข้าวชลประทาน

การจัดสรรน้ำให้พืชทำได้หลายวิธี เช่น วิธีให้น้ำทางผิวดิน ใต้ดิน ฉีดฝอย และระบบน้ำหยด แล้วแต่เกษตรกรผู้ปลูกจะเลือกวิธีการจัดการน้ำแบบไหนหรืออย่างไร และที่สำคัญคือปริมาณน้ำต้นทุนจะมีปริมาณเพียงพอต่อการให้น้ำแก่พืชตลอดฤดูปลูกหรือไม่ ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความต้องการใช้น้ำและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้การจัดสรรน้ำที่เกิดประสิทธิภาพคุ้มค่ากับการค่าใช้จ่ายที่สุดสำหรับประเทศไทยมีวิธีการจัดสรรน้ำและปฏิบัติกันมากในเขตชลประทานที่ควบคุมน้ำได้คือ วิธีการให้น้ำบนผิวดิน (Surface irrigation) วิธีการให้น้ำแบบนี้แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ แบบท่วมผิวดินเป็นผืนใหญ่ (Flooding) ที่นิยมใช้กับข้าวหรือพืชที่ทนทานน้ำท่วมขัง และวิธีการให้น้ำแบบท่วมเฉพาะร่อง (Furrow) ที่นิยมใช้กับพืชไร่ พืชผัก หรือไม้ผล การให้น้ำบนผิวดินมีข้อดี คือ สามารถให้น้ำแก่พืชในระยะสั้น ๆ ทำให้คล่องตัว โดยใช้เวลาเพียง 1-2 วัน กรณีที่พืชมีความต้องการน้ำมากเป็นพิเศษและใช้ได้กับพืชทุกชนิด ค่าใช้จ่ายต่ำเนื่องจากปล่อยน้ำไหลจากที่สูงลงที่ต่ำ ไม่ต้องอาศัยเครื่องสูบน้ำ ความเสียหายต่อพืชเกิดขึ้นได้ยาก แต่พื้นที่ที่จัดการน้ำแบบนี้ต้องมีความราบเรียบสม่ำเสมอและลาดเทที่เหมาะสม ขณะเดียวกันต้องมีแหล่งน้ำสมบูรณ์ บางพื้นที่มีปัญหาการระบายน้ำและอาจจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายและแรงงานในการจัดการค่อนข้างมาก

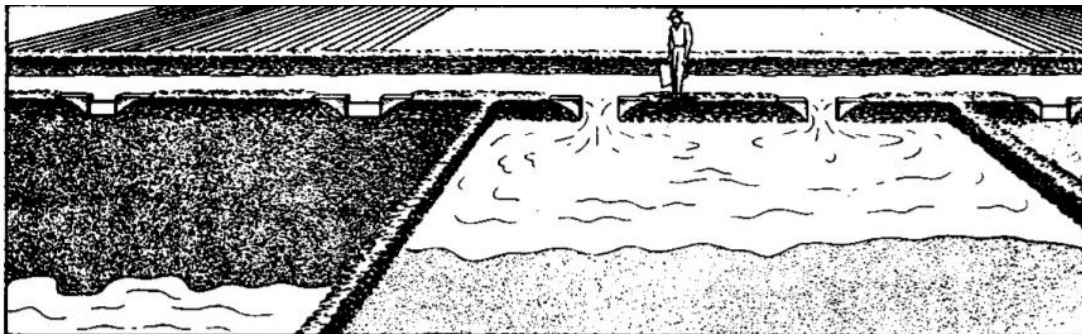


ภาพที่ 10 การให้น้ำชลประทานแบบท่วมผิวดินเป็นผืนใหญ่ (Flooding)

ที่มา: วิบูลย์ (2526)

สำหรับวิธีการจัดสรรน้ำในนาข้าวเป็นรูปแบบการให้น้ำแบบท่วมผิวดินเป็นผืนใหญ่ ซึ่งการให้น้ำแบบนี้ ยังสามารถจำแนกวิธีการออกไปได้อีก 4 วิธีการ คือ

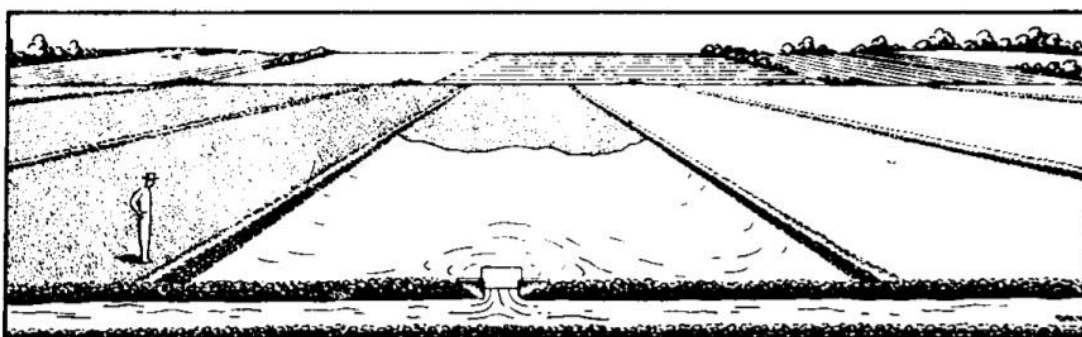
2.7.1 วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนยาว (Graded border method) การให้น้ำโดยวิธีนี้ทำโดยเปิดให้น้ำเข้าไปท่วมผิวดินในแปลงโดยมีคันดินขนาดเล็กสองคันซึ่งมีแนวตรงและขนานกันคอยควบคุมให้น้ำท่วมอยู่ในพื้นที่ที่ต้องการให้น้ำ พื้นที่ระหว่างคันดินจะมีความลาดเทไปในแนวเดียวกับคันดิน และไม่มีหรือมีความลาดเทในแนวตั้งฉากกับคันดินน้อยมาก การให้น้ำซึ่งทำโดยการเปิดให้น้ำไหลเข้าทางหัวแปลงจะต้องมีอัตราสูงมากพอที่จะให้น้ำแผ่กระจายออกไปเต็มความกว้าง แต่จะต้องไม่สั่นข้ามคันดิน ในกรณีที่มีความลาดเทของแปลงค่อนข้างชันก็อาจจะต้องปรับพื้นที่บริเวณหัวแปลงให้ราบกว่าในแปลงเล็กน้อย เพื่อให้น้ำแผ่กระจายออกเต็มความกว้างได้เร็วขึ้น อัตราการให้น้ำที่พอเหมาะอาจจะประมาณได้โดยการหาปริมาณน้ำที่จะต้องให้กับแปลงนา ด้วยระยะเวลาที่ดินจะดูดซึมน้ำเข้าไปเท่ากับความลึกของน้ำที่ต้องการจะให้ เช่น สมมุติว่าแปลงหนึ่งมีพื้นที่ 1 ไร่ หรือ 1,600 ตารางเมตร ต้องการให้น้ำลึก 80 มิลลิเมตร ดังนั้น ปริมาตรของน้ำที่จะต้องส่งเข้าแปลงจะเท่ากับ  $1,600 \times 0.08$  หรือ 128 ลูกบาศก์เมตร สมมุติว่าถ้าจะให้น้ำซึมลงไปดินลึก 80 มิลลิเมตร จะต้องใช้เวลานาน 4 ชั่วโมง ดังนั้นควรจะส่งน้ำเข้าแปลงด้วยอัตรา  $128/4 = 32$  ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือประมาณ 9 ลิตรต่อวินาที เป็นต้น



ภาพที่ 11 การให้น้ำชลประทานแบบน้ำท่วมเป็นฝั้นยาว (Graded border method)

ที่มา: วิบูลย์ (2526)

2.7.2 วิธีให้น้ำท่วมเป็นฝั้นราบ (Level border method) การให้น้ำวิธีนี้จะให้น้ำท่วมแปลงเพาะปลูกซึ่งราบหรือค่อนข้างราบและมีคันดินล้อมรอบอยู่ อัตราการให้น้ำจะต้องสูงเพื่อให้ น้ำแผ่ออกไปท่วมทั้งแปลงในระยะเวลาอันสั้น วิธีการให้น้ำท่วมเป็นฝั้นราบบางครั้งเรียกว่า ท่วมเป็นอ่าง (Basin) กล่าวคือ ความกว้างกับความยาวของแปลงมักจะมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่ถ้าเป็นแบบท่วมเป็นฝั้นราบ ด้านยาวจะยาวกว่าด้านกว้างมาก อัตราการให้น้ำสำหรับวิธีนี้ไม่ควรจะน้อยกว่าสองเท่าของค่าเฉลี่ยของอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินถ้าพื้นที่ภายในเป็นแปลงราบ การเปิดน้ำเข้าแปลงนาจะทำทางเข้าด้านใดด้านหนึ่งหรือจะเปิดให้เข้าพร้อมกันที่หลายด้านก็ได้ แต่ถ้าหากพื้นมีความลาดเทอยู่บ้างการเปิดน้ำเข้าก็ควรจะทำจากด้านที่มีระดับสูงกว่า



ภาพที่ 12 การให้น้ำชลประทานแบบน้ำท่วมเป็นฝั้นราบ (Level border method)

ที่มา: วิบูลย์ (2526)

2.7.3 วิธีให้น้ำท่วมเป็นฝืนตามแนวเส้นของเนิน (Contour levee method) การให้น้ำวิธีนี้ คัดแปลงมาจากแบบท่วมเป็นฝืนราบ (Level border) โดยการเปลี่ยนแนวคันดินให้มาอยู่ในแนวเส้น ขอบเนิน (Contour lines) การให้น้ำแก่แปลงจะต้องให้ด้วยอัตราที่มากกว่าอัตราการซึมผ่านผิวดิน โดยให้น้ำนั้นแผ่กระจายออกไปปกคลุมพื้นที่ในแปลงทั้งหมดในระยะเวลาอันสั้น และปล่อยให้ น้ำซึมลงไปในดินจนกระทั่งได้ความลึกตามที่ต้องการ ถ้าหากเป็นพืชที่ไม่ใช่ข้าวก็จะระบายน้ำออก หลังจากทีให้น้ำตามที่ต้องการแล้ว ขนาดของแปลงที่ใช้จะขึ้นอยู่กับอัตราการส่งน้ำที่ได้รับจาก โครงการชลประทานหรือจากขนาดของเครื่องสูบน้ำ อัตราการซึมของน้ำผ่านดินและลักษณะภูมิ ประเทศของพื้นที่ อัตราการให้น้ำเพื่อให้ท่วมทั่วทั้งแปลงอย่างรวดเร็วนั้น โดยทั่วไป จะใช้ประมาณ 6 ลิตรต่อวินาทีต่อพื้นที่ 1 ไร่ การให้น้ำจะเริ่มต้นจากแปลงที่อยู่สูงกว่าเสียก่อน โดยขังน้ำให้มีความ ลึกเหนือผิวดินตามที่ต้องการ ส่วนที่มากเกินพอก็จะไหลล้นข้ามฝายเล็ก ๆ ซึ่งจัดไว้ไปเข้าแปลงที่ อยู่ต่ำกว่าถัดลงมา ถ้าหากไม่มีฝายควบคุมความลึกของน้ำในแปลง เมื่อให้น้ำในแปลงแรกตาม ขนาดที่ต้องการแล้วก็ระบายน้ำที่เหลือลงสู่แปลงถัดมา



ภาพที่ 13 การให้น้ำชลประทานแบบน้ำท่วมฝืนตามแนวเส้นของเนิน (Contour levee method)

ที่มา: วิบูลย์ (2526)

2.7.4 วิธีให้น้ำท่วมจากคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour ditch method) วิธีให้น้ำท่วม จากคูตามแนวเส้นขอบเนิน เป็นการให้น้ำท่วมผิวดินแบบที่มีการควบคุมแบบหนึ่ง โดยการให้น้ำ ไหลล้นจากร่องน้ำเล็ก ๆ ซึ่งอยู่ในแนวขนานกับเส้นขอบเนิน การส่งน้ำเข้าไปในคูให้น้ำทำโดยปิด กั้นคูส่งน้ำด้วยฝายชั่วคราวหรืออาคารทดน้ำในไร่บางอย่างอื่น เมื่อระดับน้ำในคูส่งน้ำสูงขึ้นมันก็จะ ไหลเข้าไปในคูให้น้ำซึ่งมีช่องเปิดหรือท่อไซฟอนอยู่บนคันดินหรือคันดินที่ได้ปรับไว้ให้น้ำล้น ออกมาได้อย่างสม่ำเสมอเป็นแผ่นและไหลไปตามความลาดเทของพื้นที่ไปสู่คูให้น้ำถัดไปที่อยู่ต่ำกว่า น้ำที่ไหลลงมาจากคูให้น้ำหลังนี้ก็จะใช้ให้น้ำแก่พื้นที่ที่อยู่ถัดมา การให้น้ำแก่พื้นที่ระหว่างร่องน้ำ

อาจจะแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ จนกว่าจะหมดแล้วจึงย้ายไปให้น้ำแก่พื้นที่ระหว่างร่องน้ำที่อยู่ในระดับต่ำกว่าถัดมา ความกว้างของพื้นที่ที่แบ่งออกเป็น ส่วน ๆ นี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดของคูให้น้ำและอัตราการให้น้ำที่ใช้ ส่วนระยะระหว่างคูให้น้ำตามแนวสันขอบเนินนั้นจะขึ้นอยู่กับความลาดเทของพื้นที่ อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินและความลึกของน้ำที่ต้องการจะให้แต่ละครั้ง



ภาพที่ 14 การให้น้ำชลประทานแบบท่วมจากคูตามแนวสันขอบเนิน (Contour ditch method)

ที่มา: วิบูลย์ (2526)

## 2.8 กำหนดการน้ำและผลการขังน้ำในแปลงนาข้าว

การจัดการให้น้ำแก่แปลงนาข้าว เป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการชลประทานระดับแปลงนา ซึ่งจะเกี่ยวข้องและมีผลกระทบโดยตรงต่อการเพาะปลูกข้าวที่ทำให้มีการเจริญเติบโตที่ดีและได้ผลผลิตสูง ตลอดจนได้รับประโยชน์จากน้ำชลประทานอย่างเต็มที่ การกำหนดการให้น้ำที่ถูกต้องเหมาะสมจำเป็นที่จะต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดิน-น้ำ และข้าวเป็นอย่างดี ต้องรู้คุณสมบัติของดินในแปลงนาเกี่ยวกับคุณสมบัติของดินที่มีขีดความสามารถอุ้มน้ำได้ของดิน ความชื้นในดินที่จะยอมให้ดินข้าวดูดน้ำเอาไปใช้ประโยชน์ ลักษณะการดูดซึมน้ำของดินและความสามารถในการระบายน้ำของดิน รวมทั้งจำเป็นจะต้องรู้ถึงปริมาณและคุณภาพน้ำชลประทาน ตลอดจนระยะเวลารอบเวรในการจัดสรรน้ำชลประทาน นอกจากนี้ จำเป็นที่จะต้องรู้คุณสมบัติบางประการของข้าว เช่น การใช้น้ำของข้าว ความสามารถในการทนแล้ง และระยะวิกฤตของข้าว ความสำเร็จหรือความล้มเหลวของการให้น้ำแก่ข้าวหรือการชลประทานระดับแปลงนาขึ้นอยู่กับผู้เกี่ยวข้องในการให้น้ำแก่แปลงนาข้าว จะมีความรู้ความเข้าใจตลอดจนมีข้อมูลเกี่ยวกับดิน-น้ำ และข้าวมากน้อยแค่ไหน การกำหนดการให้น้ำที่ไม่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาหรือไม่ตรงกับช่วงเวลาความต้องการน้ำของข้าวนอกจากจะก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์แล้ว

ยังจะก่อให้เกิดผลเสียหายแก่ข้าวและผลผลิต ตลอดจนอาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำตามมาอีกด้วย

การจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพแก่การเพาะปลูกข้าวคือการควบคุมระดับน้ำหรือความชื้นในดินบริเวณรากข้าวให้อยู่ในช่วงระหว่างความชื้นชลประทาน (Field capacity) กับจุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting point) ซึ่งเป็นระดับน้ำที่รากข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Available water) ดังนั้นการกำหนดให้น้ำ ควรเริ่มส่งน้ำก่อนต้นข้าวแสดงอาการเหี่ยวหรือมีความชื้นลดลงใกล้จุดเหี่ยวถาวร แต่จะให้น้ำในปริมาณมากเท่าไรขึ้นกับความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความสามารถในการทนทานความแห้งแล้งของต้นข้าว สภาพดินฟ้าอากาศ และปริมาณน้ำต้นทุน ซึ่งหลักการจัดการน้ำโดยทั่วไปจะยอมให้ความชื้นในดินลดลงประมาณ 50-75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้นที่ข้าวดูดซึมเอาไปใช้ได้ (Allowable soil moisture) ส่วนความชื้นที่เหลือในดินหลังจากรากข้าวดูดน้ำไปใช้หมดแล้วคือความชื้นที่จุดวิกฤต (Critical point) และการจัดการน้ำในนาข้าวชลประทานที่ควบคุมระดับน้ำในนาข้าวได้ เกษตรกรมักจะรักษาระดับน้ำในแปลงนาประมาณ 15-20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ซึ่งการรักษาระดับน้ำในนาข้าวมากในระดับน้ำนี้ เกษตรกรจะต้องใช้น้ำสำหรับทำนาต่อฤดูกาลหนึ่งอย่างน้อย 2,000 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ เป็นปริมาณน้ำที่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้น้ำและการจัดการน้ำเพื่อการเพาะปลูกพืชชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะเกินความจำเป็นต่อการใช้น้ำของข้าวและตามรายงานวิจัยในนาข้าวโดยวิธีขังน้ำในเขตพื้นที่มณฑลเจ้อเจียง ประเทศจีน โดย Liu *et al.* (2016) พบว่าการขังน้ำในนาข้าวระดับน้ำสูงไม่ได้ช่วยเพิ่มผลผลิต โดยได้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยอัตราต่ำถึงปานกลาง แต่ผลผลิตข้าวสามารถปรับปรุงได้ด้วยการบำรุงรักษาเพิ่มเติมด้วยการเสริมด้วยวัสดุอินทรีย์พิเศษจำพวกปุ๋ยชีวภาพ

แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ผลของการขังน้ำในนามีอิทธิพลต่อธาตุอาหารพืชบางธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม ซิลิกา และเหล็ก ถ้ามีการระบายน้ำที่เหมาะสมทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ เหล็ก สารประกอบ คาร์บอนบางชนิด และสารประกอบต่าง ๆ (Reducing substances) ที่เป็นพิษต่อข้าวลดลง และออกซิเจนจากบรรยากาศเข้าไปในบริเวณรากข้าว เพื่อออกซิไดซ์สารประกอบต่าง ๆ และลดความเป็นพิษของสารประกอบเหล่านี้ สอดคล้องกับรายงานของ Sari *et al.* (2021) พบว่า การขังน้ำที่ระดับ 3 เซนติเมตรในนาข้าวที่อิน โคนีเซีย มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินในระยะเริ่มแรกและระยะเก็บเกี่ยว นอกจากสามารถลดอัตราการระเหยได้อย่างมีนัยสำคัญแล้ว ยังเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ย นอกจากนี้ การขังน้ำในนาข้าวยังมีอิทธิพลต่อชนิดและปริมาณวัชพืช ถ้าสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ดินมีความชื้นและแสงแดดเพียงพอ ส่งผลทำให้วัชพืชสามารถเจริญเติบโตแข่งขันกับต้นข้าวได้ โดยเฉพาะระยะแรกของการเพาะปลูก และถ้า



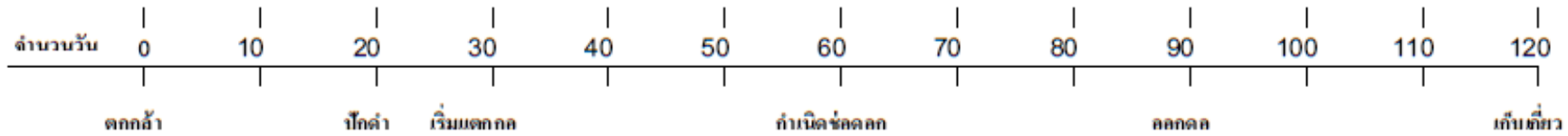
แปลงนามีการขังน้ำมากและนานเกิน หากมีจำเป็นต้องระบายน้ำระหว่างช่วงเพาะปลูก ธาตุอาหารพืชในแปลงนาก็จะถูกชะล้างจากการระบายน้ำ ทำให้เกิดการสูญหายของธาตุอาหารไปจากดินและปุ๋ยที่ใส่ลงไปเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม การขังน้ำในระดับที่เหมาะสมสามารถช่วยควบคุมวัชพืชให้มีจำนวนและจำกัดชนิดของวัชพืชให้ลดน้อยลงได้

ดังนั้น การเพาะปลูกข้าวที่มีการขังน้ำในระดับที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญ แต่การเพาะปลูกข้าวในหลายพื้นที่ชลประทานของประเทศไทย เกษตรกรยังคุ้นเคยกับการขังน้ำในแปลงนาในระดับสูงทำให้ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำในฤดูนาปรังหรือมีปริมาณน้ำมากเกินความจำเป็นในฤดูนาปี การจัดการน้ำภายใต้การจัดการผลิตที่ดีจำเป็นต้องมีการจัดการควบคุมระดับน้ำในแปลงนาให้มีความพอดีไม่มีระดับสูงหรือต่ำเกินไป โดยใช้ปริมาณน้ำที่มีอย่างจำกัดให้ได้รับผลประโยชน์สูงสุด โดยเฉพาะฤดูนาปรังที่มีประสิทธิภาพการผลิตและตอบสนองต่อการใช้ปัจจัยการผลิตสูงกว่าฤดูนาปี (ทัศนีย์, 2550)

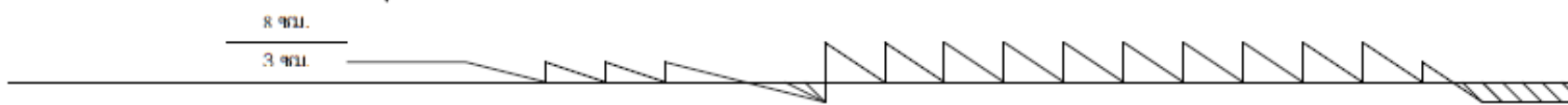
## 2.9 แนวทางการจัดสรรน้ำชลประทานแบบวิธีประหยัดน้ำแก่นาข้าวชลประทาน

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการเพาะปลูกข้าวเป็นพืชหลัก มีพื้นที่ทำนาข้าวประมาณร้อยละ 52 ของพื้นที่การเกษตรทั้งประเทศ คิดเป็นร้อยละ 6 ของพื้นที่ปลูกข้าวบนโลก และในทวีปเอเชียมีผลผลิตข้าวกว่า 90 % ของปริมาณข้าวที่ผลิตได้ทั้งโลก ได้ทำการเพาะปลูกในเขตชลประทาน (Khepar *et al.*, 2000) แต่ทั้งนี้คาดการณ์ว่าภายในปี พ.ศ. 2568 การเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ชลประทานประมาณ 812.5 ล้านไร่ ทวีปเอเชีย อาจจะประสบปัญหา “การขาดแคลนน้ำทางกายภาพ” โดยการเพาะปลูกข้าวในนาชลประทานของฤดูแล้งมากกว่า 137.5 ล้านไร่ อาจประสบ “ภาวะขาดแคลนน้ำขั้นวิกฤติ” (Tuong *et al.*, 2003; FAO, 2016; UN, 2021) ปกติการเพาะปลูกข้าวในเขตชลประทานของเกษตรกรไทยค่อนข้างได้ผลผลิตข้าวต่อไร่อยู่ในเกณฑ์ต่ำและมีต้นทุนมาก การเพิ่มผลผลิตทำได้ยากเนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่การเพาะปลูกที่ไม่สามารถควบคุมจัดการน้ำตามความต้องการได้ รวมทั้งบางพื้นที่มีสภาพแวดล้อม สภาพภูมิอากาศไม่เหมาะสม ดังนั้น การเตรียมการรับมือกับปัญหาการขาดแคลนน้ำในอนาคต โดยเฉพาะการใช้น้ำในภาคการเกษตรที่ต้องการใช้น้ำมากกว่าภาคส่วนอื่น ๆ ถือได้ว่าปัญหาสำคัญสำหรับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องทุกภาคส่วนต้องเข้ามามีส่วนร่วมในหาแนวทางเพื่อบรรเทาปัญหาขาดแคลนน้ำที่ไม่เพียงพอดต่อความต้องการใช้น้ำในอนาคต

วิธีการทำนาข้าวแบบดั้งเดิมหรือวิธีเกษตรกรทั่วไปที่นิยมใช้น้ำแบบท่วมขังสูงในนาข้าว นั้น โดยทั่วไปจะมีความต้องการใช้น้ำมากกว่า 1,500 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อฤดูปลูก ซึ่งยังไม่รวมค่าการคายระเหย การรั่วซึมต่าง ๆ ระหว่างช่วงการเจริญเติบโตของข้าวอีกประมาณ 500-1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อฤดูปลูก (5-10 มิลลิเมตรต่อวัน สำหรับอายุข้าว 120 วัน) ดังนั้น การใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกข้าวของเกษตรกรจะสูงกว่าความต้องการใช้น้ำจริงของข้าว ซึ่งการใช้น้ำแบบท่วมขังอาจก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำประมาณ 50 % ของปริมาณน้ำชลประทานที่จัดสรร (Sharma, 1989) โดยเฉพาะพื้นที่ทำนาในเขตชลประทาน ส่วนใหญ่มีการทำนาจำนวน 3 ครั้งต่อปี คือ นาปรัง 2 ครั้ง (ฤดูแล้ง) และนาปี 1 ครั้ง (ฤดูฝน) รวมทั้งมีแนวโน้มการทำนาเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ปริมาณความต้องการใช้น้ำรวมทั้งปริมาณน้ำที่ต้องสูญเสียจึงมีจำนวนมาก จากปัญหาดังกล่าวได้มีการทบทวนศึกษาการจัดการน้ำชลประทานด้วยรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ Wu (1998) ได้ทดลองการให้น้ำแบบตื้น (Shallowness, Wetness and Drying) ในปี พ.ศ. 2535-2536 ในนาข้าวประเทศจีน เทียบกับการให้น้ำท่วมขังในช่วงการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของข้าวที่ระดับน้ำแตกต่างกัน พบว่า การให้ขังน้ำแบบระดับน้ำตื้นสามารถประหยัดน้ำถึง 21.1 % และได้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 11.4 % ขณะที่ Barker *et al.* (2004) รายงานว่า ปี พ.ศ. 2542 ประเทศจีนได้เริ่มพัฒนาเทคนิคการประหยัดน้ำชลประทาน (Water-Saving Irrigation Techniques, WSI) ในนาข้าว เพื่อให้มีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพได้ผลผลิตดี รวมทั้งการศึกษาความสัมพันธ์ของดิน น้ำและพืช ของส่วนการใช้น้ำชลประทาน กรมชลประทาน พบว่าการจัดการน้ำแบบขังน้ำในระดับน้ำตื้น สามารถลดการใช้น้ำชลประทาน โดยไม่ได้ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงแต่อย่างใด (สำเภา, 2553; จิวรรณ และคณะ, 2554; มานัส, 2554; จิวรรณ, 2559) จากผลการทดลองและวิจัยหลายรายงานทั้งภายในและต่างประเทศ สามารถสรุปได้ว่า การปลูกข้าวไม่จำเป็นต้องขังน้ำในระดับสูงแบบต่อเนื่องตลอดฤดูปลูก เพียงรักษาความชื้นดินที่ระดับ 85 % ของความชื้นที่เป็นประโยชน์และไม่ปล่อยให้ข้าวประสบภาวะเครียดน้ำในช่วงเวลาวิกฤต ข้าวสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดี นอกจากนั้นยังเป็นการลดการใช้น้ำและช่วยให้ดินเกิดสภาพออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้ลดการสะสมสารประกอบคาร์บอนที่เป็นมลพิษบางชนิด เช่น ก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเฉพาะการทำนาชลประทานที่มีการไถกลบฟางข้าวอย่างหยาบ ๆ การปล่อยให้ดินอยู่ในสภาพแห้งบางช่วงเวลาจะช่วยระบายอากาศได้ดี ช่วยให้จุลินทรีย์ในดินบางชนิดได้รับอากาศทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายฟางให้หมดไปโดยเร็ว ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ขึ้น และทำให้รากข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีในแนวตั้ง



ลักษณะความต้องการน้ำของข้าว		ต้องการมากที่สุด	ต้องการ	ต้องการ น้อยมาก	ต้องการมากที่สุด	ต้องการ	ต้องการเพียงเล็กน้อย	ต้องการน้อยที่สุด
แบบให้น้ำ แบบประหยัดน้ำ	เมื่อมีน้ำอย่างพอเพียง	รักษาระดับน้ำ 3-5 ซม.		ระบายน้ำ	รักษาระดับน้ำ 5-8 ซม.			ระบายน้ำ
	เมื่อขาดแคลนน้ำ ต้นทุนที่จะส่งให้บ้าง	ให้น้ำช่วง มีดินบ้าง	ส่งน้ำให้ดินมีความอึดตัว อยู่เสมอ	หยุด ให้น้ำ	ให้น้ำให้ดินมีความอึดตัวอยู่เสมอ		ให้ดินชุ่มชื้น หรือหยุดให้น้ำ	หยุดการให้น้ำ
	เมื่อขาดแคลนน้ำ ต้นทุนที่จะส่งอย่างรุนแรง	ให้น้ำช่วงหรือ ให้ดินอึดตัว	ส่งน้ำให้ดินพอมีความ ชุ่มชื้น หรือน้ำน้อยที่สุด		ส่งน้ำให้ดินมีความอึดตัว	ให้น้ำให้ดินพอมีความชุ่มชื้น	หยุดการให้น้ำ	



ภาพที่ 15 ปริมาณความต้องการน้ำและวิธีการให้น้ำแบบประหยัดน้ำแก่ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 120 วัน (ปลูกโดยวิธีนาดำ)

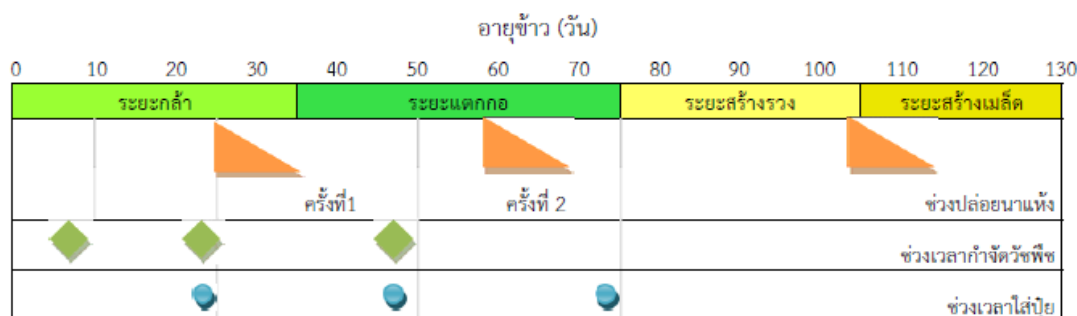
ที่มา: กรมชลประทาน (2558)

นอกจากนี้ มีการศึกษาของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ ประเทศฟิลิปปินส์ ได้แนะนำวิธีการจัดสรรน้ำแบบประหยัดน้ำด้วยวิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้ง (Alternate Wetting and Drying, AWD) คือ การส่งน้ำที่ระดับสูงกว่าผิวดิน 5 เซนติเมตร เมื่อน้ำลดลงต่ำกว่าผิวดิน 15 เซนติเมตร ทำการส่งน้ำกลับมาที่ระดับ 5 เซนติเมตร อีกครั้ง ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ยกเว้นในช่วงออกดอกถึงหลังออกดอก 1 สัปดาห์ ให้รักษาระดับน้ำที่ 5 เซนติเมตร (IRRI, 2009) ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าว กับรายงาน Rang *et al.* (2011) ได้รายงานว่า วิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งสามารถใช้ได้ตั้งแต่หลังย้ายกล้าเพียงไม่กี่วันในการทำนาดำหรือเมื่อต้นข้าวมีความสูง 10 เซนติเมตร ซึ่งการวัดระดับน้ำที่ต่ำกว่าผิวดินสามารถวัดได้โดยใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรู 2 เซนติเมตร ให้ทั่วทั้งท่อแล้วฝังท่อลงในดินลึก 20 เซนติเมตร เพื่อตรวจดูระดับน้ำในท่อ ถ้าวาลลดลง 15 เซนติเมตร ให้ทำการส่งน้ำอีกครั้ง การให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งนี้จะประหยัดน้ำได้ประมาณ 15 % โดยไม่มีผลเสียกับผลผลิต (Bouman *et al.*, 2007) นอกจากนี้ Amiri *et al.* (2009) ได้ทำการทดลองเพาะปลูกข้าวด้วยพันธุ์ข้าว 8 สายพันธุ์ ประกอบด้วย พันธุ์พื้นเมือง พันธุ์ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์และพันธุ์ลูกผสมปลูกแบบมีการให้น้ำแบบวิธีเปียกสลับแห้ง สรุปว่าพันธุ์ข้าวแต่ละสายพันธุ์ตอบสนองต่อการให้น้ำแบบวิธีเปียกสลับแห้งแตกต่างกัน และมีผลต่อปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตส่วนใหญ่ที่ดีขึ้น รวมทั้ง Yao *et al.* (2012) ได้ทำการทดลองการให้น้ำแบบวิธีเปียกสลับแห้งตลอดฤดูด้วยการเพาะปลูกนาดำในจังหวัด Hubei ประเทศจีนด้วยพันธุ์ข้าว Yangliangyou-6 ซึ่งเป็นพันธุ์ super hybrid และพันธุ์ Hanyou-3 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่ใช้น้ำน้อยและทนแล้ง พบว่าสามารถประหยัดน้ำได้ 24 % ในฤดูปลูกปี 2009 และ 38 % ในฤดูปลูกปี 2010 โดยไม่กระทบต่อปริมาณผลผลิตเช่นกัน

รวมทั้งการทดลองของ จิตติวรรณ และคณะ (2563) ที่ได้ทำการทดลองศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำและการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข 41 ภายใต้การปลูกข้าวด้วยวิธีเปียกสลับแห้ง 2 เงื่อนไข คือ T3 ชังน้ำในนาข้าวเหนือพื้นดินที่ระดับ 10 เซนติเมตร และปล่อยให้ น้ำลดลง 15 เซนติเมตร, T2 ชังน้ำในนาข้าวเหนือพื้นดินที่ระดับ 5 เซนติเมตร และปล่อยให้ น้ำลดลง 15 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับการจัดการน้ำแบบปกติที่มีน้ำท่วมขังที่ระดับ 10 เซนติเมตร ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก (T1) ณ แปลงวิจัยข้าวจังหวัดปราจีนบุรี จำนวน 2 ฤดูกาล ประกอบด้วยฤดูแล้ง (DS) และฤดูฝน (WS) ผลการศึกษาพบว่า การจัดการน้ำแบบวิธีเปียกสลับแห้งในเงื่อนไข T2 และ T3 ลดการใช้น้ำได้ทุกฤดูกาลปลูกเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดการน้ำแบบปกติถึง 52 % และ 32 % ตามลำดับ โดยผลผลิตของข้าวทั้ง 3 เงื่อนไขในทุกฤดูกาลปลูก ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

ดังนั้น การจัดการน้ำชลประทานแบบวิธีประหยัดน้ำแก่น้ำข้าวชลประทานด้วยวิธีทำนาให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งจะเป็นแนวทางจัดการน้ำชลประทานที่เหมาะสมกับประเทศไทยสำหรับการเตรียมตัวกับปัญหาการขาดแคลนน้ำในอนาคต สามารถสรุปนิยามและขั้นตอนปฏิบัติพอสังเขปได้ดังนี้

การทำนาเปียกสลับแห้ง หมายถึง การปล่อยให้ข้าวขาดน้ำในช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อเป็นการกระตุ้นให้รากและลำต้นข้าวแข็งแรง โดยทั่วไปจะขังน้ำในแปลงนาที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร ในช่วงหลังปักดำ จนกระทั่งข้าวอยู่ในช่วงตั้งท้องออกดอกจึงจะเพิ่มระดับน้ำในแปลงอยู่ที่ 7-10 เซนติเมตร ช่วงที่ปล่อยให้ข้าวขาดน้ำ 2 ช่วง คือ ครั้งที่ 1 ในช่วงเจริญเติบโตทางลำต้น (อายุข้าว 35-45 วัน) เป็นเวลา 14 วัน หรือจนกว่าระดับน้ำในแปลงนาจะลดลงต่ำกว่าผิวแปลง 10-15 เซนติเมตร หรือดินในแปลงนาแตกกระแหงแล้วจึงปล่อยน้ำเข้านา ครั้งที่ 2 ในช่วงข้าวแตกกอสูงสุด (อายุข้าว 60-65 วัน) เป็นเวลา 14 วัน หรือจนกว่าระดับน้ำในแปลงนาจะลดลงต่ำกว่าผิวแปลง 10-15 เซนติเมตร หรือดินในแปลงนาแตกกระแหงแล้วจึงปล่อยน้ำเข้านา (กรมชลประทาน, 2558)



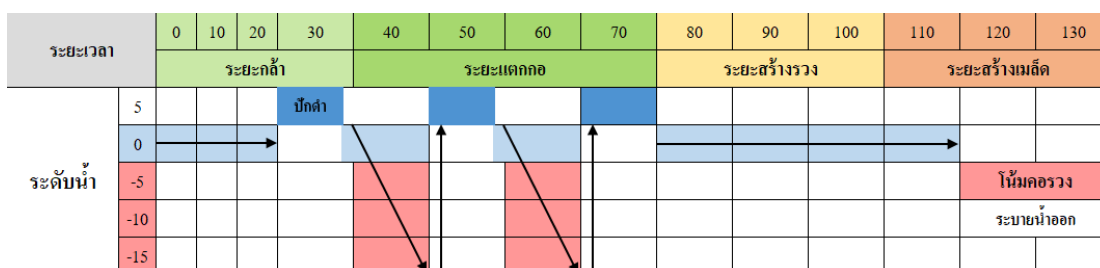
หมายเหตุ ข้าวแต่ละพันธุ์มีอายุแตกต่างกันตามชนิดและพื้นที่ปลูก

ภาพที่ 16 แสดงระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวและวิธีทำนาแบบเปียกสลับแห้ง

ที่มา: กรมชลประทาน (2558)

การทำนาเปียกสลับแห้ง หมายถึง การขังน้ำในแปลงนาที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร ในช่วงหลังจากการปักดำ จนกระทั่งข้าวเริ่มตั้งท้องและออกดอกจะต้องทำการเพิ่มระดับน้ำในแปลงนา ซึ่งการปล่อยข้าวขาดน้ำด้วยกัน 2 ช่วง คือ ช่วงข้าวอายุประมาณ 35-40 วัน เป็นเวลา 14 วัน หรือจนกว่าดินในแปลงนาแห้งแตกกระแหง แล้วจึงปล่อยน้ำเข้านา และในช่วงข้าวอายุประมาณ

50-60 วัน เป็นเวลา 14 วัน หรือจนกว่าดินในแปลงนาแห้งแตกกระแหงอีกครั้ง แล้วจึงปล่อยน้ำเข้านา (สยามคูโบต้า, 2563)



ภาพที่ 17 ปฏิทินกิจกรรมการเพาะปลูกข้าวแบบวิธีเปียกสลับแห้ง

ที่มา: สยามคูโบต้า (2563)

## 2.10 การจัดการทรัพยากรอื่น ๆ เพื่อการเพาะปลูกข้าว

การจัดการทรัพยากรอื่น ๆ นอกเหนือจากทรัพยากรน้ำเพื่อการเพาะปลูกข้าว มีหลักการดูแลบำรุงรักษาสำหรับการเพาะปลูกข้าวที่ดี เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่เกิดจากดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ ศัตรูข้าว และโรคข้าวในช่วงฤดูปลูก ดังนี้

### 2.10.1 การใส่ปุ๋ย

สภาพดินในแปลงนาของประเทศไทยโดยธรรมชาติจะมีแร่ธาตุอาหารพืชต่ำกว่าดินที่ปลูกพืชชนิดอื่น ๆ เนื่องจากการเพาะปลูกข้าวในแปลงนาจะทำการเพาะปลูกอย่างต่อเนื่องเป็นหลาย ๆ ปี ค่าปริมาณธาตุอาหารจะลดลง จากการวิเคราะห์ดินข้าวพันธุ์นางมด S-4 จากผลผลิต 576 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่ามีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน 6.84 กิโลกรัม ธาตุฟอสฟอรัส 3.50 กิโลกรัม และธาตุโพแทสเซียม 2.15 กิโลกรัม เมื่อเทียบกลับไปเป็นปริมาณปุ๋ยต่อไร่ก็จะได้เท่ากับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (ให้ธาตุไนโตรเจน) จำนวน 34 กิโลกรัม ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต (ให้ธาตุฟอสฟอรัส) จำนวน 17 กิโลกรัม และปุ๋ยโบแตส (ให้ธาตุโพแทสเซียม) จำนวน 3.5 กิโลกรัม ทั้งนี้ยังไม่ได้รวมแร่ธาตุที่เอาไปสร้างฟาง เท่ากับแสดงให้เห็นว่าข้าวนั้นดูดซึมแร่ธาตุอาหารจากดินนาไปสร้างลำต้นและเมล็ดจำนวนมาก หากปลูกโดยไม่มีการใส่ปุ๋ยก็จะทำให้ดินนั้นเสื่อมความอุดมสมบูรณ์ลงเป็นลำดับ เกษตรกรในปัจจุบันจะนิยมใช้ปุ๋ยเคมีแทนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากสะดวกและ

ให้ผลเร็ว ซึ่งส่วนใหญ่จะใส่ปุ๋ยในปริมาณที่สูงเพื่อต้องการของต้นข้าว อย่างไรก็ตามทางราชการได้มีข้อเสนอแนะสำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสม คือ การแบ่งการใส่ปุ๋ยออกเป็นสองครั้ง โดยที่ครั้งแรกใส่ตั้งแต่วันปักดำหรือหลังจากปักดำประมาณ 15 วัน ใส่ครั้งที่ 2 หลังปักดำแล้วประมาณ 35-45 วัน ซึ่งเป็นช่วงที่ข้าวเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน (ประมาณ 30 วันก่อนออกดอกหรือก่อนเก็บเกี่ยวข้าว 2 เดือน) เป็นการใส่ปุ๋ยแต่งหน้า ส่วนชนิดของปุ๋ยอัตราที่ใช้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของดิน วิธีการปลูกและประเภทของพันธุ์ข้าว เช่น ข้าวนาดำพันธุ์ข้าวประเภทไวต่อช่วงแสงในสภาพดินเหนียว ครั้งแรกใช้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 หรือ 18-20-0 หรือ 20-20-0 ครั้งที่ 2 ใช้ปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟต (20 %N) หรือปุ๋ยยูเรีย (45 %N) ส่วนข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง (นาปรัง) จะใช้อัตราปุ๋ยที่สูงกว่า ทั้งนี้การจัดการปุ๋ยที่ดีต้องสอดคล้องกับคุณสมบัติของดินร่วมกับการจัดการน้ำที่ดีสามารถลดต้นทุนการเพาะปลูกข้าวได้มาก

## ตารางที่ 2 ปริมาณความต้องการธาตุอาหารหลักของการเพาะปลูกข้าว

อินทรีย์วัตถุ (%)	ปริมาณไนโตรเจน		ปริมาณฟอสฟอรัส		ปริมาณโพแทสเซียม	
	ไวแสง	ไม่ไวแสง	ที่วิเคราะห์ได้	ที่ต้องใส่	ที่วิเคราะห์ได้	ที่ต้องใส่
ที่วิเคราะห์ได้	(กก.N/ไร่)	(กก.N/ไร่)	(ส่วนในล้านส่วน)	(กก.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ไร่)	(ส่วนในล้านส่วน)	(กก.K <sub>2</sub> O/ไร่)
น้อยกว่า 1	9	18	น้อยกว่า 5	6	น้อยกว่า 60	6
1-2	6	12	5-10	3	60-80	3
มากกว่า 2	3	6	มากกว่า 10	0	มากกว่า 80	0

ที่มา: สมพร และคณะ (2552)

### 2.10.2 การกำจัดวัชพืช

วัชพืชเป็นปัญหาที่สำคัญต่อการเพาะปลูกข้าว ถ้าไม่มีการจัดการจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตข้าว โดยขัดขวางการเจริญเติบโตของข้าว โดยแย่งสารอาหารพืชในนา วัชพืชจะขึ้นได้ทั่วพื้นที่ด้วยปริมาณและชนิดแตกต่างกันไปและวิธีการทำนา เช่น นาหว่านจะมีวัชพืชมากกว่านาดำ เนื่องจากนาดำมีวิธีการเตรียมดินดีกว่า โดยการเก็บวัชพืชออกไปก่อนปักดำ และการปลูกเป็นแถวเป็นแนวสามารถกำจัดวัชพืชได้ง่ายกว่า บางพื้นที่พบว่า เกษตรกรจะทำนาคด้วย

วิธีทั้งสองสลับกันไป เช่น ทำนาหว่าน 2-3 ปี แล้วกลับมาทำนาดำอีก 1 ปี พวกวัชพืชในนาข้าวมีทั้งแบบชนิดใบกว้าง (ใบเลี้ยงคู่) และใบแคบ (ใบเลี้ยงเดี่ยว) หรือพวกหญ้าต่าง ๆ ซึ่งชนิดของวัชพืชจะขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่นา อาทิเช่น หญ้านกสีชมพู (*Echinochloa colona*), หญ้าหนวดปลาชุก (*Fimbristylis miliacea*), หญ้าตากลีบ (*Cyperus procerus*) และกกสามเหลี่ยม (*Scirpus grossus*) เป็นต้น

การป้องกันกำจัดวัชพืชสามารถทำได้หลายวิธีการ เช่น การไถด้วยเครื่องจักรกล การคราดกำจัดวัชพืชด้วยมือ จนถึงการใช้สารเคมี ขึ้นการจัดการและศักยภาพของเกษตรกร การป้องกันกำจัดวัชพืชสามารถทำได้ตั้งแต่ก่อนเพาะปลูกเป็นต้นไป ตามหลักการต่อไปนี้

ก. การใช้พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมและเมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์ พันธุ์พื้นเมืองที่มีลักษณะต้นสูงใบปรกรากหยั่งลงในแนวอนจะแข่งขันกับวัชพืชได้ดีกว่าพันธุ์ที่ได้รับการปรับปรุงซึ่งมีลักษณะใบตั้ง ต้นเตี้ยและรากหยั่งลงในแนวตั้ง เมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์จะได้ต้นกล้าที่แข็งแรงมีความสามารถแข่งขันกับวัชพืชได้ดี อีกอย่างหนึ่งเมล็ดพันธุ์ที่สะอาดปราศจากเมล็ดวัชพืชเจือปนก็จะเป็นการลดปัญหาวัชพืชได้ตั้งแต่ต้น

ข. การเตรียมแปลงปลูกด้วยการไถจะเป็นการพลิกดินชั้นล่างขึ้นด้านบนและดินด้านบนลงล่าง ส่วนขยายพันธุ์ของวัชพืชที่อยู่ใต้ผิวดินเมื่อมีความชื้นเพียงพอที่จะงอก เมื่อไถครั้งที่สอง (ไถแปร) ในขณะที่วัชพืชเริ่มงอกจะช่วยทำลายวัชพืชไปด้วยส่วนหนึ่ง บางรายพบว่า การไถครั้งที่สองจะลดปริมาณวัชพืชถึงเกินครึ่งถึงเกือบหมด (ขึ้นอยู่กับชนิดของวัชพืชด้วย) ส่วนขั้นตอนการคราดนั้นมีวัตถุประสงค์ เพื่อเก็บซากวัชพืชออกจากแปลงอยู่แล้วทั้งยังช่วยให้ดินร่วนซุยข้าวเจริญเติบโตดีวัชพืชที่จะขึ้นมาจากหลังไถอีก คงได้กล่าวมาแล้วว่าการปรับระดับพื้นที่ปลูกข้าวเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่ง หากปรับไม่ได้สม่าเสมอจะทำให้เกิดปัญหาวัชพืชในบริเวณที่ดอนกว่าและยังเป็นที่อยู่อาศัยของศัตรูพืชจำพวกหนูอีกด้วย ถ้าหากเกษตรกรสามารถดูแลบำรุงรักษาในเรื่องเหล่านี้ก็จะช่วยป้องกันปัญหาวัชพืชและศัตรูพืชอื่น ๆ ได้ดีในระดับหนึ่ง

ค. อัตราปลูกหรือความหนาแน่นของต้นข้าว การปลูกด้วยอัตราที่มีความหนาแน่นสูงก็จะช่วยป้องกันกำจัดวัชพืชได้ เนื่องจากต้นกล้าจะลดช่องว่างที่จะให้วัชพืชขึ้นนั้น แต่ทั้งนี้ต้องไม่แน่นเกินไปจนต้นข้าวเกิดสภาพแก่งแย่งปัจจัยการเจริญเติบโตกันเอง จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้เมล็ดพันธุ์ 18 กิโลกรัมต่อไร่ ในนาหว่าน (อัตราปกติประมาณ 10 กิโลกรัมต่อไร่) และนาดำอัตราปักดำ 25×25 เซนติเมตร สามารถบำรุงดูแลได้ง่ายและลดปัญหาวัชพืช



### 2.10.3 โรคของข้าว

โรคของข้าวมีหลายชนิดและสามารถทำลายให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตตั้งแต่ระดับไม่รุนแรงจนกระทั่งรุนแรงมากเป็นบริเวณกว้าง โรคของข้าวที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

ก. โรคที่เกิดจากพวกเชื้อรา (Fungus) ที่สำคัญได้แก่ โรคไหม้ (Rice blast) เกิดจากเชื้อ *Pyricularia oryzae*, โรคใบจุดสีน้ำตาล (Brown leaf spot) เกิดจากเชื้อ *Helminthosporium oryzae* และโรคกาบใบแห้ง (Sheath blight) เกิดจากเชื้อ *Thanatephorus cucumeris* เป็นต้น

ข. โรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย (Bacteria) ได้แก่ โรคขอบใบแห้ง (Bacteria leaf blight) เกิดจากเชื้อ *Xanthomonas oryzae*, โรคใบขีดโปร่งแสง (Bacteria leaf streak) เกิดจากเชื้อ *X. translucens*

ค. โรคที่เกิดจากเชื้อไวรัส (Virus) และมายโคพลาสมา (Mycoplasma) ได้แก่ โรคใบสีส้ม (Yellow orange leaf virus disease) เกิดจากเชื้อไวรัส โดยมีเพลี้ยจักจั่นหลายชนิดเป็นพาหะ เช่น เพลี้ยจักจั่นสีเขียว (*Nephotettix virescens* และ *N. nigropictus*) เพลี้ยจักจั่นปีกลายหยัก (*Recilia darsalis*), โรคเหลืองเตี้ย (Yellow dwarf disease) เกิดจากเชื้อ *Mycoplasma* โดยมีเพลี้ยจักจั่นสีเขียว (*N. virescens*, *N. nigropictus* และ *N. cincticeps*) เป็นพาหะ เป็นต้น

ง. โรคที่เกิดจากไส้เดือนฝอย (Nematode) ที่สำคัญ คือ ไส้เดือนฝอยรากปม (Root knot nematode) เกิดจากไส้เดือนฝอย (*Meloidogyne graminicola*)

### 2.10.4 สัตว์ศัตรูของข้าว

การเพาะปลูกข้าวจะมีความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อผลผลิตของข้าวที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือสัตว์ต่าง ๆ ที่อาศัยในนาข้าว โดยจะกัดกินส่วนประกอบต้นข้าวและเมล็ดข้าวเป็นอาหาร สร้างความเสียหายอย่างกว้างขวาง ได้แก่

ก. หนอนกอ (Rice stem borer) เป็นหนอนของผีเสื้อกลางคืนหลายชนิด เช่น หนอนกอสีครีม (*Scirpophaga incertulas*) หนอนกอสีชมพู (*Sesamia inferens*) โดยที่ตัวหนอนจะเข้าไปฝังตัวในลำต้นข้าว ถ้าอยู่ในระยะข้าวแตกกอทำให้ใบอ่อนแห้งตาย เกิดอาการ “ยอดแห้ง”

(Dead heart) ถ้าในระยะออกรวงทำให้คอรวงขาดจากต้นทำให้ดอกหรือเมล็ดลีบเห็นช่อดอกเป็นสีขาว เรียกอการนี้ว่า “ข้าวหัวหงอก” (White head)

ข. หนอนกระทู้ (Rice army worm) เป็นหนอนผีเสื้อกลางคืนชื่อ *Spodoptera mauritia* ตัวหนอนจะเข้าทำลายต้นกล้าในระยะที่ต้นกล้าอายุ 25-30 วัน โดยกัดกินในเวลากลางคืน ส่วนในเวลากลางวันตัวหนอนจะหลบซ่อนตามบริเวณคันนาหรือโคนต้นกล้าข้าวจะกัดกินต้นกล้าจนไม่มีใบเหลืออยู่เลย สร้างความเสียหายในช่วงเริ่มการเพาะปลูกได้มาก

ค. เพลี้ยไฟ (Rice thrips) เป็นแมลงที่ใช้ปากแทงดูดน้ำเลี้ยงจากใบข้าวในระยะต้นกล้าและดอกในระยะออกรวงทำให้เมล็ดลีบ ข้าวจะมีอาการใบสีเหลืองเจริญเติบโตช้า ใบจะม้วนเข้าหาส่วนกลางของใบ ปลายใบจะแห้งและเพลี้ยไฟจะอาศัยอยู่ข้างใน ต้นข้าวที่โตพ้นระยะต้นกล้าแล้วจะไม่ได้ได้รับความเสียหาย ยกเว้นในช่วงออกรวง โดยสภาวะสภาพอากาศที่แห้งแล้งหรือฝนตกน้อยโอกาสที่เพลี้ยไฟจะระบาดมีมากกว่าสภาพที่มีฝนตกชุกขึ้น

ง. เพลี้ยจักจั่นสีเขียว (Green leafhopper; *Nephotettix virescens*) เป็นแมลงที่ดูดน้ำเลี้ยงตามใบและกาบใบข้าว ทำให้ต้นข้าวเหลืองซีดและเป็นพาหะนำเชื้อไวรัสทำให้เกิดโรคใบสีส้ม

จ. เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Brown planthopper; *Nilaparvata lugens*) เป็นแมลงที่ใช้ปากแทงดูดน้ำเลี้ยงจากกาบใบใกล้ระดับน้ำ ทำให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโตและเหี่ยวแห้งเป็นสีน้ำตาล ทำลายได้ทุกช่วงระยะของการเจริญเติบโตของข้าว จะระบาดมากในช่วงที่มีอากาศร้อนและความชื้นสูงในช่วงเดือนพฤษภาคม มิถุนายน และกรกฎาคม อีกทั้งยังเป็นพาหะของเชื้อโรคไวรัสที่ทำให้เกิดโรคเขียวเตี้ยและโรคใบหงิก

ฉ. หนูนา (Ricefield rats) มีหนูหลายชนิดที่ทำความเสียหายต่อการเพาะปลูกข้าว ได้แก่ หนูพุกใหญ่ หนูพุกเล็ก หนูนาท้องขาว หนูหริ่งหางยาว หนูหริ่งหางสั้น เป็นต้น หนูสามารถเข้าทำลายได้ทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าว มีการขยายพันธุ์ได้เร็ว มักจะอาศัยอยู่บริเวณชายป่า มีความสามารถในการย้ายที่อาศัยเมื่อขาดแคลนอาหารทำให้เกิดการแพร่พันธุ์ได้กว้างขวาง

ช. ปูนา (Ricefield crabs) เป็นสัตว์ศัตรูข้าวที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง สามารถทำลายกล้าในระยะปักดำใหม่ ๆ โดยจะกัดต้นข้าวตรงบริเวณใต้ระดับน้ำซึ่งเป็นส่วนอ่อนของต้นข้าว

ปูนาจะทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีมาก ในช่วงฤดูทำนามันจะอาศัยอยู่ในรูบริเวณคันนา หลังการเก็บเกี่ยวมันจะขุดรูและจำศีล เมื่อเข้าสู่ฤดูการทำนาจะขุดรูออกมาพร้อมกับมีไข่ในท้องและจะแพร่พันธุ์คราวละมาก ๆ ทำให้กำจัดได้ยาก

ช. นก (Birds) นกที่ทำความเสียหายแก่ข้าวจะเป็นนกที่อยู่กันเป็นฝูง เช่น นกกระต๊อ นกกระจาบ นกกระจอก นกพิราบ เป็นต้น โดยส่วนมากจะเข้าทำลายในระยะที่ข้าวเริ่มติดเมล็ดจนถึงระยะข้าวสุกแก่ ความสูญเสียจะลดน้อยลงไป เมื่อเกษตรกรทำนาพร้อม ๆ กัน เพื่อกระจายความสูญเสียจากนกชนิดต่าง ๆ ที่จะเข้ามาทำลายผลผลิต

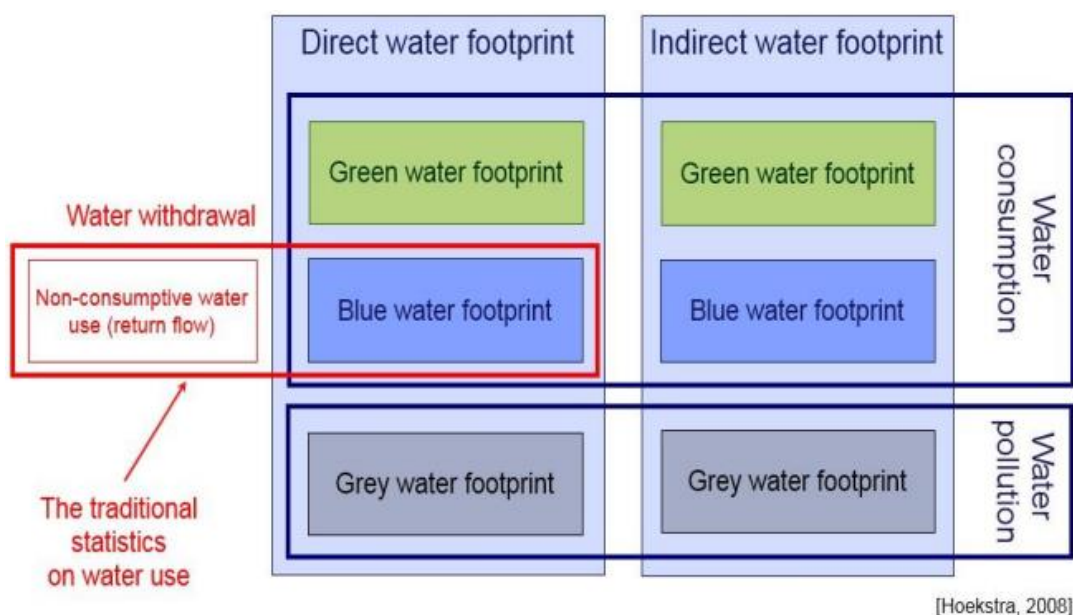
## 2.11 การประเมินผลการจัดการน้ำชลประทานในนาข้าว

การประเมินผลการจัดการน้ำชลประทานในนาข้าวที่มีประสิทธิภาพสามารถประเมินร่วมกับปริมาณผลผลิตข้าว โดยกำหนดค่าปริมาณการใช้น้ำชลประทานถือว่าเป็นปัจจัยการผลิตที่ผันแปรต่อผลผลิตและสมมติให้ปัจจัยการผลิตอื่นไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งค่าผลิตภาพการผลิตเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างสัดส่วนของผลผลิตและปัจจัยการผลิต ดังนั้น ระบบการผลิตที่ถือว่ามีผลิตภาพดีจะต้องมีการใช้ปัจจัยการผลิตต่ำแต่กระบวนการผลิตได้ผลผลิตสูง โดยทั่วไปการเพิ่มผลิตภาพมักจะมุ่งเน้นประสิทธิภาพการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตในปริมาณสูง ดังนั้น การจัดการน้ำชลประทานในนาข้าวที่มีประสิทธิภาพจะประเมินผลด้วยเกณฑ์ปัจจัยการผลิต คือปริมาณการใช้น้ำชลประทานต่อปริมาณผลผลิตข้าว ดังนี้

ค่าผลิตภาพน้ำ (Water Productivity, WP) คือ ปริมาณหรือมูลค่าผลผลิตทั้งหมดต่อปริมาณการใช้น้ำ มีหน่วยเป็น กรัมผลผลิตต่อกิโลกรัมของน้ำ หรือ กิโลกรัมผลผลิตต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ค่า WP มีค่าแตกต่างกันออกไปเนื่องจากความแปรปรวนของปริมาณผลผลิต และมีการนำเสนอหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับผู้นำเสนอว่าจะให้ความสำคัญกับค่าใด เช่น นักปรับปรุงพันธุ์พืช อาจนำเสนอในรูปแบบ  $WP_T$  หมายถึง การคำนวณปริมาณผลผลิตทั้งหมดต่อปริมาณการคายน้ำของพืช เป็นต้น (Bouman *et al.*, 2007)

$$\text{Water productivity (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)}}{\text{น้ำชลประทาน (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) + น้ำฝน (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่)}}$$

นอกจากนี้ จากข้อกังวลเกี่ยวกับวิกฤติทรัพยากรน้ำของโลกในอนาคต ได้มีการพัฒนาแนวความคิดการใช้หลักการรอยเท้าน้ำ (Water Footprint) ขึ้นในปี ค.ศ. 2002 โดยศาสตราจารย์ Dr. Arjen Y. Hoekstra แห่งประเทศเนเธอร์แลนด์ และได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมในปี ค.ศ. 2008 จาก Hoekstra and Chapagain (2008) เป็นที่สนใจในหมู่นักวิจัย นักวิเคราะห์และผู้เกี่ยวข้องเพิ่มมากขึ้น จนเป็นหลักการหนึ่งเพื่อใช้ประเมินค่าปริมาณการใช้น้ำจริงในกระบวนการผลิตสินค้าหรือภาคการบริการ นอกจากนี้ หลักการรอยเท้าน้ำสามารถประยุกต์ใช้ประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตสินค้าและบริการต่อการใช้ทรัพยากรน้ำ เพื่อทำความเข้าใจปัญหาการขาดแคลนน้ำและมลภาวะทางน้ำได้ชัดเจน และสามารถนำไปสู่วิธีการแก้ปัญหาที่เชื่อมโยงกับกระบวนการผลิตทั้งระบบได้ (Hoekstra *et al.*, 2009; Chapagain *et al.*, 2011; วราวุธ, 2559)



ภาพที่ 18 องค์ประกอบของรอยเท้าน้ำ (Water Footprint)

ที่มา: วราวุธ (2559)

องค์ประกอบของรอยเท้าน้ำถูกแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ โดยการใช้แฉกสี 3 สี ในการจำแนกรอยเท้าน้ำ คือ Green (สีเขียว), Blue (สีฟ้า) และ Grey (สีเทา) ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงต้นทุนของทรัพยากรน้ำที่ใช้จนสามารถหาวิธีการจัดการทรัพยากรน้ำให้ถูกต้องและเหมาะสม มีรายละเอียดดังนี้

Green Water Footprint (รอยเท้าน้ำสีเขียว) คือปริมาณน้ำจากฝนที่ตกลงในพื้นที่เพาะปลูกและถูกเก็บกักในเขตรากถูกพืชดูดขึ้นมาใช้ในกระบวนการระเหย การคายน้ำ และการสังเคราะห์แสงของพืช

$$WF_{\text{Green}} = CW_{\text{Green}} / Y \quad (1)$$

Blue Water Footprint (รอยเท้าน้ำสีฟ้า) คือปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หรือแหล่งน้ำใต้ดินที่ถูกใช้ในการผลิตสินค้าแล้วสูญเสียน้ำในรูปของการระเหย การนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของผลผลิต

$$WF_{\text{Blue}} = CW_{\text{Blue}} / Y \quad (2)$$

Grey Water Footprint (รอยเท้าน้ำสีเทา) คือปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องใช้ในการระบายหรือบำบัดน้ำเสียให้คุณภาพมาตรฐานตามที่กำหนดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

$$WF_{\text{Grey}} = [(\alpha \times AR) / (C_{\text{max}} - C_{\text{nature}})] / Y \quad (3)$$

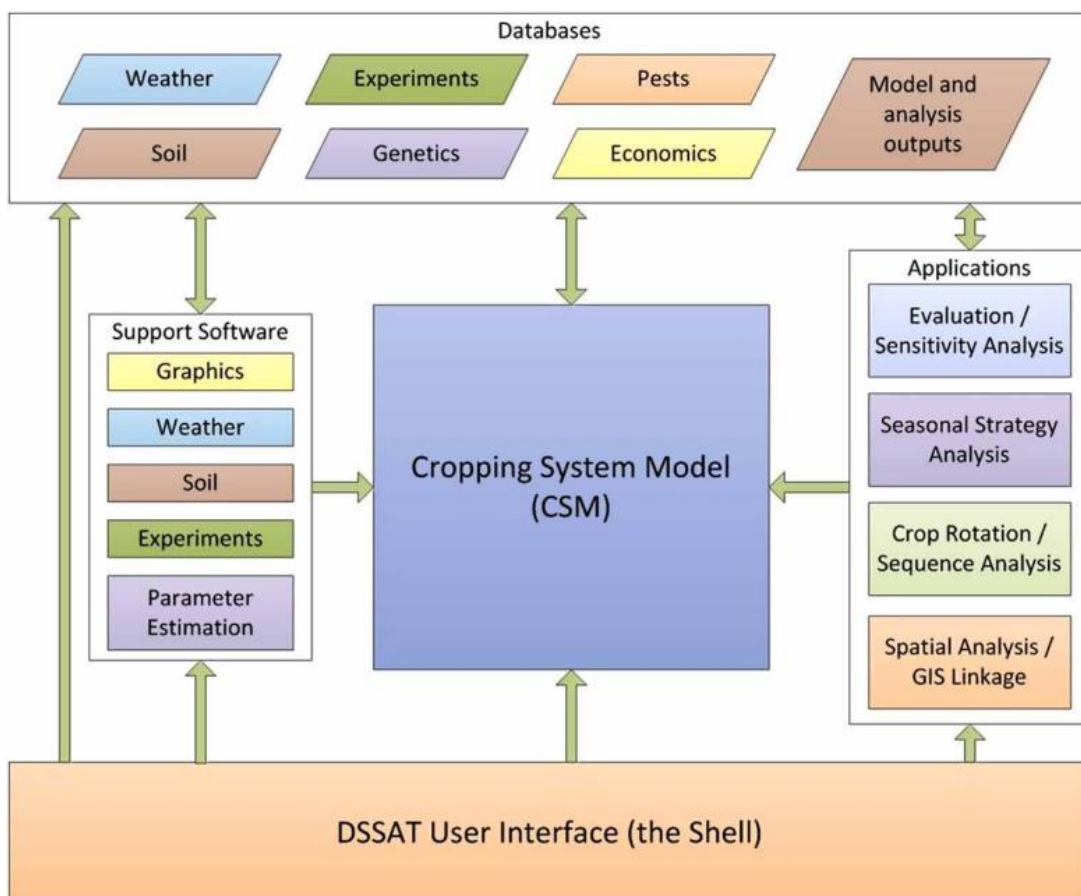
เมื่อ CW คือปริมาณการใช้น้ำของข้าวในแต่ละองค์ประกอบสี (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน), Y คือปริมาณผลผลิตข้าว (ตันต่อเฮกตาร์) ในกรณีของรอยเท้าน้ำสีเทา การคำนวณใช้น้ำในโตรเจน กำหนดอัตราการใช้  $\alpha$  คือ คุณสมบัติส่วนชะล้าง สมมติว่า 10% สำหรับปุ๋ยในโตรเจน และ AR หมายถึงอัตราการใช้สารเคมีสำหรับแต่ละพื้นที่ (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์),  $C_{\text{max}}$  แสดงถึงความเข้มข้นการใช้สารเคมีสูงสุดที่ใช้ได้ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และ  $C_{\text{nature}}$  แสดงถึงความเข้มข้นของสารก่อนมลพิษตามธรรมชาติ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ทั้งนี้ชนิดของเนื้อดินจะมีอิทธิพลต่อความต้องการปุ๋ยในโตรเจน คือแปลงนาเนื้อดินร่วน และดินร่วนปนทราย จะใช้ปริมาณปุ๋ยในโตรเจนประมาณ 100 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในขณะที่ดินเหนียวหรือดินร่วนปนดินเหนียวต้องการปริมาณปุ๋ยในโตรเจนเพียง 50 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (1 เฮกตาร์ เท่ากับ 10,000 ตารางเมตร หรือเท่ากับ 6.25 ไร่) (Hoekstra *et al.*, 2011; Yoo *et al.*, 2014)

### 3. แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช

แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช (Crop Simulation Model, CSM) หมายถึง แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงระบบการเจริญเติบโต ระบบพัฒนาการ ตลอดจนการทำนายผลผลิตของพืช โดยการรวบรวมเอาข้อมูลนำเข้า (Input data) ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชมาคำนวณในรูปแบบของสมการต่อเนื่องทางคณิตศาสตร์และแสดงผลลัพธ์ (Output data) ในรูปของตัวเลขโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Penning de Vries *et al.*, 1989; Sinclair and Seligman, 1996; Monteith, 1996; Muller and Martre, 2019) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อลอกเลียนแบบระบบพืช เช่น ระบบการเจริญเติบโตและระบบพัฒนาการของพืช ในปัจจุบันมีกลุ่มนักวิจัยได้นำเอาแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช มาใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการวางแผนและการประเมินผลทางการเกษตรกันอย่างแพร่หลาย

แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช สามารถนำมาช่วยสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรม สรีรวิทยา และสภาพแวดล้อม (Boote *et al.*, 1996) ซึ่ง Matthew (2002) รวบรวมและรายงานการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชไปใช้ประโยชน์ด้านการจัดการพืชหลายแนวทางด้วยกัน เช่น การจัดการดิน การจัดการน้ำ การจัดการธาตุอาหารต่อผลผลิต เป็นต้น ซึ่งแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชยังเป็นเครื่องมือที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายสำหรับการทดลองภาคสนามและประหยัดเวลาในการประเมินผล (Patricia *et al.*, 2012)

ปัจจุบันการพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชมีความก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น สามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตรไปสู่เกษตรกร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, DSSAT) เพื่อทำการคาดการณ์การเจริญเติบโตและผลผลิต รวมถึงการช่วยประมวลผลเพื่อวิเคราะห์แนวทางปฏิบัติสำหรับเกษตรกร (Kuehne *et al.*, 2017) แบบจำลอง DSSAT เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยกลุ่ม นักวิจัยจากสาขาวิชาในมหาวิทยาลัยฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา ปัจจุบันแบบจำลอง DSSAT ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่องจนถึง version 4.7.5 (Hoogenboom *et al.*, 2019) ซึ่งสะดวกในการใช้งานมากขึ้น โครงสร้างของแบบจำลอง DSSAT ประกอบด้วยโปรแกรมหลัก (Main program) ซึ่งทำหน้าที่ในการประสานระหว่างแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชจากฐานข้อมูลอากาศ ฐานข้อมูลดิน ฐานข้อมูลพืช และฐานข้อมูลระบบการจัดการพืช โดยหน่วยที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงองค์ประกอบดังกล่าว เรียกว่า Cropping System Model (CSM) สามารถจำลองการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดได้ เช่น แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว อ้อย ข้าวโพด ถั่วลิสง และมันสำปะหลัง เป็นต้น



ภาพที่ 19 แสดงองค์ประกอบของแบบจำลอง DSSAT version 4.7.5

ที่มา: Boote (2019)

แบบจำลอง CSM-CERES-Rice เป็นแบบจำลองย่อย (Sub model) ในแบบจำลอง DSSAT ซึ่งได้รับความนิยมใช้อย่างกว้างขวางในการศึกษาจำลองการเจริญเติบโตของข้าว อาทิเช่น การประเมินผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว (Jintrawet, 1995; Li *et al.*, 2021; Jing *et al.*, 2021; Vashisht *et al.*, 2021) การจัดการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลผลิตของข้าว (ศักดิ์ดา และคณะ, 2543; Jing *et al.*, 2021; Kheir *et al.*, 2021; Yao *et al.*, 2021) การศึกษาปฏิทินการเพาะปลูกข้าวที่เหมาะสม (Kerdsuk, 2002) การศึกษาความหนาแน่นของจำนวนต้นข้าวและอิทธิพลปริมาณปุ๋ยใน ไตรเจนต่อการผลิตข้าว (Ahmad *et al.*, 2012; Jeong *et al.*, 2014; Wajid *et al.*, 2014) และการจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อระบบการผลิตข้าวและผลผลิตข้าว (Amgain *et al.*, 2006; Dias *et al.*, 2016; Qu *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2020) เป็นต้น จะเห็นได้ว่าแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว CERES-Rice สามารถนำมาประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการเกษตร

ได้หลายวัตถุประสงค์ โดยเฉพาะการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการศึกษาด้านการจัดการทรัพยากร ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตทางการเกษตร

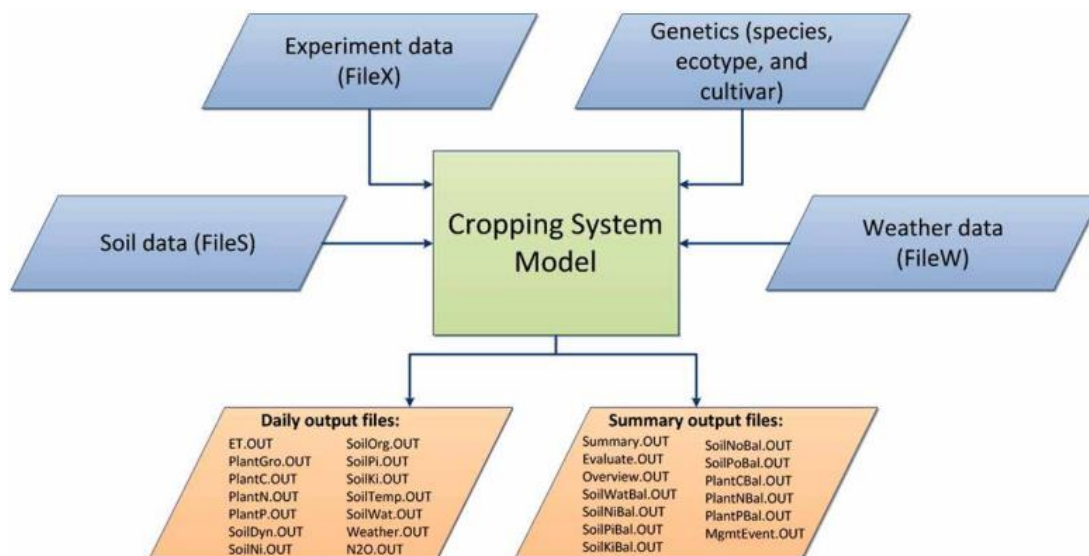
#### 4. แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว

แบบจำลอง CERES-Rice เป็นแบบจำลองพืชในชุดโปรแกรม DSSAT- CERES ออกแบบให้จำลองกระบวนการพัฒนาและกระบวนการเติบโตของข้าวให้ได้ผลลัพธ์แสดงเป็นค่าตัวแปรด้านผลผลิตข้าว, องค์ประกอบผลผลิต, ค่าพลวัตของน้ำและไนโตรเจนในดิน และการจัดการน้ำและไนโตรเจนในแปลงนา โดยพิจารณาปัจจัยนำเข้าด้านข้อมูลภูมิอากาศรายวัน กิจกรรมการผลิตข้าว คุณสมบัติของดิน ข้อมูลข้าว (สัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าว) ซึ่งแบบจำลองในปัจจุบันรุ่นล่าสุด คือ รุ่น 4.7.5 ได้ผนวกกระบวนการพลวัตของการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินและการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนในดินและการดูดซับโดยรากพืช ทำให้สามารถประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั้งการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้นและการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวต่อระบบการผลิตและผลผลิตข้าวได้ทั้งในระบบเกษตรน้ำฝนและการชลประทานตามการข้อกำหนดที่ต้องการ

แบบจำลอง CERES-Rice เป็นแบบจำลองการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ภายใต้สภาพภูมิอากาศและชุดดินเฉพาะพื้นที่ โดย Ritchie *et al.* (1986) ได้พัฒนาดัดแปลงมาจากแบบจำลอง CERES-Maize และ CERES-Wheat เขียนด้วยโค้ดภาษา FORTRAN 77 และได้มีการพัฒนาแก้ไขโดยคณะนักวิจัยของสถาบัน International Fertilizer Development Center (IFDC) เพื่อให้แบบจำลองใช้ได้กับข้าวที่ปลูกด้วยต้นกล้าจากวิธีปักดำ จากนั้น ทำการทดสอบและปรับปรุงอีกครั้งจากคณะนักวิทยาศาสตร์ของสถาบัน International Benchmark Site Network for Agrotechnology Transfer (IBSNAT) และได้รับการพัฒนาแบบจำลองอย่างต่อเนื่องจนปัจจุบัน ซึ่งได้รวบรวมแบบจำลองไว้หลายแบบจำลอง โดยแบ่งเป็น กลุ่มพืช ได้แก่ พืชอาหาร พืชตระกูลถั่ว พืชตระกูลหญ้า และพืชอื่น ๆ (Tsuji *et al.*, 1994) แบบจำลอง CERES-Rice จัดอยู่ในกลุ่มพืชอาหารเช่นเดียวกับแบบจำลองข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น ภายในแบบจำลองประกอบไปด้วยระบบหลัก ๆ คือ ระบบการพัฒนาและการสะสมน้ำหนักรวม ไบ คีน เมล็ด และราก ระบบสมดุลของน้ำ (Water balance) และการใช้น้ำของข้าว รวมทั้งระบบการส่งถ่ายธาตุไนโตรเจนในดินและในต้นข้าว (สก็คิตา และคณะ, 2540) กระบวนการประมวลผลต้องนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศรายวัน ข้อมูลดิน ข้อมูลการจัดการ และข้อมูลพันธุกรรมของพันธุ์ข้าว (Jones *et al.*, 1994)



เพื่อให้แบบจำลองนำไปประมวลผลรวมกับระบบต่าง ๆ จากนั้นแบบจำลองจะแสดงผลการจำลองตามข้อมูลนำเข้าที่ต้องการจำลองผล



ภาพที่ 20 แสดงข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ของแบบจำลอง CERES-Rice

ที่มา: Boote (2019)

ระบบการจัดการในการจำลองการเจริญเติบโตของข้าว ประกอบด้วย การกำหนดวันปลูก พันธุ์พืช วันเก็บเกี่ยว การจัดการน้ำ และการจัดการปุ๋ย เป็นต้น ส่วนที่นับว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการจำลองการเจริญเติบโตมากที่สุดส่วนหนึ่ง คือ ข้อมูลนำเข้าที่จัดว่าเป็นข้อมูลขับเคลื่อน (Driven variable) หมายถึงตัวแปรต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกต้นพืชที่มีผลทำให้พืชในแบบจำลองสามารถเจริญเติบโตได้เปรียบเสมือนพืชในสภาพจริง ได้แก่ ข้อมูลสภาพอากาศ ข้อมูลดิน ข้อมูลการจัดการ และข้อมูลพืช

ข้อมูลภูมิอากาศที่จำเป็นสำหรับการจำลองสถานการณ์ ประกอบด้วย ข้อมูลภูมิอากาศรายวันของอุณหภูมิอากาศต่ำสุดและสูงสุด (องศาเซลเซียส) และปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) และพลังงานแสงอาทิตย์ (เมกะจูลต่อตารางเมตร) ข้อมูลอากาศรายวันที่นำมาจำลองสถานการณ์อย่างน้อยต้องครอบคลุมระยะช่วงฤดูปลูกของข้าว ข้อมูลที่ใช้อาจเริ่มตั้งแต่วันปลูกหรือก่อนวันปลูก สำหรับกรณีที่ต้องการจำลองสมดุลของน้ำและผลผลิตของการเพาะปลูก

ข้อมูลดินที่แสดงคุณสมบัติทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพของดินในแต่ละระดับชั้น ความลึกที่ครอบคลุมการเจริญเติบโตของรากพืชโดยส่วนใหญ่ ประกอบด้วย สีของดิน ความสามารถในการระบายน้ำ ความหนาแน่นของดิน (Bulk density) คุณลักษณะของเนื้อดิน (เปอร์เซ็นต์ของดินทราย, ดินเหนียว) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) ความเป็นกรดและค่าของดิน และ CEC (Cations Exchange Capacity) ของดิน นอกจากนี้ยังรวมถึงความชื้นของพื้นที่ ข้อมูลแสดงคุณสมบัติของดินเหล่านี้ บางลักษณะนำไปใช้ในการคำนวณคุณสมบัติของดินลักษณะอื่น ๆ ด้วยโปรแกรมคำนวณคุณสมบัติของดิน ใน DSSAT ตัวอย่างเช่น ใช้ข้อมูลความหนาแน่นของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และเปอร์เซ็นต์ของชนิดเนื้อดินเพื่อกำหนดปริมาณน้ำที่อิ่มตัว (Saturated water content, SAT) ปริมาณน้ำสูงสุดที่มีการระบาย (Drained Upper Limit of soil water content, DUL) หรือความชื้นระดับสนาม (Field capacity) และปริมาณน้ำต่ำสุดที่พืชนำไปใช้ (Lower Limit of plant extractable water, LL) หรือจุดที่เยือกถาวร (Permanent wilting point) เป็นต้น แบบจำลองสามารถจำลองสถานการณ์ได้หากมีข้อมูลดินทั้งหมดที่กล่าวมา อย่างไรก็ตามหากต้องการผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ควรมีข้อมูลก่อนการปลูกพืชเพิ่มเติม ซึ่งประกอบด้วย ความชื้นของดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณของ  $\text{NO}_3^-$  และ  $\text{NH}_4^-$  และปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนที่เป็นประโยชน์ในแต่ละระดับชั้นความลึกของดิน นอกจากนี้หากต้องการจำลองสมดุลของธาตุไนโตรเจนทั้งในดินและพืช ประเภทและปริมาณของซากพืชที่ทิ้งไว้ในแปลงก่อนการปลูกก็จำเป็นต้องใช้เช่นกัน

สำหรับข้อมูลการจัดการ ประกอบด้วย วันปลูก ระยะปลูก ความลึกรากของการปลูก วันงอก ความหนาแน่นของจำนวนพืชต่อตารางเมตร และวันเก็บเกี่ยวผลผลิต ในกรณีของการจำลองการเจริญเติบโตของพืชภายใต้การจัดการน้ำ รายละเอียดของวันที่และปริมาณของการให้น้ำที่มีความสำคัญ ปัจจุบันแบบจำลอง CERES-Rice สามารถจำลองสมดุลของไนโตรเจนในพืชและดิน และจำลองการตอบสนองของข้าวต่อการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันได้ ดังนั้นหากต้องการจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว จำเป็นต้องมีข้อมูลเพิ่มเติมคือ ประเภทของปุ๋ยไนโตรเจน จำนวนครั้งและปริมาณการให้ปุ๋ย วิธีการให้ และระดับความลึกของการให้ปุ๋ย เป็นต้น

แบบจำลอง CERES-Rice ต้องการข้อมูลแสดงลักษณะจำเพาะของข้าวแต่ละพันธุ์ หรือค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (Genetic Coefficients, GCs) เพื่ออธิบายการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่แตกต่างกันของข้าวแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งโดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวแต่ละสายพันธุ์ได้จากการทดลองปลูกข้าวพันธุ์นั้นในเรือนทดลองที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม หากไม่มีเรือนควบคุมสภาพแวดล้อม สามารถคำนวณค่าดังกล่าวได้ (Model calibration) โดยอาศัยข้อมูล

จากการเพาะปลูกข้าวพันธุ์นั้นในหลายฤดูหรือหลายสภาพแวดล้อมในการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสายพันธุ์นั้น

ตารางที่ 3 กระบวนการจำลองของแบบจำลอง CERES-Rice

ข้อมูลนำเข้า	กระบวนการ	ผลลัพธ์
ข้อมูลที่สามารถควบคุมได้		
1. พันธุ์ข้าว		
2. ระยะปลูก	1. การเจริญเติบโตของพืช	1. ผลผลิตเมล็ด
3. วันปลูก	2. ขั้นตอนการพัฒนาการ	2. องค์ประกอบผลผลิต
4. วันและปริมาณการให้น้ำ	3. พัฒนาการของพืช	3. น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน
5. วันและปริมาณการใส่ปุ๋ย N	4. สมดุลของน้ำในดิน	4. วันที่มีขั้นตอนการพัฒนา
6. ชนิดของปุ๋ย N	5. สมดุลไนโตรเจนในดิน	การเปลี่ยน
7. ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม		5. การเปลี่ยนแปลงพัฒนาการ
ข้อมูลที่ไม่สามารถควบคุมได้		
1. ข้อมูลอากาศรายวัน		6. ความถี่ของวันคำนวณ
2. ช่วงแสง		7. องค์ประกอบสมดุลของน้ำ
3. คุณสมบัติและสภาพของดิน		ในดิน
ก่อนการทดลอง		8. ความหนาแน่นของราก
		9. สภาพเมื่อไนโตรเจนและ
		น้ำเป็นปัจจัยจำกัด

ที่มา: Ritchie *et al.* (1986)

สำหรับผลลัพธ์ (Output) ที่ได้จากแบบจำลอง CERES-Rice ประกอบด้วย ระยะพัฒนาการทางลำต้นและใบระยะพัฒนาการเกี่ยวกับการสะสมน้ำหนักเมล็ด จนกระทั่งถึงระยะสุกแก่ในช่วงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต รวมไปถึงการจำลองการเจริญเติบโตรายวันของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต เช่น ผลผลิต น้ำหนักเมล็ด จำนวน เมล็ดต่อตารางเมตร จำนวนรวงต่อตารางเมตร คชนิพื้นที่ใบสูงสุด (Leaf Area Index, LAI) น้ำหนักแห้ง ต้นและใบขณะสุกแก่ คชนิเก็บเกี่ยว (Harvest index, HI) และจำนวนใบต่อหน่อ เป็นต้น (Hoogenboom *et al.*, 2004)

#### 4.1 หลักการของแบบจำลอง CERES-Rice

แบบจำลอง CERES มีหลักการพื้นฐานการจำลอง โดยกำหนดให้น้ำหนักแห้งมวลรวมของพืช ( $B_T$ ) ขึ้นอยู่กับอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งเฉลี่ย ( $g$ ) กับระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช (d) (Ritchie *et al.*, 1998) ดังสมการที่ 4

$$B_T = g \times d \quad (4)$$

แบบจำลองจะใช้หลักการจำลองผลผลิตโดยการคำนวณจากความสามารถในการส่งถ่ายสารสังเคราะห์ (Assimilate partitioning) ไปยังเมล็ด โดยกำหนดว่าพืชที่เจริญภายใต้การจัดการและสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการจะมีความสามารถในการแบ่งปันสารสังเคราะห์ไปยังเมล็ด แต่ถ้าการจัดการและสภาพภูมิอากาศไม่เหมาะสมทำให้การส่งถ่ายสารสังเคราะห์ดังกล่าวจะลดลงตามลำดับ จนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.0 (Ritchie *et al.*, 1998)

แบบจำลอง CERES-Rice มีรูปแบบ Mechanistic model ที่เป็น Dynamic simulation โดยมีการกำหนดตัวแปรปริมาณ (Level variable) หมายถึง ตัวแปรที่มีการสะสมเพิ่มขึ้นหรือลดลงแต่ละวัน ทั้งที่วัดเป็นปริมาณได้ ได้แก่ น้ำหนักต้น ใบ และเมล็ด ปริมาณ ไนโตรเจนในพืช ปริมาณน้ำ ฯลฯ หรือที่มีการกำหนดปริมาณการให้ ได้แก่ ระยะพัฒนาการและตัวแปรปริมาณต่อวัน ที่สัมพันธ์กับตัวแปรขยาย (Auxiliary variable) ที่ใช้อธิบายตัวแปรอื่น ๆ ได้แก่ ความเครียดน้ำ, ไนโตรเจน และตัวแปรข้อมูลอุณหภูมิตามเวลาที่นำเข้ามาได้แก่ ปริมาณน้ำฝน พลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด

หลักการ โดยทั่วไปของแบบจำลองตระกูล CERES (Crop-Environment Resource Synthesis) ประกอบไปด้วย กระบวนการการจำลอง 2 กระบวนการหลัก คือการเจริญเติบโต (Growth) และพัฒนาการ (Development) โดยการเจริญเติบโตเป็นการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของส่วนต้น ใบ และรวง และพัฒนาการเป็นกระบวนการที่วัดโดยระยะการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาพืช โดยมีสองลักษณะที่แตกต่างกัน คือ Phasic development ที่เป็นการเปลี่ยนแปลงระยะการเจริญเติบโต ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการถ่ายเทสารสังเคราะห์ (Biomass partitioning) เป็นหลัก และ Morphological development ที่หมายถึง การเริ่มและสิ้นสุดของการพัฒนาของส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยแบบจำลอง CERES-Rice จะบอกผลการจำลองพัฒนาการลักษณะนี้เป็น จำนวนใบ จำนวนหน่อ และจำนวนเมล็ด (Ritchie *et al.*, 1998; จีรวัดน์, 2544)

## 4.2 หลักการจำลองช่วงการพัฒนาการของข้าว

แบบจำลอง CERES-Rice ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับเกี่ยวกับการพัฒนาการของข้าวในแต่ละระยะว่า ข้าวจะมีการพัฒนาการเมื่อข้าวเจริญอยู่ระหว่าง อุณหภูมิ 14 ถึง 32 องศาเซลเซียส และการพัฒนาการของข้าวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสะสม (GDD) (Ritchie *et al.*, 1998) โดยมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 5

$$t_d = \sum_{i=1}^a (\bar{T}_a - T_b) \quad (5)$$

เมื่อ  $t_d$  คือ อุณหภูมิสะสม (องศาเซลเซียส)

$\bar{T}_a$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวัน

$T_b$  คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้พืชเจริญได้ตามปกติ (สำหรับการจำลองใน

แบบจำลอง CERES-Rice มีค่ากำหนดเท่ากับ 9)

นอกจากนั้น แบบจำลองยังมีข้อกำหนดที่เป็นรายละเอียดอีกว่า ถ้าอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดของวันใดอยู่ระหว่างช่วง 14-32 องศาเซลเซียส แบบจำลองคำนวณอุณหภูมิสะสมรายวันตามสมการปกติข้างต้น แต่ถ้าวันใดมีอุณหภูมิต่ำสุดที่ต่ำกว่า 14 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิสูงสุดสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส ก็จะแบ่งเวลาของวันนั้น ๆ เป็น 3 ช่วง ช่วงละ 3 ชั่วโมง เพื่อหาอุณหภูมิสะสมของ 3 ชั่วโมงนั้น และนำมารวมกันเป็นอุณหภูมิสะสมของวันนั้น โดยถ้าช่วงไหนที่มีอุณหภูมิต่ำต่ำกว่า 9 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 42 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสะสมจะเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส คือการเจริญเติบโตของข้าวจะหยุด ถ้าช่วงไหนมีอุณหภูมิระหว่าง 33-42 องศาเซลเซียส หรือระหว่าง 9-14 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสะสมจะน้อยลงจากปกติ (จิรวัดณ์, 2544)

แบบจำลอง CERES-Rice แบ่งการพัฒนาการของข้าวออกเป็น 9 ระยะ (ตารางที่ 4) โดยระยะการเจริญเติบโตตั้งแต่ 1 ถึง 5 เป็นการเจริญเติบโตในส่วนต่าง ๆ ของข้าว ได้แก่ ราก ใบ ลำต้น รวง และเมล็ด ซึ่งในแต่ละระยะจะมีส่วนของข้าวที่เจริญเติบโตแตกต่างกัน ส่วนในระยะที่ 6 เป็นระยะสุกแก่ทางสรีระ ส่วนระยะที่ 7 ถึง 9 เป็นระยะของการพัฒนาเมล็ดไปเป็นต้นกล้า

ตารางที่ 4 การกำหนดระยะการพัฒนารองข้าวในแบบจำลอง CERES-Rice

ระยะ	การพัฒนารอง	ส่วนที่เจริญของพืช
1	งอก ถึง สิ้นสุดระยะตั้งตัว	ราก และใบ
2	สิ้นสุดระยะตั้งตัว ถึง แทะช่อดอก	ราก ใบ และต้น
3	ทะช่อดอก ถึง ออกดอก	ราก ใบ ต้น และรวง
4	ออกดอก ถึง เริ่มสร้างเมล็ด	ราก ต้น และรวง
5	เริ่มสร้างเมล็ด ถึง เมล็ดเต็ม	เมล็ด
6	เมล็ดเต็ม ถึง สุกแก่ทางสรีระ	-
7	เมล็ด เติบโตจน ถึง ปลูก	-
8	ปลูก ถึง งอก	เมล็ด
9	งอก ถึง โผล่พ้นผิวดิน	ราก

ที่มา: Ritchie *et al.* (1998)

จากการกำหนดระยะพัฒนารองข้าวในตารางที่ 2 แบบจำลอง CERES-Rice มีรายละเอียดของการคำนวณในแต่ละระยะเวลาที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

ระยะที่ 1 (P1): เป็นระยะเวลาตั้งแต่ใบโผล่พ้นผิวดิน (Emergence) จนสิ้นสุดระยะตั้งตัว ซึ่งระยะ P1 นี้ กำหนดให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมค่าหนึ่ง และถ้าเป็นการปลูกด้วยวิธีปักดำ จะกำหนดว่าการปักดำทำให้ระยะที่ 1 ยืดระยะเวลานานกว่าปลูกโดยไม่ย้ายกล้าปักดำ

$$TPHEN = P1 + 25.0 + 0.4 * (CUMDDT - P8 - P9) \quad (6)$$

เมื่อ CUMDDT คือ ค่าอุณหภูมิสะสมของกล้าตั้งแต่งอกจนถึงปักดำ

$$CUMDDT = (ATEMP - TBASE) * (TAGE - 1.0) \quad (7)$$

เมื่อ ATEMP คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยขณะที่ยอดกล้าเจริญเติบโต

TAGE คือ อายุกล้า, วัน

TBASE = 9 องศาเซลเซียส

ระยะที่ 2 (P2): เป็นระยะตั้งแต่สิ้นสุดระยะตั้งตัวถึงระยะกำเนิดช่อดอก (Panicle initiation) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความไวต่อช่วงแสง (Photoperiod sensitivity) ของข้าวแต่ละสายพันธุ์ โดยแบบจำลอง CERES-Rice กำหนดให้ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมสองค่า คือ P2R ที่เป็นสัมประสิทธิ์การชะลอการกำเนิดช่อดอก และค่า P2O ความยาววันวิกฤติ (Critical day length) มีหน่วยเป็นชั่วโมง ซึ่งในการจำลองการเกิดรวงของแบบจำลองขึ้นกำหนดให้ขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การเกิดรวง (RATEIN) โดยกำหนดเงื่อนไขว่า

ถ้าข้าวเจริญผ่านระยะ P1 และความยาววันของวันนั้น (HRLT) น้อยกว่าหรือเท่ากับ P2O

$$\text{RATEIN} = 1/136 \text{ }^{\circ}\text{Cd} \quad (8)$$

แต่ถ้าข้าวเจริญผ่านระยะ P1 และความยาววัน (HRLT) มากกว่า P2O

$$\text{RATEIN} = 1.0/(136.0+P2R*(HRLT-P2O)) \quad (9)$$

นอกจากนี้ยังมีเงื่อนไขอีกว่าจะเกิดรวงได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิกลางวัน (TN) ขณะที่เกิดดอกต้องมากกว่า 15 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 2 วันติดต่อกัน โดยที่

$$\text{TN} = (0.25*\text{TMAX})+(0.75*\text{TMIN}) \quad (10)$$

ระยะที่ 3 (P3): ตั้งแต่กำเนิดช่อดอกถึงสิ้นสุดการเจริญของใบ ซึ่งมีสมมติฐานว่าระยะนี้ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ โดยกำหนดให้

$$\text{P3} = 5.75 * \text{PHINT}+0.135*\text{SUMDIT} \quad (11)$$

เมื่อ PHINT คือ ระยะเวลาระหว่างการกำเนิดใบ (Phyllocron interval) เท่ากับ 83 °Cd

SUMDIT คือ อุณหภูมิสะสมตั้งแต่สิ้นสุดระยะ P2

ระยะที่ 4 (P4): ระยะเวลาตั้งแต่สิ้นสุดการเจริญเติบโตของใบถึงเริ่มสะสมน้ำหนักเมล็ดซึ่ง สมมติฐานว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ โดยกำหนดให้ เท่ากับ 150 °Cd

ระยะที่ 5 (P5): ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มสะสมน้ำหนักรวมจนถึงสุกแก่ของรวงแม่ และของหน่อ ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมค่าหนึ่ง เป็นระยะที่น้ำหนักรวมมีค่าสูงสุด

ระยะที่ 6 (P6): เป็นระยะจากสุกแก่จนถึงเก็บเกี่ยว ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตจากวันสุดท้ายของระยะที่ 5

ระยะที่ 7 (P7): ที่เป็นระยะเวลาก่อนปลูก แบบจำลองจะมีการจำลองการเปลี่ยนแปลงของ องค์ประกอบไนโตรเจนและน้ำในดิน ที่ส่งผลต่อผลผลิตข้าว ซึ่งขึ้นอยู่กับวันที่กำหนดวันเริ่มจำลอง (Start simulation date)

ระยะที่ 8 (P8): ระยะตั้งแต่เริ่มเพาะเมล็ดจนถึงรากงอก ที่แบบจำลองกำหนดว่า

$$P8 = 150.0 * \text{EXP}(-0.055 * \text{TEMPM}) \quad (12)$$

เมื่อ TEMPM คือ อุณหภูมิเฉลี่ยวันที่เพาะเมล็ด (อุณหภูมิสูงสุดอุณหภูมิต่ำสุด)\*0.5

หมายเหตุ ระยะที่ 8 นี้กำหนดว่า อุณหภูมิที่เมล็ดข้าวงอกได้อยู่ระหว่าง 15-42 °C และอุณหภูมิสะสมต้องไม่น้อยกว่า 28 °C และไม่เกิน 80 °C

ระยะที่ 9 (P9): ตั้งแต่รากงอกจนถึงใบโผล่พ้นผิวดิน แบบจำลองกำหนดให้ขึ้นอยู่กับความลึกของเมล็ดที่ปลูกอย่างเดียว

$$P9 = 10.0 * \text{SDEPTH} + 20.0 \quad (13)$$

เมื่อ SDEPTH คือ ความลึกของเมล็ดที่ปลูก (เซนติเมตร)

ในกรณีที่ปลูกข้าวแบบปักดำ แบบจำลอง CERES-Rice กำหนดให้วันปลูกเป็นวันปักดำ การคำนวณค่า P8 และ P9 เป็นไปในทำนองเดียวกับการปลูกโดยตรง แต่ค่า P8 ใช้อุณหภูมิเฉลี่ยที่กล้าเจริญเติบโต (ATEMP) แทนอุณหภูมิเฉลี่ย (TEMPM) และค่า P9 คำนวณจากค่าความลึกของเมล็ดขณะที่ตกกล้า



### 4.3 หลักการจำลองการเจริญเติบโตของข้าว

แบบจำลอง CERES-Rice ได้นำหลักการของประสิทธิภาพการใช้พลังงานแสง (Radiation use efficiency) จำลองการเจริญเติบโตหรือการสะสมน้ำหนักรวมของข้าวทั้งต้นและใช้หลักการถ่ายเทสารสังเคราะห์ (Assimilate partitioning) และหลักของ Source/sink สำหรับการคำนวณการแบ่งสารสังเคราะห์ไปยังส่วนต้น ใบ รวง เมล็ด และราก ตามระยะพัฒนาการและใช้หลัก Law of Minimum ของปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำ ไนโตรเจน และอุณหภูมิ เพื่อลดการเจริญเติบโตจากระดับที่ไม่มีข้อจำกัดของปัจจัยดังกล่าว

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar radiation, MJ / m<sup>2</sup>) ในแบบจำลอง CERES-Rice ได้กำหนดค่าให้ 50 เปอร์เซ็นต์เป็นพลังงานแสงที่พืชสังเคราะห์แสงได้ (Photo synthetically Active Radiation, PAR) ซึ่งเป็นพลังงานแสงส่วนที่มีความยาวคลื่น 400-700 nm ซึ่งเป็นค่าพลังงานแสงที่พืชสังเคราะห์แสง และเปลี่ยนไปเป็นน้ำหนักรวมได้สูงสุด (Potential dry mater or Organic carbon assimilation, PCARB) (กรัมต่อต้น) โดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นน้ำหนักรวมและความหนาแน่นของประชากรพืชและพื้นที่ใบ โดยอาศัยกฎ Beer's Law และ Radiation use efficiency ดังสมการ

$$PCARB = 6.85 * PAR^{0.65} / PLANTS^{0.975} * (1 - AMAX1 * (EXP(-0.625 * LAI), EXP(-0.92 * EXP(-0.65 * ROWSPC) * LAI))) \quad (14)$$

เมื่อ PCARB = อัตราการสะสมน้ำหนักรวมสูงสุดต่อต้นต่อวัน  
 PAR = พลังงานแสงที่พืชใช้ได้  
 PLANTS = จำนวนต้นต่อตารางเมตร  
 LAI = ดัชนีพื้นที่ใบ  
 ROWSPC = ระยะระหว่างแถว

โดยการจำลองการเจริญเติบโตในระยะแรก (Vegetative phase) เป็นการเจริญเติบโตของต้นข้าวเป็นแบบ sink เป็นตัวจำกัด การคำนวณพื้นที่ใบจากจำนวนใบที่เกิดตามระยะการเจริญอาศัยจากความสัมพันธ์ของจำนวนใบกับอุณหภูมิสะสม โดยที่การเกิดหน่อเป็นไปในทำนองเดียวกับการเกิดใบ มีการจำลองการเกิดใบและพื้นที่ใบของหน่อแยกออกจากของต้นแม่ เพื่อที่ใช้ระบบการให้ความสำคัญในการถ่ายเทสารอาหาร ซึ่งมีประโยชน์ในการจำลองการแตกหน่อที่

ชดเชยให้ได้ความหนาแน่นของรวงต่อพื้นที่สูง กรณีที่ความหนาแน่นของต้นข้าวที่ต่ำอีกทั้งแบบจำลองยังกำหนดให้การย้ายกล้าปักดำ มีผลกระทบในการลดอัตราการเพิ่มของพื้นที่ไบนาน 14 วันหลังปักดำ ผลกระทบจะลดลงจนหมดเมื่อถึงวันที่ 14 หลังปักดำ โดยผลกระทบของการปักดำในวันปักดำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในวันปักดำนั้นด้วย ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ผลกระทบของการปักดำก็จะยิ่งมากขึ้น (จิรวัดน์, 2544)

แบบจำลองมีการจำลองการเจริญเติบโตของส่วนที่เป็นหน่อข้าว (Tiller) ควบคู่ไปกับการเจริญเติบโตของต้นแม่ (Main culm) ของข้าวตั้งแต่ระยะที่ 1 (P1) และมีการจำลองความหนาแน่นของหน่อที่สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การแตกกอ (Tillering coefficient, G3) โดยศึกษาภาพของจำนวนหน่อต่อต้น (PTILNO) ขึ้นอยู่กับจำนวนใบของต้นแม่ (XN) และ G3 ดังสมการ

$$PTILNO = (-0.10 + 1.655 * (XN - 4.0) - 0.376 * (XN - 4.0)^2 + 0.0758 * (XN - 4.0)^3) * G3 \quad (15)$$

การจำลองการตายของใบ (Leaf senescence) แบบจำลอง CERES-Rice มีสมมติฐานว่าการตายของใบจะเกิดขึ้นถ้าประชากรและพื้นที่ใบหนาแน่นมาก และพื้นที่ใบของใบที่ต่ำที่สุดถูกบังแสง หรือมีการขาดน้ำและไนโตรเจนในระดับหนึ่ง

#### 4.4 การจำลองผลผลิตของข้าว

ในแบบจำลอง CERES-Rice น้ำหนักเมล็ดต่อต้นถูกกำหนดโดยอัตราและระยะเวลาการสะสมน้ำหนักเมล็ด ภายใต้สภาพที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม G2 (Potential single grain weight) โดยอัตราการเจริญเติบโตของเมล็ดจะผันแปรไปตามพันธุ์และชนิดของข้าว ซึ่งขนาดของเมล็ดข้าวแบ่งออกได้เป็นสามขนาด คือ ยาว ปานกลาง และสั้น อีกทั้งแบบจำลองยังกำหนดให้ ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม G1 (Potential spikelet) สัมพันธ์กับตัวแปรอัตราการการสะสมน้ำหนักเมล็ด (RGEIL) ด้วย ซึ่งกำหนดเงื่อนไขว่า

$$\text{ถ้า } G1 \geq 50 \text{ แล้ว } RGFIL = G2IP5 \quad (16)$$

ระยะเวลาการสะสมน้ำหนักเมล็ดขึ้นอยู่กับขนาดสูงสุดของ sink (Potential sink size) สัมประสิทธิ์พันธุกรรม G2 (Potential single grain weight) อุณหภูมิสะสม และข้อจำกัดของน้ำไนโตรเจนและอุณหภูมิ โดย Yoshida (1981) และ (จิรวัดน์, 2544) กล่าวว่า น้ำหนัก 1,000 เมล็ด

ของข้าวมีค่าคงที่และเป็นลักษณะที่ถูกกำหนดโดยพันธุกรรมข้าว ซึ่งจะมีความแตกต่างกันแต่ละเมล็ด แต่เมื่อคิดค่าเฉลี่ยจะมีค่าคงที่

#### 4.5 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวในแบบจำลอง CERES-Rice

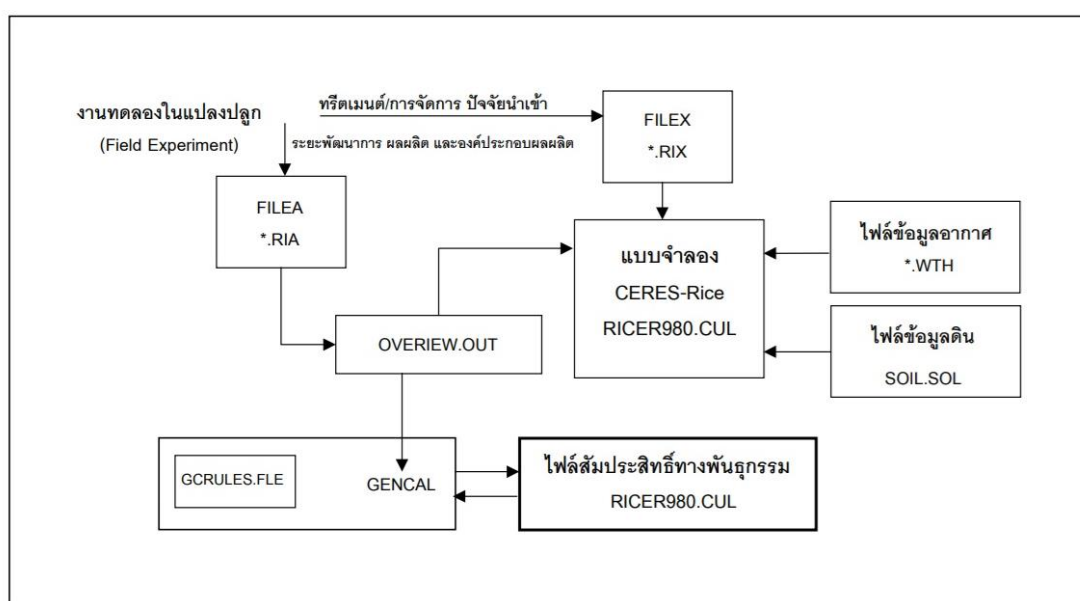
แบบจำลอง CERES-Rice อาศัยข้อมูลพื้นฐานจากผลการทดลองในแปลงเพาะปลูก เพื่อใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (Genetic coefficient) โดยแบบจำลอง CERES-Rice แบ่งค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม เป็น 2 ส่วน ได้แก่ สัมประสิทธิ์ทางด้านการพัฒนาการ (Phenology coefficients) และสัมประสิทธิ์ทางด้านการเจริญ (Growth coefficient) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงความหมายค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวของแบบจำลอง CERES-Rice

รหัส	ความหมาย
สัมประสิทธิ์พัฒนาการ	
P1	ระยะเวลา Growing Degree Day: GDD จำนวนตั้งแต่เมล็ดงอกจนสิ้นสุดการเจริญพื้นฐาน (ระยะแตกกอ) โดยอุณหภูมิพื้นฐานเท่ากับ 9 °C
P5	ระยะเวลา Growing Degree Day จำนวนตั้งแต่ระยะออกดอกจนสิ้นสุดระยะการสะสมน้ำหนักเมล็ดของต้นหลัก โดยใช้อุณหภูมิพื้นฐานเท่ากับ 9 °C
P20	ความยาววันวิกฤตที่ทำให้พืชออกดอก (Critical photoperiod)
P2R	เป็นระยะเวลาที่มีการชะลอการเกิดช่อรวง (panicle initiation, PI) หรือสัมประสิทธิ์ความไวแสง (Degree day delay per hour)
สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต	
G1	จำนวนช่อดอกย่อย (Spikelet) สูงสุดต่อรวง
G2	น้ำหนักเมล็ด 1 เมล็ด ที่ไม่มีข้อจำกัดทางแสง น้ำ ธาตุอาหาร และไม่มีแมลงศัตรูและโรค
G3	ค่าสัมประสิทธิ์การแตกกอ ภายใต้สภาพไม่มีข้อจำกัดของสภาพแวดล้อม
G4	สัมประสิทธิ์ความทนทานเชิงอุณหภูมิ ค่าปกติ 1.0 สำหรับพันธุ์ที่ปลูกในสภาพปกติ

ที่มา: Buddhaboon *et al.* (2018)

ขั้นตอนการประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของข้าวในแบบจำลอง CERES-Rice ทำโดยการนำเข้าข้อมูลการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวที่ได้จากแปลงทดลอง ไปทำการประเมินร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของพันธุ์ข้าวที่เคยมีผู้ประมาณค่าไว้แล้ว ซึ่งข้อมูลในแบบจำลอง CERES-Rice ถูกบรรจุอยู่ในฐานข้อมูล Genotype ในแฟ้มข้อมูล RICER980.CUL (หรือ RICER047.CUL) โดยเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวพันธุ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับพันธุ์ที่ต้องการทดสอบ มาใช้เป็นค่าเริ่มต้นให้แบบจำลองประมวลผลในเบื้องต้น จากนั้นทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมที่ได้แต่ละค่า จนได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับพันธุ์ข้าวที่ต้องการ โดยอ้างอิงจากผลการทดลองในแปลงนาทดลอง เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของพันธุ์ข้าวที่ต้องการนั้นจะถูกทดสอบความถูกต้องอีกครั้ง โดยการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากแปลงเพาะปลูกจริง



ภาพที่ 21 ขั้นตอนการประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของข้าวในแบบจำลอง CERES-Rice

ที่มา: จิรวัดน์ และคณะ (2543)

ปัจจุบันมีคณะผู้วิจัยหลายคณะได้ดำเนินการทดลองและประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของพันธุ์ข้าวที่นิยมเพาะปลูกในประเทศไทยไว้หลายสายพันธุ์ เพื่อประกอบการวิเคราะห์ในแบบจำลอง CERES-Rice ตัวอย่างตามที่แสดงในตารางที่ 6 และจากการทดลองของ หัสไชย และ วิเชียร (2545) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของ

ประเทศไทย ค่าสัมประสิทธิ์ P5 P2O G2 G3 และ G4 มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามวันปลูก สำหรับค่า P1 และ G1 จะเปลี่ยนค่าตามวันปลูก แต่ค่า P2R จะมีการเปลี่ยนแปลงทุกวันปลูก ดังนั้น การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวในการจำลองสถานการณ์การเพาะปลูกข้าวในแบบจำลอง CERES-Rice จำเป็นต้องเลือกใช้ค่าให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าว นั้นจะทำให้ผลการคำนวณค่าต่าง ๆ จากแบบจำลองได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

ตารางที่ 6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวสำหรับแบบจำลอง CERES-Rice

ชื่อพันธุ์ข้าว	P1	P2R	P5	P2O	G1	G2	G3	G4
RD 23	310.30	140.00	370.00	11.20	53.00	0.0230	0.30	1.00
KDML105	502.30	123.30	386.50	12.70	45.70	0.0270	1.00	0.95
NEW SANPATONG	495.80	128.30	364.20	12.70	40.70	0.0277	0.70	0.85
SUPANBURI 60	540.00	154.70	497.00	11.90	77.70	0.0280	1.00	1.03
CHAINAT 1	570.00	122.80	334.80	11.90	63.10	0.0278	1.00	1.00
YIPUN DOA 1	388.50	20.00	381.80	12.00	73.80	0.0275	1.10	1.15
PHITSANULOK 2	390.90	198.60	434.70	11.90	78.20	0.0300	0.82	1.20

## 5. การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 5.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ในระยะเวลาที่ผ่านมา มีการศึกษาและทำการวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากมาย โดยเฉพาะการศึกษาผลกระทบต่อด้านเกษตรกรรม การวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวทางของผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการบริหารจัดการน้ำชลประทานในนาข้าว เพื่อสามารถนำผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลนำไปเตรียมการรับมือและการปรับตัวแก่งัดด้านทรัพยากรน้ำและเกษตรกร โดยทำการศึกษาทบทวน ค้นคว้าเพิ่มเติมจากการศึกษาที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

เกริก และคณะ (2552) ได้ศึกษาเพื่อประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ของประเทศไทย พบว่า ผลกระทบในระยะยาวจากภาวะโลกร้อนไม่มีผลกระทบที่รุนแรงต่อผลผลิตพืช ยกเว้นมันสำปะหลัง แต่ผลกระทบทางอ้อมต่อความแปรปรวนของ

สภาพอากาศทำให้ผลผลิตมีความแปรปรวนรายปีสูง และความแปรปรวนระหว่างพื้นที่ยิ่งสูงมากขึ้น ดังนั้นแม้โดยภาพรวมผลผลิตจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่บางพื้นที่จะได้รับผลกระทบในระดับที่วิกฤต ในกรณีของข้าวนาข้าวฝ่น พื้นที่วิกฤตส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่พื้นที่นาชลประทานที่ได้รับผลกระทบรุนแรงจะกระจายอยู่ทั่วประเทศ พื้นที่วิกฤตของการผลิตอ้อย และมันสำปะหลังส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และสำหรับข้าวโพดพื้นที่วิกฤตกระจายอยู่ทั่วไป

กรมอุตุนิยมวิทยา (2553) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ รวม 121 สถานี ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงในช่วงปี 2494-2551 (58 ปี) และการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตโดยใช้แบบจำลอง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศพบว่า ปริมาณฝนรายปีมีความผันแปร โดยปี พ.ศ. 2542-2551 พบว่า ปริมาณฝนส่วนใหญ่สูงกว่าค่าปกติ ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530-2551 สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงเวลาดังกล่าว พบว่า พื้นที่ที่มีอากาศร้อนขยายพื้นที่เพิ่มมากขึ้น ขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

แสงจันทร์ และคณะ (2553) ทำการศึกษาค่าภูมิอากาศในช่วงปี ค.ศ. 1965-2006 หรือ พ.ศ. 2508-2549 ได้สรุปผลถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยในอนาคตอันใกล้นี้ว่า สถานะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทย มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงขึ้นเป็นเท่าตัว ในส่วนสถานะความรุนแรงของฝนมีรูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อน และแตกต่างจากอุณหภูมิโดยสิ้นเชิง โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้งสองทิศทาง คือ การเพิ่มขึ้นและการลดลงในอัตราที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ผลการวิเคราะห์ยังพบว่า ความแปรปรวนในระยะสั้น (ปีต่อปีหรือทศวรรษต่อทศวรรษ) เป็นลักษณะที่โดดเด่นอีกประการหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงสถานะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย ซึ่งความแปรปรวนในช่วงเวลาดังกล่าวอาจมีความเชื่อมโยงกับความแปรปรวนของปรากฏการณ์เอนโซ และลมมรสุมไซนร้อน

วิเชียร และคณะ (2556) ศึกษาการคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM4 ตามภาพฉายอนาคตของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ A2 และ B2 ซึ่งคำนวณเพิ่มรายละเอียดระดับท้องถิ่นโดยแบบจำลอง PRECIS แสดงให้เห็นว่า ภูมิอากาศในลุ่มน้ำชี-มูล มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นทั้งกลางวันและกลางคืน โดยช่วงเวลาที่มียูทอร์ปร้อนในรอบปีจะเพิ่มสูงขึ้น และช่วงเวลาที่มียูทอร์ปเย็นในรอบปีจะ ลดลง ปริมาณฝนโดยรวมจะเพิ่มสูงขึ้น แต่การกระจายตัวของฝนในรอบปีไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงในอนาคต

ตามแนวทางที่ก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นแบบ A2 และ B2 เป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่การเปลี่ยนแปลงตามแนวทาง A2 จะเปลี่ยนแปลงสูงกว่า การเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มน้ำที่กล่าวมานี้ น่าจะส่งผลให้ปัญหาจากภาวะน้ำท่วมในช่วงฤดูฝน และปัญหาภัยแล้งในช่วงฤดูแล้ง มีความรุนแรงมากขึ้น และทำให้การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ศึกษามีความซับซ้อนมากขึ้นด้วยในอนาคต

Wang *et al.* (2016) ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อระบบนิเวศน้ำจืด โดยทั่วไปผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับแบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCMs) และตัวชี้วัดทางอุทกวิทยาที่ “เคลื่อนตามเวลา” ที่สอดคล้องกับระบบนิเวศซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้บันทึกไว้ระยะยาว แม้เป็นที่ทราบกันว่าผลลัพธ์การคาดการณ์ที่ได้ อาจจะไม่แน่นอนเนื่องจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกก็ตาม แต่อิทธิพลของวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติก็ยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจน การศึกษานี้ทำการประเมินอิทธิพลของการใช้วิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติแบบต่าง ๆ โดยเพิ่มเงื่อนไขความซับซ้อน ได้แก่ การปรับรายปี การปรับอัตราส่วนรายเดือน การปรับขนาดเชิงปริมาณ และวิธีการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศ สำหรับการประเมินผลลัพธ์ทางนิเวศวิทยา กรณีศึกษาในประเทศออสเตรเลีย พบว่าการเลือกวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติมีความสำคัญเทียบเท่ากับการเลือกแบบจำลอง GCM และการศึกษาที่ใช้เทคนิคการลดมาตราส่วนเชิงสถิติที่ซับซ้อนมากขึ้นจะแสดงจำลองการเปลี่ยนแปลงในลักษณะความถี่และลำดับของเหตุการณ์ได้ดีขึ้น

Yang *et al.* (2017) ได้วิจัยการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกเพื่อทำความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตและนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในระบบโซลาร์เซลล์เพื่อระบบการผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก จำนวน 38 รูปแบบการจำลองที่แตกต่างกันจากฐานข้อมูล CMIP5 ภายใต้สถานการณ์จำลอง RCP 8.5 เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิว ค่าอุณหภูมิพื้นผิว และการปกคลุมของเมฆในอนาคต ระหว่างปี ค.ศ. 2006-2049 ในประเทศจีน ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวจากผลลัพธ์แบบจำลอง GCMs ทั้งหมดแสดงถึงภาวะโลกร้อนในประเทศจีนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.05 องศาเซลเซียสต่อปี และมีแนวโน้มการแผ่รังสีทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ของจีนเพิ่มขึ้นที่ระดับ 0.4 W/m<sup>2</sup> ต่อปี แต่แนวโน้มเมฆปกคลุมลดลง และการแผ่รังสีทั่วภูมิภาคส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง (-0.08 W/m<sup>2</sup> ต่อปี) ค่าการผลิตไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ระหว่างปี ค.ศ. 2006-2049 ในภาคตะวันออกเฉียงใต้ของจีนจะลดลง -0.04 % ต่อปี ในขณะที่ระบบการผลิตไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ในภาคตะวันออกเฉียงใต้ของจีนจะเพิ่มขึ้น 0.06-0.10 % ต่อปี

ศุภชัย และคณะ (2561) ทำการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งของอ่างเก็บน้ำลำแะะ จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ข้อมูลอดีตจำนวน 30 ปี (ปีพื้นฐาน) ตั้งแต่ พ.ศ. 2529-2558 ด้วยแบบจำลอง NAM เพื่อประเมินน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำ จำลองฝนใช้การ, ความต้องการน้ำชลประทาน และจำลองระบบพื้นที่เพาะปลูก เพื่อกำหนดพื้นที่เพาะปลูกช่วงฤดูแล้ง เปรียบเทียบกับกรณีอนาคตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (General circulation models, GCMs) จากชุดข้อมูล Global dataset ECHAM4 และเพิ่มความละเอียดข้อมูลด้วยวิธีการลดมาตราส่วนแบบพลวัตโดยใช้แบบจำลอง PRECIS ภายใต้อสมมติฐาน A2 จำนวน 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2558-2588 พบว่าปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำรายเดือนมีทั้งสูงขึ้นและลดลงเมื่อเทียบกับปีพื้นฐาน โดยปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะอยู่ในช่วงต้นฤดูฝนซึ่งมีความสำคัญสำหรับพืชมากกว่าปริมาณน้ำที่ลดลงในช่วงปลายฤดูฝน และอัตราการไหลสูงสุดจะเกิดเร็วกว่าเดิมจากเดือนตุลาคมเป็นเดือนกันยายน ด้านความต้องการน้ำชลประทานในอนาคต จะมีค่าใกล้เคียงกับความต้องการน้ำในช่วงปีพื้นฐาน โดยในอนาคตมีค่าลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ฝนที่ตกลงมากกลายเป็นฝนใช้การมากขึ้น ส่วนการจำลองระบบพื้นที่เพาะปลูก เมื่อคิดพื้นที่เพาะปลูกฤดูฝนเต็มพื้นที่โครงการและฤดูแล้ง ผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้ได้พื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งเฉลี่ยมากขึ้น จากเดิม 16,353 ไร่ เป็น 19,947 ไร่ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมากขึ้น หลังสิ้นสุดฤดูฝนจึงมีน้ำเหลือในอ่างเก็บน้ำสำหรับเพาะปลูกในฤดูแล้งมากขึ้น

ณัชวิษณุ (2561) ศึกษาการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาในเขต 3 อำเภอ ของจังหวัดเชียงใหม่ คือ อำเภอเมือง อำเภอสันทราย และอำเภอดอยสะเก็ด โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM4 ภายใต้อสมมติฐาน A2, B2 และ A1B เพื่อให้ได้ข้อมูลอุณหภูมิในอนาคตระดับท้องถิ่น พบว่า ข้อมูลในระดับท้องถิ่นมีความสำคัญต่อการวางแผนในด้านต่าง ๆ ที่เฉพาะเจาะจง เช่น การปลูกพืช การเลี้ยงสัตว์ ที่ไม่อาจใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งจังหวัดได้ นอกจากนี้ยังพบว่าในอนาคตอุณหภูมิระดับท้องถิ่นทั้งสามอำเภอในจังหวัดเชียงใหม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้น โดยแนวโน้มค่าคาดการณ์อุณหภูมิภายใต้ภาพฉาย A1B สูงกว่า A2 และ B2 ดังนั้นตัวแปรที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการเลือกใช้ภาพฉายอนาคตที่มีเงื่อนไขที่สอดคล้องกับพื้นที่เพื่อให้สามารถหาแนวทางป้องกันที่ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมากที่สุด

Zhang *et al.* (2019) ศึกษาการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับการชลประทานในกระบวนการผลิตผลภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยใช้การคาดการณ์ภูมิอากาศในอนาคตที่สร้างขึ้นภายใต้สถานการณ์จำลองเส้นทางความเข้มข้นที่เป็นตัวแทน ได้แก่ RCP 2.6, RCP



4.5 และ RCP 8.5 และผลลัพธ์ที่ได้รับการแก้ไขค่าอดีตแล้ว เพื่อตรวจสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลง และการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอน ไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ ( $\text{CO}_2$ ) ต่อความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานของข้าวโพด ข้าว ข้าวสาลี และถั่วเหลืองในประเทศจีน ในช่วงเวลาปลายศตวรรษที่ 21 (2081-2100) ผลของการศึกษาพบว่า ความต้องการน้ำชลประทานของข้าวโพดและข้าวสาลีจะขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิและความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  อันเป็นผลมาจากปริมาณน้ำฝนที่ต่ำและอัตราการระเหยสูง ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานของถั่วเหลืองได้รับอิทธิพลร่วมกันจากผลกระทบของอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  ในขณะที่ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานสำหรับข้าวขึ้นกับปริมาณน้ำฝนเพียงอย่างเดียว ความต้องการน้ำชลประทานของพืชส่วนใหญ่จะลดลงตามการลดลงของเกณฑ์ความเข้มข้นที่เป็นตัวแทน  $\text{CO}_2$  ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อความต้องการน้ำเพื่อการชลประทาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สถานการณ์การปล่อยมลพิษสูงและควรศึกษาเพิ่มเติมเพื่อออกแบบกลยุทธ์ในการปรับตัวที่เหมาะสมสำหรับการจัดการน้ำเพื่อการเกษตรเพื่อรักษาการพัฒนาที่ยั่งยืนของการเกษตร

กนกพร และคณะ (2563) ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลางประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลการผลิตข้าวและสภาพอากาศแบบพานเนล จำนวน 22 จังหวัด จำแนกตามพื้นที่รับน้ำ และไม่รับน้ำตามฤดูเพาะปลูกข้าวนาปี (ปี ค.ศ. 1981–2017) และข้าวนาปรัง (ปี ค.ศ. 1987–2017) และนำผลการศึกษาจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ PRECIS มาจำลองผลกระทบการผลิตข้าวในอนาคต การศึกษานี้ ทำการวิเคราะห์ความนิ่งของข้อมูลทดสอบรูปแบบสมการแบบ Fixed และ Random Effects และตรวจสอบปัญหาความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ และแก้ไขปัญหาด้วยการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรสภาพอากาศตามฤดูกาลเพาะปลูกส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าว โดยเฉพาะข้าวนาปรังในพื้นที่รับน้ำ พบว่าหากปริมาณน้ำฝนรวมในฤดูกาลเพาะปลูกเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้โอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวนาปรังเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.17 และหากอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูกเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะเพิ่มโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวนาปรัง ร้อยละ 28.25 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และจากการจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในอนาคต (ปี ค.ศ. 2030-2090) พบว่า ข้าวนาปรังในพื้นที่รับน้ำภาคกลางได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศมากที่สุด โดยผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลงร้อยละ 3.05 ถึง 11.04 ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 80.57 ถึง 167.12 ซึ่งจะทำให้เพิ่มโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.43 ถึง 584.67

Morid *et al.* (2020) ศึกษาผลกระทบการจัดการลุ่มน้ำที่มีต่อลักษณะการไหลของแม่น้ำ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศญี่ปุ่น ทำการศึกษาโดยพัฒนาแบบจำลองเชิงแบบบูรณาการระหว่างค่าอุณหภูมิของน้ำ คุณลักษณะทางชลศาสตร์ และอุทกวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง iRIC ซึ่งเลือกใช้ผลลัพธ์การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกสองแบบจำลองที่แตกต่างกัน ได้แก่ HadGEM2-ES และ MICRO5 ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 เพื่อประเมินลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยเกี่ยวกับกระแสน้ำไหล ความลึกของน้ำ และความเร็วที่ลดลง มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำคิคุจิ อย่างไรก็ตาม การลดลงปัจจัยเหล่านี้ทำให้บางส่วนของแม่น้ำแห้ง ดังนั้นลักษณะทางกายภาพบางส่วนอาจหายไปอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ พบว่าส่วนปลายน้ำของแม่น้ำคิคุจิจะมีความเสี่ยงต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากขึ้น

## 5.2 การศึกษาการเพาะปลูกข้าว

อัจฉรา (2551) ได้ศึกษาการจัดการน้ำชลประทานในนาข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ.2549 ในลุ่มน้ำแม่กลอง โดยวิธีให้น้ำแบบน้ำตื้น (ให้น้ำระดับ 5-10 เซนติเมตร) แบบเปียกสลับแห้ง (ให้น้ำระดับ 5 ถึง -5 เซนติเมตร) และแบบดั้งเดิม (ให้น้ำระดับ 20-30 เซนติเมตร) จากผลการศึกษาพบว่าระดับน้ำท่วมขังในนาข้าวสูงกว่าและนานกว่าส่งผลต่อปริมาณก๊าซมีเทนและคุณภาพน้ำมากกว่าวิธีการให้น้ำในระดับต่ำและช่วงระยะเวลาขังน้ำที่สั้นกว่า โดยวิธีแบบดั้งเดิมส่งผลกระทบต่อมากที่สุด แบบน้ำตื้นส่งผลกระทบต่อ น้อย แบบน้ำตื้นร่วมกับวิธีแบบเปียกสลับแห้งส่งผลน้อยกว่า และวิธีแบบเปียกสลับแห้งส่งผลกระทบต่อ น้อยที่สุด คือเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าวรวมทั้งไนเตรทและฟอสเฟตในคลองระบายน้ำน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเพาะปลูกข้าวแบบดั้งเดิมที่ให้น้ำแบบท่วมขังในแปลงนาที่ระดับสูง ดังนั้น การจัดการน้ำแบบน้ำตื้นและแบบเปียกสลับแห้งจึงเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณน้ำใช้และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านบรรยากาศและคุณภาพน้ำ

ดวงภา (2556) ได้ทำการทดลองเพาะปลูกข้าวด้วยพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการขังน้ำที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวและคุณภาพน้ำจากอิทธิพลของการบริหารจัดการน้ำชลประทาน 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบขังน้ำตลอดเวลา และแบบเปียกสลับประยุกต์ โดยให้น้ำระดับ 20 เซนติเมตร โดยขังน้ำที่ระยะเวลา 10 และ 20 วัน แล้วปล่อยให้น้ำแห้งแล้วทำการส่งน้ำใหม่ในระดับน้ำระดับ 20 เซนติเมตร ในช่วงฤดูนาปรังและนาปี พ.ศ. 2553 โดยวาง

แผนการเพาะปลูกแบบ RCBD เงื่อนไข 3 ซ้ำ ในแปลงนาทดลองของสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 5 (แม่กลองใหญ่) อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ผลการศึกษาพบว่า การบริหารจัดการน้ำในนาข้าวแบบเปียกสลับแห้งประยุกต์สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงฤดูนาปรังและนาปี ได้ถึง 80-82% และก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นเมื่อค่า Eh อยู่ระหว่าง -356 ถึง -80 mV

Oliver *et al.* (2008) ได้ทำการทดลองการเพาะปลูกข้าวโดยวิธีเปียกสลับแห้งที่สถาบัน Bangladesh Agricultural University กับข้าวพันธุ์ BBRIdhan-28 และ BBRIdhan-29 โดยมีวิธีการส่งน้ำเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าผิวดิน 3 ระดับ ได้แก่ ต่ำกว่าผิวดิน 10, 20 และ 30 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับวิธีการปล่อยให้น้ำท่วมขังตลอดฤดูปลูก พบว่า ผลผลิตข้าวของวิธีการให้น้ำในระดับน้ำต่ำกว่าผิวดิน 10 และ 20 เซนติเมตร ไม่มีความแตกต่างแบบมีนัยสำคัญทางสถิติเทียบกับวิธีการให้น้ำท่วมขังแปลงนาตลอดฤดูปลูก ผลผลิตข้าวจากวิธีการที่ปรับลดระดับน้ำผิวดิน 10 เซนติเมตร ให้ผลผลิตสูงสุดและใช้ปริมาณน้ำชลประทานลดลงประมาณ 12.22 % ส่วนวิธีการที่ปรับลดระดับน้ำต่ำกว่าผิวดิน 30 เซนติเมตร มีผลผลิตน้อยที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับวิธีการให้น้ำท่วมขังตลอดฤดู

Norton *et al.* (2017) ได้ทำการทดลองภาคสนามด้วยวิธีการเพาะปลูกข้าวแบบประหยัดน้ำที่เมือง Mymensingh ประเทศบังกลาเทศ ในฤดูแล้งปี ค.ศ. 2013 และ 2014 โดยทำการเพาะปลูกในแปลงนาทดลองจำนวน 8 แปลง ขนาด 10×24 ตารางเมตร แบ่งเป็นส่งน้ำภายใต้วิธีเปียกสลับแห้ง (AWD) กับวิธีให้น้ำท่วมขังตลอดฤดูปลูก (CF) อย่างละสี่แปลง แต่ละแปลงทำการเพาะปลูกข้าวด้วยระยะห่างแถวและกอ 20 เซนติเมตร เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว พบว่า ผลผลิตข้าวภายใต้วิธี AWD มีมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ 9.0-9.4 % และ 12.0-15.4 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีให้น้ำท่วมขังตลอดฤดูปลูก

Carrijo *et al.* (2017) ทำการวิเคราะห์การศึกษาจาก 57 รายการทดลอง ที่มีการเปรียบเทียบวิธีเปียกสลับแห้ง (AWD) กับวิธีให้น้ำท่วมขังตลอดฤดูปลูก (CF) พบว่า ภาพรวมของผลผลิตข้าวภายใต้วิธี AWD ได้รับผลกระทบที่ไม่รุนแรง เมื่อความชื้นน้ำในดินน้อยกว่าหรือเท่ากับ -20 kPa หรือระดับน้ำลดลงไม่ต่ำกว่า 15 เซนติเมตรจากผิวดิน และการทดลองส่วนใหญ่ได้ปริมาณผลผลิตข้าวไม่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่วิธี AWD จะได้รับผลกระทบรุนแรง เมื่อดินแห้งเกิน -20 kPa ส่งผลให้สูญเสียผลผลิตถึง 22.6 % เมื่อเทียบกับวิธี CF โดยการสูญเสียผลผลิตเหล่านี้ ปรากฏอย่างเด่นชัดที่สุดในดินที่มีค่า pH เท่ากับหรือมากกว่า 7

Dang *et al.* (2018) รายงานว่าความถี่การขาดแคลนน้ำชลประทานในช่วงฤดูแล้งที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำต้นทุนมักจะไม่ใช่เพียงพอต่อการชลประทานในพื้นที่การผลิตข้าวทั้งหมด และทำให้เกิดผลกระทบต่อผลผลิตข้าวอย่างมาก จึงทำการศึกษาการพัฒนาแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทานในพื้นที่ภาคกลางของประเทศเวียดนาม เพื่อปรับกลยุทธ์การชลประทานให้เหมาะสมสำหรับข้าวนาชลประทาน แบบจำลองการศึกษาประกอบด้วย แบบจำลองทางอุทกวิทยา ซึ่งจำลองการไหลเข้าของน้ำต้นทุนของอ่างเก็บน้ำ และแบบจำลองการชลประทานเกี่ยวกับเทคโนโลยีการชลประทานของข้าว ด้วยวิธีการส่งน้ำชลประทานแบบวิธีเปียกสลับแห้ง (AWD) และวิธีให้น้ำท่วมต่อเนื่อง (CF) ภายใต้ข้อจำกัดของปริมาณน้ำที่กำหนด ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่ง ถ้าระดับน้ำที่น้อยกว่า 90 % ทำให้น้ำไม่เพียงพอต่อการชลประทานในพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด ในขณะที่ระดับน้ำ 70 % พื้นที่เพาะปลูกจะถูกจำกัดไว้ที่ 75 % โดยวิธี AWD สามารถลดปริมาณน้ำการใช้น้ำได้ ตั้งแต่ 4 % ถึง 10 % การนำวิธี AWD มาใช้จะเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทานในพื้นที่ขนาดใหญ่และอาจช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกร อย่างไรก็ตาม ประโยชน์ของวิธี AWD จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีระบบการให้น้ำชลประทานและระบบการระบายน้ำที่เหมาะสม

Hamoud *et al.* (2019) ทำการทดลองการเพาะปลูกด้วยวิธีการชลประทานแบบประหยัดน้ำ โดยการผสมผสานระหว่างการจัดการน้ำชลประทานกับคุณสมบัติเนื้อดินที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมการเจริญเติบโตของข้าวปลูกในภาคใต้ของจีน เพื่อตรวจสอบผลกระทบของชนิดเนื้อดินในแปลงนาและปฏิกริยาต่อการผลผลิตชีวมวล การดูดซึมน้ำในโตรเจน และประสิทธิภาพการใช้น้ำในโตรเจนของข้าว โดยออกแบบการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์แบบสุ่ม มีการจัดเรียงแบบแฟคทอเรียลของวิธีการให้น้ำ โดยกำหนดระดับน้ำไว้ 3 ระดับ คือ R1 (30 mm-100 %), (ความอิ่มตัว 100 %, ให้น้ำแบบท่วมขังที่ระดับ 30 mm), R2 (30 mm-90 %), (ความอิ่มตัว 90 %, ให้น้ำแบบท่วมขังที่ระดับ 30 mm) และ R3 (30 mm-70 %), (ความอิ่มตัว 70%, ให้น้ำแบบท่วมขังที่ระดับ 30 mm) ในแปลงนามีเนื้อดิน 3 ชนิด คือ ปริมาณเนื้อดินเหนียว 40 %, 50 % และ 60 % ตามลำดับ พบว่า วิธีการให้น้ำและลักษณะดิน มีปฏิกริยาร่วมต่อผลผลิตข้าวและประสิทธิภาพการใช้น้ำในโตรเจนของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ การรักษาระดับน้ำในดินให้อิ่มตัวเป็นวิธีการจัดการน้ำที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกข้าวในดินเหนียว และการปล่อยให้ดินแห้งต่ำกว่าจุดอิ่มตัวจะต้องหลีกเลี่ยงการแห้งแตกร้าวในดินเหนียวภายใต้การชลประทานแบบประหยัดน้ำ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำในโตรเจนของข้าวลดลง

Maneepitak *et al.* (2019) ทำการทดลองเพาะปลูกข้าวโดยใช้เทคนิคการเพาะปลูกข้าวแบบใช้น้ำน้อยที่ศูนย์วิจัยข้าวพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ประเทศไทย ในฤดูปลูกข้าวสองฤดู (นาปีและนาปรัง) ประจำปี 2559-2560 เพื่อประเมินการเจริญเติบโต ผลผลิต และผลิตภาพน้ำของข้าวที่เพาะปลูกในที่ราบลุ่มภายใต้การจัดการน้ำและการจัดการฟางข้าวแบบต่างๆ ด้วยเกณฑ์วิธีการส่งน้ำ 2 แบบ คือ วิธีเปียกสลับแห้ง (AWD) และวิธีให้น้ำท่วมต่อเนื่อง (CF) ร่วมกับวิธีการจัดการฟางข้าว 3 วิธี พบว่าวิธี AWD ลดปริมาณน้ำได้ 19 % ในช่วงฤดูนาปีและ 39 % ในฤดูนาปรัง ส่งผลให้ผลผลิตน้ำโดยรวมดีขึ้น 4.6 % ในช่วงฤดูนาปี และ 77 % ในฤดูนาปรังเมื่อเทียบกับวิธี CF ซึ่งการใช้ฟางข้าวกลบในดินหรือการเผาไหม้ในที่โล่งไม่มีผลต่อผลผลิตของเมล็ดข้าว, ปริมาณการใช้น้ำ และค่าผลิตภาพน้ำ รวมทั้งแนะนำให้ใช้วิธี AWD ที่รักษาระดับน้ำได้ผิวดิน 15 เซนติเมตร หรือเมื่อดินแห้งไม่มากกว่า -20 kPa สำหรับการเพาะปลูกข้าวในที่ราบลุ่มเพื่อลดปริมาณการใช้น้ำชลประทานโดยไม่กระทบต่อผลผลิตข้าว

Ishfaq *et al.* (2020) ได้ทบทวนการศึกษารวบรวมวิธีการให้น้ำแบบวิธีเปียกสลับแห้ง (AWD) กับวิธีให้น้ำท่วมขัง (CF) จากผลการทดลองและรายงานต่างทั่วโลก เพื่อศึกษาอิทธิพลของวิธี AWD ที่มีต่อพลวัตของการเจริญเติบโตของข้าว การสร้างผลผลิต คุณภาพเมล็ดพืช ประสิทธิภาพการใช้น้ำ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และด้านเศรษฐศาสตร์การผลิตข้าว พบว่าในรายงานและการทดลองเทคนิคการชลประทานแบบวิธี AWD ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำได้ 25-70 % ลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ประมาณ 11-95 % ผลผลิตข้าวส่วนใหญ่เพิ่มขึ้น 10-20 % เมื่อเทียบกับวิธี CF รวมทั้งระบบวิธี AWD มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่การนำวิธี AWD มาใช้ในพื้นที่การเพาะปลูกข้าวไม่ค่อยแพร่หลาย อาจเป็นเพราะความสัมพันธ์ระหว่างระบบการเกษตร เศรษฐกิจและสังคมที่ซับซ้อน รวมทั้งขาดการสนับสนุนจากสถาบันหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

จารุวรรณ และคณะ (2564) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์ต่อการติดเมล็ด ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว ณ แปลงทดลองศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2563 โดยการวางแผนการทดลองแบบ split-plot in CRD จำนวน 4 ซ้ำ กำหนดปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิปกติในแปลงนาธรรมชาติ 30-35 องศาเซลเซียส และโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูง 40-45 องศาเซลเซียส และปัจจัยรอง คือ ข้าว 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ ชัยนาท 1, ปทุมธานี 1, กข 41, สินเหล็ก และ M9962 ปลูกข้าวทุกพันธุ์/สายพันธุ์ในกระถางปลูกวางไว้ที่อุณหภูมิปกติ เมื่อข้าวเริ่มเข้าสู่ระยะตั้งท้อง (R2) ย้ายต้นข้าวแต่ละพันธุ์เข้าโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

สูง จนถึงระยะเก็บเกี่ยว (R9) และอีกส่วนไว้ที่อุณหภูมิปกติ พบว่า อุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์มีผลทำให้ความยาวรวง น้ำหนักรวง ผลผลิตต่อกอ การติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดต่อรวง น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดลดลง ที่อุณหภูมิสูงข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ให้ผลผลิต 21.80 กรัมต่อต้น สูงกว่า กข 41 และปทุมธานี 1 สำหรับการประเมินการติดเมล็ดนั้น ข้าวทุกพันธุ์/สายพันธุ์ที่อยู่ในสภาพอุณหภูมิปกติมีการติดเมล็ดสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นสินเหล็ก แต่ที่อุณหภูมิสูง M9962 เป็นพันธุ์ข้าวที่มีการติดเมล็ด 73.20 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ชัยนาท 1 ที่มีการติดเมล็ด 60.40 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ สินเหล็ก, ปทุมธานี 1 และ กข 41 มีการติดเมล็ด 2.20, 33.10 และ 45.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สุจิรา และคณะ (2564) ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของวิธีการทำนาแบบเปียกสลับแห้งกับวิธีทำนาแบบปกติต่อผลผลิตข้าวและคุณภาพเมล็ดข้าว โดยทำการทดลองเพาะปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในพื้นที่แตกต่างกัน 3 แห่ง ซึ่งคัดเลือกจากแปลงเกษตรกรที่อยู่ภายในอำเภอขามเฒ่า จังหวัดกาฬสินธุ์ แปลงนาแต่ละแห่งมีเนื้อดินและคุณสมบัติของดินแตกต่างกัน 3 ประเภท คือ ดินเนื้อละเอียด ดินเนื้อปานกลาง และดินเนื้อหยาบ โดยการทำนาแบบวิธีขังน้ำตลอดฤดูเพาะปลูกเปรียบเทียบกับวิธีการทำนาแบบเปียกสลับแห้ง พบว่า การทำนาแบบเปียกสลับแห้งช่วยลดปริมาณการใช้น้ำในดินเนื้อละเอียดได้ 703 ลบ.ม./ไร่, ในดินเนื้อปานกลาง 791 ลบ.ม./ไร่ และในดินเนื้อหยาบ 848 ลบ.ม./ไร่ การทำนาแบบเปียกสลับแห้งในเนื้อดินทุกประเภทไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวและไม่มีผลกระทบในทางลบต่อคุณภาพการขัดสีของเมล็ดข้าว นอกจากนี้ การทำนาแบบเปียกสลับแห้งไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดข้าวด้านปริมาณอะมิโลสในเมล็ดและอุณหภูมิแป้งสุกที่วัดด้วยค่าการสลายเมล็ดในด่าง การทำนาแบบประหยัดน้ำนี้ยังช่วยให้คุณภาพการขัดสีดีขึ้นด้วยการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ตันข้าว แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ตันข้าวในดินเนื้อละเอียดและดินเนื้อปานกลาง แสดงให้เห็นว่าการทำนาแบบเปียกสลับแห้งสามารถประหยัดน้ำในการทำนาได้จริง โดยไม่ส่งผลกระทบในทางลบต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดข้าว รวมทั้งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการขัดสีจากการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ตันข้าวด้วย

### 5.3 การศึกษาแบบจำลองข้าว

นิตยา (2552) ทำการศึกษาเพื่อทดสอบความแม่นยำของการใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CERES-Rice) สำหรับการประเมินอัตราการเจริญเติบโตของข้าว 2 พันธุ์ ภายใต้สภาพการเพาะปลูกด้วยอัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน ทำการทดลองที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน

พ.ศ. 2552 วางแผนการทดลองแบบ Split plot in randomized complete block design จำนวน 4 ซ้ำ โดยกำหนด Main plot คือ พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ส่วน Sub plot คือ อัตราการหว่านเมล็ด ได้แก่ 5, 25 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ พบว่า แบบจำลอง CERES-Rice สามารถนำมาใช้การประเมินอายุวันออกดอกและอายุวันเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวที่ปลูกโดยใช้ อัตราเมล็ดที่แตกต่างกัน ได้ผลค่อนข้างแม่นยำ และสามารถประเมินน้ำหนักแห้งรวมได้ค่อนข้างดี แต่ผลการประเมินน้ำหนักแห้งต้น และใบ รวมถึงผลผลิตข้าวไม่คืนก แต่ภาพรวมประสิทธิภาพการใช้แบบจำลองสำหรับการประเมินอัตราการเจริญเติบโตของข้าวอยู่ในระดับที่น่าพอใจ

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2554) ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อผลผลิตพืชไร่-นา ในเขตลุ่มน้ำชีมูล โดยใช้แบบจำลองพืช DSSAT และใช้ข้อมูลภูมิอากาศอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM4 ตามภาพฉายอนาคตแบบ A2 และ B2 ซึ่งคำนวณเพิ่มรายละเอียดโดยแบบจำลองภูมิอากาศระดับท้องถิ่น PRECIS เป็นข้อมูลนำเข้าในการคำนวณผลผลิตอนาคต 3 ช่วงเวลา คือ 2010s-2030s, 2040s-2060s และ 2070s-2090s โดยทำการเปรียบเทียบกับช่วงปีพื้นฐาน (1995-2004) ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของผลผลิตในปัจจุบัน โดยใช้เงื่อนไขการบริหารจัดการแปลงเพาะปลูกหลายเงื่อนไข โดยเฉพาะวิธีการให้น้ำซึ่งมีการประเมินผลผลิตในอนาคตตามการให้น้ำตามข้อเสนอแนะของกรมวิชาการเกษตร (Recommended or current practice) และการให้น้ำตามความเหมาะสมของดิน (Attainable Yield) การสรุปผลการเปลี่ยนแปลงผลผลิตพืชไร่-นา ในเขตลุ่มน้ำชีมูลในอนาคต ภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ พบว่า ปริมาณผลผลิตข้าวนาปรังฤดูแล้งในอนาคตทั้ง 3 ช่วงเวลา ของกลุ่มจังหวัดลุ่มน้ำชีมีแนวโน้มผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลง 0.37, 0.32 และ 0.28 ล้านตัน เมื่อเทียบกับปีพื้นฐาน และผลผลิตข้าวในกลุ่มจังหวัดลุ่มน้ำมูลมีแนวโน้มผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลง 0.52, 0.45 และ 0.37 ล้านตัน เมื่อเทียบกับปีพื้นฐาน เช่นเดียวกัน โดยที่กลุ่มจังหวัดในเขตลุ่มน้ำมูลจะได้รับผลกระทบที่รุนแรงกว่า ทั้งนี้ ผลผลิตข้าวโดยรวมมีการแกว่งตัวในช่วงแคบ ๆ โดยผลผลิตข้าวยังคงอยู่ที่ระดับประมาณ 11-12 ล้านตันต่อปี ตลอดช่วงศตวรรษที่ 21

พรเพ็ญ และ นิตยา (2555) ทำการศึกษาเพื่อทดสอบความแม่นยำของการใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CERES-Rice) สำหรับการประเมินอัตราการเจริญเติบโตของข้าวที่ระยะต่าง ๆ ทำการทดลองที่แปลงนาเกษตรกร เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ใช้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวดอกมะลิ 105 ทำการปักดำวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553, 15 สิงหาคม 2553 และ 16 มกราคม 2554 ใช้กล้าจำนวน 3 ต้นต่อกอ ระยะปักดำ 25×25 เซนติเมตร เก็บบันทึกลักษณะอัตราการเจริญเติบโต (CGR) ที่ 3 ระยะ คือ จากปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ (TP to 30 DAT) ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ (30 to 45

DAT) และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว (45 DAT to harvest) จากนั้นประเมิน CGR ที่ระยะต่าง ๆ โดยกำหนดใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกับสภาพการปลูกในแปลงทดลองจริง โดยประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าจากการจำลองและค่าสังเกตจริงด้วยค่า Normalized Root Mean Square Error (RMSE) และ index of agreement (d) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ประเมิน CGR ของข้าวได้ค่อนข้างดี โดยเฉพาะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว และแบบจำลองสามารถทำนาย CGR ของข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตจริงมากกว่าข้าวพันธุ์ไวแสง

อรรถชัย และคณะ (2556) รายงานผลการจำลองผลิตภาพน้ำในการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปี เขตพื้นที่ราบลุ่มเชิงใหม่-ลำพูน ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โดยเกณฑ์สภาพฉายจำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ A1B โดยใช้โปรแกรม CropDSS เชื่อมโยงข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM5 ในช่วงปี ค.ศ. 1980-2029 และ 2040-2069 เข้ากับแบบจำลองข้าว CERES-rice (DSSAT v. 4.5) พบว่า ผลผลิตข้าวจากแบบจำลองลดลง มีผลผลิต 2,725 ถึง 3,044 kg/ha (436-487 กิโลกรัมต่อไร่) เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2020 โดยเกณฑ์การจัดการน้ำและปุ๋ยในโตรเจนอย่างเต็มที่ที่จะทำให้ผลผลิตจาก 3,831 เป็น 6,463 kg/ha (613 เป็น 1,034 กิโลกรัมต่อไร่) และเมื่อมีการปรับตัวเป็นระบบการผลิตที่มีการใช้น้ำให้ปุ๋ยยูเรีย 62.5 กิโลกรัมต่อไร่ จะให้ผลผลิต 3,738 เป็น 4,956 kg/ha (598 เป็น 793 กิโลกรัมต่อไร่) ตามลำดับ อัตราการคายระเหยน้ำของข้าวนาปี ตามเส้นค่าสะสมร้อยละ 50 อยู่ในช่วง 454-465 มิลลิเมตรต่อฤดูปลูก สรุปว่าการปรับตัวต่อการผลิตข้าวที่มีการจัดการน้ำและปุ๋ยในโตรเจนอย่างเต็มที่ ทำให้น้ำหนักเมล็ดข้าวต่อปริมาณน้ำคายระเหยดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นที่ใช้ในการจำลองและแนวทางนี้สามารถนำไปใช้ในการศึกษาการใช้น้ำในการผลิตข้าวนาปีและนาปรังทั้งประเทศได้

พรเพ็ญ และ นิตยา (2556) ศึกษาทำการประเมินแบบจำลอง CERES-Rice ในการจำลองลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว โดยเปรียบเทียบข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการทดลองโดยใช้ข้าวไม่ไวแสง 7 พันธุ์ ประกอบด้วย ชัยนาท 1, สุพรรณบุรี 1, สุพรรณบุรี 2, สุพรรณบุรี 3, ปทุมธานี 1, ปทุมธานี 80 และพิษณุโลก 2 ทำการปักดำวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553 (วันปลูกที่ 1), 15 สิงหาคม 2553 (วันปลูกที่ 2) และ 16 มกราคม 2554 (วันปลูกที่ 3) ใช้กล้าจำนวน 3 ต้นต่อออกระยะปักดำ 25'25 เซนติเมตร บันทึกข้อมูลดิน ข้อมูลอากาศ ข้อมูลการจัดการ และข้อมูลพืชในทั้ง 3 วันปลูก โดยใช้แบบจำลอง CERES-Rice จำลองสถานการณ์เหมือนกับสภาพการปลูกจริงในแปลงนาทุกประการ และประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าจากการจำลองและค่าสังเกตจริง ด้วยค่า Coefficient of Determination ( $R^2$ ), Normalized Root Mean Square Error (RMSE) และ Index of Agreement (d) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการประเมิน CGR, LAI และ SLA ของข้าวได้ค่อนข้าง



ดีในทุกวันปลูก โดยเฉพาะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นระยะที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวไม่ไวแสงมากที่สุด

Attia *et al.* (2016) ได้ศึกษาแบบจำลองโดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CERES-Wheat เพื่อการทำนายผลผลิต ค่าชีวมวล และประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ตอบสนองต่อการจัดการชลประทานในที่ราบสูง รัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา โดยการสอบเทียบแบบจำลองจากการใช้ข้อมูลค่าการสังเกตภาคสนามจาก 9 วิธีการส่งน้ำ มีรูปแบบวิธีส่งน้ำชลประทานตั้งแต่ส่งน้ำแบบแห้งแล้งจนถึงการชลประทานเต็มรูปแบบ กับชุดข้อมูลสภาพอากาศในอดีตคาบเวลา 32 ปี (ค.ศ. 1980-2012) พบว่าการให้น้ำเพียงครั้งเดียวที่ปริมาณ 100 มิลลิเมตร มีผลผลิตเมล็ดข้าวสูงกว่าแบบแห้งแล้งถึง 35 % ในขณะที่ส่งน้ำที่ปริมาณ 140 มิลลิเมตร ให้ผลผลิตสูงกว่า 68 % เมื่อเทียบกับวิธีการส่งน้ำแบบแห้งแล้ง การจำลองผลผลิตชีวมวลแสดงให้เห็นข้อได้เปรียบที่สำคัญของการให้น้ำ 100 และ 140 มิลลิเมตร และจำนวนครั้งการส่งน้ำในแต่ละช่วงเวลาการเจริญเติบโตของข้าว นอกจากนี้ แบบจำลองให้ผลผลิตเมล็ดพืชและค่าชีวมวลใกล้เคียงกันเมื่อให้น้ำชลประทานแบบเต็มที่มีปริมาณน้ำรวม 400 มิลลิเมตร โดยวิธีการส่งน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการให้น้ำเต็มรูปแบบ วิธีการชลประทานแบบประหยัดน้ำมีความชัดเจนมากขึ้นในฤดูกาลที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงถึงความสำคัญของระยะเวลาการให้น้ำในการผลิตข้าวสาลี ในช่วงฤดูหนาวภายใต้สภาวะทรัพยากรน้ำที่จำกัด

Dias *et al.* (2016) ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง DSSAT เพื่อคาดการณ์ผลผลิตข้าวสำหรับฤดูนาปรังในช่วงกลางศตวรรษ ปี ค.ศ. 2040-2060 ด้วยการจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วยชุดข้อมูลการเจริญเติบโตและการจัดการพืชผล ข้อมูลสภาพอากาศรายวันและข้อมูลดิน ในปี ค.ศ. 2014 การศึกษานี้ดำเนินการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของพันธุ์ข้าว At362 และ Bg357 ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกการแผ่รังสีที่ระดับ RCP 8.5 จากการใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศคาดการณ์ในอนาคตภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับพื้นที่ Mapalana ประเทศศรีลังกา ผลการคาดการณ์ปรากฏว่าค่าอุณหภูมิและการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำฝนลดลง ส่งผลต่อผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวและค่าผลผลิตข้าวในช่วงกลางศตวรรษมีแนวโน้มลดลงทั้งสองพันธุ์ 25-35 %

Qu *et al.* (2019) ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวสาลีในฤดูหนาว (*Triticum aestivum* L.) ในพื้นที่ราบ Huang-Huai-Hai ประเทศจีน ซึ่งเป็นพื้นที่ราบที่ทราบกันว่าเสี่ยงต่อภาวะโลกร้อน ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศช่วงปีพื้นฐานใน

ปี ค.ศ. 1981-2010 ที่ระดับตัวแทนความเข้มข้นการแผ่รังสีความร้อน ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 โดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CERES-Wheat ทำการจำลองในช่วงเวลาอนาคตระยะใกล้ (2010-2039) ระยะกลาง (2040-2069) และระยะไกล (2070-2099) โดยพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ รังสีดวงอาทิตย์ และปริมาณน้ำฝน ผลลัพธ์ระบุว่า ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด (TMAX และ TMIN) ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (SRAD) และปริมาณน้ำฝน (PREP) ระหว่างฤดูกาลปลูกข้าวสาลีในฤดูหนาว มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งภายใต้ภาพฉาย RCP 4.5 และ RCP 8.5 ซึ่งการวิเคราะห์ผลผลิตพบว่า ผลผลิตข้าวสาลีเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ปริมาณน้ำฝน และก๊าซความเข้มข้น CO<sub>2</sub> แต่ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นมีส่วนทำให้เกิดผลกระทบมากที่สุด และสำหรับสภาพอากาศในอนาคตทั้งสามช่วงระยะเวลา ผลผลิตข้าวสาลีเพิ่มขึ้น 9.53, 6.62, 23.73 % ภายใต้สถานการณ์จำลอง RCP 4.5 และ 11.74, 16.38, 27.78 % ภายใต้สถานการณ์จำลอง RCP 8.5 อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการคายระเหยสูงขึ้นด้วย ทำให้เกิดการขาดน้ำที่รุนแรงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ผลกระทบเชิงลบของการค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตข้าวสาลีลดลง 1.92, 4.08, 5.24 % และ 3.64, 5.87, 5.81 % สำหรับสภาพอากาศในอนาคตภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ตามลำดับ โดยภายใต้สถานการณ์ RCP 8.5 มีผลผลิตลดลงอย่างชัดเจน

Li *et al.* (2019) ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรม สิ่งแวดล้อม และการจัดการ ต่อการเจริญเติบโตของพืช ระบบการผลิต และการวางแผนการเกษตร เพื่อประเมินความอ่อนไหว (Sensitivity analysis; SA) ของการตอบสนองผลลัพธ์ของแบบจำลอง DSSAT-CERES การวิเคราะห์ความอ่อนไหว โดยการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของพืช 39 พารามิเตอร์และของดิน 6 พารามิเตอร์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ พบว่า (1) ความสำคัญของพารามิเตอร์เองมีอิทธิพลมากกว่าค่าขอบเขตพารามิเตอร์นั้น ๆ (2) ค่าความอ่อนไหวของผลผลิตเมล็ดพืชและปริมาณโปรตีนจากเมล็ดพืช (Grain Protein Content; GPC) แตกต่างกัน และความอ่อนไหวของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สำหรับ GPC มีค่ามากกว่าพารามิเตอร์ผลผลิตเมล็ดพืช และ (3) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของกระบวนการบางอย่าง เช่น คัดสีพื้นที่ใบ ชีวมวลเหนือพื้นดิน และการสะสมไนโตรเจนเหนือพื้นดิน ควรวิเคราะห์จากปัจจัยอื่นเพิ่มเติม สุดท้ายพารามิเตอร์บางตัวมีผลต่อการปรับปรุงโครงสร้างของแบบจำลองและความแม่นยำของการจำลอง

Kheir *et al.* (2021) ใช้แบบจำลอง DSSAT เพื่อปรับปรุงการจัดการน้ำเพื่อการชลประทาน โดยแบบจำลองได้รับการสอบเทียบและประเมินจากข้อมูลภาคสนามที่ได้ทำการทดลองในสามฤดูปลูก โดยกำหนดค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (ETc) ที่แตกต่างกันที่ระดับ 80 %,

100 % และ 120 % ทำการจำลองในพื้นที่ศึกษา 10 แห่ง และใช้ข้อมูลภูมิอากาศคาบเวลา 30 ปี ผลการจำลองผลผลิตข้าวสาลีภายใต้การชลประทานแบบสมบูรณ์ 100 % เทียบกับการชลประทานแบบ 50 %, 60 %, 70 %, 80 % และ 90 % พบว่า ผลผลิตภายใต้การชลประทานแบบสมบูรณ์มีปริมาณผลผลิตมากกว่า 27.5 %, 13.0 %, 5.0 %, 1.5 % และ 0.4 % ตามลำดับ

Subash and Ram Mohan (2021) ได้ศึกษาในพื้นที่ราบ Indo-Gangetic Plains (IGP) ประเทศอินเดีย ที่ได้รับความผันผวนจากสภาพภูมิอากาศและความแปรปรวนในช่วงสามทศวรรษที่ผ่านมาภายใต้อิทธิพลของการเติบโตของประชากร การขยายตัวของเมือง และการพัฒนาอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือเพื่อทำความเข้าใจแนวโน้มของตัวแปรภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา 5 แห่งในช่วง 25-30 ปีที่ผ่านมา และความแปรปรวนของผลผลิตข้าวจากการจำลองโดยใช้ DSSAT v 4.5 พบว่า ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของผลผลิตจริงกับผลการจำลองมีความสอดคล้องทางสถิติที่ดีมากที่สุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้นเขตพื้นที่ Samastipur และพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของปริมาณน้ำฝนในทุกพื้นที่ ยกเว้นพื้นที่ Hisar ที่มีค่าความแปรปรวน  $-28.9 \text{ mm/year}$  ( $P < 0.05$ ) และในช่วงฤดูปลูก  $-20.5 \text{ mm/year}$  ( $P < 0.01$ ) ซึ่งผลผลิตข้าวเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มของผลผลิตข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น 3 แห่ง และลดลง 2 แห่ง

Jing *et al.* (2021) ทำการศึกษาแบบจำลอง DSSAT-Wheat สามรูปแบบ ได้แก่ CSM-CERES, CROPSIM และ NWHEAT เพื่อประเมินผลกระทบของแนวทางปฏิบัติในการจัดการน้ำต่อความเครียดจากน้ำในพืชผลและผลผลิตข้าวสาลีในประเทศแคนาดา โดยทำการทดลองภาคสนาม 3 พื้นที่ เพื่อตรวจสอบผลกระทบของการชลประทาน ปริมาณน้ำฝน และผลผลิตข้าวสาลี ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองข้าวสาลีทั้งสามชนิดได้จำลองการเพิ่มผลผลิตของเมล็ดพืชด้วยการชลประทานและข้อมูลอื่นๆ ในช่วงฤดูร้อนในทางสถิติได้ดี แต่ต้องมีการปรับปรุงความแม่นยำในการจำลองผลผลิตเมล็ดพืชและชีวมวลของข้าวสาลีในฤดูใบไม้ผลิ จากผลการจำลองของแต่ละแบบจำลองพบว่า ปริมาณการใช้น้ำรวม (ปริมาณน้ำฝน + น้ำชลประทาน) ที่ปริมาณ 400 มิลลิเมตร ก็เพียงพอที่จะให้ผลผลิตที่ดีของพันธุ์ข้าวสาลีในฤดูใบไม้ผลิ และระบบการให้น้ำที่ปริมาณนี้ทำให้มีโอกาสการเพิ่มผลผลิตข้าวสาลีและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ

## อุปกรณ์และวิธีการ

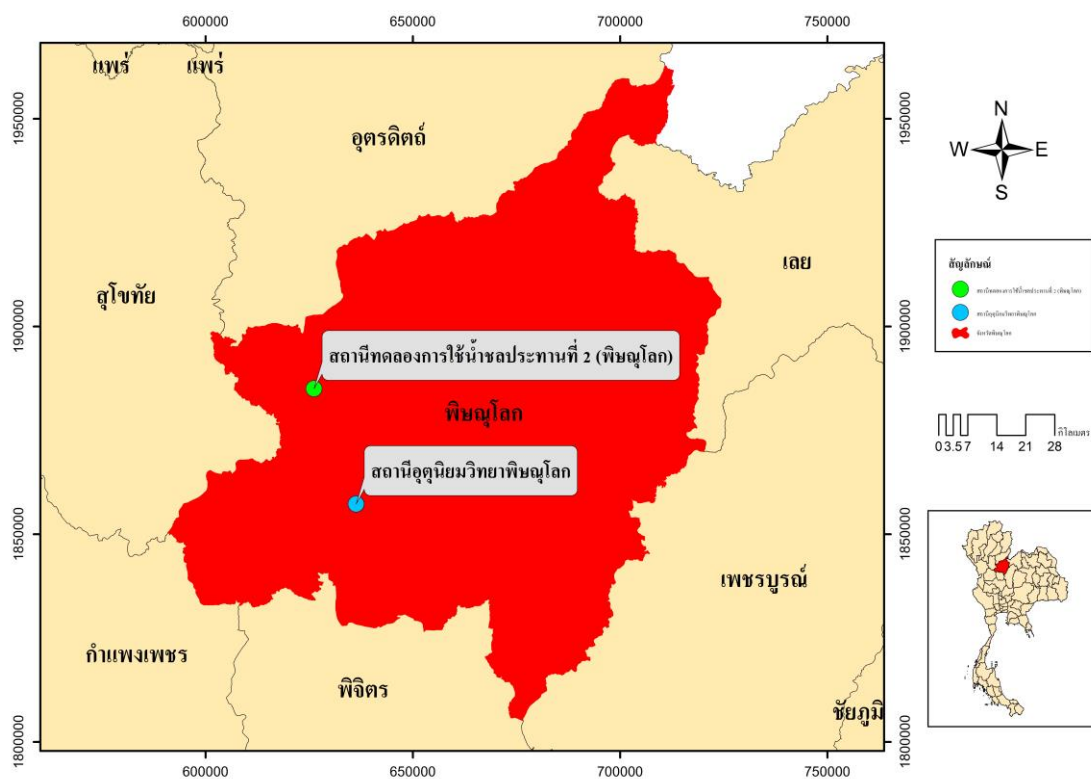
### อุปกรณ์

1. อุปกรณ์และวัสดุในการทดลองภาคสนาม (การเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง)
  - 1.1 ท่อ PVC เปิดหัว-ท้าย เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว
  - 1.2 มิเตอร์วัดน้ำและระบบท่อส่งน้ำ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว
  - 1.3 หลั้ววัดระดับน้ำในแปลงนา
  - 1.4 พันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2
  - 1.5 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน
  - 1.6 อุปกรณ์ทางการเกษตร เช่น จอบ, เคียว, เครื่องพ่นยาสะพายหลัง
  - 1.7 วัสดุเบ็ดเตล็ด อาทิ ป้ายชื่อแปลง น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรกล
  - 1.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก
  - 1.9 ปุ๋ยเคมี
  - 1.10 อุปกรณ์ป้องกันศัตรูข้าว เช่น ตาข่ายกันนก, อุปกรณ์ไล่นก
  - 1.11 สารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืชและแมลง
  - 1.12 กล้องถ่ายรูปพร้อมอุปกรณ์
  - 1.13 วัสดุสำนักงานและอุปกรณ์จัดทำรูปเล่ม (กระดาษ, อุปกรณ์คอมพิวเตอร์)
2. อุปกรณ์การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและแบบจำลองพืช
  - 2.1 แบบจำลองลดมาตราส่วน SD-GCM v. 2.0
  - 2.2 แบบจำลองพืช DSSAT v. 4.7.5

## วิธีการ

### 1. พื้นที่ศึกษา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก (รหัสสถานี 378201) กรมอุตุนิยมวิทยา ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก พิกัดละติจูด 16 องศา 47 ลิปดาเหนือ และลองจิจูด 100 องศา 16 ลิปดาตะวันออก อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 45 เมตร และทำการทดลองการเพาะปลูกข้าววิธีนาดำด้วยพันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2 ที่แปลงนาชลประทานบริเวณสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 2 (พิษณุโลก) กรมชลประทาน ตำบลพรหมพิราม อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก พิกัดละติจูด 17 องศา 02 ลิปดาเหนือ และลองจิจูด 100 องศา 11 ลิปดาตะวันออก อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 48 เมตร



ภาพที่ 22 แสดงที่ตั้งพื้นที่ศึกษา

ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษาอยู่ในอาณาเขตของจังหวัดพิษณุโลกตั้งอยู่บริเวณภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย มีพื้นที่ทั้งสิ้นประมาณ 10,815 ตารางกิโลเมตร

ลักษณะภูมิประเทศภูมิประเทศของจังหวัดพิษณุโลก แยกออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือด้านตะวันออกและตะวันออกเฉียงเหนือมีลักษณะเป็นภูเขา และมียอดเขาสูงที่สุด ได้แก่ เขาซ้อโป มีความสูง 1,028 เมตร ส่วนทางด้านตะวันตกของจังหวัดเป็นที่ราบลุ่ม มีแม่น้ำที่สำคัญ คือ แม่น้ำน่าน แม่น้ำยม และแม่น้ำแควน้อย เป็นแม่น้ำที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

สภาพภูมิอากาศของจังหวัดพิษณุโลก ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลมมรสุมที่พัดผ่านประจำฤดูกาล 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพัดพามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศจีนปกคลุมประเทศไทยในช่วงฤดูหนาว ทำให้จังหวัดพิษณุโลกมีอากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งทั่วไป และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งจะพัดพามวลอากาศชื้นจากทะเลและมหาสมุทรปกคลุมประเทศไทยในช่วงฤดูฝน ทำให้จังหวัดพิษณุโลกมีฝนตกทั่วไป ฤดูกาลของจังหวัดพิษณุโลก พิจารณาตามลักษณะลมฟ้าอากาศของประเทศไทย แบ่งออกเป็น 3 ฤดู ดังนี้ ฤดูร้อนเริ่มประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ฤดูฝนเริ่มประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นระยะที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย และฤดูหนาวเริ่มประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทย

จังหวัดพิษณุโลกตั้งอยู่ในภาคเหนือตอนล่าง อุณหภูมิเฉลี่ยก่อนข้างสูงตลอดปี อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 27.8 องศาเซลเซียส ในฤดูร้อนมีอากาศร้อนอบอ้าว อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 33.4 องศาเซลเซียส โดยมีอากาศร้อนที่สุดในเดือนเมษายน ข้อมูลอดีตที่บันทึกได้มีอุณหภูมิสูงสุด 42.8 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2503 ส่วนในฤดูหนาวมีอากาศหนาวเย็น อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.1 องศาเซลเซียส โดยมีอากาศหนาวที่สุดในเดือนมกราคม และอุณหภูมิต่ำสุดวัดได้ในเดือนนี้ 7.5 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2498

ปริมาณฝนของพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกทางตอนบน บริเวณอำเภอชาติตระการ มีปริมาณฝนสูงสุดสูงกว่า 1,400 มิลลิเมตร พื้นที่บริเวณอำเภอเมือง อำเภอวัดโบสถ์ อำเภอวังทอง อำเภอนครไทย มีปริมาณฝนเฉลี่ย 1,300-1,400 มิลลิเมตร ส่วนพื้นที่ทางตอนล่างของจังหวัดบริเวณอำเภอบางระกำ อำเภอบางกระทุ่ม และอำเภอพรหมพิราม มีปริมาณฝนต่ำสุด เฉลี่ยประมาณ 1,000-1,200 มิลลิเมตร โดยบริเวณอำเภอเมือง ปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 1,317.0 มิลลิเมตร และมีวันที่ฝนตกประมาณ

117 วัน เดือนที่มีฝนตกมากที่สุดของจังหวัดพิษณุโลกคือ เดือนสิงหาคม มีปริมาณฝนเฉลี่ย 247.6 มิลลิเมตร และมีวันฝนตก 20 วัน สำหรับสถิติปริมาณฝนมากที่สุดใน 1 วัน วัดได้ 265.7 มิลลิเมตร เมื่อวันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2520

พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนผ่านจังหวัดพิษณุโลกมีแหล่งกำเนิดจากทะเลจีนใต้และมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือด้านตะวันตก โดยเคลื่อนมาทางตะวันตกผ่านประเทศเวียดนาม กัมพูชา หรือลาวก่อนเข้าสู่ประเทศไทยทำให้พายุอ่อนกำลังลงอยู่ในชั้นพายุดีเปรสชัน ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความเสียหายเนื่องจากลมแรงมากนัก แต่จะทำให้มีฝนตกหนักถึงหนักมากจนเกิดน้ำท่วมฉับพลันได้ในบางพื้นที่ ช่วงเวลาที่พายุเคลื่อนผ่านจังหวัดพิษณุโลกจะเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป จนถึงสิ้นเดือนตุลาคม โดยเฉพาะช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคมเป็นระยะที่พายุหมุนเขตร้อนมีโอกาสเคลื่อนเข้าสู่จังหวัดพิษณุโลกได้มากที่สุด จากสถิติในคาบ 69 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2562 พบว่ามีพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนเข้าสู่จังหวัดพิษณุโลก 22 ลูก และมีกำลังแรงเป็นพายุดีเปรสชันทั้งหมด โดยเข้ามาในเดือนพฤษภาคม 1 ลูก (พ.ศ. 2525) เดือนกรกฎาคม 1 ลูก (พ.ศ. 2505) เดือนสิงหาคม 1 ลูก (พ.ศ. 2550) เดือนกันยายน 9 ลูก (พ.ศ. 2507, 2512(2), 2520, 2521, 2523, 2525, 2535, 2539) และเดือนตุลาคม 10 ลูก (พ.ศ. 2504, 2506, 2507(3), 2509, 2524, 2528, 2550, 2551)

จากข้อมูลสถิติภูมิอากาศที่สำคัญในคาบ 30 ปี (ปี ค.ศ. 1981-2010) สามารถสรุปค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่าข้อมูลสถิติภูมิอากาศของจังหวัดพิษณุโลก (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 สรุปค่าเฉลี่ยข้อมูลสถิติภูมิอากาศในคาบเวลา 30 ปี (ปี ค.ศ. 1981-2010)

Country THAILAND		Meteorological Station		PHITSANULOK		(30 Yrs )	
Altitude : 44 meter		Coordinates		: 16-47 N.L.		100-16 E.L.	
Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m <sup>2</sup> /day	ETo mm/day
January	18.7	31.6	67.0	44.0	8.3	17.9	3.27
February	21.1	33.8	64.0	58.0	8.6	20.0	4.01
March	23.6	35.8	62.0	85.0	8.9	22.2	4.99
April	25.4	37.2	63.0	89.0	8.1	21.9	5.32
May	25.2	35.6	71.0	85.0	6.4	19.4	4.71
June	25.0	34.0	76.0	76.0	3.9	15.5	3.78
July	24.8	33.2	78.0	67.0	3.9	15.5	3.65
August	24.7	32.5	80.0	62.0	3.8	15.3	3.51
September	24.7	32.5	81.0	49.0	3.6	14.4	3.27
October	24.1	32.4	78.0	49.0	5.8	16.4	3.55
November	21.7	31.7	72.0	49.0	7.3	16.9	3.42
December	18.6	30.7	67.0	49.0	8.3	17.3	3.19
Average	23.1	33.4	72.0	63.0	6.4	17.7	3.89

Climatic data of 30 yrs (1981-2010) : Meteorological Department, Bangkok (2011)

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2556)

## 2. วิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การวิจัยนี้ใช้เทคนิคการลดมาตราส่วนเชิงสถิติ (Statistical Downscale) ที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในหลายประเทศสำหรับการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศ โดยพิจารณาเลือกใช้ตัวแปรสภาพภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าว เพื่อการพยากรณ์ผลผลิตข้าวจากอิทธิพลการจัดการน้ำชลประทานและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยใช้ข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก จำนวน 4 แบบจำลอง สำหรับอธิบายแนวโน้มและผลคาดการณ์สภาพ



ภูมิอากาศในอนาคตเพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการประมวลผลในแบบจำลองพีช ขั้นตอนการศึกษา มีดังนี้

## 2.1 การจัดหาข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในระดับสถานี

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันที่ใช้ในการศึกษา คือ อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด ปริมาณน้ำฝน และชั่วโมงแสงแดด โดยรวบรวมข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศ พิษณุโลก) ตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 ซึ่งเป็นข้อมูลรายวันที่ต้องการนำมาใช้เป็นปีพื้นฐาน (Baseline) สำหรับการคาดการณ์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน ในปี ค.ศ. 2021-2050 โดยข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันในปีพื้นฐาน ได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องและต่อเติมข้อมูลแล้วในกรณีข้อมูลบางวันที่สูญหาย

โดยข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันที่ใช้ในการศึกษา จะทำการศึกษาแนวโน้ม (Trend analysis) ของข้อมูลด้วยวิธี Mann-Kendall ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับวิเคราะห์ค่าสถิติแบบนอนพารามेटริก (Non-parametric statistics) เป็นค่าสถิติที่ใช้สำหรับตัวแปรที่มีข้อมูลเชิงลักษณะหรือข้อมูลเชิงปริมาณที่มีการแจกแจงแบบใดก็ได้ (Distribution free) โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันมาคำนวณค่าสถิติด้วยการใช้อันดับของข้อมูล (Rank) แทนข้อมูลเดิม เนื่องจากวิธีนี้มีความสามารถทำการตรวจสอบแนวโน้มของข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ซึ่งค่าทางสถิติแบบ Mann-Kendall S เป็นผลรวมของค่าความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา ตามสมการดังนี้

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(T_j - T_k)$$

กำหนดให้  $S$  = Mann Kendall Statistic

$T_j$  = ค่าอุตุนิยมวิทยารายวัน ณ วันที่  $j$

$T_k$  = ค่าอุตุนิยมวิทยารายวัน ณ วันที่  $k$

$n$  = จำนวนช่วงข้อมูล (วัน)

โดยที่

$$\text{sign}(T_j - T_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } (T_j - T_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (T_j - T_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (T_j - T_k) < 0 \end{cases}$$

ถ้าข้อมูลอุตุนิมวิทยารายวันมีการกระจายอย่างอิสระด้วยรูปแบบที่เหมือนกัน ค่าเฉลี่ยของ  $S$  จะเท่ากับศูนย์ และค่าความแปรปรวน  $\text{Var}(S)$  จะหาได้จาก

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum t(t-1)(2t+5)]$$

โดยที่  $n$  คือ ความยาวของชุดข้อมูล และ  $t$  คือ ความยาวซึ่งแสดงแนวของข้อมูล จากนั้นแปลงค่า  $S$  ให้เป็นค่าทางสถิติแบบ Standard Normal ( $Z$ ) ดังนี้คือ

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & ; S > 0 \\ 0 & ; S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & ; S < 0 \end{cases}$$

ค่าทางสถิติ  $Z$  ที่คำนวณได้จะถูกใช้ในการประเมินแนวโน้มของข้อมูลอุตุนิมวิทยารายวันว่ามีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ กล่าวคือ เครื่องหมาย  $+$  ของ  $Z$  จะแสดงว่าค่าตัวแปรข้อมูลอุตุนิมวิทยารายวันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เครื่องหมาย  $-$  จะหมายถึงแนวโน้มลดลง ส่วนนัยสำคัญของแนวโน้มจะสรุปผลได้จากการเปรียบเทียบค่า  $Z$  ที่ได้กับค่าวิกฤติของ  $Z_c$  ที่ระดับนัยสำคัญ  $C$  ที่พิจารณา ถ้าค่าสัมบูรณ์  $|Z| > Z_{1-C/2}$  แสดงว่าแนวโน้มของปริมาณน้ำฝนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่  $C\%$  ในการศึกษาจะดำเนินการวิเคราะห์แนวโน้มที่ความเชื่อมั่นที่  $95\%$

## 2.2 การจัดหาข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก

การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก เพื่อทำการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงระดับก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ โดยแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ในการวิจัยนี้อยู่

ในฐานะข้อมูล CMIP5 และพิจารณาการจำลองสภาพฉายอนาคตตามแนวทางความเข้มข้นของตัวแทน (the Representative Concentration Pathways, RCPs) แบบ RCP 4.5 ซึ่งเป็นภาพฉายการจำลองสถานการณ์ที่ตั้งสมมติฐานการปลดปล่อยรังสีในระดับกลาง และ RCP 8.5 เป็นภาพฉายการจำลองสถานการณ์การปลดปล่อยรังสีระดับวิกฤต ตามลำดับ

การศึกษานี้เลือกใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จำนวน 4 แบบจำลอง สามารถจัดหาข้อมูลโดยวิธีดาวน์โหลดในเว็บไซค์ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทะเบียนดาวน์โหลด ปัจจุบันมีแหล่งข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกหลายแห่ง เช่น <https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip5/> ซึ่งเพิ่มชุดข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกประกอบด้วย ข้อมูล 2 ประเภท คือ ชุดเพิ่มข้อมูล historical ใช้ในการสังเคราะห์ผลลัพธ์ข้อมูลในอดีตของตำแหน่งพื้นที่ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศ และชุดเพิ่มข้อมูลสำหรับการคาดการณ์ตัวแปรอุตุนิยมวิทยาในอนาคตช่วงเวลาต่าง ๆ ตามภาพฉายที่ต้องการ

The screenshot shows the CMIP5 Data Search interface. On the left, there are search filters for Project, Product, Institute, Model, Experiment, Experiment Family, Time Frequency, Realm, CMIP Table, Ensemble, and Variable. The 'Model' filter is set to 'MIROC5 (1004)'. The main search area contains a search bar, a search button, and a 'Display' dropdown set to '10 results per page'. Below the search bar, there are checkboxes for 'Show All Replicas', 'Show All Versions', and 'Search Local Node Only (Including All Replicas)'. The search results show a total of 1004 results. Two results are visible, both for the 'project=CMIP5, model=MIROC5, Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, experiment=10- or 30-year run initialized in year 2001, time\_frequency=mon, modeling\_realm=atmos, ensemble=r6tp1, version=20120710' model. The first result is for 'Data Node: esgf-data1.dasg.net' and the second is for 'Data Node: esgf-data1.dasg.net'. Both results show a total number of files of 58 and full dataset services.

ภาพที่ 23 เว็บไซต์ดาวน์โหลดข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก ฐานข้อมูล CMIP5

ตารางที่ 8 แบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCMs) ที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลอง (Model name)	สถาบันที่พัฒนา, ประเทศ (Modeling center)	ความละเอียด (Horizontal resolution, Lat × Lon)
EC-EARTH	EC-Earth Consortium, Europe (Sweden)	1.0° × 1.0°
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), USA	2.0° × 2.5°
MIROC5	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (JAMSTEC) and National Institute for Environmental Studies (NIES), Japan	1.4° × 1.4°
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), Germany	1.9° × 1.9°

#### 2.4 การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศด้วยวิธีลดมาตราส่วนทางสถิติ (Statistical downscale)

เนื่องจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกมีพื้นที่แสดงผลพิกัดขนาดใหญ่ อาทิเช่น 250×250 ตารางกิโลเมตร หรือ 200×600 ตารางกิโลเมตร สำหรับใช้ในการศึกษาแนวโน้มสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคขนาดใหญ่หรือทวีป การนำผลลัพธ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลกมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับท้องถิ่นหรือระดับสถานที่ที่มีขนาดพื้นที่เล็กกว่ามาก จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการลดมาตราส่วน (Downscale) ให้ผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่มีความละเอียดแบบหยาบให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา การศึกษานี้เลือกใช้เทคนิคการลดมาตราส่วนเชิงสถิติที่สามารถแสดงผลความแปรปรวนของภูมิอากาศตามช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ จากกลุ่มวิธี Linear methods ด้วยแบบจำลอง SD-GCM v. 2.0 สามารถแบ่งได้ 3 วิธีการ ดังนี้

##### 2.4.1 Delta statistical downscaling method

วิธีการลดมาตราส่วนแบบเดลต้า (Delta) เป็นวิธีการลดมาตราส่วนทางสถิติโดยขึ้นกับผลรวมความแตกต่างที่แก้ไขเป็นความละเอียดสูง เพื่อหาความสัมพันธ์กับข้อมูลของช่วงปี

พื้นฐานจากข้อมูลที่ได้อันที่ไว้ของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ต้องการศึกษา โดยคำนึงถึงค่าอคติ (Bias) ที่เป็นไปได้เนื่องจากค่าที่แตกต่างในปีพื้นฐาน (Ramirez-Villegas and Jarvis, 2010; Dessu and Melesse, 2013) ดังแสดงในสมการที่ 1

$$P_{SD}^{Delta} = P_{GCM-SSP} \times \frac{\bar{P}_{Obs}}{\bar{P}_{GCM-hist}} \quad (1)$$

เมื่อ P(SD, Delta) คือ ค่าลดมาตราส่วนทางสถิติโดยวิธีการเดลต้า, P(Obs) คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปีพื้นฐาน และ P(GCM-hist)คือ ค่าเฉลี่ยในอดีตที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ซึ่งค่า GCM-SSP คือ ผลการจำลองสภาพฉายในอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

#### 2.4.2 Quantile Mapping (QM) statistical downscaling method

วิธีการลดมาตราส่วนแบบคิวเอ็ม (QM) เป็นวิธีการลดขนาดทางสถิติที่ถูกนำมาใช้ศึกษาในหลากหลายสาขาวิชา (Panofsky and Brier, 1968) หลักการวิธีของ QM จะคำนวณการแจกแจงความน่าจะเป็นของแบบจำลองเพื่อการแจกแจงความน่าจะเป็นของชุดข้อมูลในอดีต แนวคิดนี้สามารถแสดงการวิเคราะห์ตามรูปแบบสมการที่ 2 สำหรับการประเมินการลดขนาดทางสถิติ และสมการที่ 3 สำหรับการลดขนาดทางสถิติในช่วงเวลาอนาคต

$$P_t^{Eval} = InvCDF_{P_t-Cat}^{Stat} \left( CDF_{P_t-Cat}^{Hist} \left( P_{t-Eval}^{GCM} \right) \right) \quad (2)$$

$$P_t^{Predict} = InvCDF_{P_t-Hist}^{Stat} \left( CDF_{P_t-Hist}^{Hist} \left( P_{t-SSP}^{GCM} \right) \right) \quad (3)$$

โดย CDF คือฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) ของข้อมูลในอดีตหรือข้อมูลปีพื้นฐานและข้อมูล GCM ในช่วงเวลาที่พิจารณา

#### 2.4.3 Empirical Quantile Mapping (EQM) statistical downscaling method

วิธีการลดมาตราส่วนแบบอีคิวเอ็ม (EQM) นำเสนอโดย Wetterhall *et al.* (2012) ได้ตีพิมพ์บทความฉบับสมบูรณ์สำหรับวิธีการลดขนาดทางสถิติในชื่อ EQM โดยหลักการของวิธี EQM จะใช้ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมเชิงประจักษ์ (Empirical Cumulative Distribution Function,

ECDF) มีขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้งหมดเช่นเดียวกับวิธี QM ตามรูปแบบที่ได้แสดงในสมการที่ 4 สำหรับการประเมินการลดขนาดทางสถิติ และสมการที่ 5 สำหรับการลดขนาดทางสถิติในชั่วนานาค

$$P_t^{Eval} = InvECDF_{P_t-Cal}^{Stat} \left( ECDF_{P_t-Cal}^{Hist} \left( P_{t-Eval}^{GCM} \right) \right) \quad (4)$$

$$P_t^{Predict} = InvECDF_{P_t-Hist}^{Stat} \left( ECDF_{P_t-Hist}^{Hist} \left( P_{t-SSP}^{GCM} \right) \right) \quad (5)$$

## 2.5 การวิเคราะห์ผลข้อมูลอุตุนิมวิทยา

การประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต โดยเฉพาะการศึกษาผลกระทบทางด้านอุทกวิทยา การประเมินผลการจำลองของแบบจำลองภูมิอากาศโลกในการจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีตของพื้นที่ศึกษา เป็นตัวช่วยในการพิจารณาเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยทั่วไปแบบจำลองภูมิอากาศโลกจะมีความไม่แน่นอนและมีค่าอคติ (Bias) เกิดขึ้น เนื่องจากการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตบนพื้นฐานของแต่ละแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกนั้น เกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากข้อจำกัดของแต่ละแบบจำลองได้หลายประการ ดังนั้นการทดสอบความแม่นยำของผลการคาดการณ์จากแบบจำลองเป็นกระบวนการที่สำคัญ โดยใช้ผลคาดการณ์ที่ได้จากแบบจำลองในช่วงปี ค.ศ.1961-2012 ซึ่งกำหนดเป็นปีพื้นฐาน ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลอุตุนิมวิทยารายวันจากสถานีตรวจวัดอากาศในช่วงระยะเวลาเดียวกันด้วยเกณฑ์ค่าทางสถิติ R, MAE และ RMSE ตามแสดงในสมการดังนี้

$$R = \frac{n \sum_{j=1}^n P_j \bar{T}_j - \left( \sum_{j=1}^n P_j \right) \left( \sum_{j=1}^n \bar{T}_j \right)}{\sqrt{\left[ \left[ n \sum_{j=1}^n P_j^2 - \left( \sum_{j=1}^n P_j \right)^2 \right] \left[ n \sum_{j=1}^n \bar{T}_j^2 - \left( \sum_{j=1}^n \bar{T}_j \right)^2 \right] \right]}$$

โดยที่ R คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

P คือ ค่าผลการคาดการณ์

$\bar{T}$  คือ ค่าข้อมูลสังเกตการณ์

โดยทั่วไป  $-1 \leq R \leq 1$  ถ้า  $R$  เข้าใกล้ 1 แสดงว่าค่าผลการจำลอง  $P$  และค่าข้อมูลจริง  $T$  มีความสัมพันธ์เชิงเส้นไปในทิศทางเดียวกันสูง ในทางตรงกันข้าม เมื่อ  $R$  เข้าใกล้ -1 หมายถึง ค่าผลการจำลอง  $P$  และค่าข้อมูลจริง  $T$  มีความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบแปรผันผกผันสูง แต่ถ้า  $R$  เข้าใกล้ ศูนย์แสดงว่าค่า  $P$  และ  $T$  มีความสัมพันธ์ระหว่างกันน้อย

ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองของข้อมูลระดับสถานียังได้ถูกประเมินตามเกณฑ์ MAE และ RMSE ดังนี้คือ

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |P_j - \bar{T}_j|$$

และ

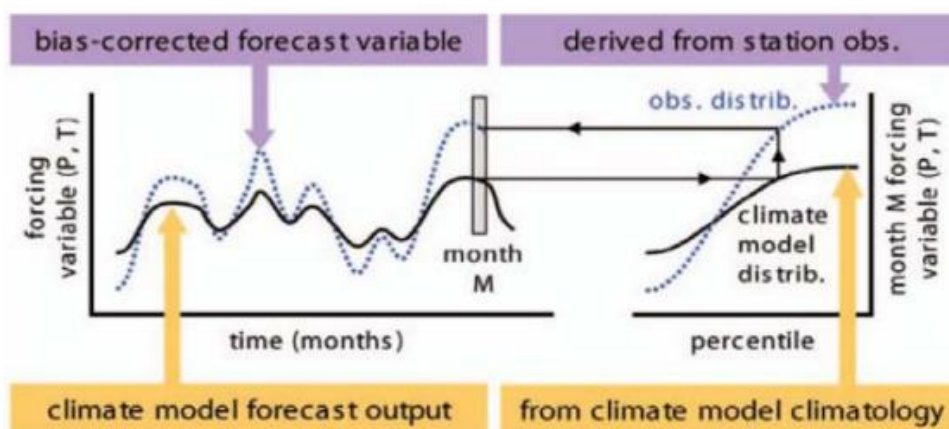
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |P_j - \bar{T}_j|^2}$$

ถ้า MAE และ RMSE มีค่าสูง แสดงว่าค่าชุดตัวแปรศึกษา  $P$  มีความคลาดเคลื่อนจากชุดตัวแปรตาม  $T$  มาก ในทางกลับกัน ถ้าเกณฑ์ทั้งสองมีค่าต่ำก็หมายถึง มีความคลาดเคลื่อนน้อย ผลการวิเคราะห์จากค่าจำลองข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงชุดข้อมูล ปี ค.ศ. 1961-2012 (ปีพื้นฐาน) แสดงให้เห็นความแม่นยำของแบบจำลองภูมิอากาศโลกในช่วงปีพื้นฐานเพื่อที่จะนำไปใช้สำหรับคาดการณ์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงอนาคตต่อไป

ข้อมูลและผลลัพธ์ของตัวแปรภูมิอากาศของแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ได้รับการคัดเลือก จะต้องมียุทธศาสตร์พื้นฐานทางสถิติที่สอดคล้องกับของข้อมูลอดีตในระดับสถานีที่ดี ทั้งนี้เพื่อความแม่นยำอาจจะใช้เกณฑ์วิเคราะห์ทางสถิติอื่น ๆ เพิ่มเติม ได้แก่ Spearman, Index of Agreement, Nash Sutcliffe model Efficiency ฯลฯ เพื่อผลการประเมินผลการคาดการณ์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในอนาคตที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

## 2.6 การปรับแก้ค่าอคติผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

การปรับแก้ค่าอคติ (Bias correction) หรือการปรับแต่งความคลาดเคลื่อนมีแนวคิดพื้นฐาน จากการปรับผลลัพธ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลกให้มีความสัมพันธ์กับข้อมูลค่าสังเกตของสถานีตรวจวัดอากาศของพื้นที่ศึกษาในช่วงระยะเวลาเดียวกัน โดยมีหลักการปรับแก้ค่าอคติว่า ผลลัพธ์ข้อมูลอุตุนิมวิทยาจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกและค่าสังเกตการณ์ของของสถานีตรวจวัดอากาศในช่วงระยะเวลาเดียวกันของพื้นที่ศึกษาจะเป็นรูปแบบความสัมพันธ์เดียวกันต่อไปในอนาคต การปรับแก้ค่าอคติต้องมีข้อมูลอุตุนิมวิทยาระยะเวลายาวเพียงพอต่อการวิเคราะห์แนวโน้มทางค่าสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลทั้งสองในช่วงเวลาที่ต้องการปรับแก้ไข



ภาพที่ 24 แสดงกราฟิกขั้นตอนการปรับแก้ค่าอคติรายเดือน

ที่มา: Ahmed (2011)

จากหลักการที่ใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าข้อมูลอุตุนิมวิทยาจากผลลัพธ์การสังเคราะห์ค่าในอดีตและอนาคตกับค่าสังเกตการณ์ช่วงปีพื้นฐาน ค.ศ.1961-2014 ทำการคำนวณตามสมการ (6) และสมการ (7) ที่มีสมการปรับแก้ค่าอคติของช่วงเวลา ดังนี้

$$P_{his-new} = (P_{his-old} - \bar{P}_{his-old}) \frac{Std_o}{Std_{his-old}} + \bar{O} \quad (6)$$



กำหนดให้

$$\begin{aligned}
 P_{his-new} &= \text{ค่าตัวแปรอนุกรมวิธานช่วงปีพื้นฐานที่ปรับแก้ค่าอคติ} \\
 P_{his-old} &= \text{ค่าตัวแปรอนุกรมวิธานจากค่าสังเคราะห์ช่วงปีพื้นฐาน} \\
 Std_o &= \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าตัวแปรอนุกรมวิธาน} \\
 Std_{his-old} &= \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสังเคราะห์ช่วงปีพื้นฐาน} \\
 \bar{O} &= \text{ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตการณ์ช่วงปีพื้นฐาน}
 \end{aligned}$$

กรณีปรับแก้ค่าอคติ ปี ค.ศ. 2021-2050

$$P_{future-new} = (P_{future-old} - \bar{P}_{his-old}) \frac{Std_{his-new}}{Std_{his-old}} + \bar{P}_{his-new} \quad (7)$$

กำหนดให้

$$\begin{aligned}
 P_{future-new} &= \text{ค่าตัวแปรอนุกรมวิธานช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 ที่ได้รับการปรับแก้ใหม่} \\
 P_{future-old} &= \text{ค่าตัวแปรอนุกรมวิธานจากค่าสังเคราะห์ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050} \\
 \bar{P}_{his-old} &= \text{ค่าเฉลี่ยตัวแปรอนุกรมวิธานจากช่วงปี ค.ศ. 1961-2012} \\
 Std_{his-new} &= \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าตัวแปรอนุกรมวิธานช่วงปี ค.ศ. 2021-2050} \\
 Std_{his-old} &= \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสังเคราะห์ตัวแปรอนุกรมวิธานช่วงปีพื้นฐาน} \\
 \bar{P}_{his-new} &= \text{ค่าเฉลี่ยของค่าตัวแปรอนุกรมวิธานช่วงปี ค.ศ. 2021-2050}
 \end{aligned}$$

หลักการปรับแก้ค่าอคติตามช่วงระยะเวลาด้วยวิธี Delta method ตามสมการที่ (6) และ (7) เป็นวิธีที่พิจารณาการปรับเปลี่ยนค่าเฉลี่ยรายเดือน รวมทั้งวิธีการของ Watanabe *et al.* (2014) ที่ได้เพิ่มการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยรายเดือน ซึ่งเป็นขั้นตอนการปรับความแปรปรวนจากข้อมูลอนุกรมวิธานที่ต้องการปรับแก้ค่าอคติให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ที่ต้องการใช้ข้อมูลรายวันให้มีความสัมพันธ์เชิงอุตุ-อุทกวิทยากับข้อมูลค่าสังเคราะห์มากที่สุด เพื่อนำผลลัพธ์ที่แม่นยำไปใช้ในการศึกษาต่อไป ซึ่งขั้นตอนการปรับแก้ค่าอคติของข้อมูลรายวันจะดำเนินการในสองช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาปีพื้นฐาน ปี ค.ศ. 1961-2012 และช่วงเวลาอนาคตที่ต้องการศึกษา คือ ปี ค.ศ. 2021-2050 โดยทำการปรับแก้ค่าอคติข้อมูลรายเดือนตามสมการที่ (8) เป็นขั้นตอนดำเนินการปรับแก้ค่าเฉลี่ยรายเดือนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรายเดือน ต่อจากนั้นทำการปรับแก้ค่าอคติของชุดข้อมูลเป็นรายวันตามสมการที่ (9) โดยการใช้ค่าสถิติรายเดือนที่ปรับแก้แล้วจากสมการที่ (8)

$$x_{mon,cor} = \sigma_{mon,cor} \left( \sigma_{mon,GCM.ref} \right)^{-1} \left( x_{mon,GCM.ref} - \bar{x}_{mon,GCM.ref} \right) + \bar{x}_{mon,cor} \quad (8)$$

$$x_{day,cor} = \alpha_{day,cor} \left( \alpha_{day,GCM.proj} \right)^{-1} \left( x_{day,GCM.ref} - \bar{x}_{day,GCM.proj} \right) + x_{mon,cor} \quad (9)$$

สำหรับการปรับแก้ข้อมูลฝนรายวันจะต่างจากตัวแปรอนุกรมวิธานอื่น เนื่องจากปริมาณฝนรายเดือนเป็นผลรวมของปริมาณฝนรายวัน วิธีการปรับแก้ข้อมูลฝนรายวันทำโดยการสร้างกราฟ CDF จากข้อมูลของแบบจำลองภูมิอากาศโลกและข้อมูลค่าสังเกตการณ์ ใช้ค่าพารามิเตอร์จากกราฟ CDF เพื่อการปรับแก้ด้วย Correction factor ทำให้ปริมาณฝนรวมรายเดือนเท่ากับปริมาณฝนรายเดือนที่ได้จากการปรับแก้ด้วยสมการที่ (8)

การปรับแก้ค่าอคติของผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นขั้นตอนสำคัญสำหรับการนำข้อมูลจากผลลัพธ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลกไปประยุกต์ใช้ เนื่องจากวิธีการปรับแก้มีผลอย่างมากต่อผลการคาดการณ์ (Watanabe et al., 2014) ดังนั้น วิธีการปรับแก้ค่าอคติจะอนุรักษ์ค่าสถิติของข้อมูลสังเกตการณ์ไว้ ซึ่งสมมติฐานการรักษาค่าสถิติแนวโน้มของข้อมูลค่าสังเกตการณ์ในอดีตจะมีความสมเหตุสมผลสำหรับผลการปรับแก้ค่าอคติของผลการคาดการณ์ในอนาคต (Hempel et al., 2013)

### 3. วิธีการศึกษาการเพาะปลูกข้าวด้วยวิธีส่งน้ำแบบประหยัดน้ำ

กระบวนการทดลองภาคสนาม มีขั้นตอน ดังนี้

3.1 จะสำรวจชั้นดินในแปลงนาทดลอง เพื่อเก็บตัวอย่างดิน ส่งวิเคราะห์คุณสมบัติดินด้านวิทยาศาสตร์ในระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร

3.2 ทำการจัดทำแปลงนาทดลองการเพาะปลูกข้าว ดังนี้

วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) ในแปลงนาทดลองขนาด 8×10 ตารางเมตร ระยะห่างระหว่างแปลงทดลองกว้าง 1.0 เมตร เก็บผลทดลอง 3 ซ้ำ (Replications) ด้วยวิธีน้ำดำ ติดตั้งท่อ PVC เปิดหัว-ท้าย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ยาว 0.40 เมตร

ทำการเจาะรูโดยรอบ ฟันลึกลงไปใ้แปลงนา 0.30 เมตร ปลายท่อจะอยู่เหนือผิวดิน 0.10 เมตร จำนวน 5 จุด เพื่อสังเกตค่าระดับน้ำเหนือผิวดินที่ 5 เซนติเมตร ตลอดอายุข้าว ทดลองการเพาะปลูกข้าวด้วยพันธุ์ข้าวพิษณุโลก-2 โดยวิธีนาคำ มีระยะปักดำกล้าระยะแถว 30 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างกอ 20 เซนติเมตร

3.3 วางเกณฑ์วิธีการจัดสรรน้ำชลประทานแบบวิธีประหยัดน้ำ รวม 3 รูปแบบ มีรายละเอียดวิธีการส่งน้ำชลประทาน (Treatments) ดังนี้

วิธีที่ 1 แบบขังน้ำระดับน้ำดินตลอดอายุการเพาะปลูกข้าว หรือ Shallow Continuous Flooding (SCF or CF) โดยส่งน้ำชลประทานหลังการปักดำสูงกว่าผิวดินที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูการปลูก จนถึงก่อนเก็บเกี่ยว 15 วัน

วิธีที่ 2 แบบเปียกสลับแห้ง 2 ครั้ง หรือ Alternate Wetting and Drying (AWD1) โดยส่งน้ำชลประทานหลังการปักดำสูงกว่าผิวดินที่ระดับ 5 เซนติเมตร เมื่อน้ำแห้งต่ำกว่าผิวดิน 15 เซนติเมตร จะส่งน้ำกลับมาให้สูงกว่าผิวดินที่ระดับ 5 เซนติเมตร จำนวน 2 ครั้ง ในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative growth) เริ่มตั้งแต่ระยะแตกกอจนถึงระยะให้กำเนิดช่อดอก และช่วงการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (Reproductive growth) เริ่มตั้งแต่ระยะให้กำเนิดช่อดอกจนถึงระยะก่อนข้าวออกดอก 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นกลับมาส่งน้ำสูงกว่าผิวดินที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูการปลูก จนถึงก่อนเก็บเกี่ยว 15 วัน

วิธีที่ 3 แบบเปียกสลับแห้งตลอดฤดูการปลูก หรือ AWD2 (แบบเปียกสลับแห้ง 3 ครั้ง) โดยส่งน้ำชลประทานหลังการปักดำสูงกว่าผิวดินที่ระดับ 5 เซนติเมตร เมื่อน้ำแห้งต่ำกว่าผิวดิน 15 เซนติเมตร จะส่งน้ำให้สูงกว่าผิวดินที่ระดับ 5 เซนติเมตร จนน้ำแห้งต่ำกว่าผิวดิน 15 เซนติเมตร จะส่งน้ำกลับมาให้สูงกว่าผิวดินที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูการปลูก จนถึงก่อนเก็บเกี่ยว 15 วัน

3.4 วิธีการปฏิบัติการทดลองในแปลงนา ดังนี้

3.4.1 ใ้ปุ๋ยยูเรีย สารชีวภาพ, สารเคมี หรือ สารกำจัดศัตรูพืช ตามระยะเวลา

3.4.2 เก็บข้อมูลรายละเอียดกรณีใช้สารชีวภาพ, สารเคมี หรือ สารกำจัดศัตรูพืช

3.4.3 เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของผลผลิตข้าว

3.4.4 เก็บข้อมูลปริมาณน้ำทุกครั้งที่ส่งเข้าในแต่ละแปลง

3.4.5 เก็บข้อมูลกิจกรรมที่เกี่ยวข้องในภาคสนาม (ถ้ามี)

3.4.6 เก็บข้อมูลการเก็บเกี่ยวผลผลิต

3.4.7 วิเคราะห์ข้อมูลและค่าทางสถิติ

จากวิธีการศึกษาการเพาะปลูกข้าวด้วยวิธีส่งน้ำแบบประหยัดน้ำโดยดำเนินการเก็บข้อมูลในแปลงนาและวิเคราะห์ผลการศึกษาด้านผลผลิต, องค์ประกอบผลผลิตและประเมินผลผลิตภาพน้ำชลประทานของการเพาะปลูกข้าวนาชลประทานด้วยวิธีการจัดสรรน้ำชลประทานแบบวิธีประหยัดน้ำทั้ง 3 วิธี ผลการศึกษาที่ได้จะถูกนำมาใช้ในแบบจำลองการจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้แนวทางการจัดสรรน้ำชลประทานที่แตกต่างกัน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานกับปริมาณผลผลิตของแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CERES-Rice model) จากข้อมูลในแปลงนาทดลอง ได้แก่ คุณสมบัติดิน สภาพภูมิอากาศ ปริมาณปุ๋ย ปริมาณการใช้น้ำชลประทาน และจำนวนผลผลิตข้าว เพื่อประเมินผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการบริหารจัดการน้ำชลประทานต่อไป

#### 4. วิธีการศึกษาการแบบจำลองการจำลองการเจริญเติบโตของข้าว

ขั้นตอนการศึกษาการจำลองการเจริญเติบโตของข้าวในการจำลองของแบบจำลอง CERES-Rice มีกระบวนการแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย การนำเข้าข้อมูล การประมวลผล และการแสดงผลการจำลอง ซึ่งแต่ละขบวนการมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

##### 4.1 การนำเข้าข้อมูล

การใช้แบบจำลอง CERES-Rice ต้องอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากงานทดลองในแปลงเพาะปลูกจริงในภาคสนาม ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลการจัดการ ข้อมูลทางพันธุกรรม ข้อมูลภูมิอากาศ และข้อมูลชุดดิน ข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้ ถูกสร้างเป็นฐานข้อมูล แยกตามชนิดของข้อมูล ดังนี้

4.1.1 ข้อมูลการจัดการ ต้องสร้างขึ้นและรวบรวมไว้ในฐานข้อมูลการทดลอง (Experiment file) โดยภายในเป็นข้อมูลการจัดการในงานทดลองในแปลง เช่น ชื่องานทดลอง ชื่อผู้ทำการทดลอง พื้นที่ปลูก วันปลูก ความหนาแน่นพืชระยะปลูก ชนิดดิน พันธุ์ การให้น้ำ การใส่ปุ๋ย และวันเก็บเกี่ยว เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ เหล่านี้ ต้องนำมาเขียนให้อยู่ในรูปแบบของ Experiment Details File

4.1.2 ข้อมูลสภาพอากาศรายวัน อยู่ในฐานข้อมูลอากาศ (Weather data file) ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด ปริมาณน้ำฝน และชั่วโมงแสงแดด โดยแบบจำลองจะทำการสังเคราะห์เป็นค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ข้าวได้รับตลอดอายุช่วงการเจริญเติบโต

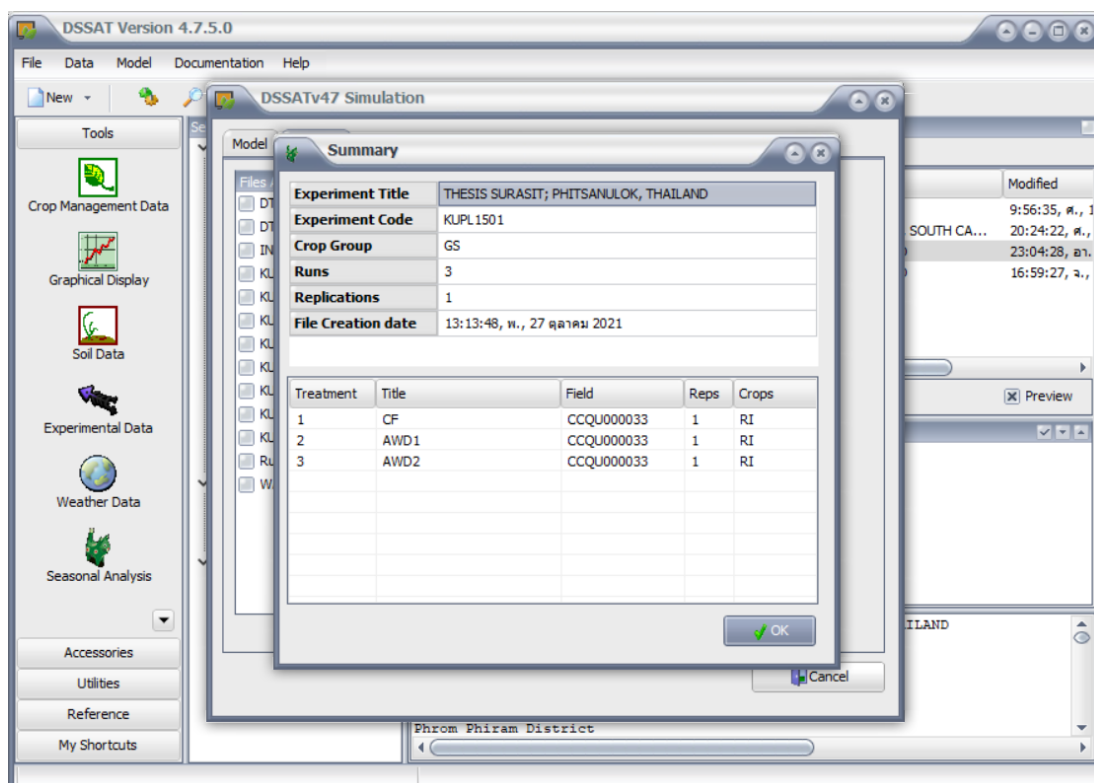
4.1.3 ข้อมูลชุดดิน (Soil data file) ภายในประกอบไปด้วย ชุดดินหลายชุดดิน ที่บรรจุอยู่ในฐานข้อมูลดิน (SOIL.SOL) แต่ในที่นี้เลือกใช้ชุดดินเหนียว (Clay Series) เนื่องจากมีคุณสมบัติของดินตรงกับดินในแปลงนาทดลอง โดยมีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพิ่มเติม อาทิเช่น เปอร์เซ็นต์ชนิดของดิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น ตามผลเจาะสำรวจดินที่ได้มีการวิเคราะห์ดินด้านวิทยาศาสตร์จากสำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

4.1.4 ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าว ปัจจุบันได้มีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวพันธุ์พิษณุโลก-2 บรรจุในฐานข้อมูลสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าว (Genetic coefficient file) ใน Genotype ไฟล์ข้อมูล RICER047.CUL แล้ว การศึกษานี้จะเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวพันธุ์ดังกล่าวนี้มาใช้เป็นค่าเริ่มต้นให้แบบจำลองประมวลผล

## 4.2 การประมวลผล

เมื่อเตรียมและนำเข้าข้อมูลครบถ้วนตามที่แบบจำลองต้องการเรียบร้อยแล้ว ทำการประมวลผลจากโปรแกรม DSSAT 4.7.5 เลือก Model / Cereals / Rice แล้วใช้คำสั่ง Run เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผล การศึกษานี้ทำการประมวลผลการวิเคราะห์ 2 ระดับ คือ ระดับแปลงทดลอง (Experiment) เพื่อตรวจสอบผลการจำลองของการเพาะปลูกข้าวจริงในภาคสนามแบบ Spatial Site โดยวิเคราะห์ความถูกต้องหรือความแม่นยำของผลการจำลองต่อการใช้ปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง เมื่อผลการจำลองเป็นที่ยอมรับแล้วจะดำเนินการประมวลผลในระดับรายฤดูกาล (Seasonal) การประมวลผลดำเนินการโดยเปลี่ยนชุดข้อมูลภูมิอากาศที่ใช้จำลองในระดับแปลงนา

ทดลองเป็นชุดข้อมูลภูมิอากาศในอนาคตตามผลคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้ง 4 แบบจำลอง เพื่อศึกษาการรูปแบบการจัดการน้ำชลประทานที่สภาวะการณ์ต่าง ๆ กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าว โดยใช้ปัจจัยและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการเพาะปลูกข้าวจริงในภาคสนามที่ผ่านการประเมินผลในระดับแปลงทดลองจากขั้นตอนก่อนนี้เป็นข้อมูลนำเข้า



ภาพที่ 25 แสดงการประมวลผลของแบบจำลอง CERES-Rice

#### 4.3 การแสดงผลการจำลอง

เมื่อจบขั้นตอนจากการประมวลผล ผลการจำลองจะแสดงออกมาในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ไฟล์ overview.out เป็นข้อมูลที่สรุปผลการจำลองของแบบจำลอง มีผลการจำลองย่อยที่แสดงข้อมูลปัจจัยการผลิตข้าวและการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ข้อมูลการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของข้าวตั้งแต่ปักดำจนถึงเก็บเกี่ยว ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำชลประทานของข้าว ข้อมูลผลผลิตข้าวและข้อมูลแสดงสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น หากมีการผิดพลาดในการประมวลผล แบบจำลองจะแสดงไฟล์ warning.out แสดงข้อผิดพลาดการป้อนข้อมูลนำเข้า

## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### 1. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของบริเวณพื้นที่ศึกษาในจังหวัดพิษณุโลก โดยใช้ข้อมูลตรวจวัดสภาพอากาศสถานีพิษณุโลก กรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อทำการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน ในช่วงปีพื้นฐาน ปี ค.ศ. 1961-2012 มีผลการศึกษา ดังนี้

##### 1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระดับสถานีช่วงปีพื้นฐาน ปี ค.ศ. 1961-2012

จากการวิเคราะห์ค่าข้อมูลอุตุนิยมวิทยาครบ 52 ปี ในช่วงปี ค.ศ. 1961-2012 ของสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก พบว่า มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน 23.02 องศาเซลเซียส, ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดรายวัน 33.35 องศาเซลเซียส, ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนรายวัน 3.72 มิลลิเมตร และมีค่าเฉลี่ยชั่วโมงแสงแดด 7.38 ชั่วโมงต่อวัน ตามลำดับ

##### ตารางที่ 9 แสดงค่าสถิติข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันในช่วงปี ค.ศ. 1961-2012

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	23.03	8.90	29.40
อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)	33.35	18.00	42.00
ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตรต่อวัน)	3.72	0.00	265.70
แสงแดด (ชั่วโมงต่อวัน)	7.37	0.00	12.50

โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดจะอยู่ช่วงฤดูหนาวในเดือนมกราคม 18.47 องศาเซลเซียส, ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ช่วงฤดูร้อนในเดือนเมษายน 37.13 องศาเซลเซียส เดือนที่มีฝนตกมากที่สุดคือเดือนสิงหาคม มีปริมาณฝนเฉลี่ย 258.20 มิลลิเมตร และมีค่าเฉลี่ยชั่วโมงแสงแดดที่มากที่สุดในช่วงฤดูร้อนของเดือนเมษายน 9.05 ชั่วโมงต่อวัน

ตารางที่ 10 แสดงค่าสถิติข้อมูลอุตุนิมวิทยารายเดือนในช่วงปี ค.ศ. 1961-2012

เดือน	อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตรต่อเดือน)	แสงแดด (ชั่วโมงต่อวัน)
มกราคม	18.47	31.63	5.71	8.56
กุมภาพันธ์	20.81	33.76	14.42	8.87
มีนาคม	23.54	35.75	29.55	8.54
เมษายน	25.28	37.13	59.23	9.05
พฤษภาคม	25.15	35.38	188.30	7.86
มิถุนายน	24.93	33.82	173.30	6.04
กรกฎาคม	24.68	32.96	189.20	5.35
สิงหาคม	24.54	32.40	258.20	4.99
กันยายน	24.60	32.38	254.30	5.50
ตุลาคม	23.98	32.39	148.50	7.09
พฤศจิกายน	21.59	31.77	29.27	8.25
ธันวาคม	18.68	30.86	9.22	8.47
เฉลี่ย	23.02	33.35	113.27	7.38

มีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนรายปีเท่ากับ 1,359.25 มิลลิเมตรต่อปี, ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรายปีต่ำสุด 938.90 มิลลิเมตรต่อปี (ปี ค.ศ.1979) และค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรายปีสูงสุด 2,035.30 มิลลิเมตรต่อปี (ปี ค.ศ.1983) ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลอุตุนิมวิทยาในพื้นที่ศึกษาตามวิธี Mann-Kendall พบว่า ค่าอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงปี ค.ศ. 1961-2012 มีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากค่าทางสถิติ Normalized Test Statistic ( $Z$ ) = 7.86 มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติของ ( $Z_c > 1.960$ ) หรือ  $p\text{-value} < 0.05$  ส่วนค่าอุณหภูมิสูงสุดกับปริมาณน้ำฝน ไม่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ชั่วโมงแสงแดดมีแนวโน้มจำนวนชั่วโมงที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $Z = -7.79 < -1.960$  หรือ  $p\text{-value} < 0.05$ ) ตามที่แสดงในตารางที่ 11



ตารางที่ 11 ค่าสถิติของแนวโน้มภูมิอากาศด้วยวิธี Mann-Kendall (S) ช่วงปีพื้นฐาน  
ค.ศ. 1961-2012

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	Mann-Kendall Statistic (S)	Normalized Test Statistic (Z)	p-value (alpha = 0.05)	Trend
อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	6,855,411	7.858	0.000	yes
อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)	659,205	0.756	0.450	no
ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตรต่อวัน)	-1,029,426	-1.418	0.156	no
แสงแดด (ชั่วโมงต่อวัน)	-6,793,937	-7.788	0.000	yes

## 1.2 การเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติสำหรับใช้คาดการณ์สภาพภูมิอากาศ

การศึกษานี้เลือกใช้เทคนิคการลดมาตราส่วนทางสถิติจากกลุ่มวิธี Linear methods ซึ่งมี 3 วิธีการ ดังนั้น การพิจารณาวิธีการลดมาตราส่วนทางสถิติที่จะนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อการคาดการณ์จะคำนึงถึงผลลัพธ์ของข้อมูลการสังเคราะห์ที่มีความสอดคล้องกับค่าทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ศึกษามากที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ของแต่ละวิธีจะมีอิทธิพลต่อค่าคาดการณ์อุตุนิยมวิทยาในอนาคต โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันช่วงปีพื้นฐานเป็นข้อมูลเพื่อการคัดเลือกวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติที่ดีที่สุด โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของชุดข้อมูลจากการสังเคราะห์ข้อมูลจากเพิ่มข้อมูล historical ของแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลกกับค่าข้อมูลสังเกตการณ์ของสถานีตรวจวัดอากาศด้วยเกณฑ์ค่าทางสถิติแบบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ในเบื้องต้น เพื่อที่จะคัดเลือกวิธีการลดมาตราส่วนทางสถิติที่ได้ผลลัพธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ผลการศึกษาพบว่า ทุกแบบจำลองสำหรับตัวแปรปริมาณน้ำฝนวิธี Delta เป็นวิธีการลดมาตราส่วนทางสถิติที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เนื่องจากมีค่าทางสถิติที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธี QM และ EQM ส่วนตัวแปรอุณหภูมิและชั่วโมงแสงแดดจะได้วิธีการที่คละกันไปตามผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 12-15

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติจาก EC-EARTH model

ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา	Method	RMSE	NRMSE	Pearson	Spearman	MAE	MBE	Index of Agreement	NSE
Tmin	Delta	1.52	0.07	0.81	0.75	1.16	0.00	0.89	0.65
	QM	1.56	0.07	0.81	0.75	1.19	0.00	0.89	0.63
	EQM	1.52	0.07	0.82	0.76	1.15	0.00	0.90	0.65
Tmax	Delta	2.23	0.07	0.55	0.46	1.81	0.01	0.72	-0.20
	QM	1.94	0.06	0.55	0.46	1.56	0.00	0.73	0.10
	EQM	1.93	0.06	0.53	0.45	1.55	0.00	0.72	0.10
Rain	Delta	3.23	0.87	0.61	0.72	2.19	0.01	0.77	0.27
	QM	6.78	1.83	0.59	0.71	4.44	3.56	0.60	-2.25
	EQM	6.54	1.77	0.60	0.72	4.36	3.56	0.61	-2.02
Sun	Delta	1.40	0.19	0.58	0.62	1.17	0.00	0.71	0.33
	QM	1.95	0.26	0.58	0.64	1.54	0.18	0.73	-0.28
	EQM	1.55	0.21	0.59	0.62	1.23	0.19	0.76	0.19

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติจาก GFDL-CM3 model

ข้อมูล อุตุวิทยวิทยา	Method	RMSE	NRMSE	Pearson	Spearman	MAE	MBE	Index of Agreement	NSE
Tmin	Delta	2.34	0.10	0.88	0.85	1.95	-0.01	0.88	0.19
	QM	1.34	0.06	0.88	0.85	1.07	-0.01	0.93	0.73
	EQM	1.29	0.06	0.88	0.85	0.97	0.00	0.94	0.76
Tmax	Delta	2.51	0.08	0.80	0.76	1.96	0.00	0.80	-0.47
	QM	1.39	0.04	0.80	0.76	1.07	0.00	0.89	0.55
	EQM	1.40	0.04	0.79	0.76	1.09	0.00	0.88	0.54
Rain	Delta	3.49	0.96	0.64	0.75	2.24	-0.01	0.78	0.14
	QM	7.08	1.94	0.61	0.75	4.24	2.77	0.61	-2.55
	EQM	7.30	2.00	0.60	0.75	4.32	2.88	0.60	-2.78
Sun	Delta	1.36	0.18	0.61	0.59	1.09	0.00	0.75	0.37
	QM	1.73	0.23	0.59	0.58	1.39	0.16	0.76	-0.02
	EQM	1.44	0.19	0.64	0.61	1.13	0.19	0.80	0.30

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติจาก MIROC5 model

ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา	Method	RMSE	NRMSE	Pearson	Spearman	MAE	MBE	Index of Agreement	NSE
Tmin	Delta	1.69	0.07	0.87	0.80	1.24	0.00	0.91	0.56
	QM	1.36	0.06	0.87	0.80	1.00	0.00	0.93	0.72
	EQM	1.38	0.06	0.86	0.80	1.01	0.00	0.93	0.71
Tmax	Delta	2.24	0.07	0.66	0.70	1.76	0.00	0.77	-0.21
	QM	1.68	0.05	0.66	0.70	1.30	0.00	0.81	0.32
	EQM	1.69	0.05	0.66	0.70	1.29	0.00	0.80	0.32
Rain	Delta	3.67	0.99	0.51	0.65	2.54	0.00	0.71	0.05
	QM	8.54	2.30	0.50	0.65	5.57	4.61	0.51	-4.15
	EQM	7.97	2.15	0.52	0.65	5.46	4.64	0.53	-3.49
Sun	Delta	1.65	0.22	0.30	0.31	1.37	-0.01	0.49	0.07
	QM	1.86	0.25	0.30	0.32	1.49	0.15	0.58	-0.18
	EQM	1.73	0.23	0.35	0.37	1.36	0.19	0.60	-0.03

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติจาก MPI-ESM-MR model

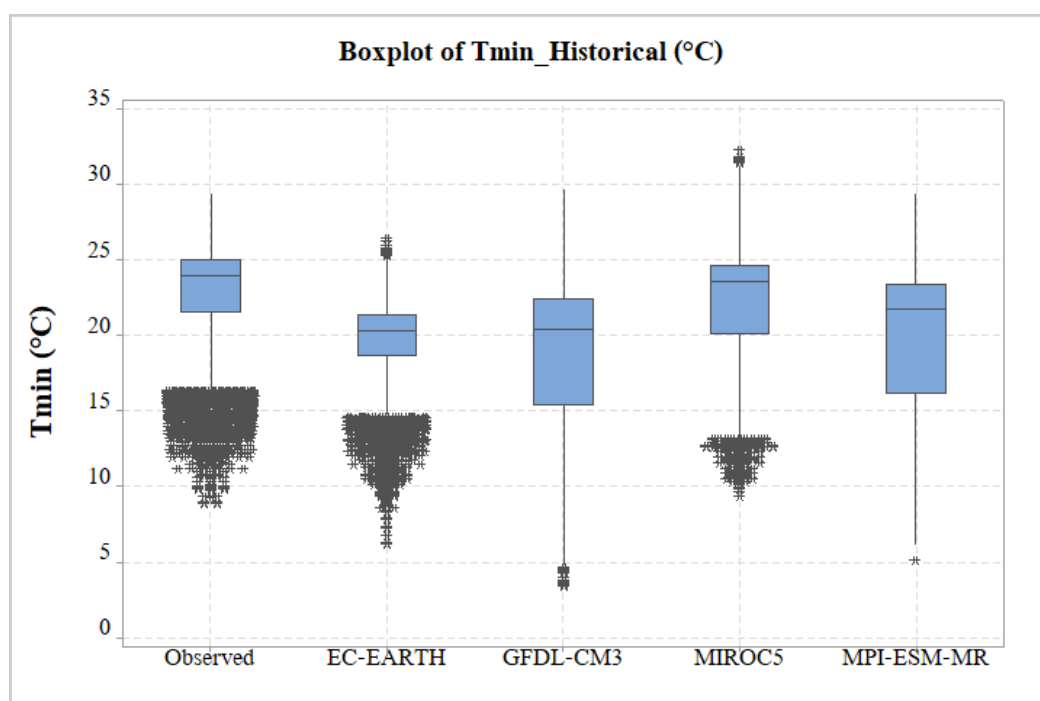
ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา	Method	RMSE	NRMSE	Pearson	Spearman	MAE	MBE	Index of Agreement	NSE
Tmin	Delta	2.21	0.10	0.89	0.87	1.80	-0.01	0.89	0.28
	QM	1.28	0.06	0.89	0.87	0.99	0.00	0.94	0.76
	EQM	1.28	0.06	0.89	0.87	0.94	0.00	0.94	0.76
Tmax	Delta	2.64	0.08	0.83	0.82	2.10	0.00	0.81	-0.62
	QM	1.31	0.04	0.83	0.82	1.05	0.00	0.91	0.60
	EQM	1.32	0.04	0.83	0.82	1.05	0.00	0.90	0.59
Rain	Delta	3.25	0.89	0.70	0.76	2.18	0.00	0.82	0.25
	QM	3.45	0.94	0.69	0.76	2.30	0.21	0.81	0.16
	EQM	3.73	1.02	0.66	0.76	2.42	0.36	0.79	0.02
Sun	Delta	1.47	0.20	0.55	0.55	1.21	0.00	0.72	0.26
	QM	1.60	0.22	0.53	0.53	1.32	0.16	0.73	0.12
	EQM	1.51	0.20	0.57	0.57	1.21	0.19	0.75	0.22

### 1.3 ผลการวิเคราะห์การจำลองข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงปีพื้นฐานจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก

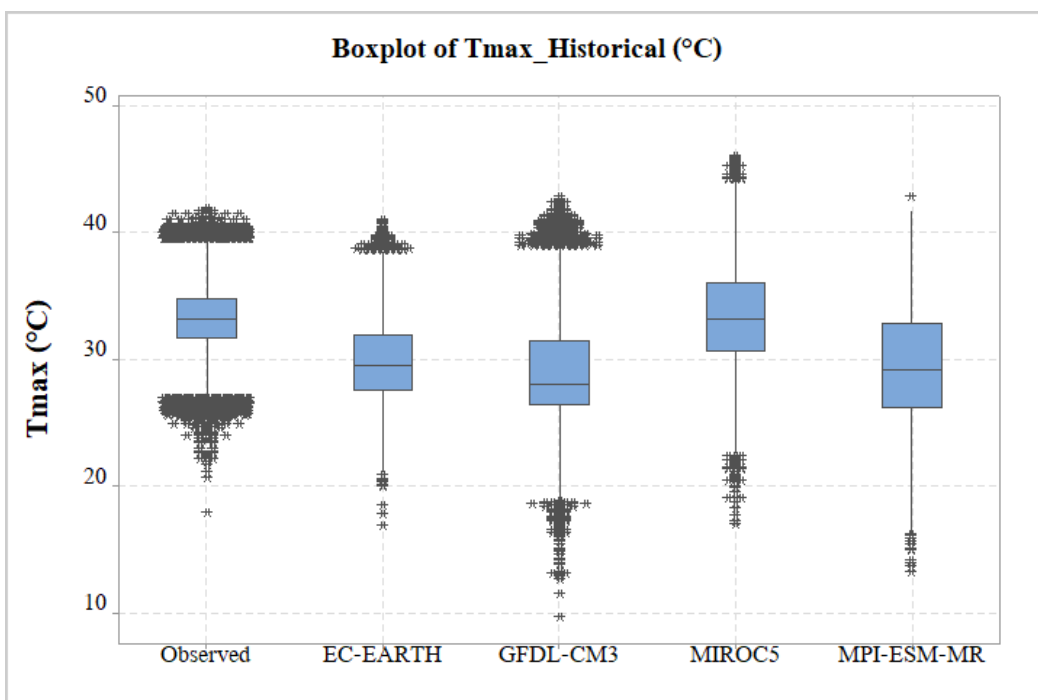
จากการสังเคราะห์ค่าอุตุนิยมวิทยาทั้ง 4 ตัวแปรตามวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติที่ได้คัดเลือกไว้ก่อนหน้านี้ด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงปีพื้นฐานกับข้อมูล historical ของแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลก จำนวน 4 แบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบด้วยเกณฑ์ทางสถิติจากค่าสังเกตการณ์ที่บันทึกไว้ในอดีตของช่วงเวลาเดียวกัน พบว่า แบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้ง 4 แบบจำลอง ผลการจำลองของข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และปริมาณน้ำฝนในช่วงปีพื้นฐานมีค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่าค่าสังเกตการณ์ ซึ่งแตกต่างกับการจำลองข้อมูลชั่วโมงแสงแดดที่แบบจำลองทุกแบบจำลองได้ค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าค่าสังเกตการณ์ จากผลการจำลองของแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลก เห็นได้ชัดว่าแบบจำลอง MIROC5 มีผลการจำลองข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุดได้ดีกว่าทุกแบบจำลอง ส่วนผลการจำลองข้อมูลปริมาณน้ำฝน พบว่า แบบจำลอง GFDL-CM3 และ MPI-ESM-MR ได้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับค่าสังเกตการณ์ รวมทั้งแบบจำลอง EC-EARTH ที่จำลองข้อมูลชั่วโมง

แสงแดดที่มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับค่าสังเกตการณ์มากที่สุดเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยรายปีของข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด ปริมาณน้ำฝน และชั่วโมงแสงแดดที่คำนวณได้จากการจำลองข้อมูลอนุกรมเวลารายวัน พบว่า ค่าเฉลี่ยรายปีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับค่าสังเกตการณ์ในช่วงปีพื้นฐาน ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยในเกณฑ์ดี โดยที่จำนวนปีและจำนวนวันของปีอธิกสุรทิน (Leap year) ในช่วงปีพื้นฐานของแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลก ไม่มีอิทธิพลกับค่าเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและความแปรปรวนของผลการจำลองตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปร (ปีอธิกสุรทินจะมี 366 วัน เดือนกุมภาพันธ์มี 29 วัน มีทุก 4 ปี เริ่มจาก ปี ค.ศ. 1964 เป็นต้นมา) แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลจากแฟ้มข้อมูล historical เป็นปีอธิกสุรทิน ได้แก่ แบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR

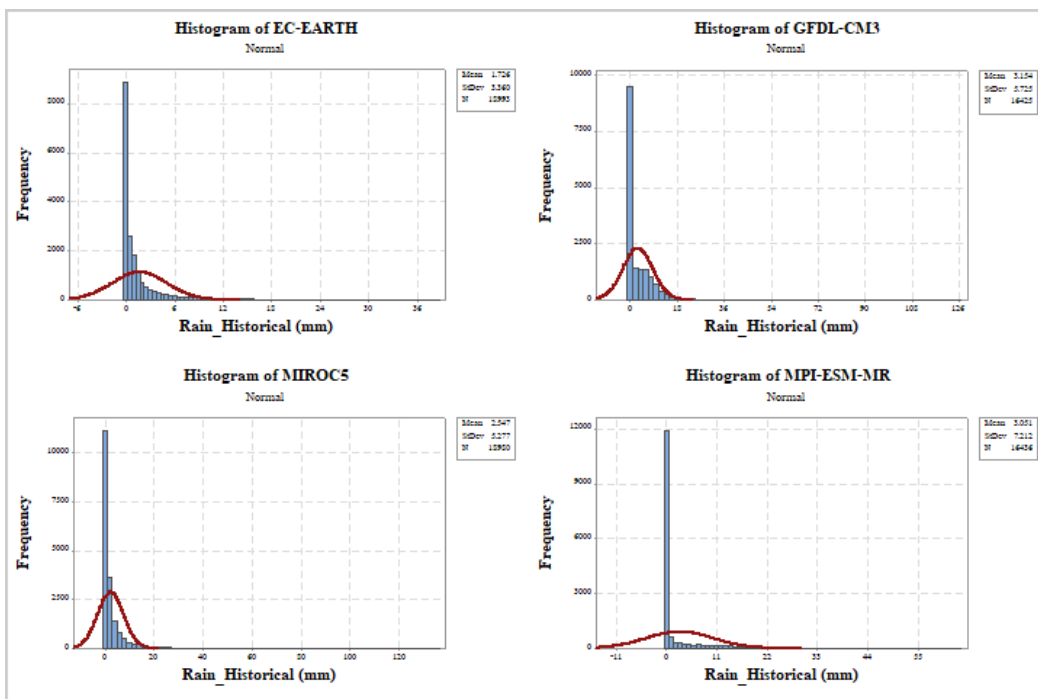
ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์เห็นได้ชัดว่า แบบจำลองภูมิอากาศโลกให้ผลลัพธ์การจำลองค่าอุณหภูมิรายวันในช่วงปีพื้นฐานที่มีความคลาดเคลื่อนในระดับสถานที่ที่แตกต่างกัน โดยที่ค่าความละเอียดเชิงพื้นที่ (Atmospheric resolution) ของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกที่เลือกใช้ทั้ง 4 แบบจำลองนี้ไม่มีอิทธิพลต่อความแม่นยำของการสังเคราะห์ข้อมูลตัวแปรอุณหภูมิรายวันในอดีตแต่อย่างใด



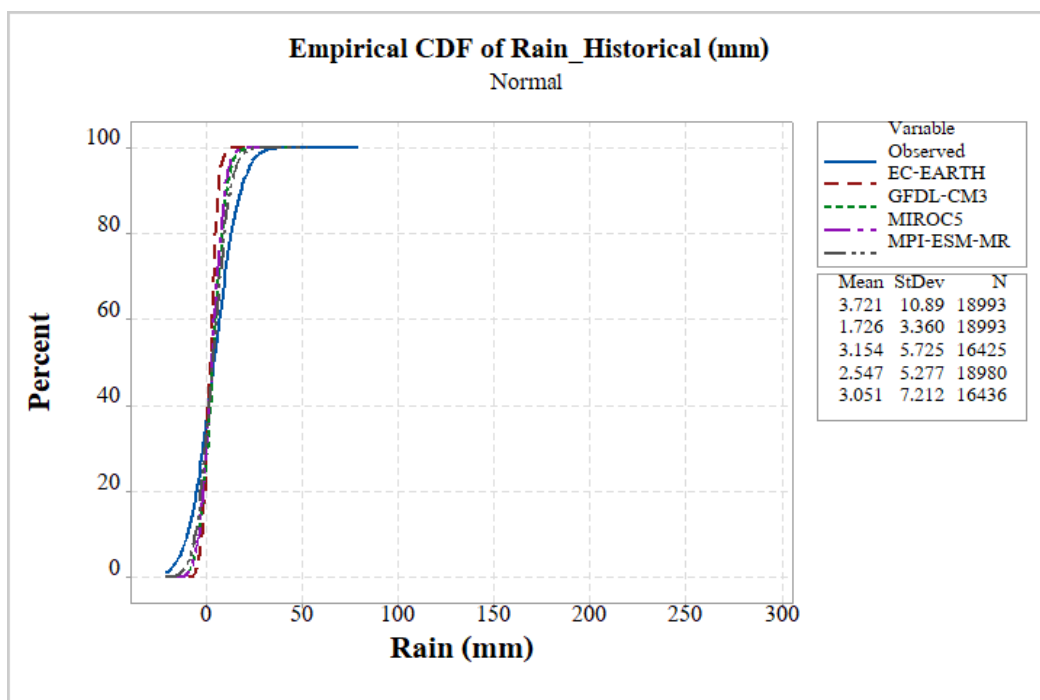
ภาพที่ 26 กราฟ Boxplot ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดจากข้อมูล historical ของ GCMs ในช่วงปีพื้นฐาน



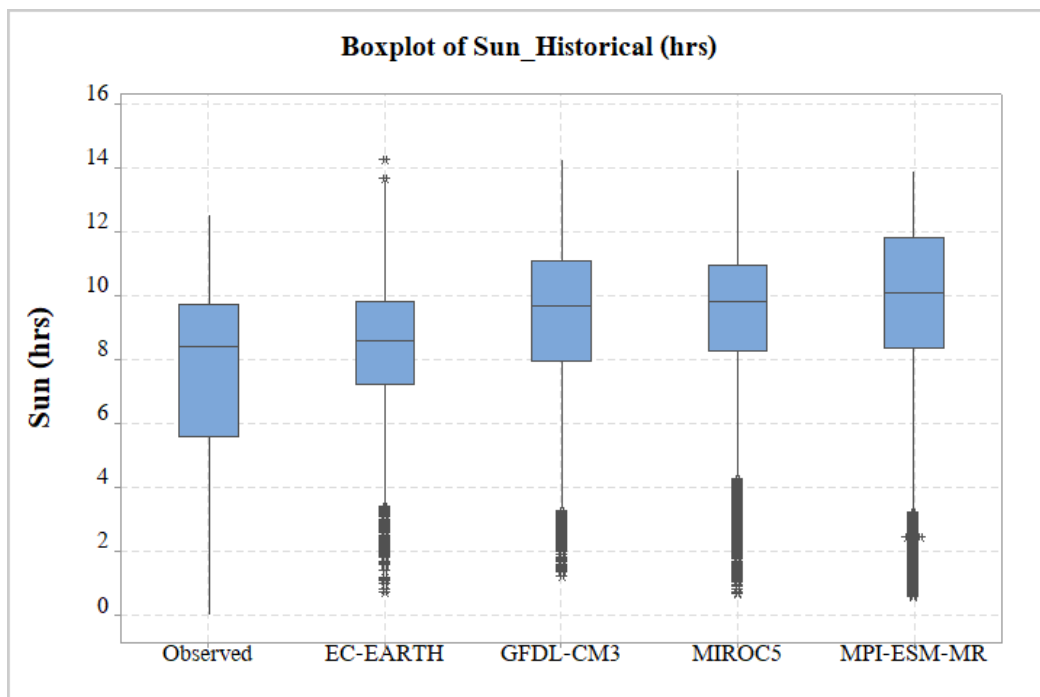
ภาพที่ 27 กราฟ Boxplot ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดจากข้อมูล historical ของ GCMs ในช่วงปีพื้นฐาน



ภาพที่ 28 กราฟ Histogram ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากข้อมูล historical ของ GCMs ในช่วงปีพื้นฐาน



ภาพที่ 29 กราฟ CDF ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากข้อมูล historical ของ GCMs ในช่วงปีพื้นฐาน



ภาพที่ 30 กราฟ Boxplot ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดจากข้อมูล historical ของ GCMs ในช่วงปีพื้นฐาน



อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกมีข้อจำกัดในเรื่องความแม่นยำของผลลัพธ์ โดยเฉพาะข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในพื้นที่ศึกษาที่มีการกระจายตัวของฝนที่มีรูปแบบขึ้นอยู่กับรายละเอียดเชิงพื้นที่และปรากฏการณ์บางอย่างที่มีขนาดเล็ก (Parameterization) โดยปกติจะไม่นำผลลัพธ์ไปใช้โดยตรงสำหรับการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับท้องถิ่น จำเป็นอย่างยิ่งต้องลดความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก โดยการลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสามารถปรับปรุงแก้ไขได้จากเทคนิคการปรับแก้ค่าอคติของผลลัพธ์ เพื่อให้ผลการคาดการณ์ตัวแปรอุตุนิยมวิทยามีความสัมพันธ์กับค่าสังเกตการณ์มากขึ้น ส่งผลให้ค่าการกระจายตัวของชุดข้อมูลการจำลองทั้งรายวัน รายเดือน และรายปี มีความสอดคล้องทางอุทก-อุตุนิยมวิทยายังขึ้นก่อนที่นำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

ตารางที่ 16 ค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติในช่วงปีพื้นฐาน

Variable	Statistical value	Observed data				
			EC-EARTH	GFDL-CM3	MIROC5	MPI-ESM-MR
Tmin (to 2005)	Mean	22.98		18.89		20.03
	St Dev	3.05		4.74		4.53
	Variance	9.33		22.44		20.47
Tmin (to 2012)	Mean	23.03	19.69		22.30	
	St Dev	3.02	2.64		3.70	
	Variance	9.12	6.99		13.70	
Tmax (to 2005)	Mean	33.37		28.99		29.53
	St Dev	2.74		4.68		4.78
	Variance	7.51		21.87		22.81
Tmax (to 2012)	Mean	33.35	29.94		33.40	
	St Dev	2.71	3.41		3.95	
	Variance	7.34	11.60		15.58	
Rain (to 2005)	Mean	3.67		3.15		3.05
	St Dev	10.89		5.73		7.21
	Variance	118.56		32.78		52.01
Rain (to 2012)	Mean	3.72	1.73		2.55	
	St Dev	10.89	3.36		5.28	
	Variance	118.65	11.29		27.85	
Sun (to 2005)	Mean	7.39		9.37		9.57
	St Dev	2.99		2.27		3.00
	Variance	8.93		5.17		9.02
Sun (to 2009)	Mean	7.39			9.45	
	St Dev	2.99			2.18	
	Variance	8.93			4.75	
Sun (to 2012)	Mean	7.39	8.53			
	St Dev	2.99	0.01			
	Variance	8.93	3.55			

#### 1.4 ผลการปรับแก้ค่าอคติผลลัพธ์จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก

การปรับแก้ค่าอคติจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกได้รับการปรับแก้ในรูปแบบข้อมูลรายวันจากค่าสถิติของข้อมูลรายเดือน โดยที่ค่าแนวโน้มทางสถิติของผลลัพธ์จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะถูกอ้างอิงจากข้อมูลในช่วงปีพื้นฐาน ผลการปรับแก้ค่าอคติของชุดข้อมูลผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลก ทั้ง 4 แบบจำลองพบว่า ผลการปรับแก้ข้อมูลการจำลองตัวแปรอุตุนิยมวิทยาของค่าอุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุดได้ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนมีค่าเท่ากับค่าสังเกตการณ์ ส่วนข้อมูลปริมาณน้ำฝนและชั่วโมงแสงแดดได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับค่าสังเกตการณ์ แต่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนต่ำกว่าค่าสังเกตการณ์

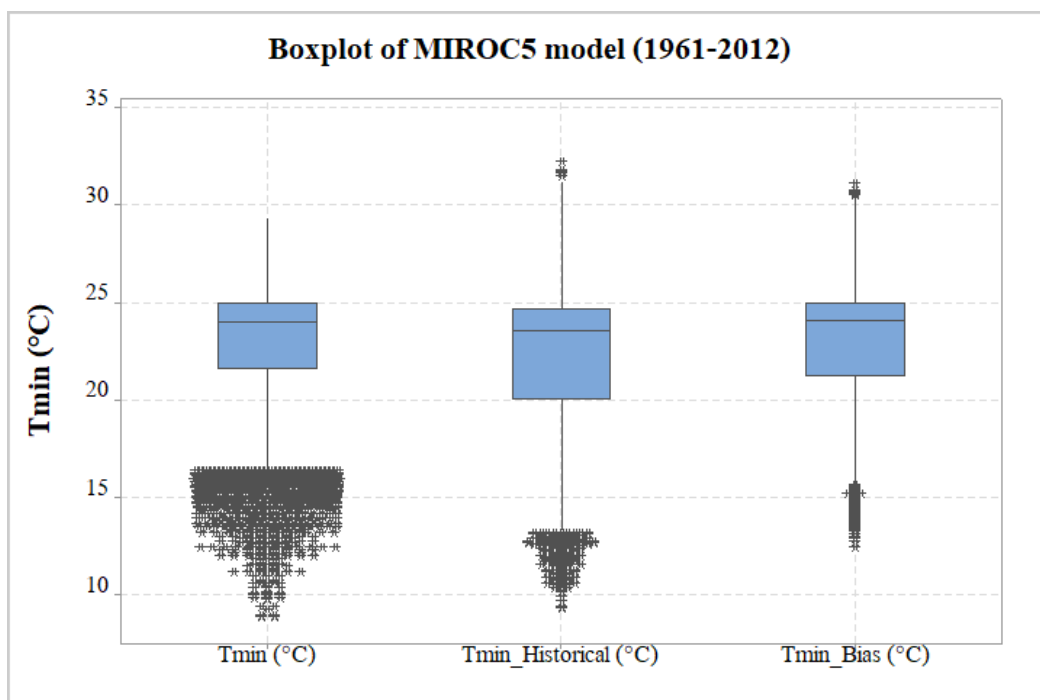
การปรับแก้ค่าอคติส่งผลให้ผลลัพธ์จากทุกแบบจำลองมีข้อมูลการจำลองตัวแปรอุตุนิยมวิทยาทั้ง 4 ตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับค่าสังเกตการณ์ ถือได้ว่าแบบจำลองทุกแบบจำลองมีสมรรถภาพการคาดการณ์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในอนาคตได้ แต่การเลือกตัดสินใจใช้แบบจำลองต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์และรายละเอียดการศึกษา การนำข้อมูลไปใช้ในการพยากรณ์เพียงค่าเฉลี่ยนั้น การวิเคราะห์ใช้ผลลัพธ์การจำลองนั้นอาจจะไม่เพียงพอที่จะสรุปได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองควรพิจารณาค่าการกระจายของข้อมูลคู่กับค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วย ถ้าค่าจำลองข้อมูลแต่จำนวนมีค่าห่างกันมากเรียกว่ามีการกระจายมาก ซึ่งค่าข้อมูลแต่ละค่ามีค่าห่างกันน้อยแสดงว่ามีการกระจายตัวการจำลองข้อมูลน้อย ถ้ามีการกระจายตัวการจำลองข้อมูลมากสามารถนำไปใช้กับการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มหรือชุดข้อมูลได้ดีกว่าการกระจายตัวน้อย โดยค่าการกระจายตัวการจำลองข้อมูลสามารถตรวจสอบด้วยค่าความแปรปรวน (Variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นเกณฑ์ค่าสถิติสำคัญตัวหนึ่งที่สามารถนำมาวัดการกระจายของข้อมูล โดยใช้อธิบายคู่กับค่าเฉลี่ยเลขคณิตเพื่อช่วยให้อธิบายแนวโน้มข้อมูลได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นเกณฑ์ทางสถิติการวัดการกระจายดัชนีหนึ่งซึ่งนักสถิตินิยมใช้กันมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการวัดการกระจายของข้อมูลทางอุทกวิทยาและอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากเป็นดัชนีการวัดการกระจายของข้อมูลที่ใช้ค่าข้อมูลสถิติหลายตัวแปรมาคำนวณ

ตารางที่ 17 ค่าทางสถิติของการปรับแก้ค่าอคติของตัวแปรอุตุนิยมวิทยาในช่วงปีพื้นฐาน

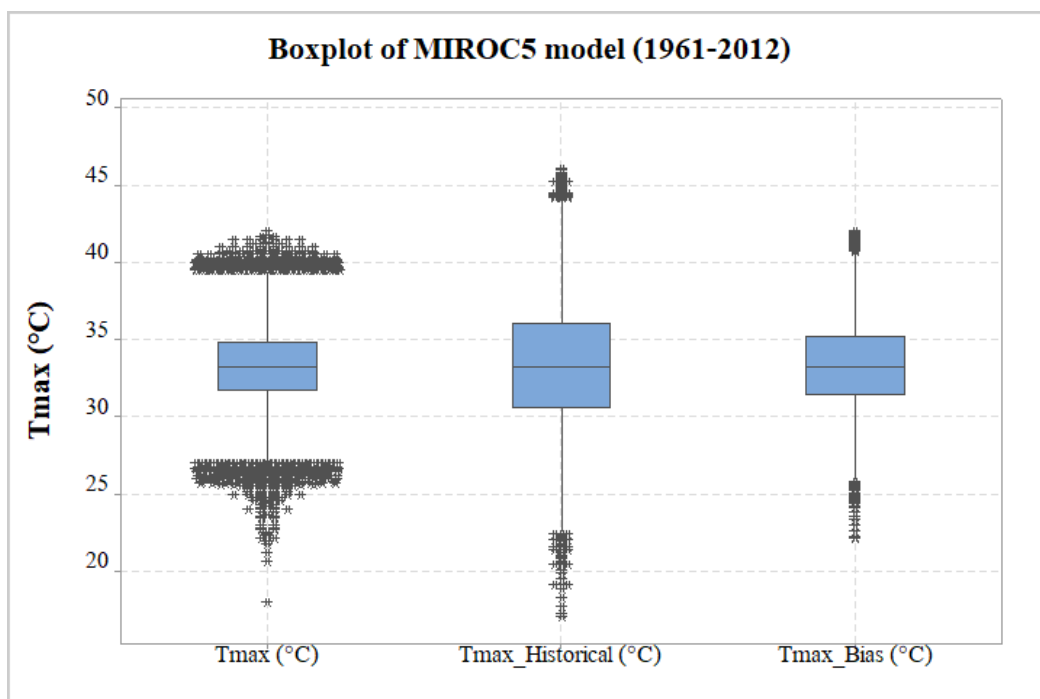
Variable	Statistical value	Observed data				
			EC-EARTH	GFDL-CM3	MIROC5	MPI-ESM-MR
Tmin	Mean	22.98		22.98		22.98
(to	St Dev	3.05		3.05		3.05
2005)	Variance	9.33		9.32		9.33
Tmin	Mean	23.03	23.03		23.03	
(to	St Dev	3.02	3.02		3.02	
2012)	Variance	9.12	9.13		9.12	
Tmax	Mean	33.37		33.37		33.37
(to	St Dev	2.74		2.74		2.74
2005)	Variance	7.51		7.51		7.51
Tmax	Mean	33.35	33.34		33.35	
(to	St Dev	2.71	2.71		2.71	
2012)	Variance	7.34	7.34		7.34	
Rain	Mean	3.67		3.67		3.67
(to	St Dev	10.89		6.67		8.68
2005)	Variance	118.56		44.46		75.43
Rain	Mean	3.72	3.72		3.72	
(to	St Dev	10.89	7.25		7.71	
2012)	Variance	118.65	52.50		59.46	
Sun	Mean	7.39		7.39		7.39
(to	St Dev	2.99		1.79		2.32
2005)	Variance	8.93		3.22		5.39
Sun	Mean	7.39		7.39		
(to	St Dev	2.99		1.70		
2009)	Variance	8.93		2.90		
Sun	Mean	7.37	7.37			
(to	St Dev	0.02	0.01			
2012)	Variance	8.96	2.65			

แม้ว่าการปรับแก้ค่าอคติของค่าอุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุด จะช่วยให้ผลการจำลองในช่วงระยะเวลาปีพื้นฐานมีค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนเท่ากับค่าสังเกตการณ์ แต่การศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่จำเป็นต้องใช้ตัวแปรอุตุนิยมวิทยา นอกเหนือจากค่าอุณหภูมิ การปรับแก้ค่าอคติของตัวแปรอุตุนิยมวิทยาอื่นยังไม่อาจปรับแก้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความแปรปรวนเท่ากับค่าสังเกตการณ์ได้ เนื่องจากรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจอากาศในบางตัวแปร หรือข้อจำกัดของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ดังนั้น การเลือกใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่มีผลการจำลองข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในอดีตที่สอดคล้องทางอุทก-อุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษานั้นจึงเป็นข้อพิจารณาที่สำคัญ ซึ่งการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกของสถาบันต่างๆ จึงเป็นขั้นตอนที่ต้องนำมาใช้ในการศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่ต้องการตามเป้าหมายการศึกษาที่ต้องการ

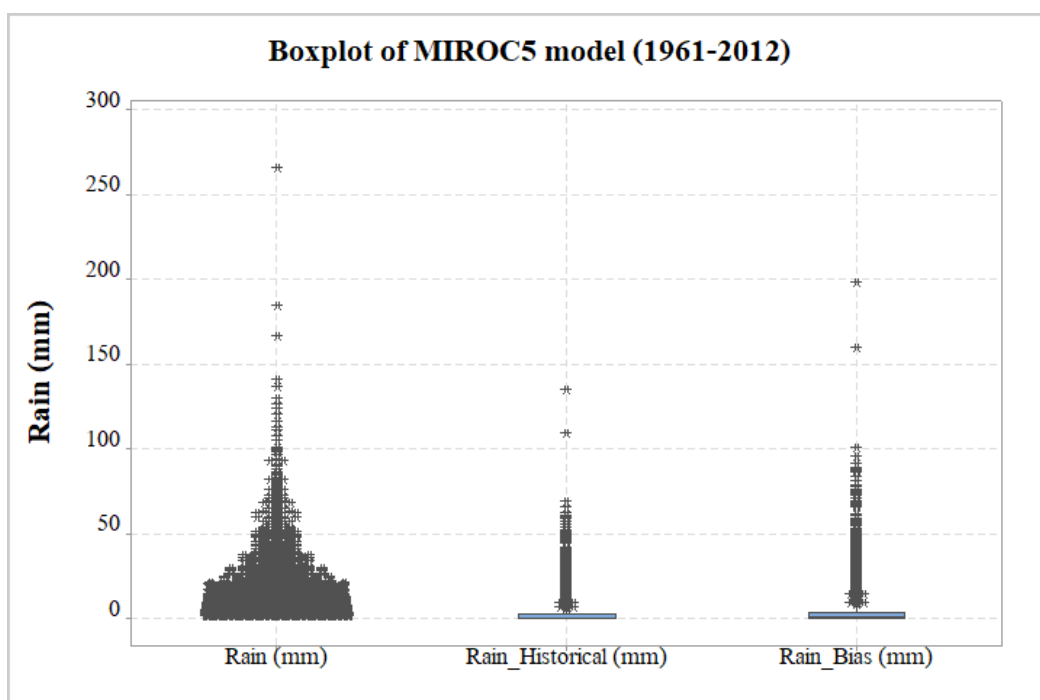
จากผลการศึกษาการปรับแก้ค่าอคติของค่าตัวแปรอุตุนิยมวิทยาทั้ง 4 ตัวแปร พบว่าภาพรวมของ The fifth version of the Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC) หรือ แบบจำลอง MIROC5 พัฒนาโดยสถาบัน National Institute for Environmental Studies, The University of Tokyo ร่วมกับ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ประเทศญี่ปุ่น มีผลการจำลองข้อมูลค่าตัวแปรอุตุนิยมวิทยาทั้ง 4 ตัวแปร ที่มีความสัมพันธ์กับค่าสังเกตการณ์ที่ดีทั้งก่อนและหลังกระบวนการปรับแก้ค่าอคติ และมีคุณลักษณะทางอุทก-อุตุนิยมวิทยาสอดคล้องกับพื้นที่ศึกษามากที่สุด



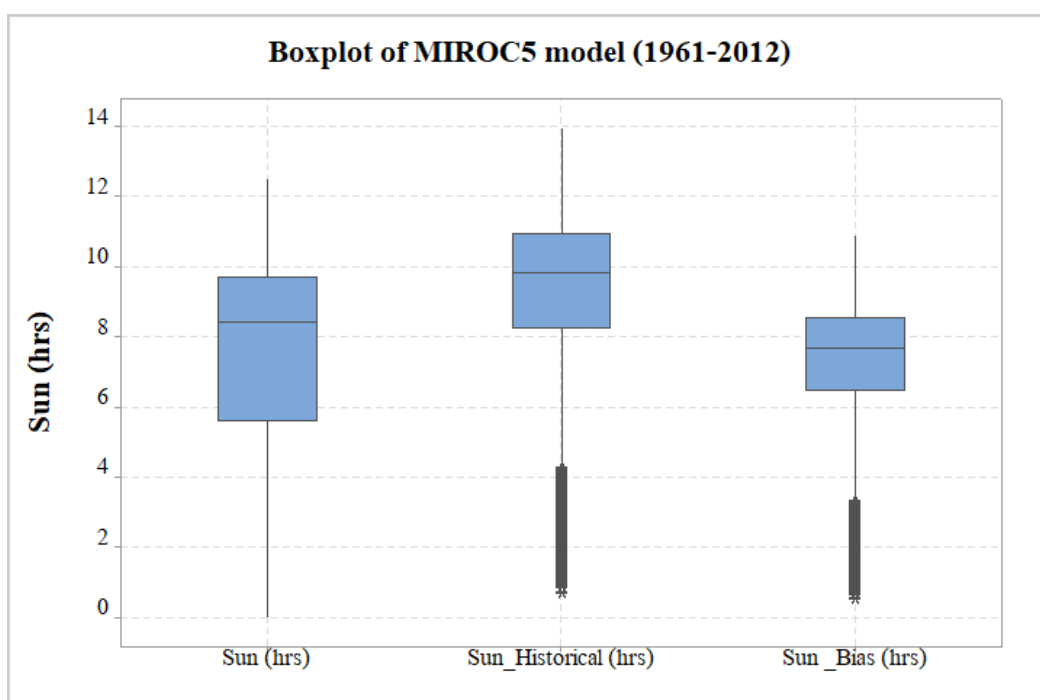
ภาพที่ 31 กราฟ Boxplot ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน



ภาพที่ 32 กราฟ Boxplot ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน



ภาพที่ 33 กราฟ Boxplot ข้อมูลปริมาณน้ำฝนช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน



ภาพที่ 34 กราฟ Boxplot ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน

### 1.5 การประเมินแบบจำลองภูมิอากาศโลกสำหรับสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

ผลการปรับแก้ค่าอคติจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นการปรับแก้ในรูปแบบข้อมูลรายวัน เพื่อการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนค่าอุณหภูมิรายวันจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้ง 4 แบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบกับค่าสังเกตการณ์ช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 กับผลลัพธ์การคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกช่วงเวลาเดียวกัน ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 โดยใช้ค่าเกณฑ์สถิติในการวิเคราะห์ 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ BIAS และ Root Mean Square Error (RMSE) มีสมการ ดังนี้

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n P_{GCM}}{\sum_{i=1}^n P_{obs}}$$

โดยที่  $P_{GCM}$  คือ ผลลัพธ์การคาดการณ์เฉลี่ยรายวันจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก,  $P_{obs}$  คือค่าสังเกตการณ์เฉลี่ยรายวันจากสถานีตรวจวัดพิษณุโลกในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2013-2018 และ  $n$  คือ จำนวนวันในคาบ 6 ปี (ใช้ 2190 วัน) ซึ่งค่า BIAS ที่มากกว่า 1 หมายถึง ผลลัพธ์การคาดการณ์มีค่าสูงกว่าค่าสังเกตการณ์ และถ้าค่า BIAS ที่น้อยกว่า 1 หมายถึง ผลลัพธ์การคาดการณ์มีค่าต่ำกว่าค่าสังเกตการณ์

การคำนวณค่า Root Mean Square Error (RMSE) จะแสดงถึงความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยของผลลัพธ์การคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกเทียบกับค่าสังเกตการณ์

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{GCM} - P_{obs})^2}{n}}$$

ถ้า RMSE มีค่าสูง แสดงว่าค่า  $P_{GCM}$  มีความคลาดเคลื่อนจากค่า  $P_{obs}$  มาก ในทางกลับกัน ถ้ามีค่าต่ำ หมายถึง มีความคลาดที่เคลื่อนน้อย ผลการวิเคราะห์จากค่าผลลัพธ์การคาดการณ์ในช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 แสดงให้เห็นแนวโน้มของค่าปริมาณน้ำฝน สามารถนำไปพัฒนาการสำหรับคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในช่วงอนาคตต่อไป



**ตารางที่ 18** ค่า BIAS ของแบบจำลอง GCMs จากการคาดการณ์ของตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน  
ปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้อ RCP 4.5

Variable	EC-EARTH	GFDL-CM3	MIROC5	MPI-ESM-MR
Tmin (°C)	0.99	1.00	1.01	1.01
Tmax (°C)	0.99	1.00	1.01	1.01
Rain (mm)	1.08	0.96	1.00	1.02
Sun (hrs)	1.01	0.99	1.04	1.04

**ตารางที่ 19** ค่า RMSE ของแบบจำลอง GCMs จากการคาดการณ์ของตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน  
ปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้อ RCP 4.5

Variable	EC-EARTH	GFDL-CM3	MIROC5	MPI-ESM-MR
Tmin (°C)	2.97	2.53	2.87	2.41
Tmax (°C)	3.35	2.86	3.21	2.64
Rain (mm)	13.03	11.92	13.30	13.52
Sun (hrs)	3.11	3.12	3.38	3.36

**ตารางที่ 20** ค่า BIAS ของแบบจำลอง GCMs จากการคาดการณ์ของตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน  
ปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้อ RCP 8.5

Variable	EC-EARTH	GFDL-CM3	MIROC5	MPI-ESM-MR
Tmin (°C)	1.01	1.00	1.02	1.01
Tmax (°C)	1.00	1.01	1.02	1.00
Rain (mm)	1.09	0.88	1.08	1.18
Sun (hrs)	1.02	1.00	1.04	0.99

**ตารางที่ 21** ค่า RMSE ของแบบจำลอง GCMs จากการคาดการณ์ของตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน  
ปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้อากาศ RCP 8.5

Variable	EC-EARTH	GFDL-CM3	MIROC5	MPI-ESM-MR
Tmin (°C)	3.01	2.48	2.50	2.29
Tmax (°C)	3.96	4.08	3.09	2.54
Rain (mm)	13.17	12.22	12.56	14.36
Sun (hrs)	3.08	3.19	3.46	3.38

**ตารางที่ 22** แสดงค่าสถิติของข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้อากาศ RCP 4.5

Variable Tmin (°C)	Mean	St Dev	Variance	Median	Minimum	Maximum	IQR	Skewness	C.V.
Observed data	23.58	2.89	8.35	24.30	0.00	30.40	2.90	-1.50	12.26
EC-EARTH	23.29	3.38	11.43	24.50	9.40	29.00	3.60	-1.30	14.52
GFDL-CM3	23.70	2.83	8.03	24.20	13.50	29.10	3.40	-1.00	11.96
MIROC5	23.85	3.23	10.45	24.81	13.69	30.52	3.43	-1.00	13.56
MPI-ESM-MR	23.75	3.05	9.32	24.83	14.93	29.53	4.83	-0.50	12.85

**ตารางที่ 23** แสดงค่าสถิติของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้อากาศ RCP 4.5

Variable Tmax (°C)	Mean	St Dev	Variance	Median	Minimum	Maximum	IQR	Skewness	C.V.
Observed data	33.74	2.85	8.10	33.60	17.40	42.70	3.10	-0.20	8.43
EC-EARTH	33.47	2.94	8.66	33.20	21.20	41.50	3.30	0.10	8.80
GFDL-CM3	33.77	2.78	7.72	33.20	24.80	42.13	2.78	0.60	8.23
MIROC5	34.10	2.84	8.07	33.98	24.65	42.02	4.16	0.10	8.33
MPI-ESM-MR	34.01	2.81	7.89	33.77	25.91	40.65	4.14	0.10	8.26

ตารางที่ 24 แสดงค่าสถิติของข้อมูลปริมาณฝนรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 4.5

Variable Rain (mm)	Mean	St Dev	Variance	Median	Minimum	Maximum	IQR	Skewness	C.V.
Observed data	3.58	11.26	126.78	0.00	0.00	125.30	0.50	5.00	314.40
EC-EARTH	3.86	7.65	58.58	0.78	0.00	62.50	3.69	3.00	198.18
GFDL-CM3	3.45	5.73	32.83	0.19	0.00	70.85	5.91	3.00	166.02
MIROC5	3.59	7.77	60.29	0.80	0.00	133.03	3.37	5.00	216.45
MPI-ESM-MR	3.66	9.18	84.19	0.00	0.00	69.38	0.60	3.00	250.61

ตารางที่ 25 แสดงค่าสถิติของข้อมูลชั่วโมงแสงแดดรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 4.5

Variable Sun (hrs)	Mean	St Dev	Variance	Median	Minimum	Maximum	IQR	Skewness	C.V.
Observed data	7.18	3.09	9.53	8.40	0.00	11.70	4.50	-0.87	43.02
EC-EARTH	7.27	1.77	3.13	7.34	0.45	11.56	2.44	-0.27	24.32
GFDL-CM3	7.12	1.86	3.45	7.22	1.04	10.74	2.68	-0.33	26.09
MIROC5	7.47	1.64	2.67	7.65	1.01	10.69	1.99	-0.86	21.89
MPI-ESM-MR	7.44	2.26	5.12	7.78	0.65	10.66	2.53	-0.98	30.43

ตารางที่ 26 แสดงค่าสถิติของข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 8.5

Variable Tmin (°C)	Mean	St Dev	Variance	Median	Minimum	Maximum	IQR	Skewness	C.V.
Observed data	23.58	2.89	8.35	24.30	0.00	30.40	2.90	-1.57	12.26
EC-EARTH	23.76	3.18	10.09	24.54	10.33	30.68	3.12	-1.19	13.37
GFDL-CM3	23.54	3.00	9.01	24.30	12.30	29.10	3.60	-1.13	12.75
MIROC5	23.98	3.03	9.17	24.69	13.75	31.05	3.40	-0.88	12.63
MPI-ESM-MR	23.78	2.93	8.60	24.77	15.97	29.75	4.46	-0.56	12.33

ตารางที่ 27 แสดงค่าสถิติของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้อาณาเขตรูปภาพ RCP 8.5

Variable Tmax (°C)	Mean	St Dev	Variance	Median	Minimum	Maximum	IQR	Skewness	C.V.
Observed data	33.74	2.85	8.10	33.60	17.40	42.70	3.10	-0.20	8.43
EC-EARTH	33.88	3.77	14.21	33.29	22.86	44.09	4.85	0.50	11.13
GFDL-CM3	34.04	4.71	22.22	33.10	20.50	46.95	4.86	0.50	13.85
MIROC5	34.34	2.85	8.12	34.21	26.53	42.25	4.12	0.00	8.30
MPI-ESM-MR	33.74	2.74	7.53	33.24	26.03	40.87	3.64	0.50	8.13

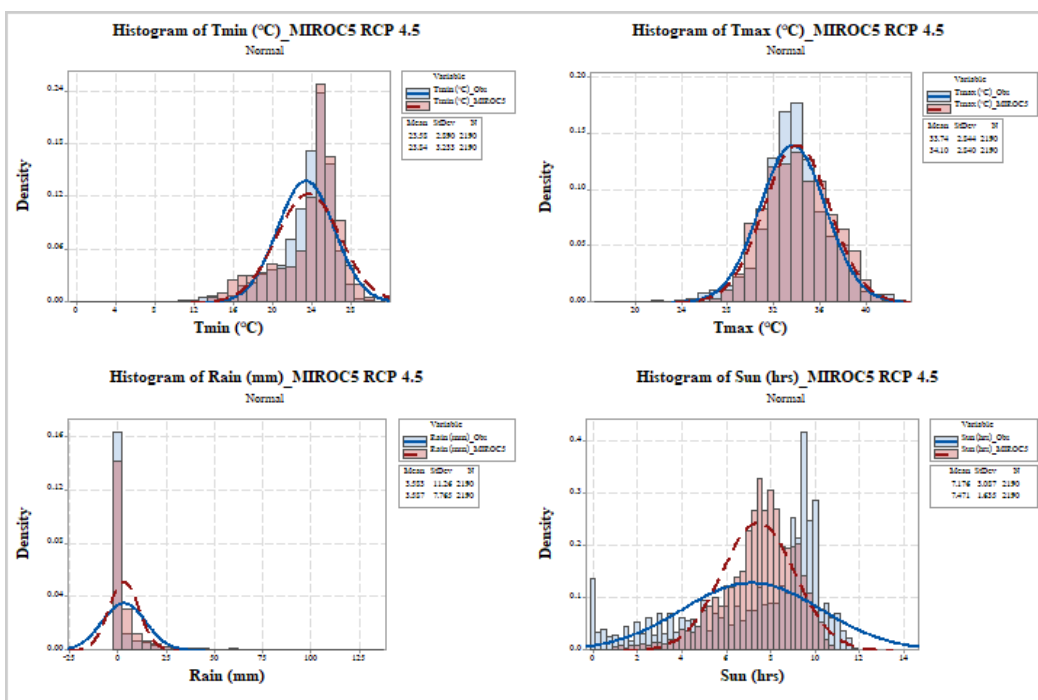
ตารางที่ 28 แสดงค่าสถิติของข้อมูลปริมาณฝนรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้อาณาเขตรูปภาพ RCP 8.5

Variable Rain (mm)	Mean	St Dev	Variance	Median	Minimum	Maximum	IQR	Skewness	C.V.
Observed data	3.58	11.26	126.78	0.00	0.00	125.30	0.50	5.00	314.40
EC-EARTH	3.92	7.75	60.13	0.77	0.00	90.88	4.06	3.00	197.80
GFDL-CM3	3.15	6.04	36.46	0.18	0.00	97.19	4.80	5.00	191.55
MIROC5	3.87	7.27	52.87	0.65	0.10	83.55	4.35	3.00	187.77
MPI-ESM-MR	4.22	10.11	102.16	0.00	0.00	98.10	1.47	3.00	239.40

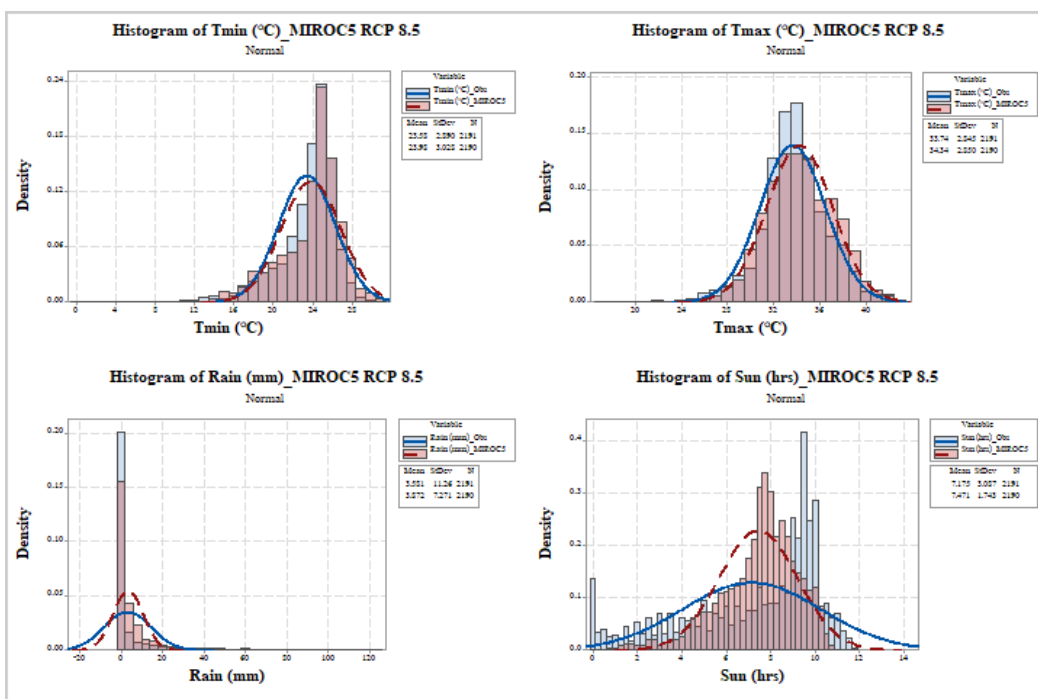
ตารางที่ 29 แสดงค่าสถิติของข้อมูลชั่วโมงแสงแดดรายวันช่วงปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้อาณาเขตรูปภาพ RCP 8.5

Variable Sun (hrs)	Mean	St Dev	Variance	Median	Minimum	Maximum	IQR	Skewness	C.V.
Observed data	7.18	3.09	9.53	8.40	0.00	11.70	4.50	-0.80	43.02
EC-EARTH	7.35	1.75	3.05	7.41	1.30	11.72	2.41	-0.10	23.76
GFDL-CM3	7.19	1.86	3.45	7.42	1.31	10.79	2.65	-0.40	25.86
MIROC5	7.47	1.74	3.04	7.72	0.79	10.74	2.12	-0.80	23.34
MPI-ESM-MR	7.11	2.46	6.05	7.54	0.37	10.69	2.96	-0.80	34.61

จากผลการวิเคราะห์เห็นได้ชัดว่า แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่เลือกใช้ทั้ง 4 แบบจำลอง ได้ผลการคาดการณ์ตัวแปรค่าอุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุดและชั่วโมงแสงแดด ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ได้ผลการคาดการณ์ในระดับแม่นยำที่ค่อนข้างดีมาก โดยเฉพาะแบบจำลอง GFDL-CM3 มีค่าเฉลี่ย BIAS เท่ากับ 1.00 ส่วนผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝน พบว่า แบบจำลอง MIROC5 มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด และจากการวิเคราะห์ค่าเกณฑ์สถิติต่าง ๆ รวมทั้งค่า BIAS และ RMSE เห็นได้ว่าแบบจำลอง MIROC5 มีความสามารถในการจำลองผลลัพธ์ค่าตัวแปรอุตุนิยมวิทยาทั้ง 4 ตัวแปร ได้ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดจริงในภาพรวมที่ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม จากการพิจารณาผลการจำลองผลลัพธ์ของแบบจำลองทั้งหมดได้ผลการวิเคราะห์มีเกณฑ์ค่าทางสถิติที่ดีใกล้เคียงกัน มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการคาดการณ์ตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวันในอนาคต จากหลักการและเหตุผลที่ได้กล่าวมาในข้างต้น การศึกษาวิจัยนี้จะดำเนินการคาดการณ์ตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน ทั้ง 4 ตัวแปร โดยใช้ผลลัพธ์ของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกทั้ง 4 แบบจำลอง เพื่อเป็นข้อมูลทางเลือกในการตัดสินใจสำหรับใช้เป็นข้อมูลภูมิอากาศในแบบจำลองพืชต่อไป

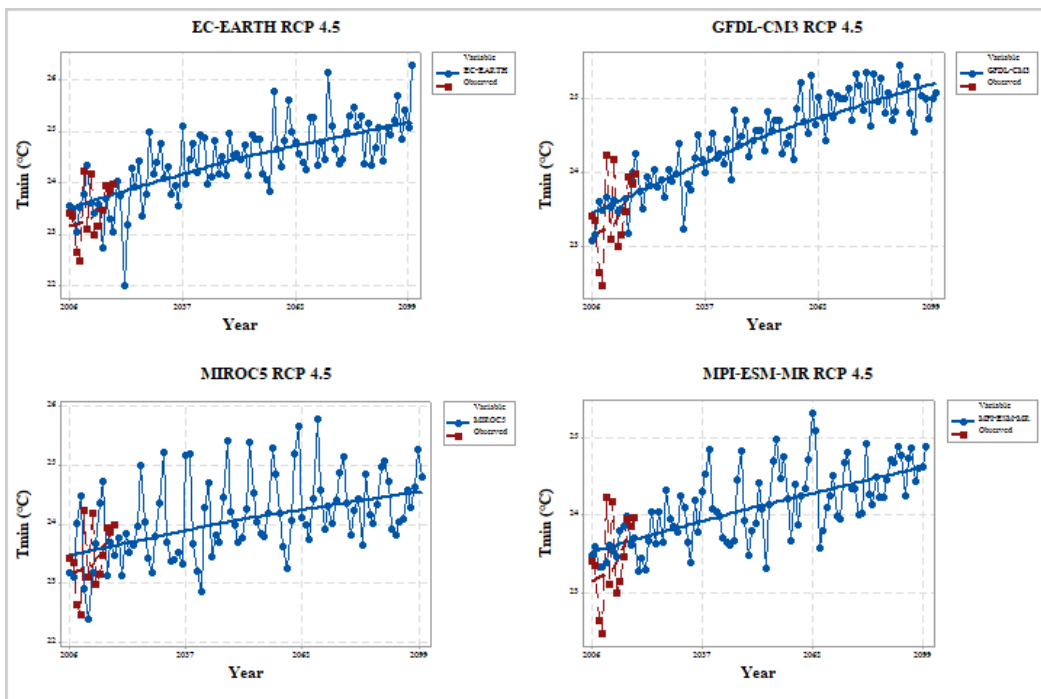


ภาพที่ 35 กราฟ Histogram ข้อมูลตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน ปี ค.ศ. 2013-2018 ของแบบจำลอง MIROC5 ภายใต้ RCP 4.5

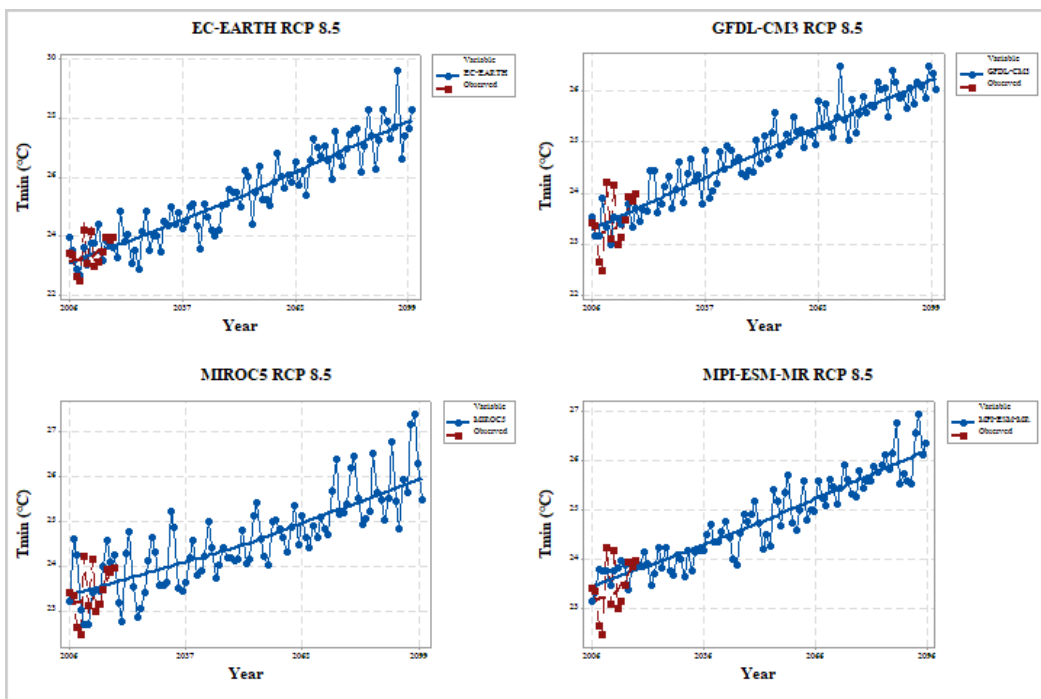


ภาพที่ 36 กราฟ Histogram ข้อมูลตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน ปี ค.ศ. 2013-2018 ของแบบจำลอง MIROC5 ภายใต้ RCP 8.5



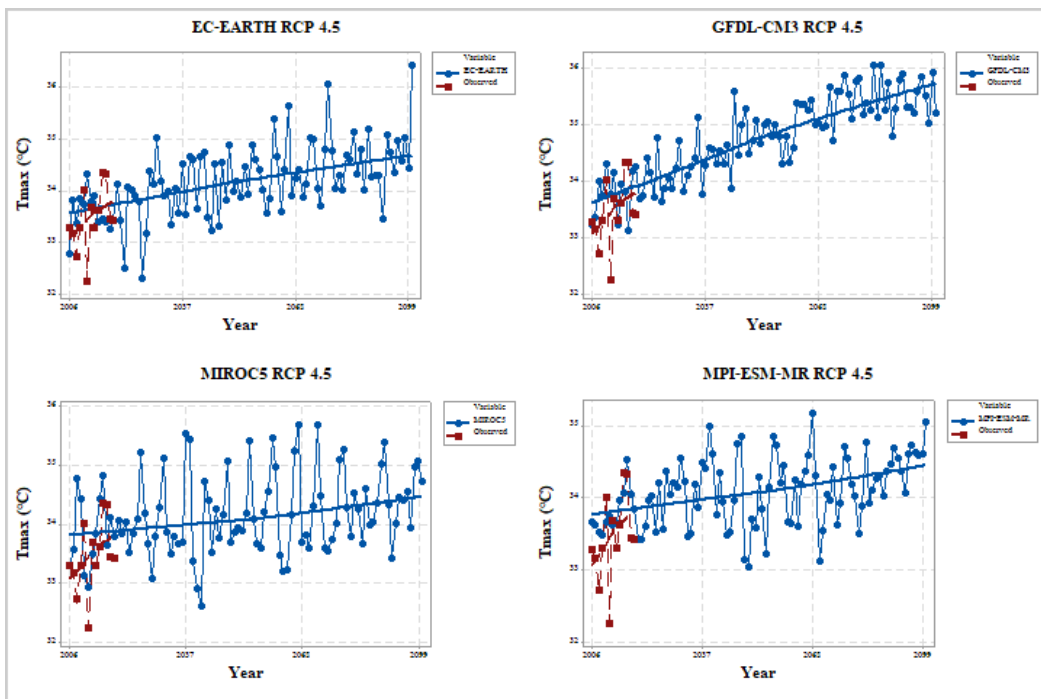


ภาพที่ 37 กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 4.5

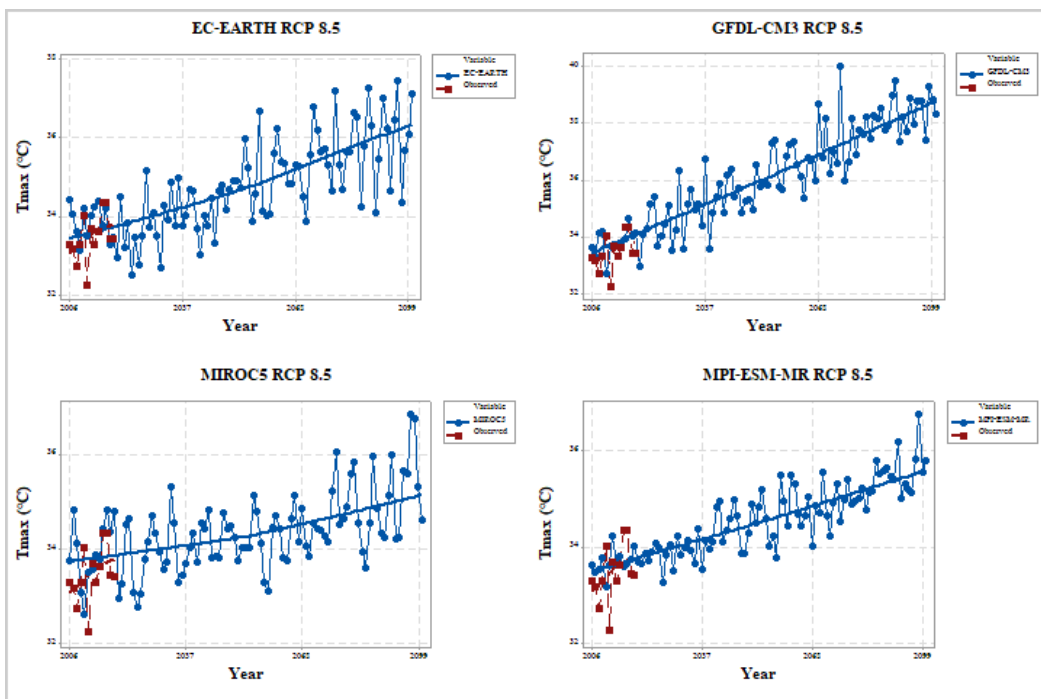


ภาพที่ 38 กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 8.5

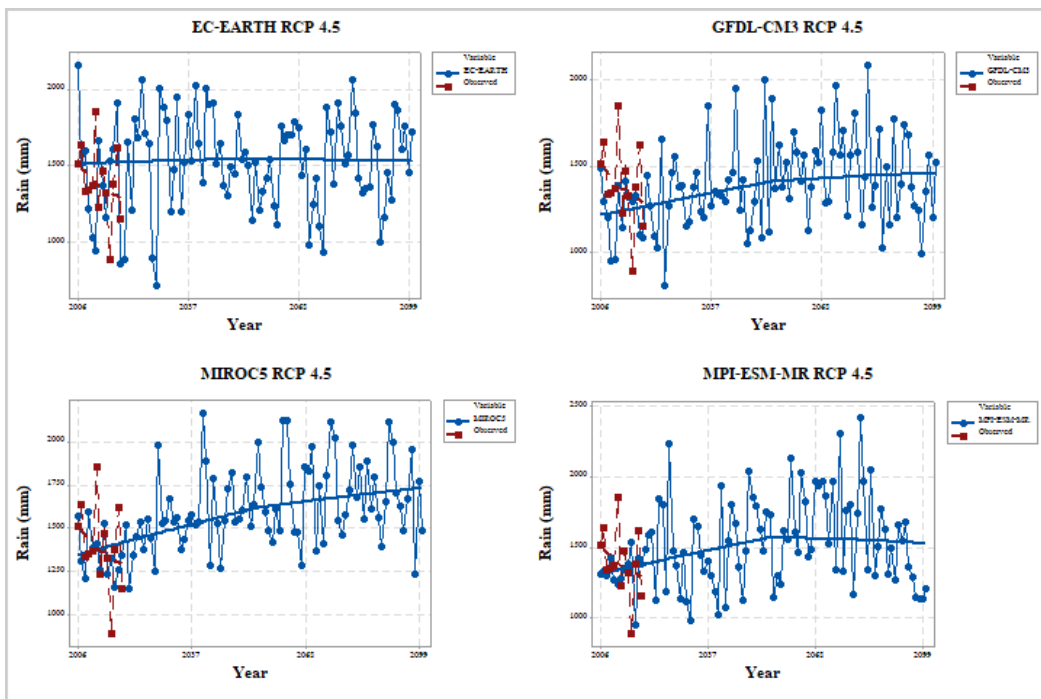




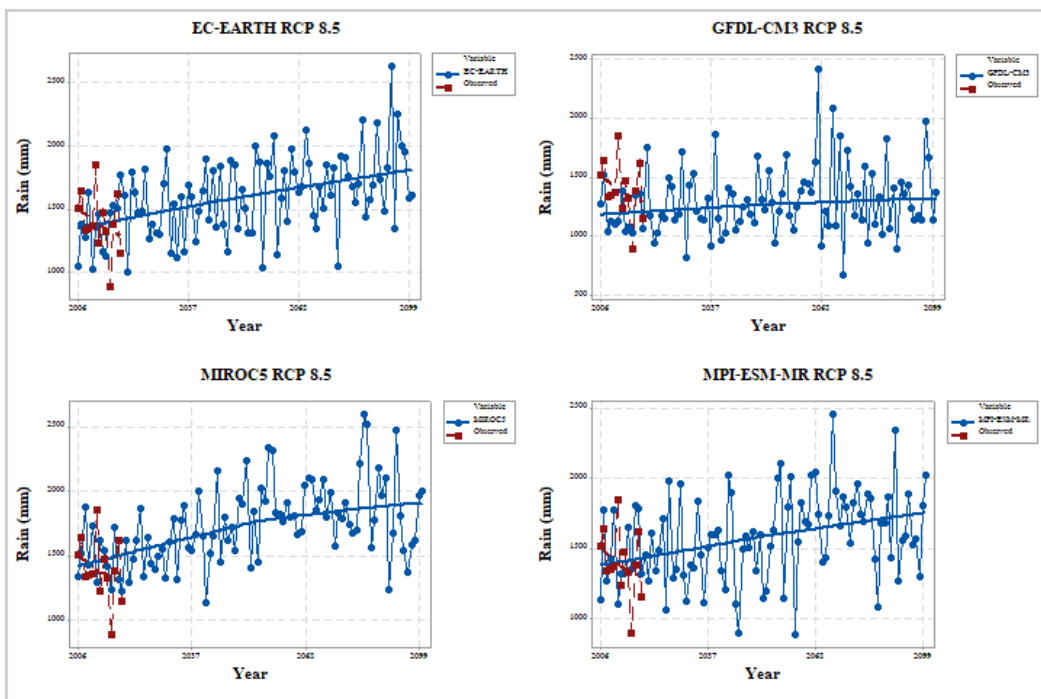
ภาพที่ 39 กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 4.5



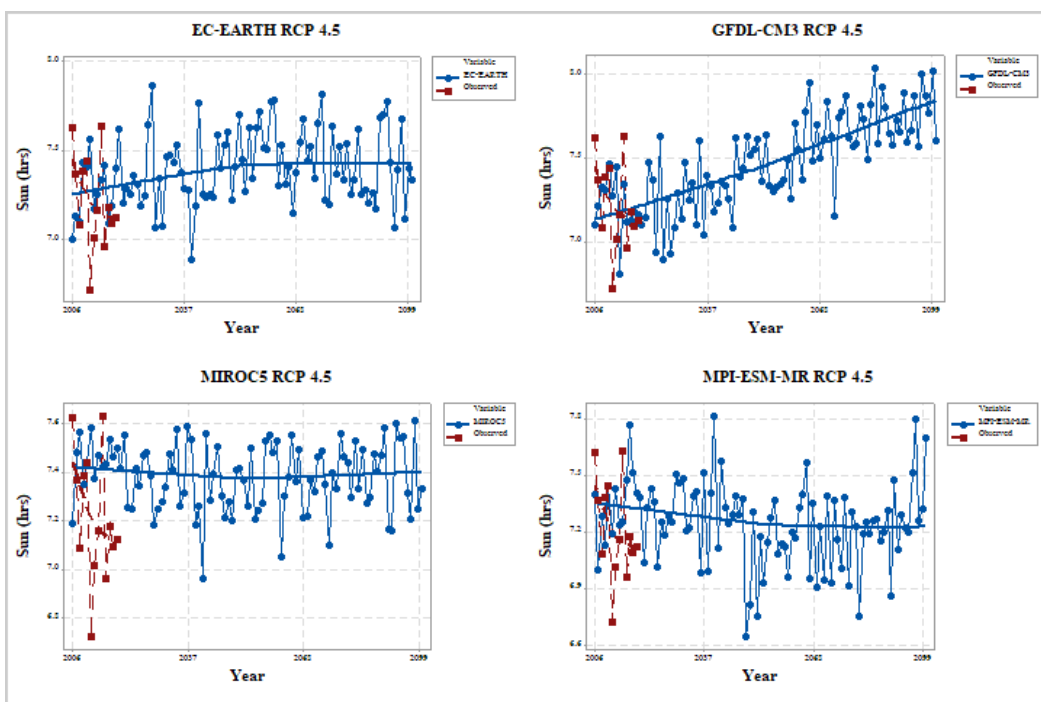
ภาพที่ 40 กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 8.5



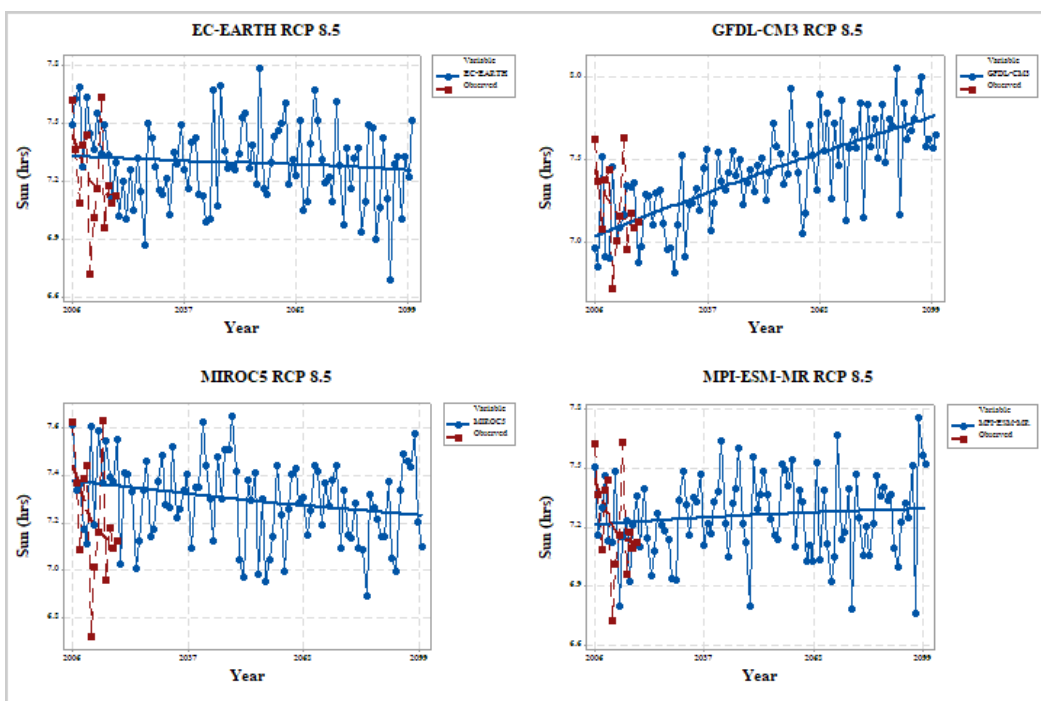
ภาพที่ 41 กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 4.5



ภาพที่ 42 กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยรายปี ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 8.5



ภาพที่ 43 กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายวัน ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 4.5



ภาพที่ 44 กราฟ Time series ผลลัพธ์ค่าคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายวัน ปี ค.ศ. 2006-2100 ภายใต้ RCP 8.5

### 1.7 ผลการคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ปี ค.ศ. 2021-2050

การศึกษานี้ได้เลือกใช้ผลคาดการณ์ตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน ในช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 เพื่อเป็นข้อมูลภูมิอากาศในอนาคตสำหรับใช้ศึกษาประเมินการจัดการน้ำชลประทานในแบบจำลองข้าว ผลการวิเคราะห์ผลคาดการณ์ตัวแปรอุตุนิยมวิทยาในอนาคต ปี ค.ศ. 2021-2050 พบว่า แบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้ง 4 แบบจำลอง มีผลการคาดการณ์ค่าอุณหภูมิและค่าปริมาณน้ำฝนมีค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าเฉลี่ยชั่วโมงแสงแดดรายวันส่วนใหญ่มีผลการคาดการณ์ลดลงเมื่อเทียบกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 และจากวิเคราะห์แนวโน้มข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน พบว่ามีผลการวิเคราะห์แนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ค่าอุณหภูมิและค่าปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ค่าคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดรายวันมีการเปลี่ยนแปลงทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง โดยผลการคาดการณ์ตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายเดือนและรายปี ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

**ตารางที่ 30** ค่าเฉลี่ยตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 จากแบบจำลอง EC-EARTH

Variable	Observed	EC-EARTH				EC-EARTH		
	data	RCP 4.5				RCP 8.5		
	Mean	Mean	St Dev	Variance	Mean	St Dev	Variance	
Tmin (°C)	23.08	24.22	2.97	8.83	24.32	3.28	10.78	
Tmax (°C)	33.39	33.95	2.76	7.61	33.93	3.55	12.60	
Rain (mm)	3.71	4.37	8.39	70.35	4.20	8.16	66.64	
Sun (hrs)	7.35	7.35	1.71	2.93	7.24	1.65	2.73	

**ตารางที่ 31** ค่าเฉลี่ยตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 จากแบบจำลอง GFDL-CM3

Variable	Observed	GFDL-CM3				GFDL-CM3		
	data	RCP 4.5				RCP 8.5		
	Mean	Mean	St Dev	Variance	Mean	St Dev	Variance	
Tmin (°C)	23.08	24.15	2.85	8.12	24.31	2.83	8.01	
Tmax (°C)	33.39	34.39	2.85	8.11	35.02	4.74	22.46	
Rain (mm)	3.71	3.68	7.32	53.50	3.41	7.29	53.09	
Sun (hrs)	7.35	7.30	1.87	3.50	7.27	1.81	3.28	

ตารางที่ 32 ค่าเฉลี่ยตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 จากแบบจำลอง MIROC5

Variable	Observed		MIROC5		MIROC5		
	data		RCP 4.5		RCP 8.5		
	Mean	Mean	St Dev	Variance	Mean	St Dev	Variance
Tmin (°C)	23.08	23.99	2.91	8.45	24.05	2.98	8.85
Tmax (°C)	33.39	34.01	2.77	7.65	34.06	2.75	7.58
Rain (mm)	3.71	4.28	8.28	68.63	4.44	8.10	65.57
Sun (hrs)	7.35	7.34	1.69	2.85	7.34	1.67	2.79

ตารางที่ 33 ค่าเฉลี่ยตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวัน ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 จากแบบจำลอง MPI-ESM-MR

Variable	Observed		MPI-ESM-MR		MPI-ESM-MR		
	data		RCP 4.5		RCP 8.5		
	Mean	Mean	St Dev	Variance	Mean	St Dev	Variance
Tmin (°C)	23.08	23.98	2.91	8.48	24.12	2.94	8.66
Tmax (°C)	33.39	34.03	2.76	7.60	34.09	2.82	7.97
Rain (mm)	3.71	4.05	9.91	98.18	4.06	9.92	98.35
Sun (hrs)	7.35	7.28	2.40	5.74	7.22	2.41	5.81

ผลการวิเคราะห์แนวโน้มสภาพภูมิอากาศในอนาคตปี ค.ศ. 2021-2050 พบว่าแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้ง 4 แบบจำลอง มีผลการคาดการณ์ค่าตัวแปรอุตุนิยมวิทยาในอนาคตมีค่าเฉลี่ยทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากผลการคาดการณ์นี้บ่งชี้ถึงความแปรปรวนเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศที่มีแนวโน้มแตกต่างกับค่าสังเกตของชุดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ปี ค.ศ. 1961-2012 แสดงถึงแนวโน้มของค่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นในเดือนฤดูร้อนและค่าปริมาณน้ำฝนที่มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในเดือนฤดูฝน เมื่อเทียบกับข้อมูลปริมาณฝนรายวันในช่วงปี ค.ศ. 1961-2012 ตามตารางที่ได้แสดงในภาคผนวก ก และผลการวิเคราะห์แนวโน้มตามวิธี Mann-Kendall พบว่า ในช่วงปี ค.ศ.2021-2050 ค่าอุณหภูมิต่ำสุด, อุณหภูมิสูงสุด, และปริมาณน้ำฝน ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากค่าทางสถิติ  $p\text{-value} < 0.05$  ตามที่แสดงในตารางที่ 34-37

ตารางที่ 34 ค่าสถิติแนวโน้มตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวันจากแบบจำลอง EC-EARTH ด้วยวิธี Mann-Kendall (S) ปี ค.ศ. 2021-2050

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	Mann-Kendall Statistic (S)	Normalized Test Statistic (Z)	p-value (alpha = 0.05)	Trend
Tmin (°C) RCP 4.5	4845612.00	12.69	0.00	yes
Tmax (°C) RCP 4.5	2376411.00	6.22	0.00	yes
Rain (mm) RCP 4.5	790700.00	2.08	0.04	yes
Sun (hrs) RCP 4.5	-97691.00	-0.26	0.80	no
Tmin (°C) RCP 8.5	5934942.00	15.54	0.00	yes
Tmax (°C) RCP 8.5	2789691.00	7.30	0.00	yes
Rain (mm) RCP 8.5	198991.00	0.52	0.60	no
Sun (hrs) RCP 8.5	763201.00	2.00	0.05	yes

ตารางที่ 35 ค่าสถิติแนวโน้มตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวันจากแบบจำลอง GFDL-CM3 ด้วยวิธี Mann-Kendall (S) ปี ค.ศ. 2021-2050

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	Mann-Kendall Statistic (S)	Normalized Test Statistic (Z)	p-value (alpha = 0.05)	Trend
Tmin (°C) RCP 4.5	3835356.00	10.05	0.00	yes
Tmax (°C) RCP 4.5	3742954.00	9.80	0.00	yes
Rain (mm) RCP 4.5	640780.00	1.72	0.09	no
Sun (hrs) RCP 4.5	1385844.00	3.63	0.00	yes
Tmin (°C) RCP 8.5	4018586.00	10.52	0.00	yes
Tmax (°C) RCP 8.5	3212584.00	8.41	0.00	yes
Rain (mm) RCP 8.5	454536.00	1.22	0.22	no
Sun (hrs) RCP 8.5	1898569.00	4.97	0.00	yes

ตารางที่ 36 ค่าสถิติแนวโน้มตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวันจากแบบจำลอง MIROC5 ด้วยวิธี Mann-Kendall (S) ปี ค.ศ. 2021-2050

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	Mann-Kendall Statistic (S)	Normalized Test Statistic (Z)	p-value (alpha = 0.05)	Trend
Tmin (°C) RCP 4.5	1347381.00	3.53	0.00	yes
Tmax (°C) RCP 4.5	-438935.00	-1.15	0.25	no
Rain (mm) RCP 4.5	1273674.00	3.35	0.00	yes
Sun (hrs) RCP 4.5	-852284.00	-2.23	0.03	yes
Tmin (°C) RCP 8.5	4440649.00	11.63	0.00	yes
Tmax (°C) RCP 8.5	1750884.00	4.58	0.00	yes
Rain (mm) RCP 8.5	764578.00	2.04	0.04	yes
Sun (hrs) RCP 8.5	1347029.00	3.53	0.00	yes

ตารางที่ 37 ค่าสถิติแนวโน้มตัวแปรอุตุนิยมวิทยารายวันจากแบบจำลอง MPI-ESM-MR ด้วยวิธี Mann-Kendall (S) ปี ค.ศ. 2021-2050

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	Mann-Kendall Statistic (S)	Normalized Test Statistic (Z)	p-value (alpha = 0.05)	Trend
Tmin (°C) RCP 4.5	1373525.00	3.60	0.00	yes
Tmax (°C) RCP 4.5	-206357.00	-0.54	0.59	no
Rain (mm) RCP 4.5	1082619.00	3.32	0.00	yes
Sun (hrs) RCP 4.5	-703262.00	-1.84	0.07	no
Tmin (°C) RCP 8.5	2960517.00	7.75	0.00	yes
Tmax (°C) RCP 8.5	2590586.00	6.78	0.00	yes
Rain (mm) RCP 8.5	-894878.00	-2.73	0.01	yes
Sun (hrs) RCP 8.5	639577.00	1.67	0.09	no

## 2. คุณสมบัติของดินในแปลงนาทดลองก่อนการเพาะปลูกข้าว

จากเก็บตัวอย่างดินโดยการเจาะสำรวจชั้นดินในแปลงนาทดลองบริเวณสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 2 (พิษณุโลก) ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนนเรศวร สำนักชลประทานที่ 3 กรมชลประทาน ตั้งอยู่บ้านทุ่งसान ตำบลพรหมพิราม อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 1 ตัวอย่าง ผลการทดสอบตัวอย่างดินจากแปลงนาทดลองสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 38 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของดินในแปลงศึกษาที่ระยะความลึก 0-30 เซนติเมตร

คุณสมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์
Sand	8.6%
Silt	11.0%
Clay	80.4%
Soil texture class	Clay
Field Capacity	40.8% โดยน้ำหนักดินแห้ง
Permanent Wilting Point	28.7% โดยน้ำหนักดินแห้ง
Available Moisture	12.1% โดยน้ำหนักดินแห้ง
pH	4.4
Saturation Percentage	96.6%
Electrical Conductivity (EC x 10 <sup>3</sup> )	0.29 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร
Organic Matter	2.5%
Available P (ppm)	2.4
Total extractable K (ppm)	40

**หมายเหตุ** ผลการวิเคราะห์จากฝ่ายดินด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดินด้านวิทยาศาสตร์ในแปลงนาทดลอง พบว่า เนื้อดินเป็นดินเนื้อละเอียดประเภทดินเหนียว อัตราการรั่วซึมน้ำของดินช้าอย่างมาก ความชื้นชลประทาน (Field capacity) มีค่า 40.8 % ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent wilting point) มีค่า 28.7 % ความชื้นในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ 12.1 % ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่า 4.4 ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมาก ความชื้นของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ 96.6 % ค่าการนำไฟฟ้า (EC x 10<sup>3</sup>) ของดินมีค่าเท่ากับ 0.29 mS/cm



ความจุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำ ไม่มีปัญหาเรื่องความเค็มของดิน เปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุที่ทดสอบได้อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในเกณฑ์ต่ำ

### 3. ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวในนาชลประทานด้วยเทคนิคการชลประทานแบบประหยัดน้ำ

การจัดสรรน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำ (Water-saving irrigation) ด้วยวิธีการให้ขังน้ำแบบต้นกับแบบเปียกสลับแห้ง เป็นการให้น้ำโดยไม่ให้น้ำท่วมขังในระดับน้ำที่สูงแบบต่อเนื่องตลอดฤดูปลูก ซึ่งสถาบัน International Rice Research Institute (IRRI) ประเทศฟิลิปปินส์ ได้แนะนำให้เกษตรกรปล่อยน้ำในแปลงนาระยะหนึ่งให้แห้งตั้งแต่ข้าวปักดำสู่แปลงนา จำนวน 1 วัน จนถึงหลังปักดำแล้ว 10 วันขึ้นไป ให้ตรวจวัดระดับน้ำที่ปล่อยให้แห้งจากการฝังท่อไว้ในแปลงนาที่เรียกว่า Field water tube โดยสังเกตระดับน้ำในท่อดังกล่าว หากระดับน้ำในท่อต่ำกว่าผิวดิน 15 เซนติเมตร ให้เกษตรกรส่งน้ำมาที่ระดับเหนือผิวดิน 5 เซนติเมตร สลับกันไปจนถึงช่วงก่อนข้าวออกช่อดอกประมาณ 1 สัปดาห์ ต่อเนื่องไปจนถึงระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์หลังข้าวออกช่อดอกที่ต้องรักษาน้ำในแปลงนาอย่างน้อย 5 เซนติเมตร วิธีการนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว เนื่องจากในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative phase) คือตั้งแต่ปักดำจนถึงระยะแตกกอสูงสุด ช่วงการเพาะปลูกนี้ต้นข้าวจะใช้น้ำน้อยกว่าช่วงการเจริญพันธุ์จะไม่กระทบกระเทือนต่อผลผลิตข้าวมากนัก

ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวโดยวิธีทำนาคำด้วยพันธุ์พิษณุโลก-2 จากวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆ ตามเงื่อนไขการทดลองในพื้นที่การศึกษาได้ผลการทดลอง ดังนี้

### 3.1 ความสูงต้นข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

จากผลการทดลองช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของความสูงต้นข้าวของทุกช่วงระยะการเจริญเติบโตนั้น วิธีการ AWD1 มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวที่สูงที่สุด รองลงมาคือ วิธีการ CF และ AWD2 ตามลำดับ

ตารางที่ 39 ความสูงของต้นข้าวในระยะการเจริญเติบโตช่วงต่าง ๆ ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559

วิธีการ	ความสูง (เซนติเมตร)			
	อายุ 35 วัน	อายุ 55 วัน	อายุ 80 วัน	อายุ 115 วัน
CF	26.32 C	47.04 B	61.86 AB	92.06 AB
AWD1	28.65 A	48.93 A	62.94 A	93.86 A
AWD2	27.56 B	45.12 C	60.20 B	91.49 B
F-test	*	*	*	*
CV (%)	0.06	0.13	0.14	0.14

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)

ผลการทดลองช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 พบว่า ความสูงของต้นข้าวที่ระยะตั้งตัว (อายุ 35 วัน), ระยะแตกกอสูงสุด (อายุ 55 วัน), ระยะตั้งท้อง (อายุ 80 วัน) และระยะออกรวง (อายุ 115 วัน) ของวิธีการให้น้ำชลประทานทั้ง 3 รูปแบบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% เมื่อต้นข้าวอายุ 35 วัน วิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งทั้ง 2 วิธี คือ วิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้ง 2 ครั้ง (ระยะแตกกอและระยะตั้งท้อง) หรือ AWD1 และวิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งตลอดอายุปลูก หรือ AWD2 มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวที่สูงกว่าวิธีขังน้ำตลอดอายุปลูก หรือ CF แต่เมื่อวัดความสูงต้นข้าวที่อายุข้าวตั้งแต่ อายุ 55, 80 วัน และอายุ 115 วัน พบว่า วิธีการ AWD2 มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวต่ำที่สุด ซึ่งวิธีการ AWD2 ความสูงของต้นข้าว จะลดลงเล็กน้อยในช่วงระยะตั้งท้อง และระยะออกรวง เมื่อเทียบกับวิธีการให้น้ำแบบ AWD1 และ CF ตามผลการศึกษาที่ได้แสดงในตารางที่ 39

จากผลการทดลองช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของความสูงต้นข้าวในทุกช่วงระยะเวลาเจริญเติบโต วิธีการ CF มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวที่สูงที่สุด รองลงมาคือวิธีการ AWD1 และ AWD 2 ตามลำดับ โดยผลการทดลองทั้งสองฤดูกาลเพาะปลูก เห็นได้ชัดว่าวิธีการ AWD2 มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการให้น้ำแบบ AWD1 และ CF

ตารางที่ 40 ความสูงของต้นข้าวในระยะเวลาเจริญเติบโตช่วงต่าง ๆ ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560

วิธีการ	ความสูง (เซนติเมตร)			
	อายุ 27 วัน	อายุ 55 วัน	อายุ 80 วัน	อายุ 116 วัน
CF	18.96	52.39 A	84.08 A	96.13
AWD1	18.85	50.93 AB	78.83 B	94.61
AWD2	18.40	49.21 B	77.37 B	94.26
F-test	ns	*	*	ns
CV (%)	0.12	0.09	1.58	1.87

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับ

ความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)

ผลการทดลองช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 พบว่า ความสูงของต้นข้าวที่ระยะตั้งตัว (อายุ 27 วัน), ระยะแตกกอสูงสุด (อายุ 55 วัน), ระยะตั้งท้อง (อายุ 80 วัน) และระยะออกรวง (อายุ 116 วัน) ของวิธีการให้น้ำชลประทานทั้ง 3 รูปแบบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% เมื่อต้นข้าวอายุ 27 วันและ 116 วัน วิธีการให้น้ำชลประทานทั้ง 3 รูปแบบ มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวใกล้เคียงกัน แสดงว่า วิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งทั้ง 2 วิธี กับวิธีขังน้ำตลอดอายุปลูกไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสูงของต้นข้าวในสองช่วงการเจริญเติบโตนี้ แต่เมื่อวัดความสูงต้นข้าวที่อายุข้าว อายุ 55 วัน กับอายุ 80 วัน พบว่า วิธีการให้น้ำแต่ละวิธีการมีผลต่อค่าความสูงของต้นข้าวที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธีการ CF มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวที่สูงกว่าวิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งทั้ง 2 วิธี ซึ่งวิธีการ AWD2 มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ ตามผลการศึกษาที่ได้แสดงในตารางที่ 40

### 3.2 จำนวนต้นข้าวต่อกอ

ผลการทดลองช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 พบว่า วิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งและวิธีการขังน้ำตลอดอายุปลูกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อจำนวนต้นข้าวต่อกอ เมื่อทำการนับจำนวนต้นข้าวต่อกอที่อายุข้าว 21 และ 80 วัน ทุกวิธีการมีจำนวนต้นข้าวต่อกอมีค่าใกล้เคียงกัน โดยวิธี AWD1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนต้นข้าวต่อกอมากที่สุด ตามผลการศึกษาที่ได้แสดงในตารางที่ 41

ตารางที่ 41 จำนวนต้นข้าวต่อกอช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559

วิธีการ	จำนวนต้นต่อกอ (ต้น)	
	อายุ 21 วัน	อายุ 80 วัน
CF	10.17	35.53
AWD1	11.17	36.93
AWD2	10.77	35.93
F-test	ns	ns
CV (%)	0.15	0.40

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)

ผลการทดลองช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 เมื่อทำการนับจำนวนต้นข้าวต่อกอที่อายุข้าว 21 วัน พบว่า การให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งและวิธีการขังน้ำตลอดอายุปลูกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อจำนวนต้นข้าวต่อกอ แต่เมื่อข้าวมีอายุ 80 วัน วิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งทั้ง AWD1 และ AWD2 มีค่าเฉลี่ยจำนวนต้นข้าวต่อกอมากกว่าวิธีการ CF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 42) ผลการทดลองทั้งสองฤดูกาลเพาะปลูก จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนต้นข้าวต่อกอช่วงตั้งตัวที่อายุข้าว 21 วัน ทั้งวิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งและวิธีการขังน้ำตลอดอายุปลูกมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 42 จำนวนต้นข้าวตอกอช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560

วิธีการ	จำนวนต้นตอกอ (ต้น)	
	อายุ 21 วัน	อายุ 80 วัน
CF	5.90	17.07 B
AWD1	5.80	20.23 A
AWD2	5.70	20.10 A
F-test	ns	*
CV (%)	0.25	0.17

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)

### 3.3 จำนวนรวงต่อกอ

ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560 พบว่าการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้ง จากวิธี AWD1 และ AWD2 มีจำนวนรวงต่อกอมากกว่าวิธี CF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 ทุกวิธีการส่งน้ำมีค่าเฉลี่ยจำนวนรวงต่อกอมากกว่าจำนวนรวงต่อกอของการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560

ตารางที่ 43 จำนวนรวงต่อกอของต้นข้าวช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560

วิธีการ	ปี พ.ศ. 2559 (รวง)	ปี พ.ศ. 2560 (รวง)
CF	24.57 B	17.83 B
AWD1	28.40 A	19.87 A
AWD2	28.10 A	19.93 A
F-test	*	*
CV (%)	0.15	0.13

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)

### 3.4 ความยาวรวง

ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 พบว่า วิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งจากวิธี AWD1 และ AWD2 มีความยาวรวงสั้นกว่าวิธี CF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี CF มีความยาวรวงเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 24.00 เซนติเมตร ตามด้วยวิธี AWD1 เท่ากับ 23.43 เซนติเมตร และวิธี AWD2 เท่ากับ 22.99 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวในช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 ทุกวิธีการส่งน้ำมีค่าเฉลี่ยความยาวรวงใกล้เคียงกัน เท่ากับ 23.91-24.60 เซนติเมตร แต่ละวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 44 ความยาวรวงของต้นข้าวช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560

วิธีการ	ปี พ.ศ. 2559 (เซนติเมตร)	ปี พ.ศ. 2560 (เซนติเมตร)
CF	24.00 A	23.91
AWD1	23.43 B	24.40
AWD2	22.99 C	24.60
F-test	*	ns
CV (%)	0.10	0.10

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)

### 3.5 จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวง

ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 พบว่า วิธีการให้น้ำแบบขังน้ำตลอดฤดูปลูก มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงสูงกว่าวิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งจากทั้งวิธี AWD1 และ AWD2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี CF มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงประมาณ 66.41 เมล็ดต่อรวง ตามด้วยวิธี AWD2 และ วิธี AWD1 เท่ากับ 59.43, 59.15 เมล็ดต่อรวง ตามลำดับ และวิธี CF ยังมีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงต่ำกว่าวิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งทั้งสองรูปแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดลองจะเห็นได้ชัดว่าวิธี AWD1 มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงต่ำสุด และให้มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงสูงกว่าทุกวิธีการส่งน้ำ

ผลการทดลองช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 เมื่อทำการนับจำนวนเมล็ดดี พบว่าวิธี CF และวิธี AWD2 มีปริมาณจำนวนเมล็ดดีสูงกว่าวิธี AWD1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทุกวิธีการส่งน้ำมีเมล็ดลีบต่อรวงใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าจำนวนเมล็ดลีบประมาณ 39.20-39.66 เมล็ดต่อรวง ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวในช่วงฤดูนาปรังทั้งสองฤดูกาลเพาะปลูก เห็นได้ชัดว่า วิธี CF ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดดีต่อรวงที่ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับวิธี AWD ทั้งสองรูปแบบ

ตารางที่ 45 จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวงในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560

วิธีการ	ปี พ.ศ. 2559		ปี พ.ศ. 2560	
	จำนวนเมล็ดดี	จำนวนเมล็ดลีบ	จำนวนเมล็ดดี	จำนวนเมล็ดลีบ
CF	66.41 A	29.51 B	75.16 A	39.66
AWD1	59.15 B	36.11 A	65.88 B	39.20
AWD2	59.43 B	31.92 B	75.16 A	39.66
F-test	*	*	*	ns
CV (%)	0.23	0.37	0.24	0.41

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)



### 3.6 น้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ด

ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 พบว่า ทุกวิธีการส่งน้ำมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดใกล้เคียงกัน เท่ากับ 30.52-31.40 กรัม แต่ละวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่วิธี AWD2 มีน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ด สูงกว่าจากทุกวิธีการส่งน้ำ และผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวในช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 วิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้ง จากทั้งวิธี AWD1 และ AWD2 มีน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ด สูงกว่าวิธี CF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 46 ค่าน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ด จากการเพาะปลูกฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560

วิธีการ	ปี พ.ศ. 2559 (กรัม)	ปี พ.ศ. 2560 (กรัม)
CF	30.52	28.71 B
AWD1	30.76	29.59 A
AWD2	31.40	29.34 A
F-test	ns	*
CV (%)	0.01	0.01

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)

### 3.7 ปริมาณผลผลิตข้าว

ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 พบว่า ทุกวิธีการส่งน้ำมีค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิตข้าวใกล้เคียงกัน แต่ละวิธีมีผลผลิตข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลผลิตข้าวจากวิธี AWD2 มีปริมาณผลผลิตข้าวสูงกว่าทุกวิธีการส่งน้ำ ตามด้วยวิธี AWD1 และ CF ตามลำดับ ซึ่งผลผลิตข้าวจากวิธี AWD1 ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 4.49 เปอร์เซ็นต์ แต่วิธี AWD2 ได้ผลผลิตลดลง 1.34 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับผลผลิตข้าวจากวิธี CF

ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวในช่วงฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 พบว่า วิธี CF มีค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิตข้าวสูงกว่าวิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งจากทั้งวิธี AWD1 และ AWD2 โดยค่าปริมาณผลผลิตข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะเห็นได้ว่า วิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งในทุกวิธีการส่งผลให้ผลผลิตลดลงประมาณ 3.95 ถึง 4.47 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวิธีการให้น้ำแบบขังน้ำตลอดอายุปลูก

ตารางที่ 47 ปริมาณผลผลิตของข้าวในการเพาะปลูกฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559

วิธีการ	ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	ผลผลิต เพิ่มขึ้น (%)
CF	1,058.58	-
AWD1	1,106.10	4.49
AWD2	1,044.40	-1.34
F-test	ns	
CV (%)	0.11	

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%  
ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)

ตารางที่ 48 ปริมาณผลผลิตของข้าวในการเพาะปลูกฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560

วิธีการ	ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	ผลผลิต เพิ่มขึ้น (%)
CF	956.20	-
AWD1	918.40	-3.95
AWD2	913.50	-4.47
F-test	ns	
CV (%)	0.05	

หมายเหตุ ผลผลิตเพิ่มขึ้นคิดลบ หมายถึง เปอร์เซนต์ผลผลิตข้าวลดลงเมื่อเทียบกับผลผลิตที่ได้จากการให้น้ำแบบขังน้ำตลอดอายุปลูก

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)

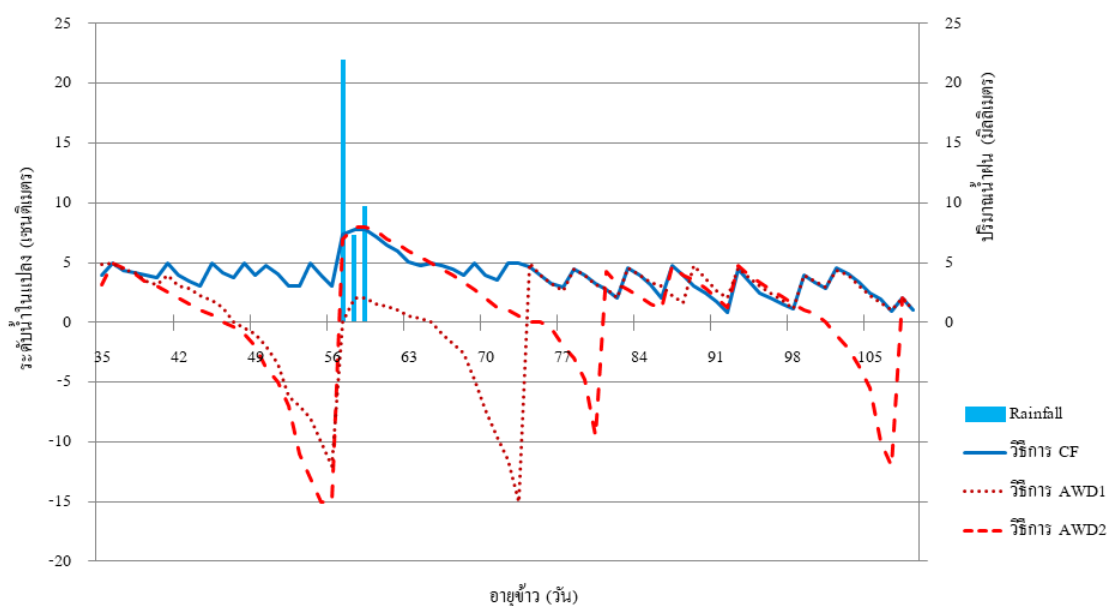
### 3.8 ปริมาณการใช้น้ำชลประทาน

ผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวช่วงฤดูนาปรังทั้งสองฤดูกาลใน ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560 พบว่า วิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งสามารถลดปริมาณการใช้น้ำรวม (น้ำชลประทานรวมน้ำฝน) สำหรับการเพาะปลูกข้าวได้ถึง 16.06-27.20 เปอร์เซนต์ เมื่อเทียบกับวิธีการขังน้ำระดับต้นในนาข้าวตลอดอายุการเพาะปลูกข้าว (แบบวิธี CF) โดยวิธี AWD2 ใช้ปริมาณน้ำรวมน้อยที่สุด จะเห็นได้ว่า วิธี AWD2-2559 มีการใช้ปริมาณน้ำรวมน้อยที่สุด เท่ากับ 509.25 มิลลิเมตร (814.80 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) สามารถลดการใช้น้ำได้ถึง 27.20 เปอร์เซนต์ และวิธี AWD2-2560 มีการใช้น้ำเท่ากับ 523.85 มิลลิเมตร (838.16 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) สามารถลดการใช้น้ำได้ 18.20 เปอร์เซนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบขังน้ำในระดับต้นตลอดอายุในฤดูปลูกข้าวในปีเพาะปลูกเดียวกัน รองมาคือ วิธี AWD1 ใช้น้ำเท่ากับ 537.51-566.19 มิลลิเมตร (860.02-905.90 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) และวิธี CF ที่ใช้น้ำเท่ากับ 640.38-699.56 มิลลิเมตร (1,024.61-1,119.30 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) ตามลำดับ

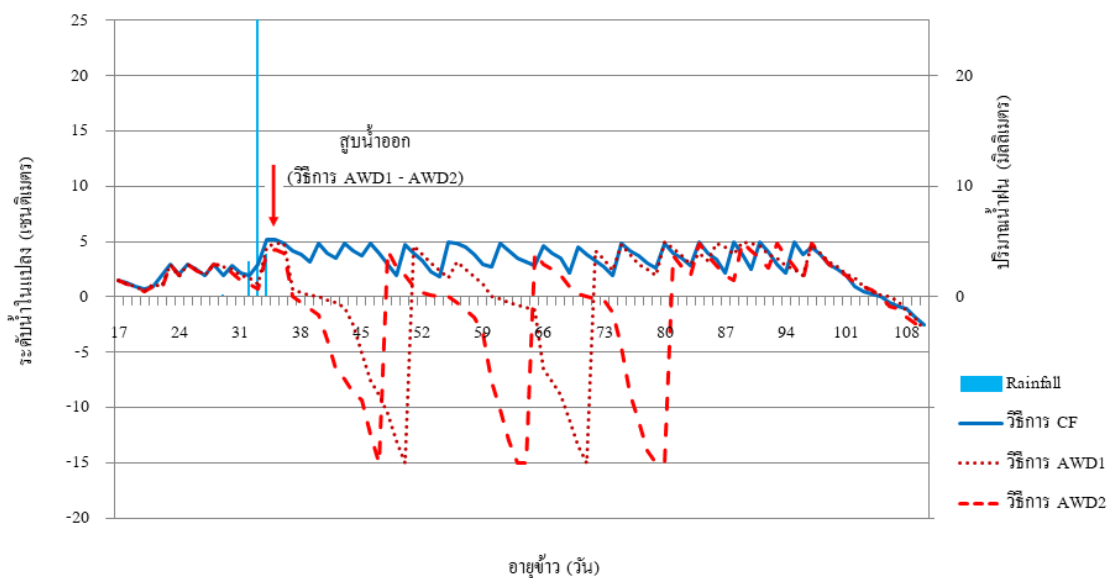
ตารางที่ 49 ปริมาณการใช้น้ำของการเพาะปลูกข้าวฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560

วิธีการ	ปริมาณการใช้น้ำ (มิลลิเมตร)			ประหยัดน้ำ (%)
	น้ำฝน	น้ำชลประทาน	รวม	
CF-2559	73.50	626.06	699.56	-
AWD1-2559	73.50	492.69	566.19	19.06
AWD2-2559	73.50	435.75	509.25	27.20
CF-2560	39.50	600.88	640.38	-
AWD1-2560	39.50	498.01	537.51	16.06
AWD2-2560	39.50	484.35	523.85	18.20

หมายเหตุ น้ำลึก 1 มิลลิเมตร ในพื้นที่ 1 ไร่ (1,600 ตารางเมตร) เท่ากับปริมาณน้ำ 1.6 ลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 45 แสดงระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนในแปลงนาทดลองนาปรัง ปี พ.ศ. 2559



ภาพที่ 46 แสดงระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนในแปลงนาทดลองนาปรัง ปี พ.ศ. 2560

### 3.9 ค่าผลิตภาพน้ำ (Water Productivity)

ผลการวิเคราะห์ค่าผลิตภาพน้ำ (WP) หรือ ค่าปริมาณผลผลิตทั้งหมดต่อปริมาณการใช้น้ำรวม (น้ำชลประทานรวมน้ำฝน) ในแปลงทดลองนาชลประทาน ทั้งสองฤดูกาลในปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560 พบว่า วิธีการ AWD1-2559 และ AWD2-2559 มีค่าผลิตภาพน้ำเฉลี่ยที่สูงกว่าทุกวิธีการ มีค่าเท่ากับ 1.22-1.28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามด้วยวิธี AWD2-2560 เท่ากับ 1.09 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และวิธี AWD1-2560 เท่ากับ 1.07 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ หากพิจารณาถึงการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Effective use of water) จากค่าผลิตภาพน้ำของการทดลองการเพาะปลูกข้าวทั้งสองฤดูกาลปลูกนี้ จะเห็นได้ชัดว่า วิธีการส่งน้ำแบบวิธี AWD มีอัตราส่วนผลผลิตต่อปริมาณการใช้น้ำที่ได้จากวิธีการส่งน้ำแบบเปียกสลับแห้งที่มีประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ดีกว่าวิธีการขังน้ำในนาข้าวตลอดอายุการเพาะปลูกข้าว (แบบวิธีเกษตรกรรมดั้งเดิม) โดยเฉพาะการทำนาปรังเป็นการทำนาในช่วงฤดูแล้ง หากช่วงการเพาะปลูกมีปริมาณฝนตกน้อย ปริมาณน้ำชลประทานจะเป็นแหล่งน้ำต้นทุนหลักและเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ค่าผลิตภาพ (Productivity) การผลิตเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 50 ค่าผลิตภาพน้ำของการเพาะปลูกฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560

วิธีการ	ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	ปริมาณการใช้น้ำรวม (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่)	ค่าผลิตภาพน้ำ (กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร)
CF-2559	1,058.58	1,119.30	0.95
AWD1-2559	1,106.10	905.90	1.22
AWD2-2559	1,044.40	814.80	1.28
CF-2560	956.20	1,024.61	0.93
AWD1-2560	918.40	860.02	1.07
AWD2-2560	913.50	838.16	1.09

### 3.10 ค่ารอยเท้าน้ำ (Water Footprint)

การศึกษานี้คำนวณค่ารอยเท้าน้ำของการเพาะปลูกข้าวใน ปี พ.ศ. 2559-2560 โดยค่ารอยเท้าน้ำจะแบ่งออกเป็นสีน้ำเงิน สีเขียว และสีเทาตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่า ค่ารอยเท้าน้ำสีน้ำเงินสูงกว่าสีเขียวและสีเทา ซึ่งหมายความว่าปริมาณการใช้น้ำส่วนใหญ่เป็นน้ำจากการชลประทาน ผลลัพธ์ของค่ารอยเท้าน้ำเฉลี่ยของการผลิตข้าวในแปลงนาทดลอง ปี พ.ศ. 2559 พบว่า ค่ารอยเท้าน้ำของวิธี CF (1,200.9 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) สูงกว่าวิธี AWD2 (848.8 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน), AWD1 (813.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) ตามลำดับ สอดคล้องกับการประเมินในปี พ.ศ. 2560 ที่มีค่ารอยเท้าน้ำของวิธี CF (1,100.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) สูงกว่าวิธี AWD2 (977.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน), AWD1 (953.3 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) ตามลำดับ เช่นเดียวกัน โดยค่ารอยเท้าน้ำเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2559 สูงกว่าปี พ.ศ. 2560 เนื่องจากมีปริมาณผลผลิตที่สูงกว่า แต่อัตราการใช้น้ำไม่แตกต่างกัน โดยค่ารอยเท้าน้ำเฉลี่ยของการเพาะปลูกข้าวด้วยวิธีการให้น้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำ ทั้ง 3 วิธี มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่ารอยเท้าน้ำของการเพาะปลูกข้าวที่มีค่าทั่วไปประมาณ 2,291 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน (Hoekstra and Chapagain, 2008)

ตารางที่ 51 ค่ารอยเท้าน้ำของการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560

วิธีการ	ค่ารอยเท้าน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อ 1,000 กิโลกรัม)			Total
	Blue Water	Green Water	Gray Water	Water Footprint
CF-2559	1,059.9	111.4	29.59	1,200.9
AWD1-2559	670.4	113.1	29.94	813.4
AWD2-2559	714.0	106.5	28.25	848.8
CF-2560	1,001.5	65.8	32.68	1,100.0
AWD1-2560	849.7	69.3	34.25	953.3
AWD2-2560	873.7	69.3	34.01	977.0

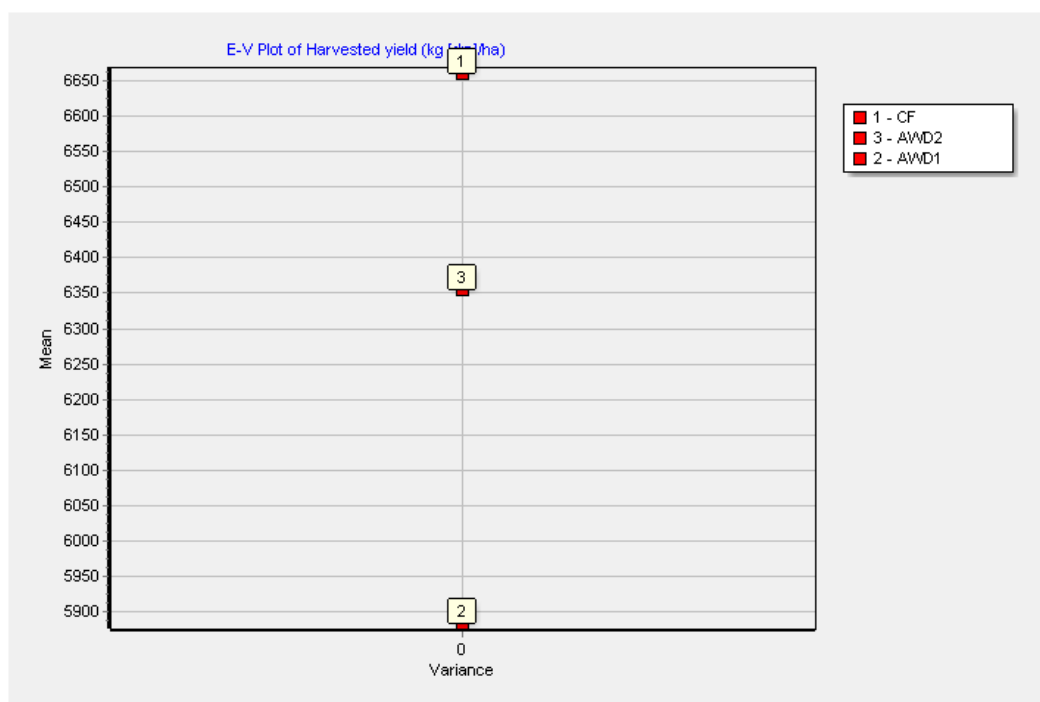
#### 4. ผลการจำลองการเพาะปลูกข้าวของแบบจำลอง CERES-Rice

การใช้แบบจำลอง CERES-Rice ทำการจำลองการปลูกข้าวเหมือนกับการปลูกจริงในแปลงทดลอง โดยจำลองการปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก-2 ได้ผลการศึกษา ดังนี้

##### 4.1 ผลการประเมินการจำลองการเพาะปลูกข้าวในระดับแปลงนา

การจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวภายใต้เงื่อนไขเหมือนกับสภาพแปลงเพาะปลูกจริง (Experiment) โดยนำเข้าข้อมูลจากแปลงนาทดลองในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 ตามที่แบบจำลองต้องการและทำการประมวลผลเรียบร้อยแล้ว พบว่า แบบจำลองสามารถประเมินผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก-2 ภายใต้การจัดการน้ำชลประทานโดยวิธีประหยัดน้ำ ทั้ง 3 วิธี ได้ผลการจำลองผลผลิตข้าวที่แตกต่างกัน โดยวิธีการขังน้ำระดับต้นในนาข้าวตลอดอายุการเพาะปลูกข้าว (แบบวิธี CF) ได้ผลการจำลองผลผลิตที่แม่นยำดีมาก โดยมีค่าจำลองผลผลิต 6,660 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (1,065.6 กิโลกรัมต่อไร่) สอดคล้องกับผลผลิตของการเพาะปลูกข้าวจริงในภาคสนามที่ได้ผลผลิต 6,616 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (1,058.6 กิโลกรัมต่อไร่) แตกต่างกันเพียง -0.66% แต่ผลการจำลองผลผลิตข้าวภายใต้การจัดการน้ำชลประทานโดยวิธีเปียกสลับแห้งทั้ง 2 วิธี ได้ผลที่แตกต่างกัน คือ ค่าจำลองผลผลิตโดยวิธี AWD1 มีค่าเท่ากับ 5,844 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (941.4 กิโลกรัมต่อไร่) แต่ผลผลิตจริงในภาคสนามวิธี AWD1 เท่ากับ 6,913 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (1,106.14 กิโลกรัมต่อไร่) แตกต่างกัน 18.29% และค่าจำลองผลผลิตจากวิธี AWD2 เท่ากับ 6,354 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (1,016.6 กิโลกรัมต่อไร่) แต่ผลผลิตจริงในภาคสนามวิธี AWD2 เท่ากับ 6,527 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (1,044.37

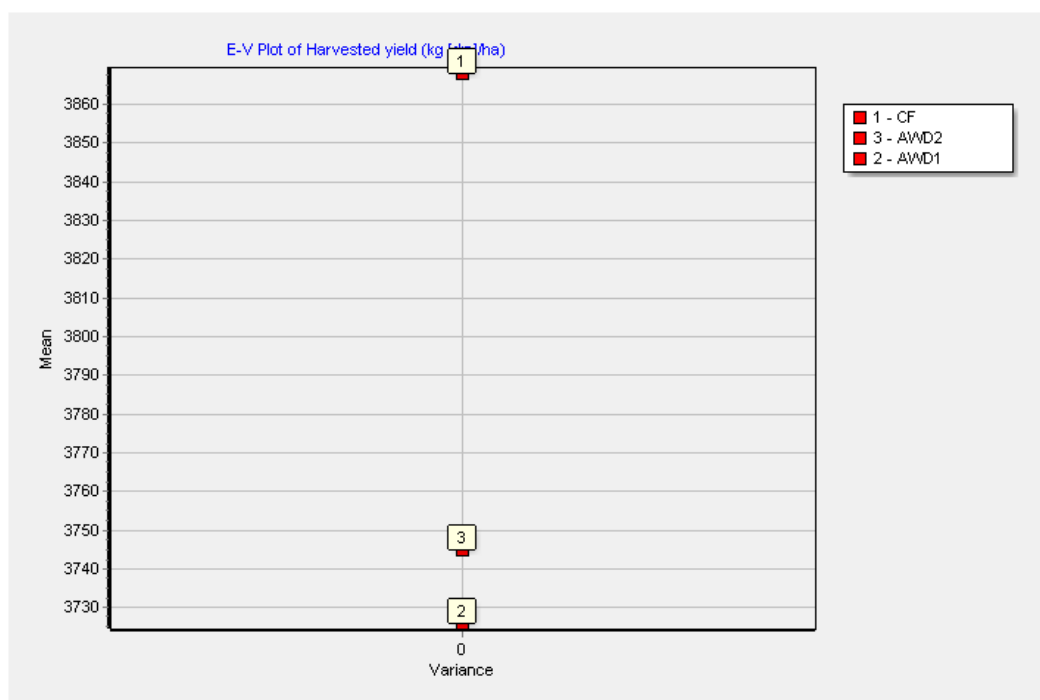
กิโกรัมต่อไร่) ต่างต่างกัน 2.72 % ซึ่งค่าความแตกต่างนี้ของการจำลองผลผลิตจากวิธี AWD2 ถือได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



ภาพที่ 47 ผลการจำลองผลผลิตข้าวภายใต้การจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำโดยวิธี CF, AWD1, AWD2 ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559

ผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 พบว่าแบบจำลองประเมินผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก-2 ภายใต้การจัดการน้ำชลประทานโดยวิธีประหยัดน้ำทั้ง 3 วิธีได้ไม่ดัดนัก โดยมีค่าจำลองผลผลิตวิธี CF, AWD1, AWD2 เท่ากับ 3,868 - 3,726 - 3,745 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (618.88, 596.16, 599.20 กิโลกรัมต่อไร่) แต่ผลผลิตจริงในภาคสนามวิธี CF, AWD1, AWD2 เท่ากับ 5,977 - 5,740 - 5,710 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (956.25, 918.44, 913.52 กิโลกรัมต่อไร่) มีผลการจำลองแตกต่างกัน 54.52, 54.05, 52.47 % ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของการจำลองผลผลิตจากฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 อาจจะมีผลสืบเนื่องจากสภาพภูมิอากาศในช่วงการเจริญพันธุ์มีสถานะอุณหภูมิแปรปรวน อาจจะทำให้แบบจำลองประมวลผลกระบวนการสร้างเมล็ดที่ต่ำกว่าผลผลิตจริง

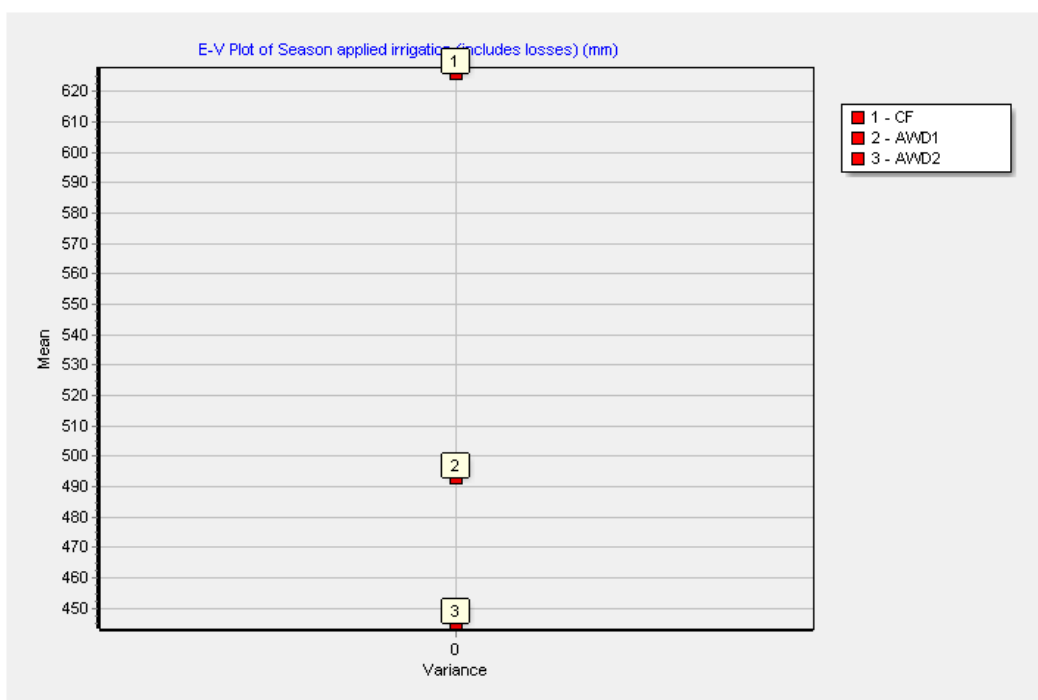




ภาพที่ 48 ผลการจำลองผลผลิตข้าวภายใต้การจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำโดยวิธี CF, AWD1, AWD2 ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560

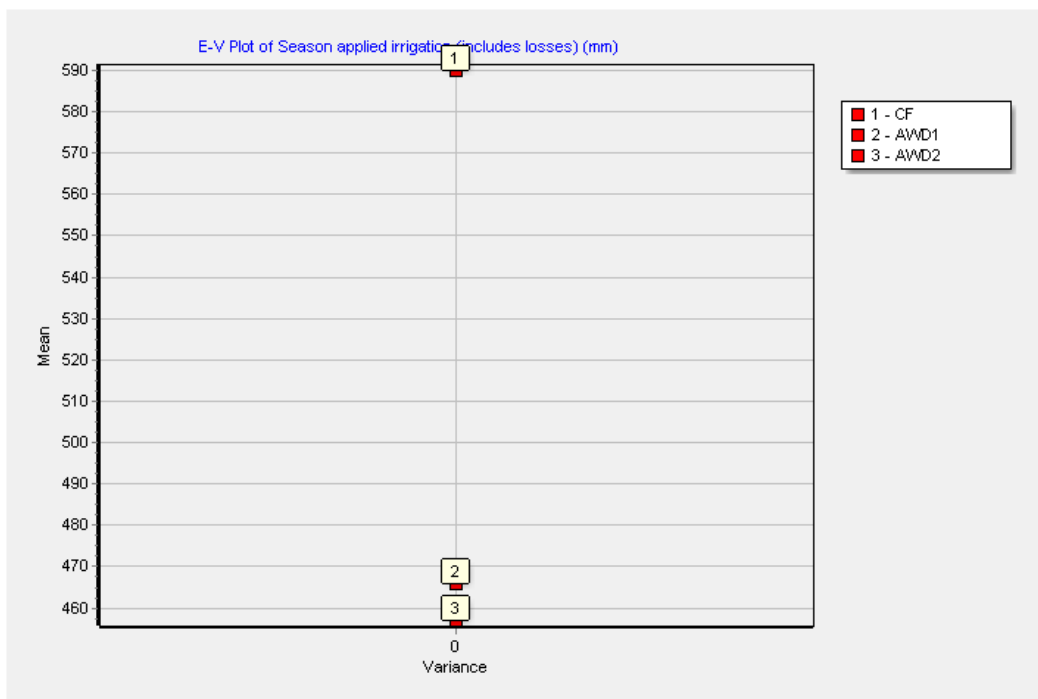
จากทดลองการเพาะปลูกข้าวในภาคสนาม พบว่า ผลผลิตข้าวโดยวิธี CF, AWD1, AWD2 ทั้งในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ 2560 มีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าผลผลิตทั่วไปของข้าวไม่ไวแสงพันธุ์ พิชณู โลก-2 ที่มีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 807 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมการข้าว) ตามวิธีทำนาแบบเกษตรกรดั้งเดิมที่มีการขังน้ำในระดับน้ำสูงที่ประมาณ 15-20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก แต่อย่างไรก็ตาม โดยปกติผลผลิตจากการทดลองจะมีอัตราผลผลิตที่ดีกว่าการเพาะปลูกข้าวจริง เนื่องจากการดูแลปฏิบัติการเพาะปลูกข้าวในแปลงนาทดลองจะมีการเอาใจใส่มากกว่าการเพาะปลูกข้าวในแปลงนาเกษตรกร

ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (รวมค่าการสูญเสียไม่รวมฝนใช้การ) ในการเพาะปลูกข้าวช่วงฤดูนาปรังทั้งสองฤดูกาล พบว่า แบบจำลองสามารถประเมินค่าปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การจัดการน้ำชลประทานโดยวิธีประหยัดน้ำ ทั้ง 3 วิธีได้ตรงสอดคล้องกับข้อมูลจริงในภาคสนาม โดยในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 แบบจำลองประเมินค่าปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้วิธี CF, AWD1, AWD2 ใช้น้ำชลประทานรวมเท่ากับ 626, 493 และ 445 มิลลิเมตร ตามลำดับ ตรงกับค่าปริมาณการใช้น้ำชลประทานจริงในภาคสนามวิธี CF, AWD1, AWD2 เท่ากับ 626.06, 492.69 และ 435.75 มิลลิเมตร (1,001.70 - 788.30 - 697.20 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) โดยวิธี AWD2 มีผลการจำลองแตกต่างเพียง 2.12 %



ภาพที่ 49 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำโดยวิธี CF, AWD1, AWD2 ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559

ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินค่าปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การจัดการน้ำชลประทานโดยวิธีประหยัดน้ำ ทั้ง 3 วิธี ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงในภาคสนาม ซึ่งแบบจำลองประเมินค่าปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้วิธี CF, AWD1, AWD2 ได้ค่าปริมาณการใช้น้ำชลประทานรวมเท่ากับ 590, 466 และ 457 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าปริมาณการใช้น้ำชลประทานจริงในภาคสนามวิธี CF, AWD1, AWD2 เท่ากับ 600.88, 498.01 และ 484.35 มิลลิเมตร (961.41, 796.82 และ 774.96 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) ตามลำดับ



ภาพที่ 50 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำโดยวิธี CF, AWD1, AWD2 ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560

ผลการจำลองจากแบบจำลอง CERES-Rice ภายใต้เงื่อนไขเหมือนกับสภาพแปลงเพาะปลูกจริง โดยนำเข้าข้อมูลจริงจากแปลงนาทดลองในฤดูนาปรังทั้งสองฤดูนาปรัง โดยวิเคราะห์ความถูกต้องหรือความแม่นยำของผลการจำลองต่อการใช้ปัจจัยผลผลิตกับค่าปริมาณการใช้น้ำชลประทาน พบว่า แบบจำลอง CERES-Rice สามารถจำลองผลการเพาะปลูกข้าวในภาคสนาม (Spatial simulation) ในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 ดีกว่าในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 ตามผลการประเมินของผลการจำลองต่อการใช้ปัจจัยผลผลิตกับค่าปริมาณการใช้น้ำชลประทาน ดังนั้น การวิเคราะห์จำลองระดับรายฤดูกาล (Seasonal) จะดำเนินการประมวลผลจากข้อมูลการเพาะปลูกข้าวจริงในภาคสนามในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อการประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการจัดการน้ำชลประทานในอนาคตต่อไป

การประเมินการจำลองการเพาะปลูกข้าวในระดับแปลงภายใต้เงื่อนไขเสมือนสภาพการเพาะปลูกจริง โดยนำเข้าข้อมูลจากการทดลองในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 ซึ่งข้อมูลสภาพภูมิอากาศมาจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 2 (พิษณุโลก) กรมชลประทาน และข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งจุดตรวจวัดอากาศมีความแตกต่างกันทางลักษณะภูมิประเทศและอุตุนิยมวิทยา จึงจำเป็นต้องมีการ

ตรวจสอบผลการประเมินจากแบบจำลอง CERES-Rice โดยการตรวจสอบแบบจำลองได้ใช้เกณฑ์วิธีประหยัดน้ำ CF แบบขังน้ำระดับต้นที่ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่ผ่านการประเมินการจำลองในระดับแปลงนาทดลองว่ามีผลการจำลองที่แม่นยำ เพื่อเปรียบเทียบการใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศนำเข้าจากสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลกและวิธีการส่งน้ำตามตารางการส่งน้ำจากแปลงนาทดลองในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และการส่งน้ำแบบอัตโนมัติแบบขังน้ำที่ระดับน้ำต้น 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก เพื่อตรวจสอบผลการจำลองผลผลิตข้าวในระดับแปลงนาทดลอง ผลการประเมินการจำลอง พบว่า การจำลองผลผลิตจากการใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศนำเข้าจากสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 2 (พิษณุโลก) ทั้งวิธีการส่งน้ำตามตารางการส่งน้ำและการส่งน้ำแบบอัตโนมัติให้ผลการจำลองที่ใกล้เคียงกับผลผลิตจริง แต่ผลการจำลองผลผลิตข้าวจากการใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศนำเข้าจากสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลกให้ผลการจำลองที่ต่ำกว่าผลผลิตจริงถึง 16.85 % ทั้งนี้กรณีนี้อาจเนื่องจากข้อมูลชุดคินนำเข้าได้ใส่ค่าพารามิเตอร์เฉพาะค่าที่ได้ผลวิเคราะห์จากผลเจาะสำรวจดินจริง เพื่อสะท้อนถึงข้อมูลจริงที่มี (Limited data)

ตารางที่ 52 ค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบวิธีการลดมาตราส่วนเชิงสถิติในช่วงปีพื้นฐาน

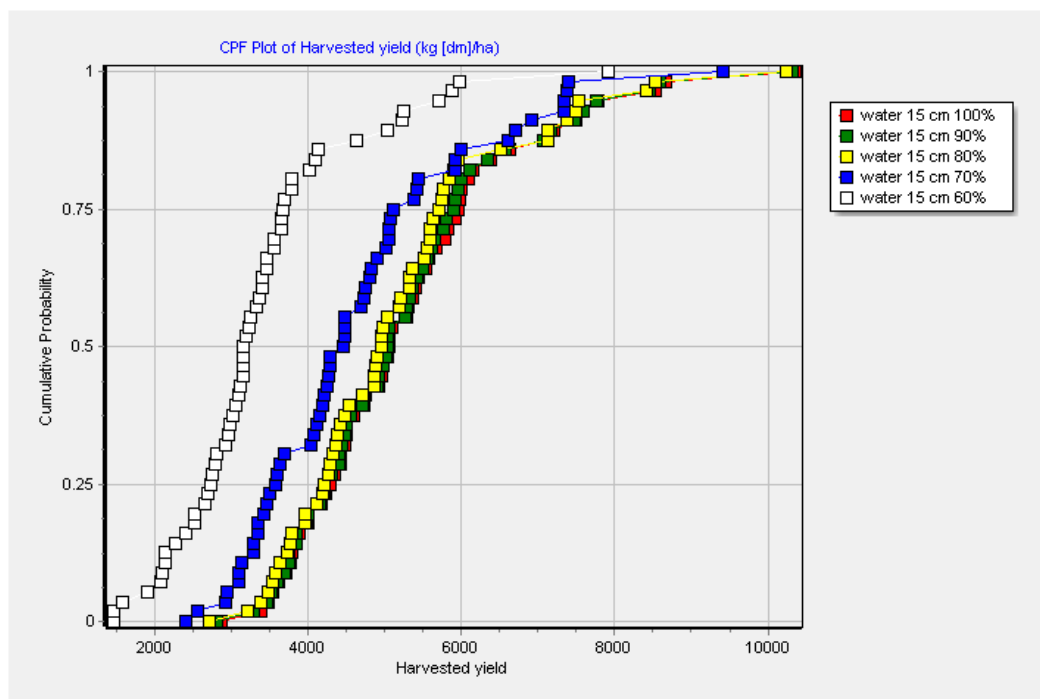
Method	Harvested Yield (kg)	Irrigation Water (mm)	Days to Harvest (day)	Annotation
5 cm (CF)	6616.13	626.06	104	RID, Exp.
On reported	6,660	626	104	RID, Model
Automatic when required	6,655	663	98	RID, Model
Automatic when required	5,501	626	95	TMD, Model

นอกจากนี้ ได้ทำการตรวจสอบผลการจำลองการจัดการน้ำชลประทานแบบการขังน้ำชลประทานในแปลงนาที่ระดับ 5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตร โดยการกำหนดความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % เพื่อทำการจำลองแบบรายฤดูกาล (Seasonal) โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศนำเข้าปี ค.ศ. 1961-2018 ของสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก ผลจำลองการส่งน้ำชลประทานที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก พบว่า แบบจำลอง CERES-Rice ประเมินผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ได้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำกว่าการใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศนำเข้าจากสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 2 (พิษณุโลก) โดยผลผลิตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เมื่อเทียบกับการส่งน้ำชลประทานที่ระดับ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก โดยการจำลองการใช้น้ำชลประทาน, ค่าศักย์การคายระเหย และจำนวนอายุข้าวตั้งแต่วันปักดำถึงวันเก็บเกี่ยว ไม่มีความ

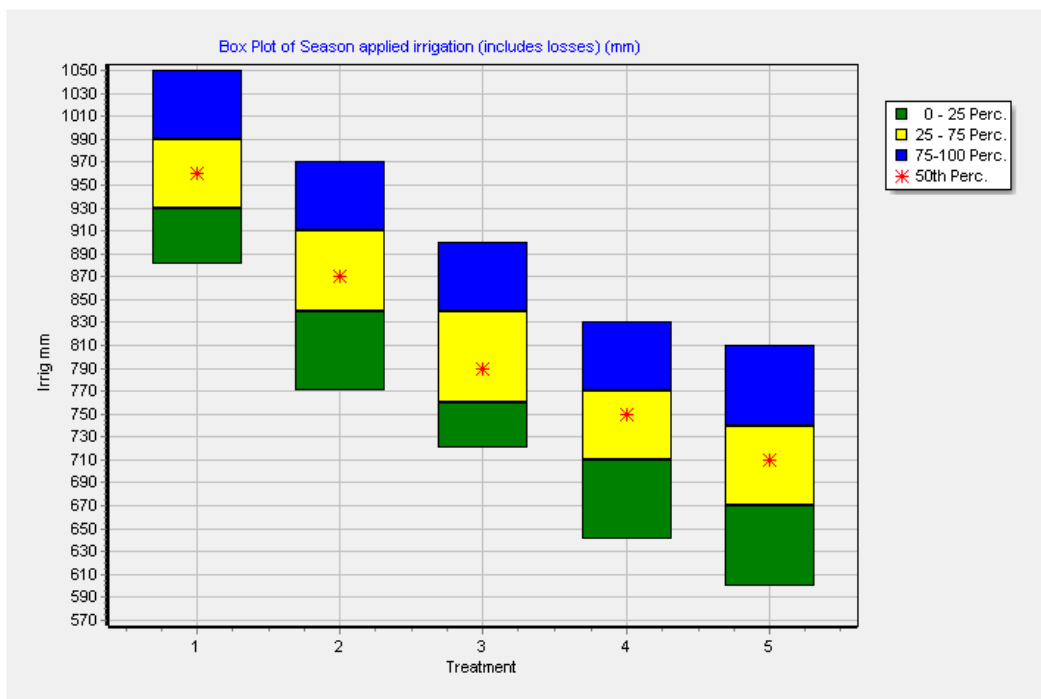
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และผลการจำลองการส่งน้ำชลประทานที่ระดับ 5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก พบว่า ผลผลิตข้าวจากการจำลองการส่งน้ำชลประทานทุกระดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เมื่อความนำเชื่อถือการได้รับน้ำอยู่ระหว่าง 80-100 %

ตารางที่ 53 ค่าเฉลี่ยผลการจำลองการส่งน้ำชลประทานแบบขังน้ำที่ระดับต่าง ๆ (ความนำเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100 %)

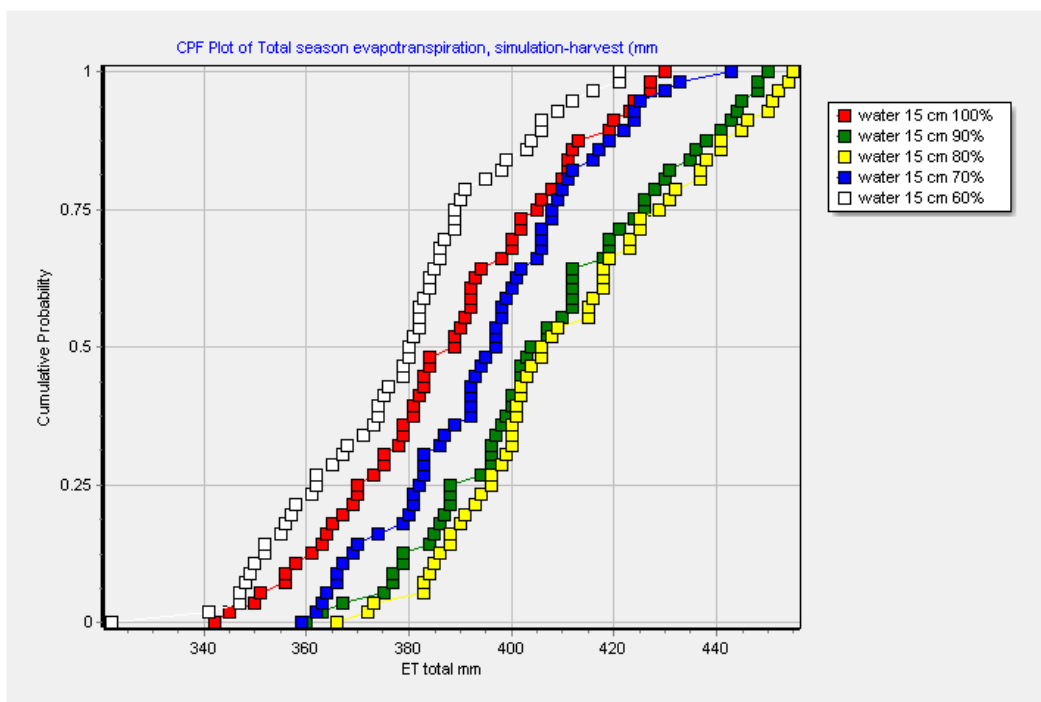
Method	Harvested Yield (kg)	Irrigation Water (mm)	ET Total (mm)	Days to Harvest (day)	Annotation
5 cm	4974.17	881.43	393.33	97	TMD
10 cm	5190.93	882.03	380.07	97	TMD
15 cm	5230.30	877.30	402.23	97	TMD
20 cm	5230.30	877.30	402.23	97	TMD



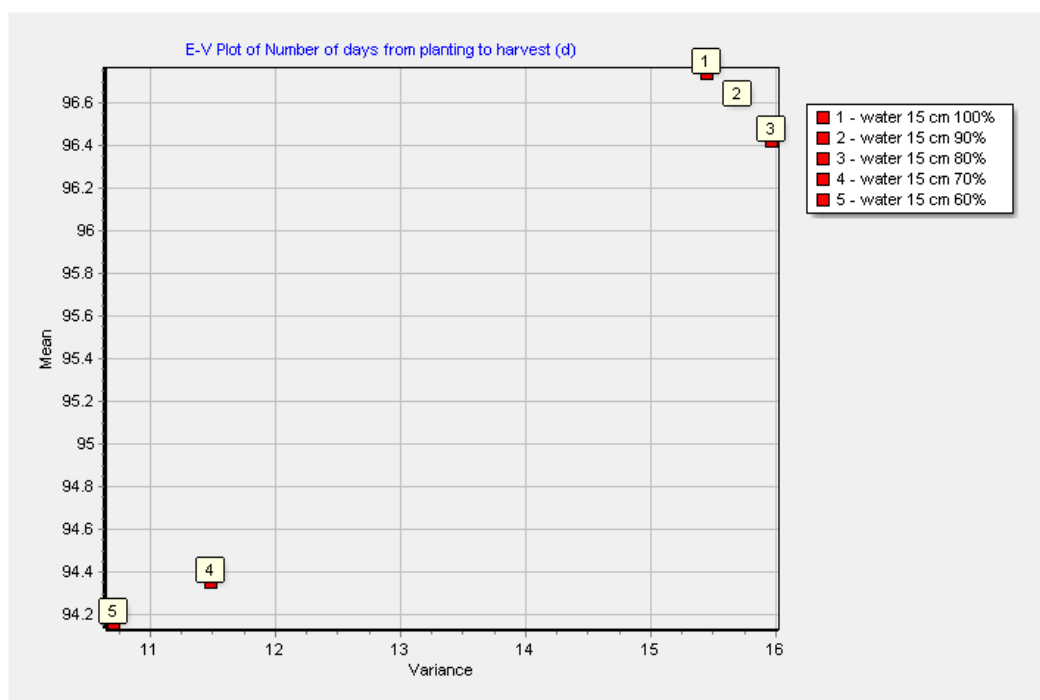
ภาพที่ 51 ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ภายใต้การขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ความนำเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 1961-2018



ภาพที่ 52 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 1961-2018



ภาพที่ 53 ผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 1961-2018



ภาพที่ 54 ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ภายใต้การขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 1961-2018

## 4.2 ผลการประเมินการจำลองการเพาะปลูกข้าวในอนาคต

### 4.2.1 ผลการจำลองผลผลิตข้าว

ผลการจำลองของการเพาะปลูกข้าวรายฤดูกาล (Seasonal) ในอนาคตช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 โดยการใช้ปัจจัยการผลิตในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคตตามผลคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นข้อมูลนำเข้าสู่แบบจำลอง CERES-Rice เพื่อประเมินผลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการจัดการน้ำชลประทานที่สภาวะการณต่าง ๆ พบว่า จากข้อมูลผลคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้ง 4 แบบจำลอง ให้ผลการจำลองได้ค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวต่ำกว่าผลผลิตข้าวจากแปลงเพาะปลูกจริง (Experiment) และต่ำกว่าผลผลิตข้าวเฉลี่ยของการจำลองผลผลิตข้าวรายฤดูกาล (Seasonal) ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 1961-2018 ซึ่งทั้ง 4 แบบจำลอง มีผลการจำลองให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวเท่ากัน แต่ค่าความแปรปรวนของค่าผลผลิตข้าวด้วยวิธีการส่งน้ำชลประทานทั้ง 4 ระดับ (5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก) ภายใต้ RCP 4.5 และ 8.5 ที่จำนวนสุ่ม (Random number) 5,000 รอบ มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 54 ค่าเฉลี่ยผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ของผลคาดการณ์ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 จากแบบจำลอง GCMs

Water level	Scenarios	EC-EARTH	GFDL-CM3	MIROC5	MPI-ESM-MR
5 cm	RCP 4.5	2,823.2	4,050.7	3,822.0	4,272.8
	RCP 8.5	3,722.9	4,654.8	3,793.7	4,278.5
10 cm	RCP 4.5	2,823.2	4,050.7	3,822.0	4,272.8
	RCP 8.5	3,722.9	4,654.8	3,793.7	4,278.5
15 cm	RCP 4.5	2,823.2	4,050.7	3,822.0	4,272.8
	RCP 8.5	3,722.9	4,654.8	3,793.7	4,278.5
20 cm	RCP 4.5	2,823.2	4,050.7	3,822.0	4,272.8
	RCP 8.5	3,722.9	4,654.8	3,793.7	4,278.5

จากการจำลองผลผลิตข้าวโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ในอนาคต ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 เมื่อเทียบกับผลผลิตข้าวจากจำลองการเพาะปลูกข้าวในแปลงนาทดลองในช่วงปี ค.ศ. 2015 (Benchmark year) พบว่า ข้อมูลภูมิอากาศนำเข้าจากแบบจำลอง EC-EARTH, GFDL-CM3, MIROC5 และ MPI-ESM-MR มีผลการจำลองผลผลิตข้าวมีค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิตข้าวลดลงตั้งแต่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 0-90 % โดยผลผลิตข้าวในอนาคตมีแนวโน้มลดลงประมาณ 13.43 % แต่ผลผลิตข้าวในอนาคตที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 100 % มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 4.67 %

จากผลการจำลองผลผลิตข้าวโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในอนาคต ปี ค.ศ. 2021-2050 เมื่อเทียบกับผลผลิตข้าวในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 ภายใต้ RCP 4.5 พบว่าแบบจำลอง EC-EARTH มีปริมาณผลผลิตข้าวลดลงตั้งแต่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 0-100 % และแบบจำลอง GFDL-CM3, MIROC5 และ MPI-ESM-MR มีปริมาณผลผลิตข้าวลดลงตั้งแต่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 0-75 % โดยค่าจำลองผลผลิตข้าวเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 % ของแบบจำลอง GFDL-CM3 RCP 4.5 (5,177.0 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) และ MPI-ESM-MR RCP 4.5 (5,151.3 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับผลการจำลองผลผลิตข้าวของช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 (5,230.3 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) แต่มีปริมาณผลผลิตข้าวที่ต่ำกว่าเล็กน้อย

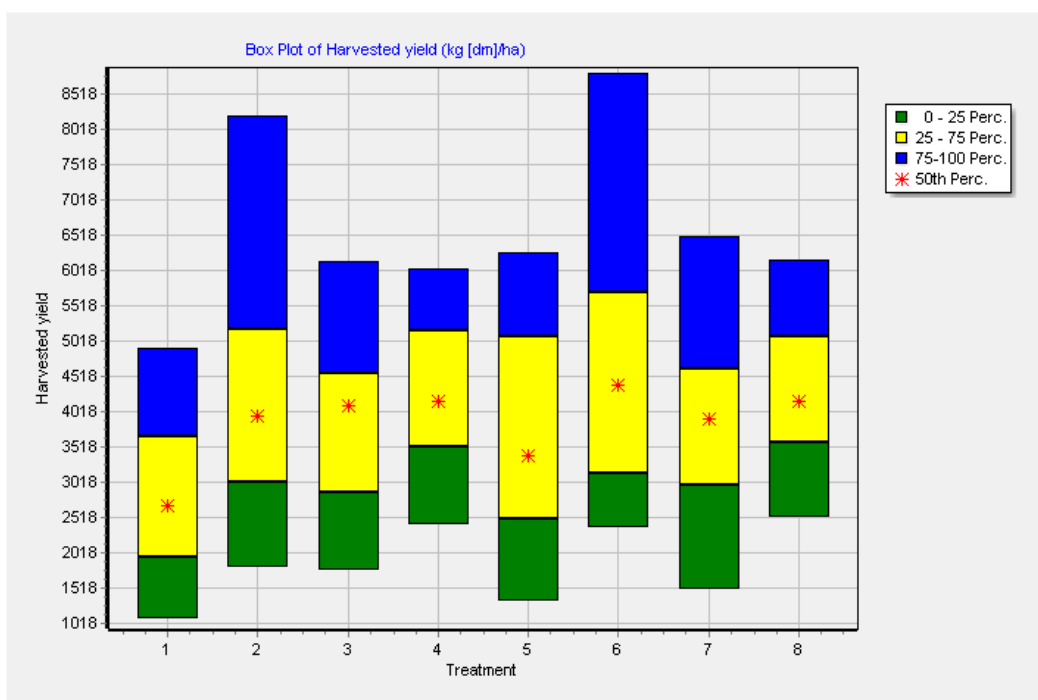


ผลการจำลองผลผลิตข้าวภายใต้ RCP 8.5 พบว่า แบบจำลอง EC-EARTH มีปริมาณผลผลิตข้าวลดลงตั้งแต่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 0-75 %, แบบจำลอง GFDL-CM3 มีปริมาณผลผลิตข้าวลดลงตั้งแต่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 0-50 %, แบบจำลอง MIROC5 มีปริมาณผลผลิตข้าวลดลงตั้งแต่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 0-90 % และ MPI-ESM-MR มีปริมาณผลผลิตข้าวลดลงตั้งแต่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 0-75 % ตามลำดับ และพบว่าผลการจำลองผลผลิตข้าวของทั้ง 4 แบบจำลอง ภายใต้ RCP 8.5 มีความแปรปรวนสูงเมื่อเทียบกับการจำลองผลผลิตข้าวภายใต้ RCP 4.5

จากการประเมินผลการจำลองผลผลิตข้าวโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในอนาคต ปี ค.ศ. 2021-2050 เมื่อเทียบกับผลผลิตข้าวในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 ด้วยข้อมูลภูมิอากาศนำเข้าจากการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของผลลัพธ์ทั้ง 4 แบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ผลปรากฏว่า ผลผลิตข้าวในอนาคตที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 75 % มีแนวโน้มลดลงประมาณ 6.78 %

ตารางที่ 55 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง GCMs

Treatment	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
EC-EARTH RCP 4.5	1,072.0	1,538.6	1,951.0	2,678.0	3,653.0	4,356.0	4,908.0
GFDL-CM3 RCP 4.5	1,804.0	2,193.2	3,010.5	3,963.0	5,177.0	5,448.0	8,192.0
MIROC5 RCP 4.5	1,761.0	2,220.0	2,870.8	4,108.5	4,558.8	5,263.0	6,129.0
MPI-ESM-MR RCP 4.5	2,416.0	2,921.5	3,521.8	4,153.5	5,151.3	5,483.5	6,037.0
EC-EARTH RCP 8.5	1,335.0	2,198.8	2,490.8	3,392.5	5,069.8	5,654.8	6,267.0
GFDL-CM3 RCP 8.5	2,376.0	2,546.3	3,140.3	4,381.5	5,707.7	6,642.4	8,802.0
MIROC5 RCP 8.5	1,501.0	2,522.8	2,972.5	3,921.0	4,614.5	5,079.6	6,492.0
MPI-ESM-MR RCP 8.5	2,517.0	3,313.4	3,569.5	4,166.0	5,074.5	5,928.2	6,158.0



ภาพที่ 55 ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5

ผลการจำลองผลผลิตข้าวโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ทั้ง 4 แบบจำลอง บ่งชี้ได้ชัดว่า ผลผลิตข้าวในอนาคตมีแนวโน้มลดลง

#### 4.2.2 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน

ผลปริมาณการใช้น้ำชลประทานจากข้อมูลผลคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้ง 4 แบบจำลอง ให้ผลการจำลองได้ค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำชลประทานที่แตกต่างกัน ขึ้นกับการส่งน้ำชลประทานแบบขังน้ำตลอดฤดูปลูกทั้ง 4 ระดับ (5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตร) ซึ่งทั้ง 4 แบบจำลอง มีผลการจำลองให้ค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำชลประทานใกล้เคียงกันในแต่ละระดับการขังน้ำที่ระดับน้ำนั้น โดยค่าเฉลี่ยการใช้น้ำปริมาณชลประทานในแต่ละระดับการขังน้ำในแปลงนา ภายใต้ RCP 8.5 มีค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำชลประทานสูงกว่า RCP 4.5 และค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำชลประทานในอนาคตจากผลลัพธ์ทั้ง 4 แบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 มีค่าเฉลี่ยที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50% (910.00 มิลลิเมตร) มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำ

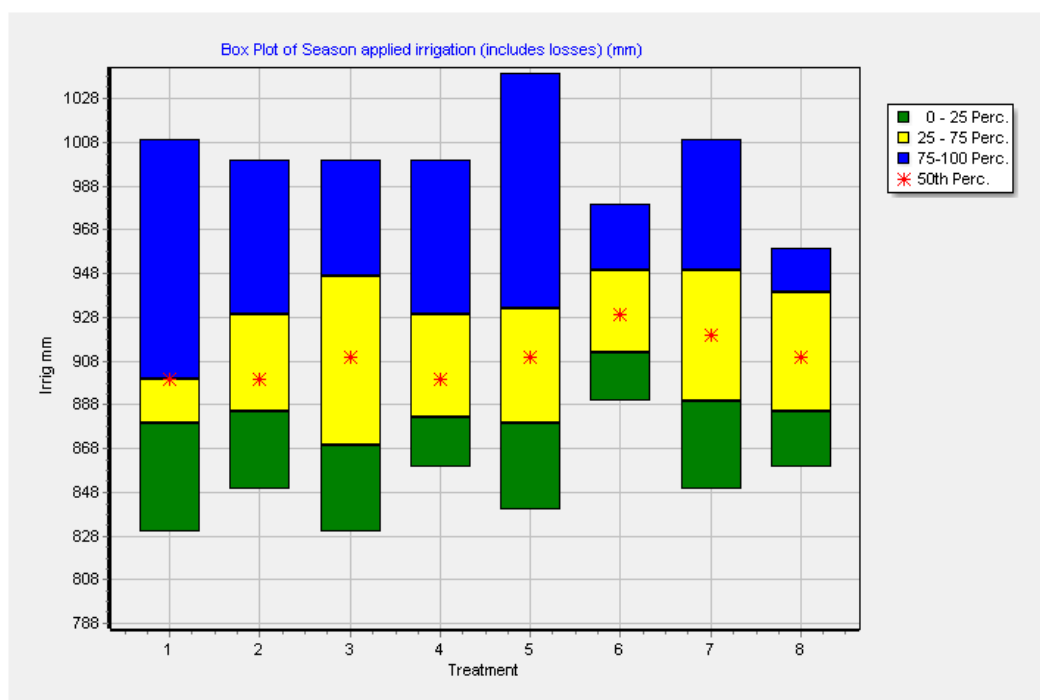
น้ำชลประทานของช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 (877.30 มิลลิเมตร) แต่มีปริมาณการใช้น้ำชลประทานที่เพิ่มขึ้น

จากการประเมินผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในอนาคต ปี ค.ศ. 2021-2050 เมื่อเทียบกับปริมาณการใช้น้ำชลประทานในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 ด้วยข้อมูลภูมิอากาศนำเข้าจากการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของผลลัพธ์ทั้ง 4 แบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำชลประทานในอนาคตที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 % และ 75 % มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 3.73 % ถึง 6.58 % ตามลำดับ และจากการจำลองการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2015 (Benchmark year) พบว่า ข้อมูลภูมิอากาศนำเข้าจากแบบจำลอง EC-EARTH, GFDL-CM3, MIROC5 และ MPI-ESM-MR มีผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานมีค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้น ตั้งแต่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 0-100 % มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 15.28 % ถึง 40.04 %

ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ทั้ง 4 แบบจำลอง บ่งชี้ได้ชัดว่า ปริมาณการใช้น้ำชลประทานในอนาคตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 56** ค่าเฉลี่ยผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs

Water level	Scenarios	EC-EARTH	GFDL-CM3	MIROC5	MPI-ESM-MR
5 cm	RCP 4.5	701.0	685.9	666.2	664.1
	RCP 8.5	701.3	686.8	664.8	667.4
10 cm	RCP 4.5	774.5	799.3	792.3	790.0
	RCP 8.5	791.3	811.8	792.6	796.5
15 cm	RCP 4.5	893.8	910.0	911.9	909.2
	RCP 8.5	915.0	932.7	919.6	913.0
20 cm	RCP 4.5	893.8	910.0	911.9	909.2
	RCP 8.5	915.0	932.7	919.6	913.0



ภาพที่ 56 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5

ตารางที่ 57 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง GCMs

Treatment	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
EC-EARTH RCP 4.5	830.0	858.0	880.0	900.0	900.0	922.0	1,010.0
GFDL-CM3 RCP 4.5	850.0	876.0	885.0	900.0	930.0	954.0	1,000.0
MIROC5 RCP 4.5	830.0	855.0	870.0	910.0	947.5	985.0	1,000.0
MPI-ESM-MR RCP 4.5	860.0	865.0	882.5	900.0	930.0	960.0	1,000.0
EC-EARTH RCP 8.5	840.0	863.0	880.0	910.0	932.5	967.0	1,040.0
GFDL-CM3 RCP 8.5	890.0	910.0	912.5	930.0	950.0	960.0	980.0
MIROC5 RCP 8.5	850.0	862.0	890.0	920.0	950.0	960.0	1,010.0
MPI-ESM-MR RCP 8.5	860.0	870.0	885.0	910.0	940.0	960.0	960.0

#### 4.2.3 ผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหย (ค่าการใช้น้ำของข้าว)

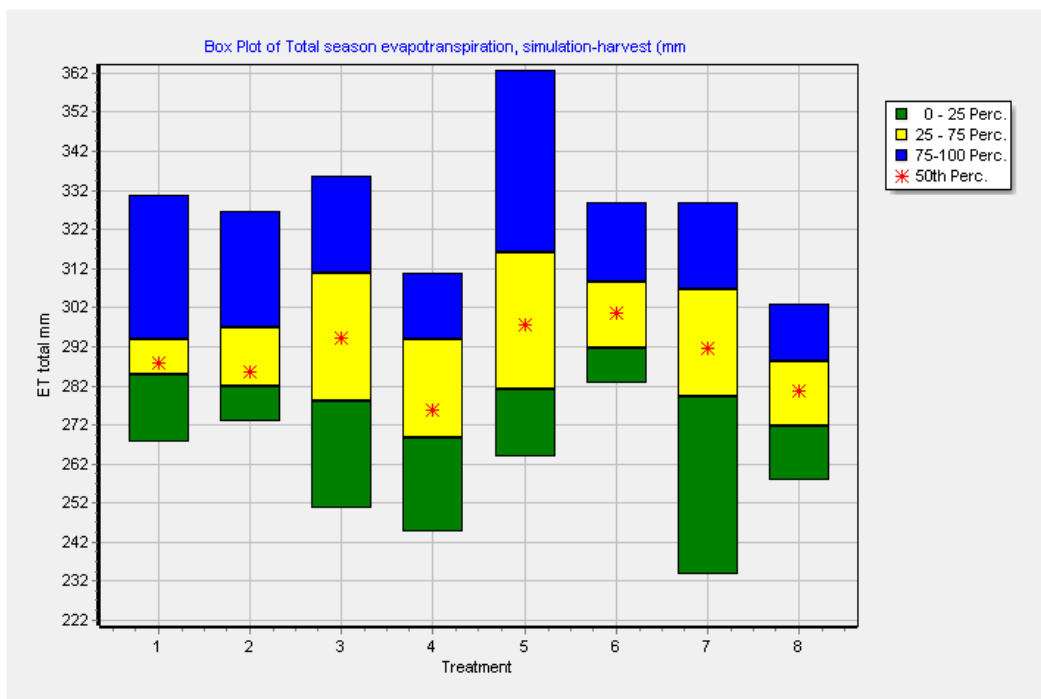
ผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหยของการเพาะปลูกข้าวรายฤดูกาล (Seasonal) ในอนาคตช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 เมื่อเทียบกับค่าศักยภาพการคายระเหยในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 พบว่าแบบจำลองประเมินค่าศักยภาพการคายระเหยของการเพาะปลูกข้าวโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับต่างๆ ได้ไม่ค่อนัก มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าศักยภาพการคายระเหยจากแปลงเพาะปลูกจริง และต่ำกว่าการจำลองการเพาะปลูกข้าวรายฤดูกาล ปี ค.ศ. 1961-2018

ผลการประเมินผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหยโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในอนาคต ปี ค.ศ. 2021-2050 เมื่อเทียบกับค่าศักยภาพการคายระเหยในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 ด้วยข้อมูลของผลลัพธ์ทั้ง 4 แบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ผลปรากฏว่าค่าศักยภาพการคายระเหยในอนาคตที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 100% มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าประมาณ 18.30%

ผลการประเมินผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหยโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ทั้ง 4 แบบจำลอง พบว่า ผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหยมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวจริงทั้ง 2 ฤดูนาปรัง ในปี พ.ศ. 2559-2560

**ตารางที่ 58** ค่าเฉลี่ยผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs

Water level	Scenarios	EC-EARTH	GFDL-CM3	MIROC5	MPI-ESM-MR
5 cm	RCP 4.5	310.3	312.3	314.8	301.0
	RCP 8.5	319.3	322.2	311.4	301.4
10 cm	RCP 4.5	320.5	324.9	327.2	314.3
	RCP 8.5	330.0	336.2	321.3	315.1
15 cm	RCP 4.5	321.3	325.2	327.7	314.6
	RCP 8.5	331.0	336.5	322.6	315.2
20 cm	RCP 4.5	321.3	325.2	327.7	314.6
	RCP 8.5	331.0	336.5	322.6	315.2



ภาพที่ 57 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5

ตารางที่ 59 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง GCMs

Treatment	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
EC-EARTH RCP 4.5	268.0	281.6	285.0	288.0	294.0	302.8	331.0
GFDL-CM3 RCP 4.5	273.0	278.0	282.0	286.0	297.0	314.4	327.0
MIROC5 RCP 4.5	251.0	266.0	278.3	294.5	311.3	325.5	336.0
MPI-ESM-MR RCP 4.5	245.0	263.5	269.0	276.0	294.3	307.0	311.0
EC-EARTH RCP 8.5	264.0	270.1	281.3	298.0	316.5	323.7	363.0
GFDL-CM3 RCP 8.5	283.0	287.0	291.8	301.0	309.0	313.9	329.0
MIROC5 RCP 8.5	234.0	257.2	279.5	292.0	307.0	311.0	329.0
MPI-ESM-MR RCP 8.5	258.0	269.0	272.0	281.0	288.5	293.0	303.0

#### 4.2.4 ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน)

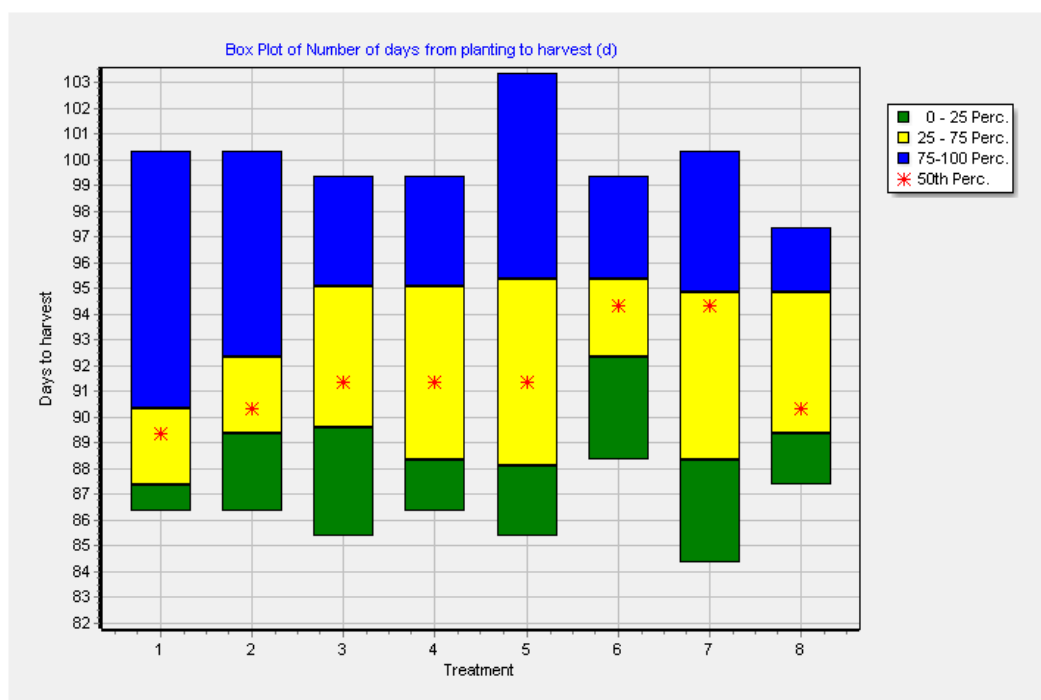
ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ของการเพาะปลูกข้าวรายฤดูกาล (Seasonal) ในอนาคตช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 เมื่อเทียบกับจำนวนอายุข้าว (วัน) ในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 พบว่าแบบจำลองประเมินจำนวนอายุข้าว (วัน) ของการเพาะปลูกข้าวโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับต่าง ๆ มีจำนวนวันอายุข้าวที่น้อยกว่าการเพาะปลูกข้าวจริง และน้อยกว่าการจำลองการเพาะปลูกข้าวรายฤดูกาลในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018

ผลการประเมินผลการจำลองจำนวนอายุข้าวโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในอนาคต ปี ค.ศ. 2021-2050 เมื่อเทียบกับค่าศักยภาพการคายระเหยในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 ด้วยข้อมูลของผลลัพธ์ทั้ง 4 แบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ผลปรากฏว่า จำนวนอายุข้าวในอนาคตที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 75% มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงการจำลองการเพาะปลูกข้าวรายฤดูกาลปี ค.ศ. 1961-2018 และจำนวนอายุข้าวในอนาคตที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 100% มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงการจำลองการเพาะปลูกข้าวจริง (จำนวนอายุข้าวจริง 104 วัน นับตั้งแต่วันปักดำถึงวันเก็บเกี่ยวผลผลิต)

ผลการประเมินผลการจำลองจำนวนอายุข้าวโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ทั้ง 4 แบบจำลอง พบว่า ผลการประเมินผลการจำลองจำนวนอายุข้าวมีจำนวนวันต่ำกว่าผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวจริงใน ปี พ.ศ. 2559

**ตารางที่ 60** ค่าเฉลี่ยผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs

Water level	Scenarios	EC-EARTH	GFDL-CM3	MIROC5	MPI-ESM-MR
5 cm	RCP 4.5	91	92	92	92
	RCP 8.5	93	95	94	93
10 cm	RCP 4.5	91	92	93	93
	RCP 8.5	93	95	93	93
15 cm	RCP 4.5	93	92	93	93
	RCP 8.5	93	95	93	93
20 cm	RCP 4.5	93	92	93	93
	RCP 8.5	93	95	93	93



ภาพที่ 58 ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ของผลคาดการณ์จากแบบจำลอง GCMs ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5

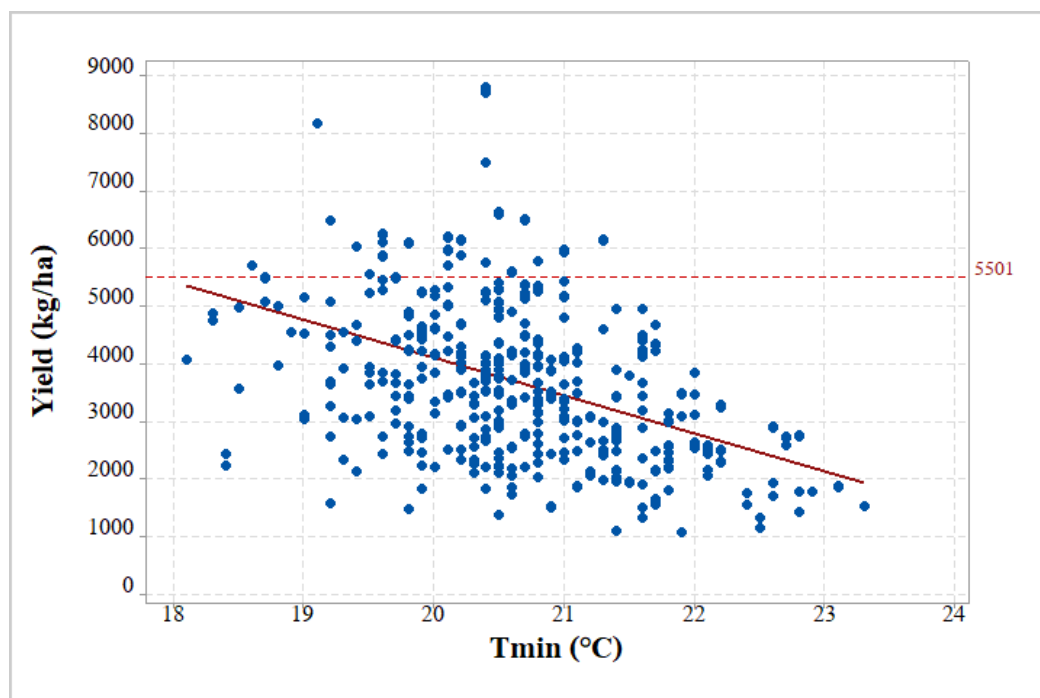
ตารางที่ 61 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง GCMs

Treatment	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
EC-EARTH RCP 4.5	87	87	88	90	91	93	101
GFDL-CM3 RCP 4.5	87	89	90	91	93	96	101
MIROC5 RCP 4.5	86	88	91	92	96	99	100
MPI-ESM-MR RCP 4.5	87	89	89	92	96	99	100
EC-EARTH RCP 8.5	86	87	89	92	96	99	104
GFDL-CM3 RCP 8.5	89	92	93	95	96	99	100
MIROC5 RCP 8.5	85	89	89	95	96	97	101
MPI-ESM-MR RCP 8.5	88	90	90	91	96	97	98

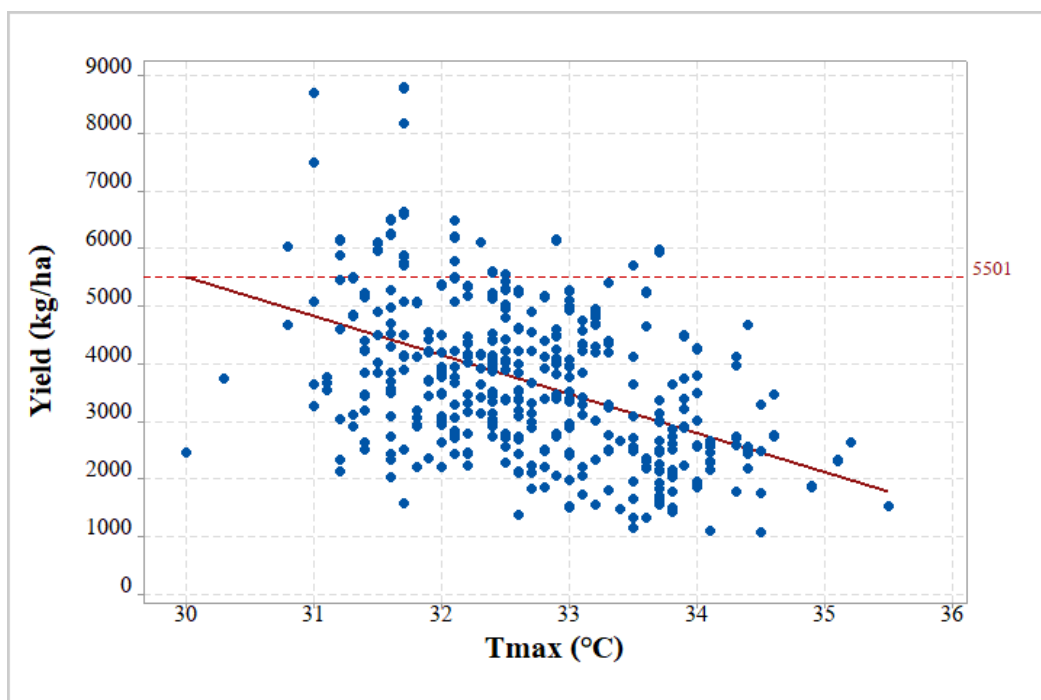


#### 4.2.5 ผลความแปรปรวนภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าว

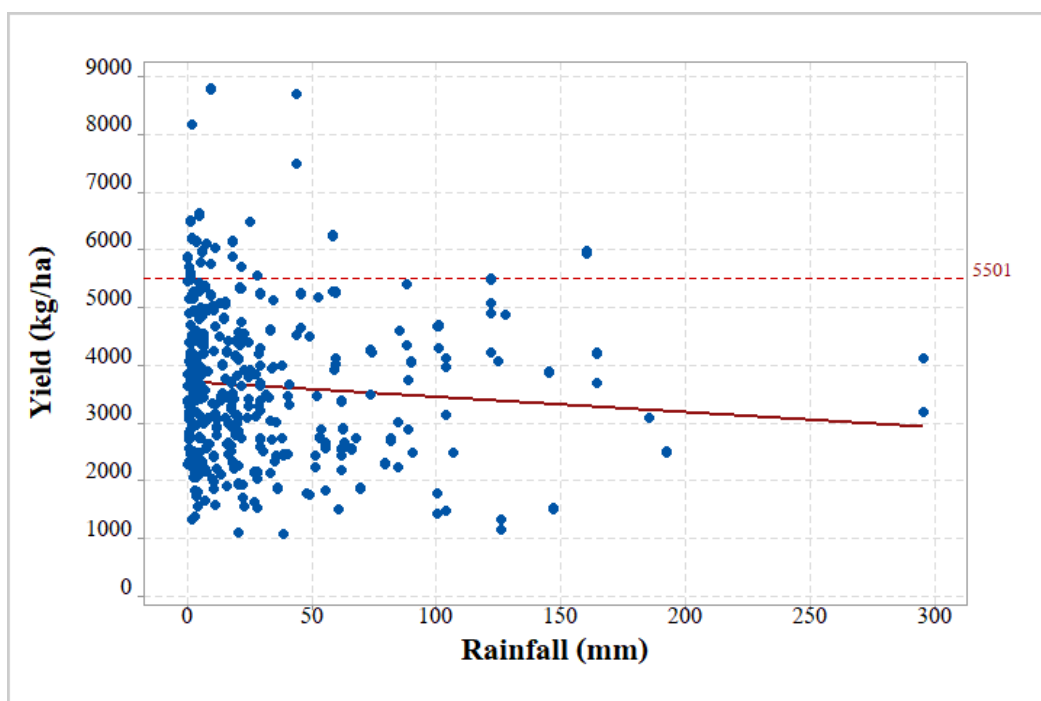
ผลการจำลองการเพาะปลูกข้าวรายฤดูกาล (Seasonal) ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ด้วยข้อมูลการคาดการณ์ของผลลัพท์ทั้ง 4 แบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 เทียบกับข้อมูลภูมิอากาศปี ค.ศ. 2015 (Benchmark year) ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง CERES-Rice จำลองผลผลิตข้าวของพื้นที่ศึกษาในจังหวัดพิษณุโลก โดยการให้น้ำด้วยวิธีประหยัดน้ำแบบการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ในฤดูนาปรัง ผลผลิตข้าวมีความแปรปรวนขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ (ภาพที่ 57-60) โดยความแปรปรวนของอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการจำลองผลผลิตข้าวมากกว่าปริมาณฝน ซึ่งค่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อทำให้ผลผลิตข้าวลดลง (Wu *et al.*, 2016; มัชฌานา และคณะ, 2562; จารุวรรณ และคณะ, 2564) ในทางตรงกันข้าม ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลกระทบต่อทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับแนวคิด Steduto *et al.* (2012) ในรายงาน FAO พบว่ารังสีอาทิตย์จะส่งผลกระทบต่อทุกส่วนของระบบการปลูกพืช ทั้งการคายน้ำ ค่าศักย์การคายระเหย การผลิตชีวมวล และผลผลิตของพืช



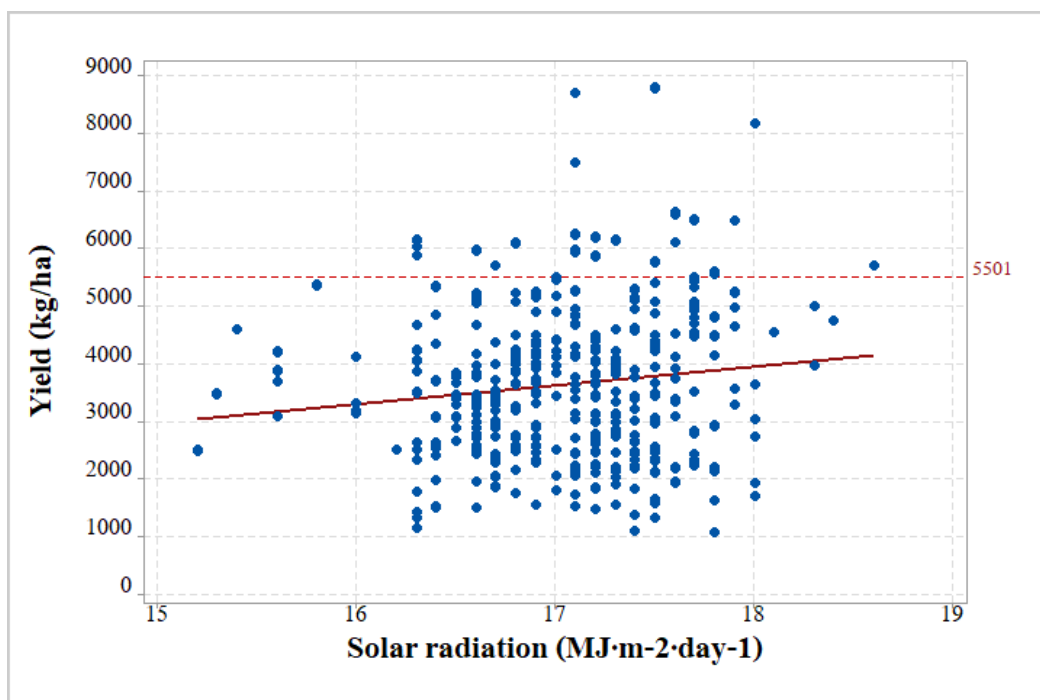
ภาพที่ 59 ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนอุณหภูมิต่ำสุด



ภาพที่ 60 ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนอุณหภูมิสูงสุด

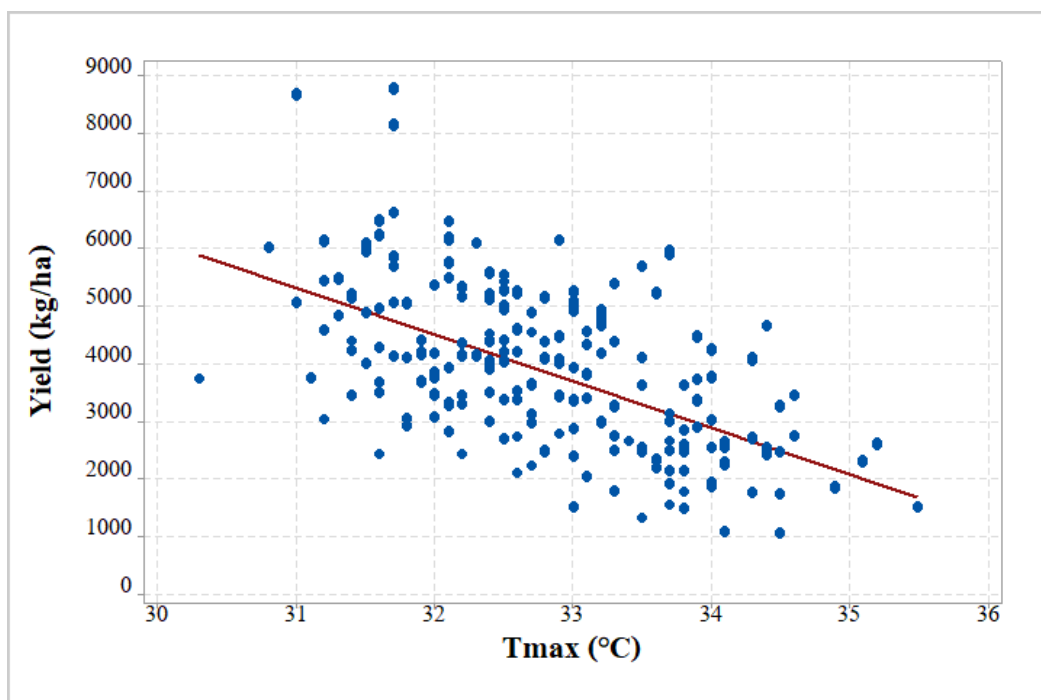


ภาพที่ 61 ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนปริมาณฝน

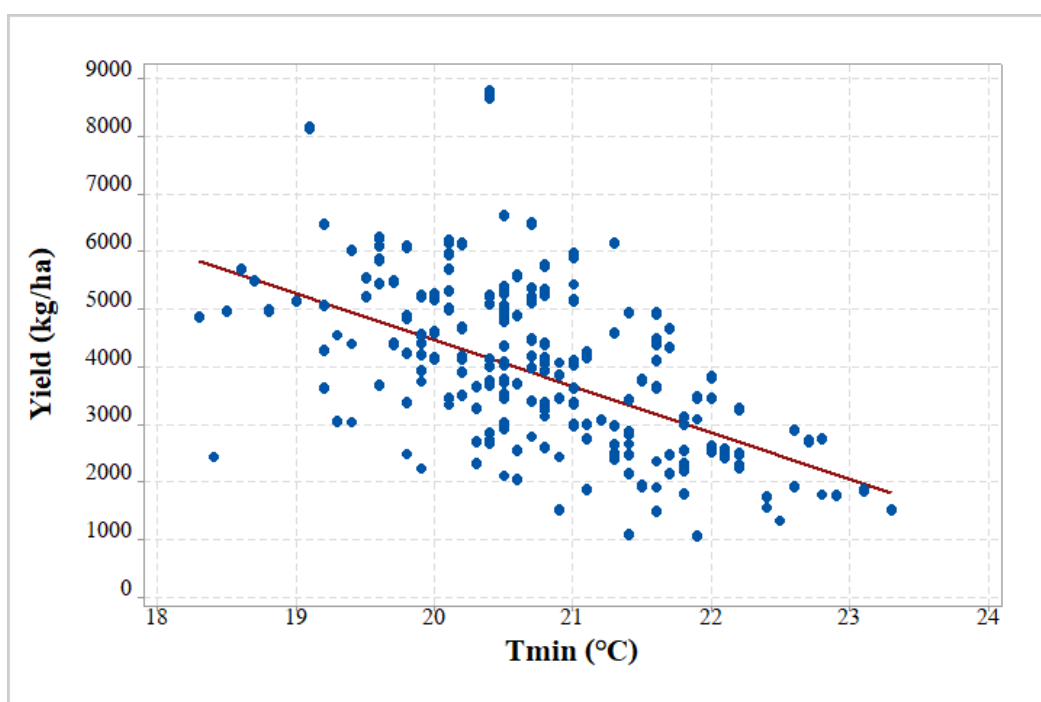


ภาพที่ 62 ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนรังสีอาทิตย์

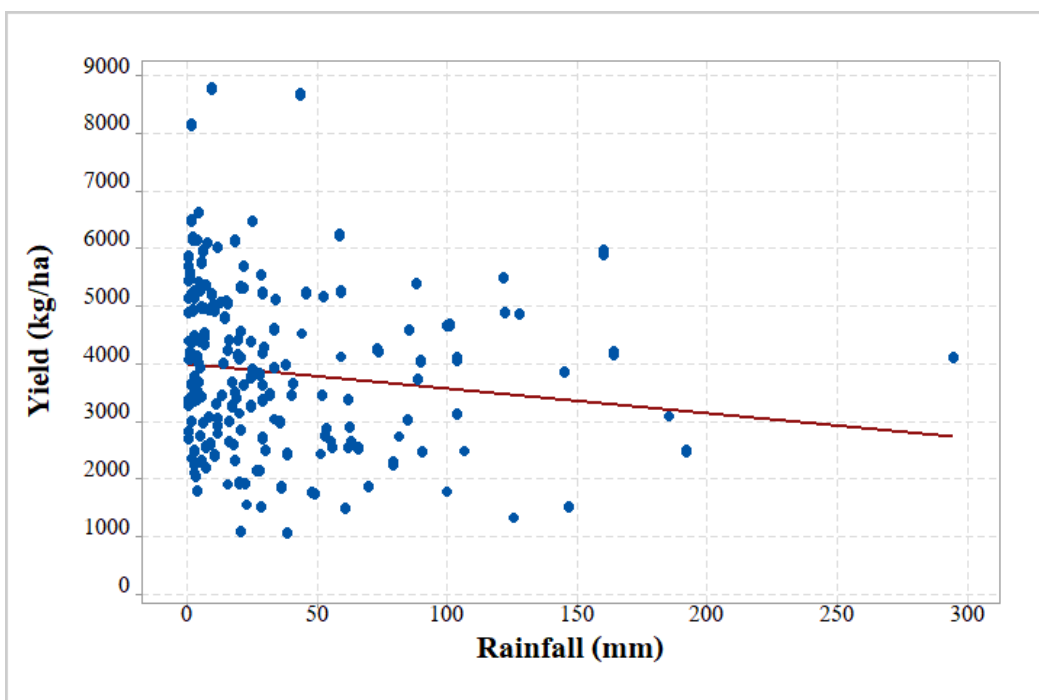
ผลการประเมินการจำลองวิธีเกษตรกรทั่วไปแบบการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ช่วง ปี ค.ศ. 2021-2050 ด้วยข้อมูลของผลลัพธ์ทั้ง 4 แบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ผลปรากฏว่า การจำลองผลผลิตข้าวมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีการให้น้ำด้วยวิธีประหยัดน้ำแบบการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก คือ ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ผลผลิตข้าวลดลงและค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พบว่าแบบจำลอง CERES-Rice มีศักยภาพในการจำลองผลผลิตข้าวที่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ไทล์สูงด้วยข้อมูลภูมิอากาศที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าระหว่าง 31-32 °C, อุณหภูมิต่ำสุดมีค่าระหว่าง 19-21.5 °C และพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าระหว่าง 17-18 MJ/m<sup>2</sup>-day ซึ่งค่าตัวแปรอุณหภูมิวิทยาที่เหมาะสมจากแบบจำลอง CERES-Rice อาจจะไม่สอดคล้องกับค่าสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและพันธุ์ข้าวไทยส่วนใหญ่จะมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่ดีในช่วงระหว่าง 25-33 °C โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการแตกกอของต้นข้าวอยู่ระหว่าง 25-30 °C และอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการออกดอกอยู่ระหว่าง 30-33 °C และอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเมล็ดในระยะเมล็ดแก่สุกอยู่ระหว่าง 20-25 °C ซึ่งผลลัพธ์ทั้ง 4 แบบจำลองภูมิอากาศโลก จะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 32.77 °C และค่าพิสัยส่วนใหญ่สูงกว่า 32 °C ซึ่งมากกว่าค่าที่เหมาะสมจากแบบจำลอง



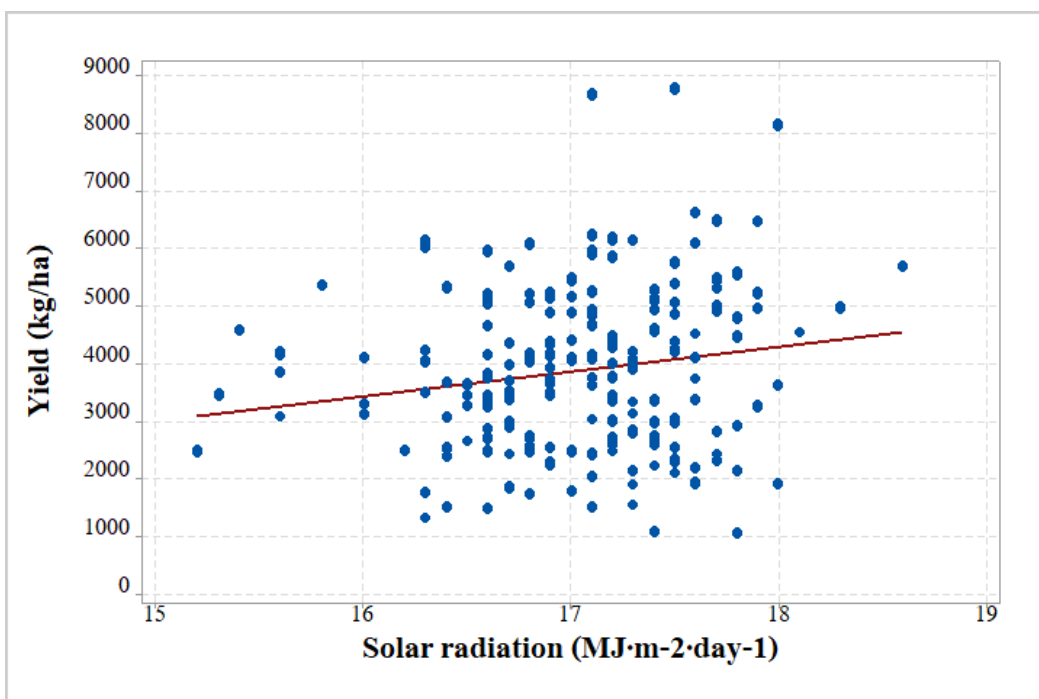
ภาพที่ 63 ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือ การได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนอุณหภูมิสูงสุด



ภาพที่ 64 ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือ การได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนอุณหภูมิต่ำสุด



ภาพที่ 65 ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือ การได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนปริมาณฝน



ภาพที่ 66 ผลการประเมินการใช้น้ำชลประทานแบบการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ความน่าเชื่อถือ การได้รับน้ำ 80-100% ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050 ต่อความแปรปรวนรังสีอาทิตย์

## วิจารณ์

### 1. การทดลองการเพาะปลูกข้าวในแปลงนาทดลอง

#### 1.1 คุณสมบัติดินในแปลงนาก่อนการเพาะปลูก

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดินด้านวิทยาศาสตร์ในแปลงนาก่อนการเพาะปลูกข้าวพบว่า เนื้อดินในแปลงนาทดลองมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัด มีค่า pH เท่ากับ 4.4 การที่ดินเป็นกรดจัดเนื่องจากกระบวนการออกซิเดชัน (การทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน) ของธาตุกำมะถันที่อยู่ในรูปสารประกอบไพไรต์ ทำให้เกิดกรดกำมะถันขึ้น ทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด ซึ่งค่าความเป็นกรดที่ระดับนี้ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดยมีผลทำให้รากข้าวไม่สามารถดูดซับธาตุอาหารที่สำคัญ อาทิ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมได้ดีเท่าที่ควร ซึ่งดินที่มีสภาพเป็นกรดจัดเป็นดินที่มีปัญหา ดังนั้น ก่อนที่จะนำพื้นที่แปลงนาทดลองทำการเพาะปลูกข้าวจำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดทางคุณสมบัติของดิน ลักษณะของพื้นที่ สภาพการท่วมขังน้ำ การระบายน้ำ และประเด็นที่สำคัญ คือ การเพาะปลูกข้าวต้องมีการบำรุงรักษาและวิธีการจัดการที่มีประสิทธิภาพ (อัจจิมา, 2559)

#### 1.2 การทดลองการเพาะปลูกข้าวนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560

จากการศึกษานี้ ทำการทดลองการเพาะปลูกข้าวนาปรังด้วยวิธีการให้น้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำรวม 3 วิธี แบ่งออกเป็นวิธีการส่งน้ำแบบขังน้ำระดับน้ำตื้น 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูกกับวิธีเปียกสลับแห้ง 2 วิธี การทดลองเพาะปลูกข้าวนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 พบว่า การให้น้ำชลประทานแบบด้วยวิธีเปียกสลับแห้งแบบ AWD1 (สภาวะเปียกและแห้ง 2 รอบ ที่ระยะแตกกอและระยะตั้งท้อง) มีความสูงต้น จำนวนต้นตอกอ และจำนวนรวงตอกอสูงที่สุด และส่งผลให้ผลผลิตสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ อาจเกิดจากมีฝนตกลงมาติดต่อกัน 3 วัน (อายุข้าว 56-58 วัน) ซึ่งยังอยู่ในช่วงการงดส่งน้ำ ทำให้เมื่อฝนตกในแปลงนามีระดับน้ำอยู่เพียงแค่ว่าระดับ 2.00 เซนติเมตร ในขณะที่ระดับน้ำในแปลงของวิธีการอื่น ได้แก่ วิธี CF และ AWD2 (สภาวะเปียกและแห้ง 3 รอบ ตลอดอายุปลูก) อยู่ที่ 7.80 และ 6.00 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อฝนตกประกอบกับอุณหภูมิอากาศช่วงนั้นลดลงเหลือเพียง 10.0-10.8 °C อาจส่งผลให้ต้นข้าวของวิธีการที่มีระดับน้ำในแปลงนาที่อยู่ระดับสูงเกิดการชะงักการเจริญเติบโต โดยสังเกตจากอาการสีของใบซึ่งเหลืองขึ้นมากกว่าแปลงที่ให้น้ำแบบ AWD1

การทดลองเพาะปลูกข้าวนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 พบว่า การใช้น้ำชลประทานแบบด้วยวิธีเปียกสลับแห้งทั้ง 2 วิธีการ มีผลให้ความสูงต้นข้าวระยะแตกกอสูงสุด (อายุ 55 วัน), ระยะตั้งท้อง (อายุ 80 วัน) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการส่งน้ำแบบขังน้ำระดับน้ำตื้น ตลอดอายุปลูกเห็นได้ชัดว่าวิธีการ AWD2 มีค่าความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการใช้น้ำแบบ AWD1 และ CF อาจเป็นผลมาจากสภาพดินที่มีน้ำขังส่งผลให้ธาตุไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของ  $\text{NH}_4^+$  ที่ถูกดูดซับอยู่ในอนุภาคของดินเหนียว (Clay mineral) เนื่องจากดินเหนียวมีพื้นที่ผิวเป็นประจุลบ ส่งผลให้ต้นข้าวสามารถนำ  $\text{NH}_4^+$  ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำสามารถเคลื่อนที่ไปยังรากข้าวและทำให้ข้าวดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ดี (ทัศนีย์, 2550) แต่ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

จากผลการศึกษาปี พ.ศ. 2559 พบว่า จำนวนเมล็ดลึบในทุกวิธีการค่อนข้างสูงอาจเกิดจากช่วงเวลาที่ข้าวตั้งท้องและออกรวงอยู่ระหว่างปลายเดือนมกราคมถึงต้นเดือนมีนาคมมีอุณหภูมิอากาศลดลงต่ำกว่า  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ถึง 2 รอบ คือ รอบที่ 1 วันที่ 25-28 มกราคม 2559 ( $10.0\text{-}14.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) และรอบที่ 2 วันที่ 7-13 กุมภาพันธ์ 2559 ( $7.8\text{-}14.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) และช่วงสัปดาห์ที่ข้าวออกรวงอุณหภูมิอากาศลดลงอยู่ระหว่าง  $15.0\text{-}20.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ซึ่งอุณหภูมิมิมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการให้ผลผลิตที่สมบูรณ์ ซึ่งพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตจะอยู่ระหว่าง  $25\text{-}33\text{ }^{\circ}\text{C}$  ถ้าอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป (ต่ำกว่า  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  สูงกว่า  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) จะมีผลต่อการงอกของเมล็ด การยึดของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อน การผสมเกสร เป็นต้น ดังนั้น อุณหภูมิที่สูงเกินไปและต่ำเกินไปช่วงที่มีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน จะส่งผลทำให้ได้ผลผลิตข้าวต่ำกว่าปกติ

จากผลการศึกษา ปี พ.ศ. 2560 มีจำนวนเมล็ดลึบในทุกวิธีการส่งน้ำค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับผลการทดลอง ปี พ.ศ. 2559 อาจเกิดจากในช่วงเวลาขณะที่ข้าวออกรวงในช่วงเดือนมีนาคมมีอุณหภูมิอากาศสูงกว่า  $35$  องศาเซลเซียส ซึ่งจะอุณหภูมิต่ำมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการให้ผลผลิต

เมื่อพิจารณาด้านผลผลิตจากผลการศึกษาปี พ.ศ. 2559 พบว่า การให้น้ำแบบวิธี AWD1 มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการให้น้ำอีก 2 วิธีการ ผลผลิตข้าวจากวิธี AWD1 ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 4.49 เปอร์เซ็นต์ แต่วิธี AWD2 ผลผลิตลดลง 1.34 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับผลผลิตข้าวจากวิธี CF ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Chapagain and Yamaji (2011) รายงานว่าการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งอาจส่งผลให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยการผลิตอื่น ๆ ด้วย เช่น การจัดการน้ำ, คุณสมบัติของดิน เป็นต้น โดยการให้น้ำแบบ

เปือกสลับแห่งสามารถลดปริมาณการใช้น้ำลงได้ 19.06-27.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ การให้น้ำแบบขังน้ำระดับน้ำต้นตลอดอายุปลูกและเมื่อนำปริมาณผลผลิตข้าวทั้งหมดและปริมาณการ ใช้น้ำทั้งหมด (น้ำชลประทาน+น้ำฝน) มาประเมินค่าผลิตภาพน้ำและค่ารอยเท้าน้ำ พบว่า วิธีการให้ น้ำแบบเปือกสลับแห่งทั้ง 2 วิธี มีค่าเฉลี่ยผลิตภาพน้ำสูงกว่าวิธีขังน้ำระดับต้น เนื่องจากมีปริมาณ การใช้น้ำน้อยกว่า แต่ผลผลิตไม่แตกต่างกัน และวิธีการให้น้ำแบบเปือกสลับแห่งทั้ง 2 วิธียังมี ค่าเฉลี่ยรอยเท้าน้ำที่ต่ำกว่าวิธีขังน้ำระดับต้น อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าวิธีการให้น้ำแบบประหยัดน้ำ ทั้ง 3 วิธีการ เป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้เพื่อลดการใช้น้ำสำหรับพื้นที่นาชลประทานในปัจจุบัน และอนาคตต่อไปได้

จากผลการศึกษา ปี พ.ศ. 2560 ผลทดลองพบว่า การให้น้ำแบบเปือกสลับแห่งทั้ง 2 วิธีการ ส่งผลให้ผลผลิตลดลง 3.95-4.47 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ การให้น้ำแบบขังน้ำระดับ ต้นตลอดอายุปลูก แต่ผลผลิตที่ได้จากวิธีการเปือกสลับแห่งยังสูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิตของ พันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2 ที่มีค่าเฉลี่ยผลผลิต 807 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมการข้าว, ม.ป.ป.)

การทดลองการเพาะปลูกข้าวนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ ปี พ.ศ. 2560 ในครั้งนี้เป็น การศึกษาการให้น้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำร่วมกับการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียง 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ใส่ ปุ๋ยสูตร 18-46-0 อัตรา 9 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยสูตร 0-0-60 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ใส่ ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 3 กิโลกรัมต่อไร่ รวมแล้วใส่ปุ๋ยเพียง 22 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งน้อยกว่าของการใส่ ปุ๋ยของเกษตรกรในปัจจุบันมาก แต่ค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวที่ได้รับจากการทดลองนี้ยังสูงกว่าค่าเฉลี่ย ผลผลิตพันธุ์พิษณุโลก 2 ซึ่งปกติมีค่าเฉลี่ย 807 กิโลกรัมต่อไร่ โดยปริมาณปุ๋ยที่ใส่ในแปลงนี้ สอดคล้องกับคำแนะนำกรมวิชาการเกษตรที่ระบุไว้ว่า ดินที่เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการเพาะปลูกข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง มีอัตราการการให้ปุ๋ยในโตรเจนเพียง 6 กิโลกรัมต่อไร่

ลักษณะเนื้อดินของแปลงทดลองมีเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวสูงมาก ทำให้น้ำในแปลงนา มีอัตราการซึมลึก (Percolation) ช้า ประกอบกับช่วงที่ดั่งน้ำตามแต่ละวิธีการมีอุณหภูมิอากาศต่ำ ไม่มีแสงแดด อัตราการระเหยต่ำ และมีฝนตกลงมา ทำให้อัตราการให้น้ำในแปลงนาลดลงช้ามากส่งผลให้ จำนวนรอบที่ดินแห้งน้อยกว่าแปลงนาที่มีเนื้อดินร่วนผสม และอาจมีปริมาณการใช้น้ำน้อยกว่า แปลงเกษตรกรทั่วไป



การทดลองครั้งนี้มีการเข้าทำลายของสัตว์ศัตรูข้าว โดยการเข้าทำลายของแมลงบั่วในระยะแตกกอ ทำให้ต้นข้าวมีลักษณะเปลี่ยนไปเป็นหลอดคล้ายต้นหอม ซึ่งข้าวต้นนั้นจะไม่สามารถให้ผลผลิตได้ และหนูที่จะเข้าทำลายในช่วงน้ำแห้ง ทำให้ข้อมูลปริมาณผลผลิตที่ได้อาจลดลงกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย

## 2. การประเมินผลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาในเขตจังหวัดพิษณุโลก ด้วยผลลัพธ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลก จำนวน 4 แบบจำลอง ได้แก่ EC-EARTH, GFDL-CM3, MIROC5 และ MPI-ESM-MR ทำการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 เทียบกับค่าสังเกตการณ์ในอดีต 30 ปี ช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 พบว่า พื้นที่ศึกษาจะมีแนวโน้มตัวแปรอุณหภูมิตหารายวันของค่าอุณหภูมิและปริมาณฝนเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาอนาคต แต่ค่าคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดรายวันมีการเปลี่ยนแปลงทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง

การจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีตช่วงปีพื้นฐานของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ทั้ง 4 แบบจำลอง ด้วยตัวแปรอุณหภูมิตหารายวันทั้ง 4 ตัวแปร ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับสภาพภูมิอากาศตามความเป็นจริงในระดับหนึ่ง ผลลัพธ์การจำลองของข้อมูล historical ของแต่ละแบบจำลองภูมิอากาศโลกสำหรับประเมินค่าตัวแปรอุณหภูมิและปริมาณฝน ให้ค่าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าตรวจวัดจริง (Cold bias) และจำลองค่าปริมาณฝนได้น้อยกว่าค่าตรวจวัดจริง (Low bias) แต่การจำลองข้อมูลชั่วโมงแสงแดดได้ค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าค่าตรวจวัดจริง (High bias) ตามปกติ ค่าตัวแปรอุณหภูมิตหารายวันที่ได้จากผลลัพธ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลกมักจะแตกต่างกันไปบ้างจากค่าตรวจวัดจริง เนื่องจากผลลัพธ์ตัวแปรอุณหภูมิตหารายวันจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นค่าเฉลี่ยใน grid box (ประมาณ 15 km×15 km×10 m) ขณะที่ค่าตรวจวัดจริงเป็นค่าที่วัดได้ในสถานีตรวจวัดอากาศที่จุดใดจุดหนึ่ง (Point measurement) ข้อสำคัญตัวแปรอุณหภูมิตหารายวันในบรรยากาศจะแปรผันทิศทางเดียวกันในตำแหน่งที่ใกล้กันและจะแปรผันแตกต่างกันขึ้นกับบริเวณสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกัน เช่น บริเวณพื้นที่ราบ พื้นที่ใกล้ภูเขา แม่น้ำ ตลอดจนทะเลมหาสมุทร

จากผลวิเคราะห์ด้วยเกณฑ์ทางสถิติด้วยค่าดัชนีต่าง ๆ รวมทั้งการคำนวณค่าทาง BIAS และ RMSE ของการจำลองค่าอุณหภูมิต่ำสุดและค่าอุณหภูมิตสูงสุดเทียบกับค่าสังเกตการณ์ในช่วงเวลา ปี ค.ศ. 2013-2018 และผลการวิเคราะห์จากค่า BIAS และ RMSE พบว่า แบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้ง

4 แบบจำลอง มีค่า BIAS ระหว่าง 0.99-1.01 ใกล้เคียง 1.0 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ แบบจำลอง MPI-ESM-MR รองลงมา คือ แบบจำลอง GFDL-CM3, MIROC5 และ EC-EARTH ตามลำดับ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยมีความแตกต่างระหว่างแบบจำลองน้อยมาก อนุมานได้ว่าทุกแบบจำลอง GCMs มีศักยภาพในการคาดการณ์ตัวแปรอุณหภูมิได้ในระดับที่ดีมาก

การจำลองค่าปริมาณน้ำฝนเทียบกับค่าสังเกตการณ์ในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2013-2018 ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 พบว่า แบบจำลอง MIROC5 มีค่า BIAS ที่ดีที่สุด คือ 1.00 และ 1.08 แต่ผลการคาดการณ์จากแบบจำลอง GFDL-CM3 มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด ซึ่งค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลอง GFDL-CM3 และ แบบจำลอง MIROC5 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลกที่ใช้ข้อมูลรายวันของอุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และปริมาณฝนรายวัน ในช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 จาก 4 แบบจำลองภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ที่ผ่านขั้นตอนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติแล้ว พบว่า ทั้ง 4 แบบจำลอง ให้ผลลัพธ์การคาดการณ์ค่าอุณหภูมิต่ำสุดและค่าอุณหภูมิสูงสุดไปในแนวทางเดียวกัน ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิต่ำสุดและค่าอุณหภูมิสูงสุดเพิ่มขึ้นประมาณ 0.90-1.63 °C เมื่อเทียบกับค่าอุณหภูมิต่ำสุดและค่าอุณหภูมิสูงสุดสังเกตการณ์ในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 และภาพจำลองปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีจาก 4 แบบจำลองให้ค่าปริมาณฝนที่สูงขึ้น โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 จากแบบจำลอง EC-EARTH, GFDL-CM3, MIROC5 และ MPI-ESM-MR มีค่าเฉลี่ย 1,564.03, 1,293.93, 1,591.40 และ 1,480.08 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าปริมาณฝนสังเกตการณ์ในช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 ที่มีค่าเท่ากับ 1,354.15 มิลลิเมตรต่อปี จากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง MIROC5 มีค่า BIAS ที่ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนที่สูงขึ้น 15.36 ถึง 19.68 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ตามลำดับ

ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 มีความแตกต่างกันเนื่องจากค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกหลักที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงทศวรรษ ทำให้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามช่วงเวลาในอนาคตมีความแตกต่างกัน โดยช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 ภายใต้ภาพฉายการจำลอง RCP 8.5 มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าภายใต้ RCP 4.5 ซึ่งในช่วงปี ค.ศ. 1961-2012 ค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนจากทั้งสอง RCPs อาจจะไม่แตกต่างกัน แต่ในช่วง ปี ค.ศ. 2021-2100 อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก RCP 4.5 มีค่าน้อยกว่า RCP 8.5 ดังนั้น เพื่อการนำผลการคาดการณ์ภูมิอากาศในอนาคตไปใช้ประโยชน์ด้านการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง

สภาพภูมิอากาศและการวางแผนจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากการเลือกใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลกหลายแบบจำลองแล้ว ควรพิจารณาถึงระดับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันไป เพื่อลดความเสี่ยงของผลลัพธ์การคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก รวมทั้งการใช้ข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศนี้ควรคำนึงถึงความไม่สอดคล้องของข้อมูลตัวแปรทางอุทก-อุตุนิยมวิทยา (Hydro-meteorological variable) อันเนื่องมาจากผลจากปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในระดับท้องถิ่น เช่น ผลจากภูมิอากาศในพื้นที่เฉพาะ (Micro climate) ซึ่งได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมในท้องถิ่นนั้น ๆ (สุจริต, 2553)

### 3. การศึกษาแบบจำลองข้าวด้วยแบบจำลอง CERES-Rice

แบบจำลอง CERES-Rice สามารถประเมินการจำลองการเจริญและผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ที่ปลูกด้วยวิธีนาคภายใต้การจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำได้ผลการประเมินที่ค่อนข้างแม่นยำสำหรับวิธีการขังน้ำระดับตื้นที่รักษาความชื้นในดินตลอดฤดูปลูกข้าว แต่ความสามารถในการจำลองผลผลิตข้าวภายใต้การจัดการน้ำด้วยวิธีเปียกสลับแห้งได้ไม่ดีนักแบบจำลองสามารถทำนายผลผลิตข้าวในระดับแปลงนาทดลองได้ค่อนข้างดีในปีการเพาะปลูกนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสม แต่การจำลองในปีการเพาะปลูกนาปรัง ปี พ.ศ. 2560 ผลการจำลองมีค่าต่ำกว่าผลผลิตจริง (Experiment result) เนื่องจากช่วงเวลาการออกดอกผลผลิตข้าวมีสถานะอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติ ส่วนการทำนายผลผลิตข้าวในระดับรายฤดูกาล (Seasonal) พบว่า หากข้อมูลมีช่วงสถานะภูมิอากาศไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวจากความแปรปรวนภูมิอากาศที่มีค่าอุณหภูมิสูงเกินหรือต่ำเกินไปในช่วงการเจริญพันธุ์ ช่วงการออกดอกหรือผสมเกสรของข้าวแค่ช่วงระยะเวลาสั้นก็จะส่งผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของกระบวนการสร้างเมล็ดข้าว ถึงแม้ว่าจะมีค่าเฉลี่ยรายเดือนหรือรายปีของค่าภูมิอากาศในแต่ละปีการเพาะปลูกไม่แตกต่างกันก็ตาม ซึ่งผลการจำลองในระดับรายฤดูกาลที่มีช่วงการจำลองปีการเพาะปลูกจำนวนปีมากจะมีความแปรผันของการจำลองผลผลิตมากขึ้นตามไปด้วยเช่นเดียวกัน

การทดลองเพาะปลูกข้าวในภาคสนามของการศึกษานี้เลือกใช้ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวได้ถูกวิเคราะห์ไว้ในฐานข้อมูลของแบบจำลอง CERES-Rice แล้ว แต่ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวที่บรรจุในฐานข้อมูลอาจจะไม่สอดคล้องกับผลการทดลองเพาะปลูกข้าวในแปลงนาทดลอง ปี พ.ศ. 2559 เนื่องจากการวิจัยประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวที่ผ่านมาจะทำการประเมินในแปลงนาทดลองที่มีการส่งน้ำท่วมขังตลอดฤดูปลูกสถานะดินไม่มีการขาดน้ำ ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวที่ใช้อาจจะไม่มีความถูกต้อง

ทั้งหมด อาทิเช่น ค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนักรเมล็ดข้าว (G2) จากฐานข้อมูลมีค่าน้ำหนักรเมล็ด 1 เมล็ดเท่ากับ 0.0300 กรัม แต่ผลการทดลองเพาะปลูกข้าวในแปลงนาทดลอง G2 มีค่าเท่ากับ 0.0280 กรัมต่อเมล็ด ส่งผลให้การจำลองน้ำหนักรเมล็ดมีน้ำหนักรผลิตสูงการทดลองเพาะปลูกจริง ดังนั้น ถ้าหากข้อมูลนำเข้าไม่ว่าจะเป็นข้อมูลดินหรือภูมิอากาศ รวมทั้งข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวที่ไม่มีความถูกต้อง จะมีผลให้แบบจำลองทำการจำลองและประเมินผลออกมามีความคลาดเคลื่อนและส่งผลกระทบต่อกรนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองดังกล่าวผิดพลาดจากความเป็นจริงได้ การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CERES-Rice จะต้องคำนึงถึงความถูกต้องของข้อมูลนำเข้าเป็นประเด็นที่สำคัญมาก

นอกจากนี้ ขั้นตอนการสังเคราะห์ข้อมูลที่ขาดหายหรือไม่สมบูรณ์ในแบบจำลองอาจจะมีผลต่อการจำลองผลการศึกษา เช่น ในกรณีไม่มีค่าภูมิอากาศตัวแปรพลังงานแสงอาทิตย์ การต่อเติมข้อมูลภูมิอากาศตัวแปรดังกล่าวในแบบจำลองจะทำการสังเคราะห์ค่าพลังงานแสงอาทิตย์จากค่าตัวแปรชั่วโมงแสงแดดหรือตัวแปรอุณหภูมิ ซึ่งในวันที่ฟ้าครึ้มมีเมฆปกคลุมอาจจะมีผลคลาดเคลื่อนได้ และในกรณีการประเมินค่าศักยภาพการคายระเหยของการเพาะปลูกข้าว หากมีข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศไม่ครบตามสมการ FAO-56 Penman-Monteith ซึ่งเป็นสมการที่ยอมรับในการประเมินค่าศักยภาพการคายระเหย แบบจำลองจะทำการประเมินค่าศักยภาพการคายระเหยจากสมการ Priestley-Taylor ซึ่งเป็นสูตรการคำนวณค่าศักยภาพการคายระเหยอิงตามตัวแปรพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก ผลการประเมินอาจจะไม่ตรงตามสมการ FAO-56 Penman-Monteith ที่ใช้ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศหลายตัวแปร ทำให้มีค่าคลาดเคลื่อนกับค่าศักยภาพการคายระเหยของการเพาะปลูกข้าวจริง รวมทั้งกระบวนการจำลองผลการศึกษามีผลต่อเนื่องไปยังพารามิเตอร์อื่น เช่น การจำลองการเจริญเติบโตของข้าวที่มีการจำลองช่วงออกสุกแก่ของผลผลิตข้าวและอายุวันเก็บเกี่ยวผลผลิตที่สั้นอาจจะมีผลการประเมินค่าปริมาณผลผลิตและการใช้น้ำที่น้อยกว่าการอายุข้าวที่ยาวกว่า ดังนั้น ความถูกต้องของข้อมูลนำเข้าเป็นข้อคำนึงที่สำคัญแล้ว ความสมบูรณ์ของข้อมูลนำเข้าก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน

จากผลการจำลองโดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศของผลคาดการณ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้ง 4 แบบจำลอง เพื่อคาดการณ์ผลผลิตข้าวในอนาคต ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 โดยวิธีการขังน้ำตื้นที่ระดับ 5 เซนติเมตร (วิธีเกษตรกรทั่วไป) พบว่า สภาพภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาปรัง โดยเฉพาะตัวแปรอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยและอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาปรังมากกว่าตัวแปรปริมาณน้ำฝน การเพิ่มอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูกร้อยละ 10 ส่งผลกระทบให้ผลผลิตข้าวนาปรังเฉลี่ยลดลง 262.59 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (42.01 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ อภิชาติ (2556) พบว่า อุณหภูมิ

ต่ำสุดเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลง 10 เท่า และการเพิ่มอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูกร้อยละ 10 ส่งผลกระทบให้ผลผลิตข้าวนาปรังเฉลี่ยลดลง 331.33 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (53.01 กิโลกรัมต่อไร่) สอดคล้องกับการศึกษาของ เบญจวรรณ (2552) ที่พบว่า จำนวนวันที่มีอากาศร้อนและสภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลกระทบโดยตรงต่อการเพาะปลูกข้าว ตั้งแต่ในระยะตั้งตัวของต้นกล้า ระยะสร้างช่อดอก การผสมเกสร และการสะสมน้ำหนักของเมล็ดทำให้ผลผลิตข้าวลดลง ในขณะที่การเพิ่มปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยร้อยละ 10 ส่งผลกระทบให้ผลผลิตข้าวนาปรังเฉลี่ยลดลง 259.13 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (41.46 กิโลกรัมต่อไร่) เทียบกับข้อมูลผลผลิตข้าวและสภาพภูมิอากาศของปี ค.ศ. 2015 (Benchmark year) โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนที่ตกในช่วงเพาะปลูกอาจจะมีรูปแบบการตกในช่วงการเจริญพันธุ์ของข้าวทำให้มีผลกระทบต่อผสมเกสรหรือออกดอก ปริมาณฝนไม่ได้ตกในช่วงเวลาที่ข้าวมีความต้องการใช้น้ำ นอกจากนี้พบว่าค่าช่วงแสงแดดเฉลี่ยหรือค่าพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงที่จะมีอิทธิพลต่อการจำลองผลผลิตข้าว

การประเมินผลการจำลองผลผลิตข้าวโดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร (วิธีเกษตรกรทั่วไป) ได้ค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวในอนาคต ช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของการจำลองผลผลิตข้าวรายฤดูกาล ในฤดูนาปรัง ช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 บ่งชี้ได้ชัดว่า ผลผลิตข้าวในอนาคตมีแนวโน้มลดลง ซึ่งปริมาณผลผลิตข้าวในอนาคตที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 75 % มีแนวโน้มลดลงประมาณ 6.78 % และค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำชลประทานในอนาคตที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50-75 % มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 3.73-6.58 % และการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหยมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองการเพาะปลูกข้าวจริงทั้ง 2 ฤดูนาปรัง ในปี พ.ศ. 2559-2560 รวมทั้งผลการจำลองอายุวันสุกแก่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวหลังการปักดำในอนาคตมีจำนวนอายุวันที่สั้นลงเหลือประมาณ 96 วัน ซึ่งอายุข้าวที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 75 % มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงการจำลองการเพาะปลูกข้าวรายฤดูกาล ปี ค.ศ. 1961-2018 และจำนวนอายุข้าวในอนาคตที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 100 % มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงการจำลองการเพาะปลูกข้าวจริงที่มีอายุข้าว 104 วัน นับตั้งแต่วันปักดำถึงวันเก็บเกี่ยวผลผลิต

การประเมินผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานในอนาคตช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร (วิธีเกษตรกรทั่วไป) จากแบบจำลอง EC-EARTH, GFDL-CM3, MIROC5 และ MPI-ESM-MR ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 พบว่า มีค่าเฉลี่ย 904.40, 921.35, 915.75 และ 911.10 มิลลิเมตรต่อฤดูปลูก ดังนั้น หากเกษตรกรใช้เทคนิคการชลประทานแบบประหยัดน้ำตามแผนการส่งน้ำชลประทานในปี พ.ศ. 2559 และ 2560 โดยวิธีขังน้ำในระดับดิน (CF) และแบบเปียกสลับแห้งทั้งวิธี AWD1 และ AWD2 สามารถลดการใช้น้ำชลประทานได้ถึง 32.82 %

45.75 % และ 49.62 % ตามลำดับ สรุปได้ว่าวิธีการชลประทานแบบประหยัดน้ำทั้ง 3 รูปแบบสามารถลดการใช้น้ำเฉลี่ยได้ถึง 42.73 % เมื่อเทียบกับวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CERES-Rice เพื่อเป็นเครื่องมือในการสนับสนุนการตัดสินใจมาใช้ในระบบการเพาะปลูกข้าวนาชลประทานนั้น ผู้ใช้งานต้องมีข้อมูลดินและภูมิอากาศที่ถูกต้อง และต้องเข้าใจข้อกำหนดของแบบจำลองและคำนึงถึงหลักการสมมติฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อเลียนแบบระบบการเพาะปลูกจริง ซึ่งแบบจำลองยังมีข้อจำกัดในเรื่องความสามารถในการพยากรณ์หรือจำลองการใช้งานในบางสถานการณ์ นอกเหนือจากหลักการของแบบจำลองที่มีสมมติฐานภายใต้การจัดการและสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการในการแบ่งปันสารสังเคราะห์ไปยังเมล็ดข้าวแล้ว บางสถานการณ์ของการจำลองของแบบจำลอง CERES-Rice ยังไม่สามารถเลียนแบบการเจริญเติบโตทางธรรมชาติได้ครบสมบูรณ์ เช่น สถานะความเป็นจริงของช่วงเวลาการหยุดส่งน้ำของข้าวหลังระยะการตั้งตัวของกล้าข้าวที่จะช่วยให้มีการกระตุ้นการเจริญเติบโตของรากข้าว รวมทั้งสถานการณ์สภาวะผิวดินแปลงนาที่แห้งแตกในช่วงการหยุดส่งน้ำแต่ยังมีค่าความชื้นในดินที่ข้าวยังสามารถนำไปประโยชน์ได้ เป็นกระบวนการที่ช่วยเพิ่มการออกซิเดชันของรากข้าวและการได้รับธาตุอาหารในกรณีให้ปุ๋ยในช่วงเวลานี้ ถือเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต รวมทั้งปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การระบาดของโรคและแมลง ที่แบบจำลองยังไม่สามารถจำลองสถานการณ์ได้ ทั้งนี้เพื่อให้ผลการจำลองมีประสิทธิภาพมากขึ้น อาจจะต้องคำนึงถึงความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูลนำเข้า และปัจจัยข้อจำกัดต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนี้ ซึ่งล้วนส่งผลต่อความสามารถในการคำนวณจำลองของแบบจำลอง CERES-Rice ทั้งสิ้น

อย่างไรก็ตาม ประโยชน์ของแบบจำลอง CERES-Rice คือมีศักยภาพที่จะประเมินผลผลิตของข้าวหลายพันธุ์ในแปลงนาที่มีเนื้อดินชนิดต่าง ๆ ของประเทศไทยทั้งในระดับการจัดการแบบการเกษตรชลประทานและเกษตรน้ำฝน และภายใต้สภาพภูมิอากาศทั้งในอดีตและอนาคตได้ถึง ปี ค.ศ. 2100 นอกจากนี้ ผลลัพธ์การจำลองจากแบบจำลองสามารถนำไปเชื่อมโยงกับระบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อประเมินผลผลิตข้าวและผลิตภาพน้ำเชิงพื้นที่ที่ภูมิภาคได้ (เอกพันธ์ และ เอกสิทธิ์, 2564)

จากสถานการณ์ทรัพยากรน้ำในประเทศไทย โดยคณะกรรมการกำหนดนโยบายและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ (2558) รายงานว่าความต้องการใช้น้ำในประเทศไทยจากข้อมูล ปี พ.ศ. 2557 มีความต้องการน้ำรวมทั้งประเทศประมาณ 151,750 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยภาคการเกษตรมีความต้องการใช้น้ำสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 75 ของปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด ประมาณ 113,812 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยจัดสรรน้ำให้แก่พื้นที่เกษตรในเขตชลประทานเฉลี่ยปีละ 65,000 ล้านลูกบาศก์เมตร และรายงานสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2559) ได้ศึกษาเพื่อประเมินและคาดการณ์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากรน้ำ พบว่า มีแนวโน้มจะเกิดพื้นที่เสี่ยงในการเกิดภัยแล้งเป็นพื้นที่กว้างกว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการเกิดอุทกภัย สำหรับพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยแล้งในภาพรวมทั้งประเทศ คิดเป็น 123,751,221 ไร่ อยู่ในพื้นที่ชลประทาน 16,504,061 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 13.34 ส่วนพื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้งทั้งประเทศ และคาดว่าจะมีแนวโน้มประสพสถานะแห้งแล้งที่ยาวนานขึ้นในอนาคต (บัญชา, 2559) ดังนั้น การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตข้าวจะมีส่วนช่วยลดความเสี่ยงหรือลดโอกาสที่ผลผลิตข้าวจะเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นแนวทางที่สำคัญ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sinnarong *et al.* (2019) พบว่า การพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรข้าวเป็นตัวแปรลดความแปรปรวนของผลผลิตข้าวจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ รวมทั้งการศึกษาที่เป็นข้อมูลจะช่วยเพิ่มความตระหนักรู้แก่เกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการร่วมจัดการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการใช้น้ำในภาคเกษตรกรรมต่อไป

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

การประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก กรมอุตุนิยมวิทยา และผลลัพธ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลก จำนวน 4 แบบจำลอง ภายใต้ภาพฉาย RCP 4.5 และ RCP 8.5 เพื่อศึกษาวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาอนาคตช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 เปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากช่วงปี ค.ศ. 1961-2018 ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ศึกษาจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยมีค่าคาดการณ์อุณหภูมิที่สูงขึ้นและปริมาณฝนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดือนฤดูร้อนและค่าปริมาณฝนมีลักษณะรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนตกที่เพิ่มขึ้นในช่วงเดือนฤดูฝน และมีฝนตกน้อยลงในช่วงเดือนฤดูร้อน แม้ว่าผลคาดการณ์แสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีที่เพิ่มขึ้นก็ตาม แต่ปริมาณน้ำฝนตกในช่วงระยะการเจริญพันธุ์ของข้าวนาปรัง (เดือนมกราคม-กุมภาพันธ์-มีนาคม) มีแนวโน้มลดลง บ่งชี้ถึงในอนาคตอาจจะมีช่วงระยะเวลาที่ฝนแล้งมากขึ้น

จากการศึกษานี้ ได้ทำการทดลองการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559 และ พ.ศ. 2560 ด้วยวิธีการให้น้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำ (Water-saving irrigation method) รวม 3 วิธี แบ่งออกเป็นวิธีการส่งน้ำแบบขังน้ำตื้น (Shallow Continuous Flooding, SCF) ที่ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก กับวิธีการส่งน้ำแบบเปียกสลับแห้ง (Alternated Wet and Dry, AWD) จำนวน 2 รูปแบบ ผลการทดลองเพาะปลูกข้าวนาปรัง ทั้ง 2 ฤดูนาปรัง พบว่า การให้น้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำทั้ง 3 วิธี ส่งผลทำให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวมีความแตกต่างกันไปตามฤดูกาล ซึ่งการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งส่งผลให้ผลผลิตข้าวทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบขังน้ำระดับตื้นตลอดอายุปลูก แต่ผลผลิตข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลผลิตข้าวที่ได้จากวิธีการให้น้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำทั้ง 3 วิธีนี้ยังสูงกว่าค่าผลผลิตเฉลี่ยของพันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2 ที่มีค่าผลผลิตเฉลี่ยประจำพันธุ์ประมาณ 807 กิโลกรัมต่อไร่ รวมทั้งสามารถลดปริมาณการใช้น้ำที่ส่งผลให้มีค่าผลิตภาพน้ำ (Water productivity) สูงกว่าวิธีการทำนาแบบเกษตรกรทั่วไปที่นิยมใช้การขังน้ำระดับสูง 15-20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก นอกจากนี้ ค่ารอยเท้าน้ำ (Water footprint) ของการเพาะปลูกข้าวด้วยวิธีการให้น้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำทั้ง 3 วิธี ยังมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่ารอยเท้าน้ำจากการเพาะปลูกข้าวด้วยวิธีการทำนาแบบเกษตรกรทั่วไปอีกด้วย ค่าผลิตภาพน้ำและค่ารอยเท้าน้ำที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับแผน



และนโยบายยกระดับผลิตภาพการใช้น้ำของหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติที่กำลังส่งเสริมเทคนิคการเพาะปลูกข้าวที่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในพื้นที่ชลประทาน รวมทั้งส่งเสริมงานวิจัยนวัตกรรมชลประทานที่ช่วยลดการสูญเสียและนำน้ำมาใช้ในระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพน้ำในการผลิต สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนนโยบายการเพิ่มศักยภาพความมั่นคงของน้ำ (Water security) ด้านการเกษตรของประเทศไทยได้ ปัจจุบันเทคนิคการชลประทานแบบประหยัดน้ำเป็นที่ยอมรับและเผยแพร่ในกลุ่มเกษตรกรหลาย ๆ ประเทศที่มีการเพาะปลูกข้าวมาก ได้แก่ ประเทศจีน เวียดนาม บังกลาเทศ และอินเดีย (Biao *et al.*, 2019)

การศึกษาแบบจำลองข้าวครั้งนี้ สรุปได้ว่า แบบจำลอง CERES-Rice มีความสามารถที่จะจำลองผลผลิตข้าวและปริมาณการใช้น้ำชลประทานได้ผลดีในระดับที่น่าพอใจระดับหนึ่ง ผลการศึกษาพบว่า การจำลองผลผลิตข้าวของแบบจำลอง CERES-Rice จะขึ้นกับข้อมูลนำเข้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลดินและข้อมูลภูมิอากาศ ซึ่งการจำลองผลผลิตข้าวของแบบจำลอง CERES-Rice จะประเมินผลผลิตข้าวแปรผันตามสถานะที่เหมาะสม เช่น สภาพความชื้นในดินกับปัจจัยการผลิตอื่น ๆ ที่เหมาะสม นอกจากนี้พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อผลผลิตข้าวมากกว่าค่าปริมาณน้ำฝน การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยร้อยละ 10 จะส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลง 262.59-331.33 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (42.01-53.01 กิโลกรัมต่อไร่) และการเพิ่มปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยร้อยละ 10 ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวแปรผันเฉลี่ยลดลง 259.13 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (41.46 กิโลกรัมต่อไร่) ในขณะที่ตัวแปรชั่วโมงแสงแดดหรือค่าพลังงานแสงอาทิตย์มีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวแปรผัน แต่ไม่ได้มีอิทธิพลต่อการเพิ่มผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญแต่อย่างใด

ผลการจำลองผลผลิตข้าวและปริมาณการใช้น้ำชลประทานมีความอ่อนไหวตอบสนองต่อวิธีการให้น้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำที่มีรูปแบบการหยุดส่งน้ำชลประทานแบบเป็ยกสลับแห่งที่มีผลทำให้ผิวดินในแปลงนามีสภาวะแห้งและเปียกในบางช่วงเวลาการเพาะปลูก ถึงแม้ว่ายังคงมีความชื้นในดินที่ข้าวสามารถนำไปประโยชน์ได้ แต่สถานะดังกล่าวอาจจะส่งผลให้แบบจำลองไม่สามารถประเมินค่าการให้ผลผลิตที่ตรงกับสภาพความเป็นจริงได้ นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวยังเป็นปัจจัยสำคัญที่จะบ่งชี้ถึงความถูกต้องแม่นยำในการจำลองของแบบจำลอง CERES-Rice หากใช้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวไม่มีความถูกต้อง จะมีผลให้แบบจำลองทำการจำลองและประเมินผลออกมามีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ โดยทั่วไปการวิจัยประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวในฐานข้อมูลของแบบจำลองจะทำการประเมินในแปลงนาทดลองที่มีการส่งน้ำท่วมขังตลอดฤดูปลูก สภาพะดินไม่มีการขาดน้ำ ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวอาจจะไม่สอดคล้องต่อการประเมินการจัดการน้ำชลประทานแบบ

วิธีเปียกสลับแห้ง แต่มีความสามารถในการจำลองสำหรับวิธีการส่งน้ำแบบให้น้ำต่อเนื่องหรือขังน้ำตลอดฤดูปลูกได้ดี ผลการจำลองของแบบจำลอง CERES-Rice พบว่า วิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร (วิธีเกษตรกรทั่วไป) ผลผลิตข้าวในอนาคตช่วงปี ค.ศ. 2021-2050 มีแนวโน้มลดลง ปริมาณผลผลิตข้าวในอนาคตที่เปอร์เซ็นต์ไถ่ 75 % มีแนวโน้มลดลงประมาณ 6.78 % และค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำชลประทานในอนาคตที่เปอร์เซ็นต์ไถ่ 50-75 % มีแนวโน้มความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 3.73-6.58 % ผลการจำลองแสดงถึงแนวโน้มการทำนาโดยวิธีเกษตรกรทั่วไปในอนาคตต้องใช้ปริมาณน้ำชลประทานเพิ่มขึ้น ดังนั้น หากเกษตรกรใช้เทคนิคการชลประทานแบบประหยัดน้ำตามแผนการส่งน้ำชลประทานในปี พ.ศ. 2559 และ 2560 โดยวิธีขังน้ำในระดับดิน (SCF) และแบบเปียกสลับแห้งทั้งวิธี AWD1 และ AWD2 สามารถลดการใช้น้ำชลประทานเฉลี่ยได้ถึง 32.82 %, 45.75 % และ 49.62 % ตามลำดับ สรุปได้ว่าวิธีการชลประทานแบบประหยัดน้ำทั้ง 3 รูปแบบ สามารถลดการใช้น้ำเฉลี่ยได้ถึง 42.73 % เมื่อเทียบกับวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก

ดังนั้น การใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดประสิทธิภาพพร้อมรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีความผันผวนและส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับภาคการเกษตรกรรม วิธีการจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำด้วยวิธีการส่งน้ำแบบขังน้ำที่ระดับน้ำดินและวิธีแบบเปียกสลับแห้ง (Belder *et. al.*, 2004; Zhang *et. al.*, 2020) เป็นเทคนิคการชลประทานที่เหมาะสมสำหรับใช้เพื่อการจัดสรรน้ำชลประทานในสถานการณ์ปัจจุบันและอนาคต สามารถลดการใช้น้ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยลดการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าวได้อย่างมาก (อัจฉรา และ บัญชา, 2551; ดวงภา และ บัญชา, 2557; Alden *et. al.*, 2016) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแบบเกษตรกรทั่วไปที่ทำการเพาะปลูกข้าวแบบให้น้ำท่วมขังที่ระดับ 15-20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตข้าว รวมทั้งเพิ่มศักยภาพระบบการผลิตของข้าวนาชลประทานได้ด้วย

### ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาและพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับสถานี โดยใช้เทคนิคการลดมาตราส่วนเชิงสถิติและผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก จำนวน 4 แบบจำลอง การศึกษาครั้งต่อไปในพื้นที่อื่น ๆ อาจจะมีการศึกษาเพิ่มเติม โดยเทคนิคการลดมาตราส่วนชนิดอื่นประกอบ เช่น แบบจำลอง LARS-WG, MarkSim (วิธี on web) หรือแบบจำลอง PRECIE (Providing Regional Climates for Impacts Studies) และการใช้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Models) รวมทั้งการเลือกใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCMs) ที่ได้รับการพัฒนาในฐานข้อมูล CMIP6 และระยะต่อไป

2. เนื่องจากข้อกำหนดของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ที่ต้องการใช้ค่าชุดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา รายวันในช่วงอดีตสำหรับใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ไม่น้อยกว่า 30 ปี เพื่อขั้นตอนการตรวจสอบค่า ผลลัพธ์ในอดีตของสถานีตรวจวัดอากาศที่ต้องการศึกษา ซึ่งกรณีศึกษาพื้นที่อื่น อาจจะทำให้เกิด ข้อจำกัดเรื่องจำนวนปีของข้อมูลในอดีตจากสถานีตรวจวัดอากาศหรือสถานีทดลองการเกษตรที่เพิ่งมี การบันทึกวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา รายวันในช่วง 20-30 ปี ที่ผ่านมา หรือกรณีข้อมูลไม่สมบูรณ์ อาจ ประยุกต์ใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) หรือ Machine Learning ในการสังเคราะห์ ข้อมูลเพิ่มเติม ซึ่งอาจเป็นแนวทางในการขยายผลไปสู่พื้นที่ศึกษาอื่น ๆ ได้ รวมทั้งการประยุกต์ใช้ เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง เช่น การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) หรือการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster Analysis) โดยนำผลลัพธ์จากหลาย แบบจำลองมาวิเคราะห์ร่วมกันอาจทำให้ผลการคาดการณ์มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น สำหรับพื้นที่ศึกษา ในระดับท้องถิ่นที่มีความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศเชิงพื้นที่ขนาดเล็กและระยะเวลาสั้น

3. การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาวิจัยประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวสาย พันธุ์ที่ได้รับรองใหม่ โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวที่ภาครัฐสนับสนุนให้เกษตรกรเพาะปลูก อาทิเช่น พันธุ์ ไรซ์เบอร์รี่, กข 43 เป็นต้น และรองรับวิธีการส่งน้ำแบบประหยัดน้ำ เพื่อเป็นฐานข้อมูลทางเลือก สำหรับวิธีการจัดการน้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำ และการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CERES-Rice เพื่อวางแผนการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ชลประทานตามภูมิภาคอื่น ๆ ควรคำนึงถึงรอบเวลาการ จัดสรรน้ำของโครงการชลประทานในแต่ละพื้นที่และความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำในปริมาณที่ เพียงพอ และข้อมูลคุณสมบัติดินในแปลงนาที่ถูกต้อง

4. แผนการปรับตัวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่วนใหญ่เน้นให้ ความสำคัญกับการจัดการในระยะยาว ในขณะที่ข้อมูลจากการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศระยะยาว ยังมีความไม่แน่นอนและขาดรายละเอียดบางประการที่จะใช้ในการศึกษาผลกระทบการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนขับเคลื่อนเป็นรูปธรรมในทางปฏิบัติ ซึ่ง อาจจะนำไปสู่มาตรการในการปรับตัวที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการของชุมชน ดังนั้น การ ปรับตัวด้านการจัดการน้ำชลประทานอาจจะต้องใช้กระบวนการจัดการอย่างมีส่วนร่วมทั้งภาครัฐ และชุมชนในการร่วมกันจัดการ เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำทุกกลุ่มได้ อย่างเพียงพอและจัดการทรัพยากรน้ำให้มีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผลสูงสุด

5. ผลการศึกษาได้ชี้ชัดให้เห็นถึงตัวแปรทางสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนรวม และความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน จะส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวแตกต่างกันตามฤดูกาลเพาะปลูก ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร เช่น การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวที่ทนแล้งหรือต้านทานสภาวะอากาศร้อนทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ รวมทั้งการปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตข้าว อาทิ การปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูกข้าวหรือการร่นระยะเวลาเพาะปลูก การใช้พันธุ์ข้าวอายุสั้น การส่งเสริมการใช้น้ำชลประทานแบบประหยัดน้ำ จะมีส่วนในการช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อระบบการผลิตข้าวระดับแปลงนาในอนาคต

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กนกพร ภาคีนาย, นิโรจน์ สินณรงค์, กฤตวิทย์ อัจฉริยะพานิชกุล และ พัทรินทร์ สุภาพันธุ์. 2563.

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย. วารสารเศรษฐศาสตร์และกลยุทธ์การจัดการ 7 (2) : 1-22.

กรมการข้าว. ม.ป.ป. องค์ความรู้เรื่องข้าว (การจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพในการผลิตข้าวนา

ชลประทาน). แหล่งข้อมูล: [https://webold.ricethailand.go.th/rkb3/Eb\\_022.pdf](https://webold.ricethailand.go.th/rkb3/Eb_022.pdf), 13 มีนาคม 2560.

\_\_\_\_\_. ม.ป.ป. องค์ความรู้เรื่องข้าว (พันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2 (Phitsanulok 2)). แหล่งข้อมูล:

<http://prangku.sisaket.doae.go.th/learning/rice/varieties/index.php-file=content.php&id=114.htm>, 13 มีนาคม 2560.

กรมชลประทาน. 2558. คู่มือการทำนาเปียกสลับแห้งแก้งข้าว. แหล่งข้อมูล:

<http://water.rid.go.th/waterrm/template/manager/FProjectMAC/INWEPF/2-Handbook%20AWD.pdf>, 1 มีนาคม 2560.

กรมวิชาการเกษตร. 2547. ข้าว. เอกสารวิชาการลำดับที่ 18/2547. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2556. สถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 30 ปี (พ.ศ.2524-2553). กอง

พัฒนาอุตุนิยมวิทยา: กรมอุตุนิยมวิทยา

\_\_\_\_\_. 2559. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณฝนจากการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลง

ภูมิอากาศในอนาคต. ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ

\_\_\_\_\_. ม.ป.ป. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกและประเทศไทย (การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ).

แหล่งข้อมูล: <http://climate.tmd.go.th/content/article/9>, 1 มีนาคม 2560.

\_\_\_\_\_. ม.ป.ป. ความรู้ด้านการพยากรณ์อากาศ,การพยากรณ์อากาศ. แหล่งข้อมูล:  
<https://www.tmd.go.th/info/info.php>, 1 มีนาคม 2560.

\_\_\_\_\_. ม.ป.ป. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่มีต่อการผลิตอาหาร. แหล่งที่มา:  
<http://climate.tmd.go.th/content/article/13>, 9 กุมภาพันธ์ 2562.

กัณฑ์รัชย์ บุญประกอบ. 2553. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทยเล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพ  
 ภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต. ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้าน โล  
 ร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย., กรุงเทพฯ.

เกริก ปั่นเหน่งเพชร, วินัย ศรีวัต, สมชาย บุญประดับ, สุกิจ รัตนศรีวงษ์, สหัชชัย คงทน, สมปอง  
 นิลพันธ์, ชัยณูชา บุคคาบุญ, กิ่งแก้ว คุณเขต, อิศระ พุทธสิมมา, ปรีชา กาเพชร, แคทลียา  
 เอกอุ่น และวิภารัตน์ คำริเข้มตระกูล. 2552. ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตข้าว  
 อ้อย มันสำปะหลังและข้าวโพดของประเทศไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์  
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

คณะกรรมการกำหนดนโยบายและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ. 2558. แผนยุทธศาสตร์การ  
 บริหารจัดการทรัพยากรน้ำ. คณะกรรมการกำหนดนโยบายและการบริหารจัดการ  
 ทรัพยากรน้ำ, กรุงเทพฯ.

จิตติวรรณ บำรุงบุตร, พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ, อำนาจ ชิดไชสง, สุขุมภรณ์ แสงงาม และ สุภิกกา  
 วานิชขัง. 2563. ประสิทธิภาพการจัดการน้ำด้วยวิธีแบบเปียกสลับแห้งต่อการเจริญเติบโต  
 และผลผลิตข้าว. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และ  
 เทคโนโลยี) 12 (24).

จิรวัดน์ เวชแพศย์, ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และ อานันท์ ผลวัฒน์. 2543. การประเมินค่า  
 สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสำหรับแบบจำลอง CERES-Rice. น. 141-165 ใน: เมธี  
 เอกะสิงห์ และคณะ (บรรณาธิการ). โครงการระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช:  
 ข้าวในภาคเหนือ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2544. การใช้วิธีวิจัยเชิงระบบเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตและคุณภาพการ  
เลี้ยงของข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ฉวีวรรณ สุดจิตร์, สำเภา แก้วสระแสน, มานัส กองแก้ว, ศุภชัย แก้วลำไย, สุจิน จริญญาศักดิ์ และ  
สิโรจน์ ประคุณหังสิต. 2554. การศึกษาการให้น้ำชลประทานแก่แปลงนาโดยกำหนด  
ต่ำกว่าผิวดิน 10 เซนติเมตร. ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักบริหารจัดการน้ำและ  
อุทกวิทยา กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

นิตยา ผกามาศ. 2552. การประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวภายใต้สภาพการจัดการที่  
แตกต่างกันโดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ฉวีวรรณ สุดจิตร์. 2559. การศึกษาการให้น้ำชลประทานแก่ข้าวนาปรังในเขตภาคเหนือโดย  
กำหนดระดับน้ำต่ำกว่าผิวดิน 5 เซนติเมตร. ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักบริหาร  
จัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

เฉลิมพล แซมเพชร. 2542. สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ชิษณุชา บุคคาบุญ, อรรถชัย จินตะเวช และ เกอรริต ฮูเกนบูม. 2554. การปรับค่าสัมประสิทธิ์  
ทางพันธุกรรม ของข้าวโดยใช้ GENCALC และ GLUE, น. 219-226. ใน การประชุม  
วิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 7. คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม,  
มหาสารคาม.

ณัชวิษญ์ ดิกุล. 2561. การคาดการณ์อุณหภูมิพื้นผิวดินระดับท้องถิ่นในจังหวัดเชียงใหม่ภายใต้  
ข้อมูลภาพถ่ายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
28 (3): 503-513.

ดวงกมล แม้นศิริ และ หนูเดือน เมืองแสน. 2561. การตรวจหายีน Sub1A และลักษณะทนน้ำ  
ท่วมในสายพันธุ์ข้าวไทย. สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

ดวงนภา วานิชสรรพ. 2556. การพัฒนาการบริหารจัดการน้ำในข้าวเพื่อลดการปล่อยก๊าซมีเทน. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

\_\_\_\_\_, และ บัญชา ขวัญยืน. 2557. การพัฒนาการบริหารจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทน. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา 25 (1) : 59-69.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2550. ดินนาที่ใช้ปลูกข้าว. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุญมา ป้านประดิษฐ์. 2546. หลักการชลประทาน (Irrigation Principle). ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

บุญหงษ์ จงคิด. 2553. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม. 2552. ยุทธศาสตร์การวิจัยและพัฒนาเกษตรเพื่อรองรับโลกร้อน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ (รายงานวิจัย). เชียงใหม่.

บัญชา ขวัญยืน. 2559. เกษตรศาสตร์นำไทย สู่อีกแห่ง. น. 1-20. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย การสัมมนา “วันเกษตรศาสตร์” เขียวขจี ทำดีทั่วแผ่นดิน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรเพ็ญ สมจิตร และ นิตยา ผกามาศ. 2555ก. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice เพื่อประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับผลผลิตข้าว. แก่นเกษตร 41 (3): 257-268.

\_\_\_\_\_, และ นิตยา ผกามาศ. 2555ข. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CERES-Rice สำหรับการประเมินอัตราการเจริญเติบโตของข้าว, น. 248-254. ใน การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50 (สาขาพืช). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.



- พัชรี แสนจันทร์. 2540. เกษตรชลประทาน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- มานัส กองแก้ว. 2554. การศึกษาการใช้น้ำชลประทานแก่แปลงนาโดยกำหนดต่ำกว่าผิวดิน 10 เซนติเมตร. สถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 5 (แม่กลองใหญ่) กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.
- ยงยศ สุภาศักดิ์. 2537. ปริมาณน้ำใช้ของข้าวและความต้องการน้ำของพืช. ว.ข้าวศูนย์วิจัยข้าว 6 (3): 3-4.
- รพีพัฒน์ อิงคสิทธิ์. 2563. นักวิทยาศาสตร์สร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างไร? แหล่งที่มา <http://www.salforest.com/blog/climate-model-rcp-ssp> ค้นวันที่ 3 สิงหาคม 2564
- วราวุธ วุฒินิชย์. 2544. การออกแบบระบบชลประทานในระดับไร่นา. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- \_\_\_\_\_. 2559. Water Footprint นวัตกรรมเพื่อปลูกจิตสำนึกคนให้รู้คุณค่าทรัพยากรน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- วิเชียร เกิดสุข, ศุภกร ชินวรรณโณ และ พรวิไล ไทรโพธิ์ทอง. 2556. การประเมินผลกระทบ ความเสี่ยง ความอ่อนแอเฉพาะบาง และแนวทางการปรับตัวของระบบการเกษตรและสังคมเกษตรต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงเชิงเศรษฐกิจและสังคมในอนาคต: กรณีศึกษาลุ่มน้ำ ชี-มูล. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- วิบูลย์ บุญยชโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วิโรจน์ อัมพัทธ์. 2531. การจัดการดิน (เล่ม 2). ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศจี เจริญยิ่ง. 2537. ข้อมูลการใช้น้ำของพืชต่าง ๆ ในภาคกลาง. งานวิจัยการใช้น้ำชลประทานของข้าว กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน กรุงเทพฯ.

ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. 2537. แบบจำลองและการจำลองระบบพืช. เอกสารวิชาการเล่มที่ 26 ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

\_\_\_\_\_, จิรวัดน์ เวชแพศย์. 2541. การประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวและ การทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว CERES-Rice. รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, อานันท์ ผลวัฒนะ และ ทูษยันต์ ปาละ. 2543. การทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว CERES-Rice ภายใต้การจัดการน้ำและระดับปุ๋ยในโตรเจนที่ต่างกัน, น. 167-189. ใน เมธี เอกะสิงห์ และคณะ, บรรณาธิการ. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ส่วนที่ 1 โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ศุภกร ชินวรรโณ และ พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์. 2559. การปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในบริบทของระบบเกษตรที่มั่นคงต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. ใน: รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2: องค์ความรู้ด้านความเสี่ยงและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. คณะทำงานกลุ่มที่ 2 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย [อำนาจ ชิดไชสง, ปรีเวท วรรณโกวิท, มัทนพรรณ จิวเจียม, อัสมน ลิ่มสกุล, ศุภกร ชินวรรโณ และชโลธร แก่นสันติสุขมงคล (บรรณาธิการ)]

ศุภชัย กฤตสุทธาชีวะ, ชีระพงษ์ ควรคำวาน และ อภิรัฐ ปิ่นทอง. 2561. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งของ โครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำลำแชะ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร 5 (5): 1-18.

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2553. **แผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงของ  
สถานะภูมิอากาศของโลก การผันผวนของราคาพลังงานและวิกฤตอาหารของโลก.**

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2554. **โครงการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความ  
แปรปรวนของสภาพภูมิอากาศใน อนาคตและการปรับตัวของภาคส่วนที่สำคัญ.** สำนักงาน  
นโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้าน โลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. 2554ก.  
รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ  
ของไทย ครั้งที่ 1, คณะทำงานกลุ่มที่ 1: **องค์ความรู้ ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลง  
ภูมิอากาศ.** สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2554ข. รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ ด้านการเปลี่ยนแปลง  
ภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1, คณะทำงานกลุ่มที่ 2: **องค์ความรู้ด้าน ผลกระทบ ความ  
ล่อแหลม และการปรับตัว.** สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2554ค. รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ ด้านการเปลี่ยนแปลง  
ภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1, คณะทำงานกลุ่มที่ 3: **องค์ความรู้ ด้านการลดก๊าซเรือนกระจก.**  
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2559. **รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลง  
ภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2 พ.ศ.2559.** สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.

สมพร อิศวิลานนท์, สุวรรณา ประณีตวตกุล, อานันท์ ผลวัฒน์ และ ชนาพร คำวงษ์.

2552. **โครงการการประเมินผลกระทบชุดโครงการการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่  
เพื่อการผลิตพืชอย่างยั่งยืน (ข้าวและอ้อย).** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุน  
สนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ.

สยามคูโบต้า. 2563. **เปียกสลับแห้งแก้งข้าว**. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 59 เอกสาร AG-ALL-2563-04 เดือน เมษายน 2563. แหล่งที่มา <https://www.kubotasolutions.com/knowledge/rice/detail/549>, 3 สิงหาคม 2563.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2561. **แผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ**. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2663. **แผนแม่บทการจัดการทรัพยากรน้ำ (การบริหารจัดการน้ำทั้งระบบ)**. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

สำเภา แก้วสระแสน. 2553. **การศึกษาการใช้น้ำชลประทานแก่แปลงนาโดยกำหนดต่ำกว่าผิวดิน 10 เซนติเมตร**. สถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 5 (แม่กลองใหญ่) กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

สุจิริต คุณชนกุลวงศ์. 2553. **สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงของไทยและผลกระทบต่อด้านน้ำ** รายงานวิจัย หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

\_\_\_\_\_. 2558. **การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับการวางแผนบริหารจัดการน้ำของไทย**. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_, ปิยธิดา เรืองรัมย์ และ อักษรา พฤทธิวิทยา. 2558. **โครงการ “การคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลงสูงสุดในระดับลุ่มน้ำของประเทศไทยและจีน** สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, พงษ์ศักดิ์ สุทธินนท์, โชคชัย สุทธิธรรมจิต และ วิชิตา เหมเสถียร. 2560.

โครงการ “ศึกษาด้านผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในอนาคตและการปรับตัวของภาคส่วนที่ของสภาพภูมิอากาศในอนาคตและการปรับตัวของภาคส่วนที่สำคัญ”. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

สุจิรา สุนทรชัย, คณางค์ รัตนานิคม, ชนาگانต์ พรหมอุทัย และ อรุณย์ คงปิ่น. 2564. อิทธิพลของการทำนาแบบเปียกสลับแห้งต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดข้าวที่ปลูกในเนื้อดินแตกต่างกัน. *แก่นเกษตร* 49 (5) : 1259-1267.

สุริย์ สอนสมบุญ. 2519. *คู่มือเกษตรชลประทาน*. กรมชลประทาน. กรุงเทพฯ.

สุนทร บุรณะวิริยะกุล และ เมธี เอกะสิงห์. 2530. การทดสอบแบบจำลอง CERES-RICE สำหรับการผลิตข้าวในสภาพของเชียงใหม่. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

หัตไชย บุญจง และ วิเชียร เกิดสุข. 2545. การประยุกต์ใช้แบบจำลองการปลูกพืชและระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการจัดเขตนิเวศน์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในเขตทุ่งสัมฤทธิ์. *วารสารเทคโนโลยี มทส. สุขุมชน* 1: 67-69.

อภิชาติ วรรณวิจิตร. 2556. โครงการสถานภาพงานวิจัยด้านเทคโนโลยีชีวภาพกับการปรับปรุงระบบการสังเคราะห์แสงภายใต้สภาวะโลกร้อน (รายงานวิจัย). ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

อภิชาติ อนุกุลอำไพ, วิบูลย์ บุญโรกุล, วราวุธ วุฒิวณิชย์, โกวิท ทั่วมเสงี่ยม และมนตรี คำชู. 2524. *คู่มือการชลประทานระดับไร่นา*. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, กรุงเทพฯ.

อรรถชัย จินตะเวช. 2552. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อระบบการผลิตอาหาร. *วารสารวิจัย มช.* 14 : 589-600.

- \_\_\_\_\_, ถาวร อ่อนประไพ, เทวินทร์ แก้วเมืองมูล, ชิชญา บุดดาบุญ,  
เฉลิมรัฐ แสงมณี และ ศุภกร ชินวรรณโณ. 2556. การจำลองผลผลิตภาพการใช้น้ำในการ  
ผลิตข้าวนาปีเพื่อการปรับตัวภายใต้การเปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศแบบ A1B ในพื้นที่ราบ  
เชิงใหม่-ลำพูน, น. 107-114. ใน **ประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 8.**  
มหาวิทยาลัยนครพนม, นครพนม.
- อัจฉิมา ควรสงวน. 2559. ผลของการใช้วัสดุปลูกและถ่านแกลบไบโอชาร์ต่อผลผลิตข้าว  
การเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุฟอสฟอรัส อะลูมิเนียม และจุลธาตุในดินนากรดจัด.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัจฉรา ชุมวงศ์. 2551. การจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านก๊าซมีเทนและ  
คุณภาพน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- \_\_\_\_\_, และ บัญชา ขวัญอิน. 2551. การจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม  
เกี่ยวกับน้ำและบรรยากาศ. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา 19 (2) : 52-59.**
- อัมมาร สยามวาลา และ วิโรจน์ ณ ระนอง. 2533. **ประมวลความรู้เรื่องข้าว.** สถาบันวิจัยเพื่อการ  
พัฒนาแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- อัศมน ลีมสกุล และ แสงจันทร์ ลีมจิรกาล. 2554. รายงานสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์  
ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1: องค์ความรู้ด้าน  
วิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. คณะทำงานกลุ่มที่ 1 สำนักงานกองทุน  
สนับสนุนการวิจัย (สกว.). กรุงเทพฯ.
- \_\_\_\_\_. 2559. หลักฐานการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยจากข้อมูลตรวจวัดที่พื้นผิว.  
ใน: รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลง  
ภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2: องค์ความรู้และข้อมูลข่าวสารปัจจุบันด้านการเปลี่ยนแปลง  
ภูมิอากาศของไทย. คณะทำงานกลุ่มที่ 1 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย [อำนาจ ชิด  
ไชสง, ปริเวท วรรณโกวิท, มัทนพรรณ จิวเจียม, อัศมน ลีมสกุล, ศุภกร ชินวรรณโณ และ  
ชโลทร แก่นสันติสุขมงคล (บรรณาธิการ)]

\_\_\_\_\_, บุญถิ้อ คะเชนทร์ชาติ, ปัทมา สิงห์รักษ์, สุริย์พันธ์ สาระมูล, จิรสรณ์ สันติศิริสมบุรณ์ และ สมเกียรติ อภิพัฒนวิศว. 2560. ข้อค้นพบสำคัญของรายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพ องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ฉบับที่ 2 ในส่วนที่เกี่ยวกับ องค์ความรู้และข้อมูลข่าวสารปัจจุบันด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย (Key findings of Thailand's Second Assessment Report on Climate Change in the part regarding updated climate change knowledge and information of Thailand), **วารสาร Green Research** 14 (36).

อำนาจ ชิดไชสง. 2553ก. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย : เล่ม 1 สภาพภูมิอากาศในอดีต. ศูนย์ประสานงานและพัฒนา งานวิจัยด้าน โลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2553ข. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย : เล่ม 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต. ศูนย์ประสานงานและพัฒนา งานวิจัยด้าน โลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย, กรุงเทพฯ.

เอกพันธ์ มาเลิศ และ เอกสิทธิ์ โขสิตสกุลชัย. 2564. ผลกระทบของน้ำแข็งพื้นที่สำหรับการปลูกข้าวในจังหวัดชัยนาท. **วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย** 27 (1): 16-24.

Ahmad, S., A. Ahmad, C.M. Tojo Soler, H. Ali, M. Zia-Ul-Haq, J. Anothai, A. Hussain, G. Hoogenboom and M. Hasanuzzaman. 2012. Application of the CSM-CERES-Rice model for evaluation of plant density and nitrogen management of fine transplanted rice for an irrigated semiarid environment. **Precision Agriculture** 13: 200-218.

Ahmed, K.F. 2011. **Bias Correction and Downscaling of Climate Model Outputs Required for Impact Assessments of Climate Change in the U.S. Northeast.** M.S. Thesis, University of Connecticut.

- Alden, D. Smartt, Kristofor R. Brye and Richard J. Norman. 2016. **Methane Emissions from Rice Production in the United States — A Review of Controlling Factors and Summary of Research**, Greenhouse Gases, Bernardo Llamas Moya and Juan Pous, IntechOpen, DOI: 10.5772/62025.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper, No 56, n.p.
- Amgain, L.P., N.R. Devkota, J. Timsina and B. Singh. 2006. Effect of climate change and CO<sub>2</sub> concentration on growth and yield of rice and wheat in Punjab: simulations using CSM-CERES-Rice and CSM-CERES-Wheat models. **Journal of the Institute of Agriculture and Animal Science** 27: 103-110.
- Amiri, E., M. Khandan, H.R. Bozorgi, S.M. Sadeghi and M. Rezaei. 2009. Response of Rice Varieties to Water Limit Conditions in North Iran. **World Applied Sciences Journal** 6 (9): 1190-1192.
- Anuchitworawong, C. 2016. **Analysis of Water Availability and Water Productivity in Irrigated Agriculture**. Thailand Development Research Institute, Bangkok, Thailand.
- Asseng, S., F. Ewert, P. Martre, R. P Rötter., D. B. Lobell, D. Cammarano, B.A. Kimball, M. Ottman, G.W. Wall and J. White. 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. **Nature Climate Change** 5: 143–147.
- Attia, A., R. Nithya, X. Qingwu, N. Shyam, I. Amir and Hays D. 2016. Application of DSSAT-CERES-Wheat Model to Simulate Winter Wheat Response to Irrigation Management in the Texas High Plains. **Agricultural Water Management** 165.
- Barker, R., T.P. Tuong and Y. Li. 2004. Growing more rice with less water: Research findings from a study in China. **Paddy and Water Environment** 2: 185.



- Basha, S. and A. Sitha. 2017. Yield and water use efficiency of rice (*Oryza sativa* L.) relative to scheduling of irrigations. **Annals of Plant Sciences** 6 (2): 1559.
- Belder P., Bouman B.A.M., Cabangon R., Lu Guoan, Quilang E.J.P., Li Yuanhua, Spiertz J.H.J. and Tuong T.P. 2004. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. **Agricultural Water Management** 65: 193-210.
- Bhuiyan, S.I. 1992. Water Management in Relation to Crop Productivity: Case Study on Rice. **Outlook Agriculture** 21 (4): 293-299.
- Biao, Z., F. Zetian, W. Jieqiong and Z. Lingxian. 2019. Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. **Agricultural Water Management** 212: 349-357.
- Boonwichai, S., S. Shrestha, M.S. Babel, S. Weesakul and A. Datta. 2018. Climate change impacts on irrigation water requirement, crop water productivity and rice yield in the Songkhram River Basin, Thailand. **Journal of Cleaner Production** 198: 1157-1164.
- Boote, K.J., J.W. Jones, and N.B. Pickering. 1996. Potentail uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal** 88 : 704-716.
- \_\_\_\_\_. 2019. **Advances in crop modelling for a sustainable agriculture**. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.
- Bouman, B.A.M., L.M. Lampayan and T.P. Toung. 2007. **Water management in irrigated rice**. n.p., Los Banos.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. **Soil Science** 59 (1): 39-45.

- Buddhaboon, C., A. Jintrawet, and G. Hoogenboom. 2018. Methodology to estimate rice genetic coefficients for the CSM-CERES-Rice model using GENCALC and GLUE genetic coefficient estimators. **The Journal of Agricultural Science** 156 (4) : 482-492.  
doi:10.1017/S0021859618000527
- Cai, X., Zhang, P.H. Noël and M. Shafiee-Jood. 2015. Impacts of climate change on agricultural water management: a review. **WIREs Water** 2 (5): 439-455.
- Carrijo et al. 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. **Field Crops Research**. 203: 173-180.
- Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra. 2011. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. **Ecological Economics** 70 (4):749-758.
- Chapagain, T. and E. Yamaji. 2011. Achieving More with Less Water: Alternate Wet and Dry Irrigation (AWDI) as an Alternative to the Conventional Water Management Practices in Rice Farming. **Journal of Agricultural Science** 3 (3): 3-13.
- Chen, X.X., W. Lunche, N. Zigeng, Z. Ming, L. Chang'an and L. Jiarui . 2020. The effects of projected climate change and extreme climate on maize and rice in the Yangtze River Basin, China. **Agricultural and Forest Meteorology** (282-283) :107867.
- Cheyglinted, S., S.L. Ranamukhaarachchi and G. Singh. 2001. Assessment of the CERES-Rice model for rice production in the Central Plain of Thailand. **Journal of Agricultural Science** 137: 289-298.
- Dang, T., R. Pedroso, P. Laux, H. Kunstmann. 2018. Development of an integrated hydrological-irrigation optimization modeling system for a typical rice irrigation scheme in Central Vietnam. **Agricultural Water Management** 208: 193-203.

- De Datta, S.K. 1981. **Principles and practices of Rice Production**. Department of Agronomy. The International Rice Research Institute Los Banos, Philipines.
- Dias, M.P.N.M., C.M. Navaratne, K.D.N. Weerasinghe and R.H.A.N. Hettiarachchi. 2016. Application of DSSAT crop simulation model to identify the changes of rice growth and yield in Nilwala river basin for mid-centuries under changing climatic conditions. **Procedia Food Science** 6: 159-163.
- Dong, N.M., K.K. Brandt, J. Sørensen, N.N. Hung, C.V. Hach, P.S. Tan and T. Dalsgaard. 2012. Effects of alternating wetting and drying versus continuous flooding on fertilizer nitrogen fate in rice fields in the Mekong Delta, Vietnam. **Soil Biology and Biochemistry** 47: 166-174.
- Eckstein, D., Künzel V., and Schäfer, L. 2021. **GLOBAL CLIMATE RISK INDEX 2021**. Germanwatch e.V., Office Bonn. Germany.
- Enke, W. and A. Spekat. 1997. Downscaling climate model outputs into local and regional weather elements by classification and regression. **Climate Research** 8: 195-207.
- Fang, X.J., Y.H. Li and M.Z. Zhang. 1996. Study on Growing Features of Rice Roots under Water Deficit Irrigation Conditions. **China Rural Water and Hydropower** 8: 11-14.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2016. **Coping with water scarcity in agriculture: a global framework for action in a changing climate**. Available Source: <https://www.fao.org/3/i5604e/i5604e.pdf>, December 17, 2020.
- Fukai, S. 1999. Phenology in rainfed lowland rice. **Field Crops Research** 64: 51-60.
- Guerra, L.C., S.I. Bhiyan, T.P. Tuong and R. Barker. 1998. **Producing More Rice with Less Water from Irrigated Systems: SWIM Paper 5**. International Water Management, Colombo, Sri Lanka.

- Hamoud, Y.A., X. Guo, Z. Wang, H. Shaghaleh, S. Chen, A. Hassan and A. Bakour. 2019. Effects of irrigation regime and soil clay content and their interaction on the biological yield, nitrogen uptake and nitrogen-use efficiency of rice grown in southern China. **Agricultural Water Management** 213: 934-946.
- Hempel, S., K. Frieler, L. Warszawski, J. Schewe and F. Piontek. 2013. A trend-preserving bias correction – the ISI-MIP approach. **Earth System Dynamics** 4 : 219–236.
- Hoekstra A.Y. and A.K. Chapagain. 2008. **Globalization of Water: haring the Planet’s Freshwater Resources**. Wiley, n.p.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, M.M. Aldaya and M. Mekonnen. 2009. **Water Footprint manual state of art 2009**. Water footprint Network, Netherlands, Earthscan.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_. 2011. **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard**. Earthscan, London, UK.
- Hoogenboom, G.Y. Tsuji, N.B. Pickering, R.B. Curry, J.W. Jones, U. Singh and D.C. Godwin. 1995. **Decision Support System to Study Climate Change Impacts on Crop Production**. ASA Spec. Pub. # 59, Madison, WI, USA.
- \_\_\_\_\_, J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, W.D. Batchelor and L.A. Hunt. 2010. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) version 4.5**. Honolulu University of Hawaii, Hawaii.
- \_\_\_\_\_, C.H. Porter, V. Shelia, K.J. Boote, U. Singh, J.W. White, L.A. Hunt, R. Ogoshi, J.I. Lizaso, J. Koo, S. Asseng, A. Singels, L.P. Moreno and J.W. Jones. 2019. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7. DSSAT Foundation**, Gainesville, FL.

IPCC. 2001. Climate Change 2001: Synthesis Report. **Contribution of Working Group I, II, and III to the Third Assessment Report of the Inter Governmental Panel on Climate Change**, [Watson R. T. and Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 398 pp.

\_\_\_\_\_. 2007. Climate Change 2007: AR4 Synthesis Report. **A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. UK : Cambridge University Press.

\_\_\_\_\_. 2013. Climate Change 2013, the Physical Science Basis. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. New York, NY, U.S.

\_\_\_\_\_. 2014a. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 3, pp. 229-269. *In* B.E. Jiménez Cisneros, T. Oki, N.W. Arnell, G. Benito, J.G. Cogley, P. Döll, T. Jiang and S.S. Mwakalila, eds. **Freshwater Resources**. n.p.

\_\_\_\_\_. 2014b. Food security and food production systems. *In*: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects, Chapter 7 (Food security and food production systems), pp. 485-533. *In* J.R. Porter, L. Xie, A.J. Challinor, K. Cochrane, S.M. Howden, M.M. Iqbal, D.B. Lobell and M.I. Trivasso, eds. **Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. n.p.

International Rice Research Institute (IRRI). 2009. **Saving Water with Alternate Wetting Drying (AWD)**. Available Source:  
<http://www.knowledgebank.irri.org/training/factsheets/water-management/savingwater-alternate-wetting-drying-awd>, October 1, 2019.

- Ishfaq, M., M. Farooq, U. Zulfiqar, S. Hussain, N. Akbar, A. Nawaz, S.A. Anjum. 2020. Alternate wetting and drying: A water-saving and ecofriendly rice production system. **Agricultural Water Management** 241: 106363.
- Jeong, H., T. Jang, C. Seong and S. Park. 2014. Assessing nitrogen fertilizer rates and split applications using the DSSAT model for rice irrigated with urban wastewater. **Agricultural Water Management** 141: 1-9.
- Jing, Q., B. McConkey, B. Qian, W. Smith, B. Grant, J. Shang, J. Liu, P. Bindraban and M.S. Luce. 2021. Assessing water management effects on spring wheat yield in the Canadian Prairies using DSSAT wheat models. **Agricultural Water Management** 244: 106591
- Jintrawet, A. 1995. A decision support system for rapid assessment of lowland rice-based cropping alternatives in Thailand. **Agricultural Systems** 47: 245-258.
- John M.D. 2011. **Climate Modeling Research Interest**. Available Source: <http://climatemodeling.blogspot.com/2011/04/integrated-system-model-framework-and.html>, December 23, 2020.
- Jongkaewwattana, S. 1995. **Systems Simulation and Modeling**. Multiple Cropping Center. CMU, Chiang Mai, Thailand.
- Kaykhosravi, S., U.T. Khan and M.A. Jadidi. 2020. The Effect of Climate Change and Urbanization on the Demand for Low Impact Development for Three Canadian Cities. **Water** 12 (5): 1280.
- Kerdsuk, V. 2002. **Application of crop modeling and GIS for agroclimatic of KDML 105 in Tung Samrit, Nakhon Rachasima, Thailand**. Ph.D. Thesis, Suranaree University of Technology.

- Kheir A.M.S., A.A. Alrajhi, A.M. Ghoneim, E.F. Ali, A. Magrashi, M.G. Zoghdan, S.A.M. Abdelkhalik, A.E. Fahmy and A. Elnashar. 2021. Modeling deficit irrigation-based evapotranspiration optimizes wheat yield and water productivity in arid regions. **Agricultural Water Management** 256 : 107122.
- Khepar, S., A. Yadav and S. Sondhi. 2000. Water balance model for paddy fields under intermittent irrigation practices. **Irrigation Science** 19: 199-208.
- Khepar, S.D., S.K. Sondhi, S. Kumar and A. Sherring. 2000. Optimum dike height for rainfall conservation in paddy fields to control declining water table. **Journal of Institution of Engineers** 81: 39-44.
- Kuehne G., R. Llewellyn, D.J. Pannell, R. Wilkinson, P. Dolling, J. Ouzman, M. Ewing. 2017. Predicting farmer uptake of new agricultural practices: A tool for research, extension and policy. **Agricultural Systems** 156 : 115-125.
- Li, Y.H. 1999. **Theory and Techniques of Water Saving Irrigation**. Wuhan University, China.
- Li, Z.H., X.L. Jin, H.L. Liu, X.G. Xu and J.H. Wang. 2019. Global sensitivity analysis of wheat grain yield and quality and the related process variables from the DSSAT-CERES model based on the extended Fourier Amplitude Sensitivity Test method. **Journal of Integrative Agriculture** 18 (7) : 1547-1561.
- Liu, C.W., S.K. Chen, S.W. Jou and S.F. Kuo, 2001. Estimation of the infiltration rate of a paddy field in Yun-Lin, Taiwan. **Agricultural Systems** 68 (1): 41-54.
- Liu, Y., L. Haohao, Y. Shengmao and W. Yaofeng. 2016. Impacts of biochar addition on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy for two crop seasons. **Field Crops Research** 191.

- Maneepitak, S., H. Ullah, K. Paothong, B. Kachenchart, A. Datta and R.P. Shrestha. 2019. Effect of water and rice straw management practices on yield and water productivity of irrigated lowland rice in the Central Plain of Thailand. **Agricultural Water Management** 211: 89-97.
- Matthews, R.B. and W. Stephens. 2002. **Crop-soil simulation models - Applications in developing countries**. CABI Publishing.
- Monteith, J. L. 1996. The Quest for Balance in Crop Modeling. **Agronomy Journal** 88 (5): 695–697. doi:10.2134/agronj1996.00021962008800050003x.
- Morid R., Y. Shimatani and T. Sato. 2020. An integrated framework for prediction of climate change impact on habitat suitability of a river in terms of water temperature, hydrological and hydraulic parameters. **Journal of Hydrology** 587: 124936.
- Morishima, H. 1984. Wild plants and domestication, pp. 3-30. *In* S. Tsunoda, and N. Takahashi, eds. **Biology of rice**. Elsevier, Amsterdam.
- Muller B. and P. Martre. 2019. Plant and crop simulation models: powerful tools to link physiology, genetics, and phenomics, **Journal of Experimental Botany** 70 (9) : 2339-2344. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz175>
- Nishiyama, I. 1983. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. **Japanese Journal of Crop Science** 52: 307-313.
- Norton et al., 2017. Impact of alternate wetting and drying on rice physiology, grain production, and grain quality. **Field Crops Research** 205: 1-13.
- Patricia, O.D., S. Yeboah, S.N.T. Addy, S. Amponsah and E.O. Danquah. 2013. Crop modeling: A tool for agricultural research – A review. **Journal of Agricultural Research and Development** 2 (1) : 1-6.



- Penning de Vries, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M. ten Berge and A. Bakema. 1989. **Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops**. Wageningen, Netherlands.
- Phakamas, N., A. Jintrawet, A. Patanothai, P. Sringam and G. Hoogenboom. 2013. Estimation of solar radiation based on air temperature and application with the DSSAT v4.5 peanut and rice simulation models in Thailand. **Agricultural and Forest Meteorology** 180 : 182-193.
- Prathumchai, K., M. Nagai, N.K. Tripathi and N. Sasaki. 2018. Forecasting Transplanted Rice Yield at the Farm Scale Using Moderate-Resolution Satellite Imagery and the AquaCrop Model: A Case Study of a Rice Seed Production Community in Thailand. **International Journal of Geo-Information** 7 : 73. doi:10.3390/ijgi7020073
- Qi, J., M.C. Brian, Q. Budong, S. Ward, G. Brian, S. Jiali, L. Jianguai, B. Prem and L. Mervin St. 2021. Assessing water management effects on spring wheat yield in the Canadian Prairies using DSSAT wheat models. **Agricultural Water Management** 244 (C): 106591.
- Qu, H.H., X.X. Li, H. Ju and Q. Liu. 2019. The impacts of climate change on wheat yield in the Huang-Huai-Hai Plain of China using DSSAT-CERES-Wheat model under different climate scenarios. **Journal of Integrative Agriculture** 18(6) : 1379-1391.
- Rang, Z.W., S.V.K. Jagadish, Q.M. Zhou, P.Q. Craufurd and S. Heuer. 2011. Effect of high temperature and water stress on pollen germination and spikelet fertility in rice. **Environmental and Experimental Botany** 70: 58-65.
- Rejesus, R.M., F.G. Palis, D.G.P. Rodriguez, R.M. Lampayan and B.A.M. Bouman. 2011. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: Evidence from rice producers in the Philippines. **Food Policy** 36: 280-288.

- Richards, L.A. 1954. **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soil**. Agricultural Handbook No.60. United State Department of Agriculture.
- Ritchie, J.T., D.C. Godwin and S. Otter. 1984. **CERES-Wheat: A user oriented wheat yield model. Preliminary documentation**. AGRISTARS Publication No. YM-U3-04442-JSC-18892, East Lansing, Michigan, p. 252.
- \_\_\_\_\_, E.C. Alocijia and G. Uehara. 1986. IBSNAT/CERES Rice Model. **Agrotechnology Transfer** 3: 1-5.
- Roderick, M.R., G.P. Florencia, G.P.R. Divina, M.L. Ruben and B.A.M. Bouman. 2011. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: Evidence from rice producers in the Philippines. **Food Policy** 36: 280-288.
- Ruddiman, W.F. 2000. **Earth's Climate: Past and Future**. W. H. Freeman and Company. New York.
- Sari, T.K. and M.R. Sakhidin. 2021. Effects of NP-SR Fertilizer Composition and Water Logging on Soil Chemical Properties and N Fertilizer Efficiency in Paddy Field. **Journal of Agro Science** 9 (1) : 10-19.
- Sarkar, R. and S. Kar. 2006. Evaluation of management strategies for sustainable rice-wheat cropping system, using DSSAT seasonal analysis. **Journal of Agricultural Science** 144: 421-434.
- Semenov, M.A. and E.M. Barrow. 2002. **LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies**. Hertfordshire, UK.
- Shao, G.C., S. Deng, N. Liu, S.E. Yu, M.H. Wang and D.L. She. 2014. Effects of controlled irrigation and drainage on growth, grain yield and water use in paddy rice. **European Journal of Agronomy** 53: 1-9.

- Sharma, P.K. 1989. Effect of Period Moisture Stress on Water-Use Efficiency in Wetland Rice. **Oryza** 26: 252-257.
- Sinclair, T.R. and N.G. Seligman. 1996. Crop Modeling: From Infancy to Maturity. **Agronomy Journal** 88 (5) : 698-704.
- Sinnarong, N., C.C. Chen, B.A. McCarl, and B.L. Tran. 2019. Estimating the potential effects of climate change on rice production in Thailand. **Paddy and Water Environment** 17 : 761-769.
- Steduto, P., T.C. Hsiao, E. Fereres and D. Raes. 2012. **Crop yield response to water (Vol. 1028)**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- The COMET Program, UCAR. n.d. **Atmospheric Model**. Available Source: [http://kejian1.cmatc.cn/vod/comet/nwp/climate\\_models/print.htm](http://kejian1.cmatc.cn/vod/comet/nwp/climate_models/print.htm), December 15, 2020.
- Trotochaud J., D.C. Flanagan and B.A. Engel. 2016. A simple technique for obtaining future climate data inputs for natural resource models. **American Society of Agricultural and Biological Engineers** 32(3): 371-381.
- Tsuji, G.Y., Uehara, G., Balas, S. (Eds.). 1994. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 3**. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Tuong, T.P., and B.A.M. Bouman. 2003. Rice Production in Water-Scarce Environments. **Agricultural Water Management** 2: 13-42.
- United Nations (UN). 2021. **WATER FACTS (Water Scarcity)**. Available Source: <https://www.unwater.org/water-facts/scarcity>, July 12, 2021.

- USGCRP. 2016. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment, pp. 312. *In* A. Crimmins, J. Balbus, J.L. Gamble, C.B. Beard, J.E. Bell, D. Dodgen, R.J. Eisen, N. Fann, M.D. Hawkins, S.C. Herring, L. Jantarasami, D.M. Mills, S. Saha, M.C. Sarofim, J. Trtanj, and L. Ziska, eds. **U.S. Global Change Research Program**. Washington, DC.
- Vashisht B.B., S.K. Jalota, P. Ramteke, R. Kaur and D.K. Jayeswal. 2021. Impact of rice (*O. sativa* L.) straw incorporation induced changes in soil physical and chemical properties on yield, water and nitrogen–balance and –use efficiency of wheat (*T. aestivum* L.) in rice–wheat cropping system: Field and simulation studies. **Agricultural Systems** 194.
- Vergara, B.S. and T.T. Chang. 1985. **The Flowering Response of the Rice Plant to Photoperiod: A Review of the Literature**. 4<sup>th</sup> ed. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Vries, M.E., J. Rodenburg, B.V. Bado, A. Sow, P.A. Leffelaar and K.E. Giller. 2010. Rice production with less irrigation water is possible in a Sahelian environment. **Field Crops Research** 116: 154-164.
- Wajid, A., A. Ahmad, M. Hussain, M.H. urRahman, T. Khaliq, M. Mubeen, F. Rasul, U. Bashir, M. Awais, J. Iqbal, S.R. Sultana and G. Hoogenboom, 2014. Modeling growth, development and seed-cotton yield for varying nitrogen increments and planting dates using DSSAT. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences** 51 : 639–647.
- Walkley, A and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science** 37: 29-38.
- Wang, J., R. Nathan, A. Horne, M.C. Peel, Y. Wei and J. Langford. 2017. Evaluating four downscaling methods for assessment of climate change impact on ecological indicators. **Environmental Modelling & Software** 96: 68-82.

- Watanabe, S., Y. Hirabayashi, S. Kotsuki, N. Hanasaki, K. Tanaka, C.M.R. Mateo, M. Kiguchi, E. Ikoma, S. Kanae and T. Oki. 2014. Application of performance metrics to climate models for projecting future river discharge in the Chao Phraya River Basin. **Hydrological Research Letters**, 8 (1): 33 - 38. doi: 10.3178/hrl.8.33.
- Weir B. 2017. **Heat Transfer**. Available Source: <https://earthscience.xyz/content/heat-transfer>, December 18, 2020.
- Wilby R.L., L.E. Hay, W.J. Gutowski, R.W. Arritt, E. S. Takle, Z.T. Pan, G.H. Leavesley and M.P. Clark. 2000. Hydrological responses to dynamically and statistically downscaled climate model output. **Geophysical Research Letters** 27: 1199–1202.
- Win, E.P., K.K. Win, S.D. Kimura and A.Z Oo. 2020. Greenhouse gas emissions, grain yield and water productivity: a paddy rice field case study based in Myanmar. **Greenhouse Gases Science and Technology** 10 (5): 884-897.
- Wu, X. 1998. **Development of Water Saving Irrigation Technique on Large Paddy Rice Area in Guangxi Region of China**. Available Source: [https://www.icid.org/wat\\_xijin.pdf](https://www.icid.org/wat_xijin.pdf), October 1, 2019.
- Yang, J.C., H. Zhang and J.H. Zhang. 2012. Root morphology and physiology in Relation to the yield formation of rice. **Integrative Agriculture** 16 (6): 920-926.
- Yang, L., J. Jiang, T. Liu, Y. Li, Y. Zhou and X. Gao. 2018. Projections of future changes in solar radiation in China based on CMIP5 climate models. **Global Energy Interconnection** 1(4): 452-459.
- Yang, S., S. Peng, J. Xu, Y. Luo and D. Li. 2012. Methane and nitrous oxide emissions from paddy field as affected by water-saving irrigation. **Physics and Chemistry of the Earth** 53 (54): 30-37.

- Yao, F., J. Huang, K. Cui, L. Nie, J. Xiang and X. Liu. 2012. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. **Field Crops Research** 126: 16-22.
- Yao, F.M., Q.Y. Li, R.Y. Zeng and S.Q. Shi. 2021. Effects of different agricultural treatments on narrowing winter wheat yield gap and nitrogen use efficiency in China. **Journal of Integrative Agriculture** 20(2): 383-394.
- Yassen, A.N., W.H. Nam and E.M. Hong. 2020. Impact of climate change on reference evapotranspiration in Egypt. **Catena** 194: 104711.
- Ye, Y., X. Liang, Y. Chen, J. Liu, J. Gu and R. Guo. 2013. Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, water and nitrogen use. **Field Crops Research** 144: 212-224.
- Yoo, S.H., T.G. Kim, S.H. Lee and J.Y. Choi. 2014. Estimating water footprint of paddy rice in Korea. **Paddy and Water Environment** 12: 43-54.
- Yoshida, S. 1981. **Fundamental of Rice Crop Science**. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Yousef, A.H., Z.W. Xiangping, S.C. Guo Hiba Shaghaleh and A.H. Ahmad Bakour. 2019. Effects of irrigation regime and soil clay content and their interaction on the biological yield, nitrogen uptake and nitrogen-use efficiency of rice grown in southern China. **Agricultural Water Management** 213: 934-946.
- Zhang, Q., B. Singh, S. Gagnon, J. Rousselle, N. Evora and S. Weyman. 2004. The Application of WGEN to Simulate Daily Climatic Data for Several Canadian Stations. **Canadian Water Resources Journal** 29 (1): 59-72.

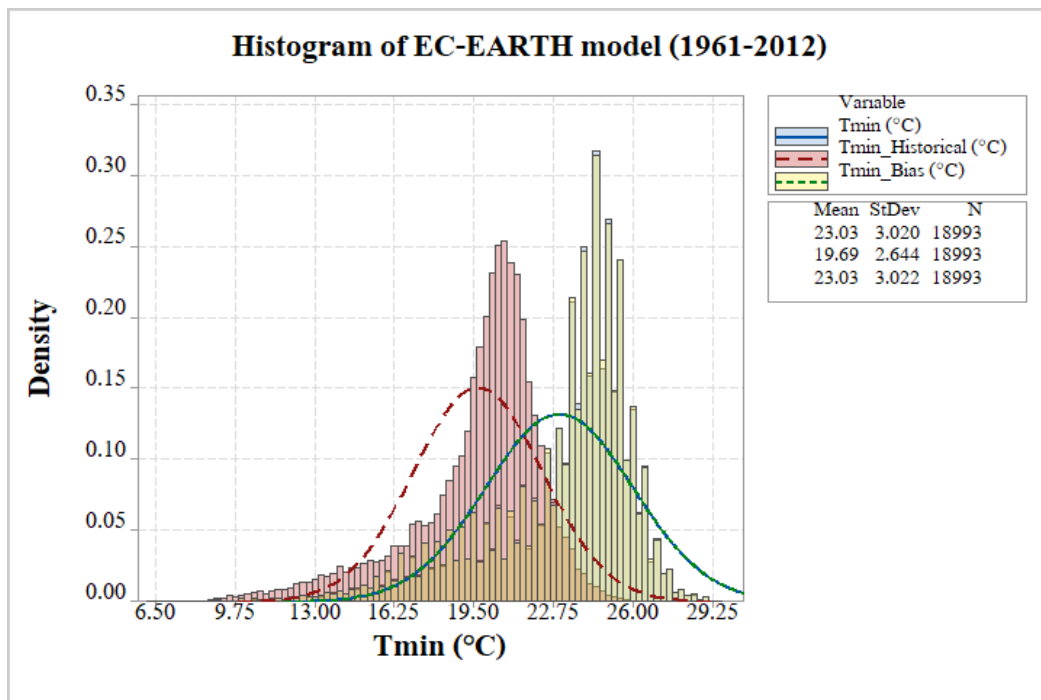
- Zhang, S., Rasool G., Guo X, Sen L. and K. Cao. 2020. Effects of Different Irrigation Methods on Environmental Factors, Rice Production, and Water Use Efficiency. **Water** 12 (8): 2239.
- Zhang, W.Z., Y.D. Han and H.J. Du. 2007. Relationship between canopy temperature at flowering stage and soil water content, yield components in rice. **Rice Science** 14 (1): 67-70.
- Zhang, Y., Y. Wang and H. Niu. 2019. Effects of temperature, precipitation and carbon dioxide concentrations on the requirements for crop irrigation water in China under future climate scenarios. **Science of The Total Environment** 656: 373-387.
- Zhao, C., B. Liu, S. Piao, X. Wang, D.B. Lobell, Y. Huang, M. Huang, Y. Yao, S. Bassu, P. Ciais, , J.L. Durand, J. Elliott, F. Ewert, I.A. Janssens, T. Li, E. Lin, Q. Liu, P. Martre, C. Müller, S.Peng, J. Peñuelas, A.C. Ruan, D. Wallach, T. Wang, D. Wu, Z. Liu, Y. Zhu, Z. Zhu and S. Asseng. 2017. Temperature increase reduces global yields. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 114 (35): 9326-9331.

ภาคผนวก

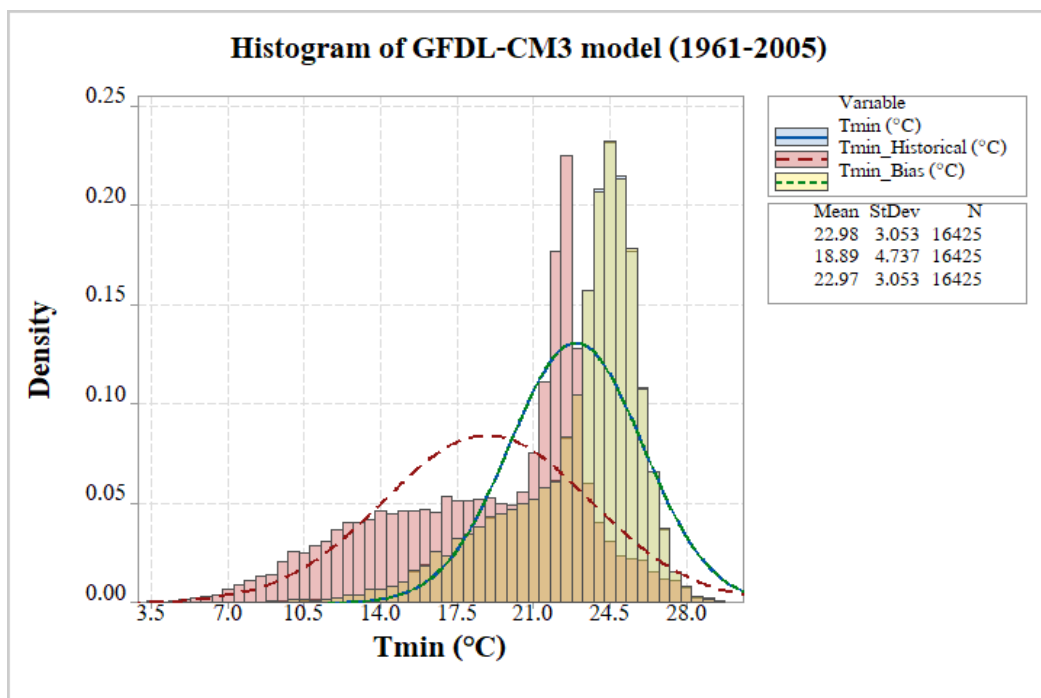


**ภาคผนวก ก**

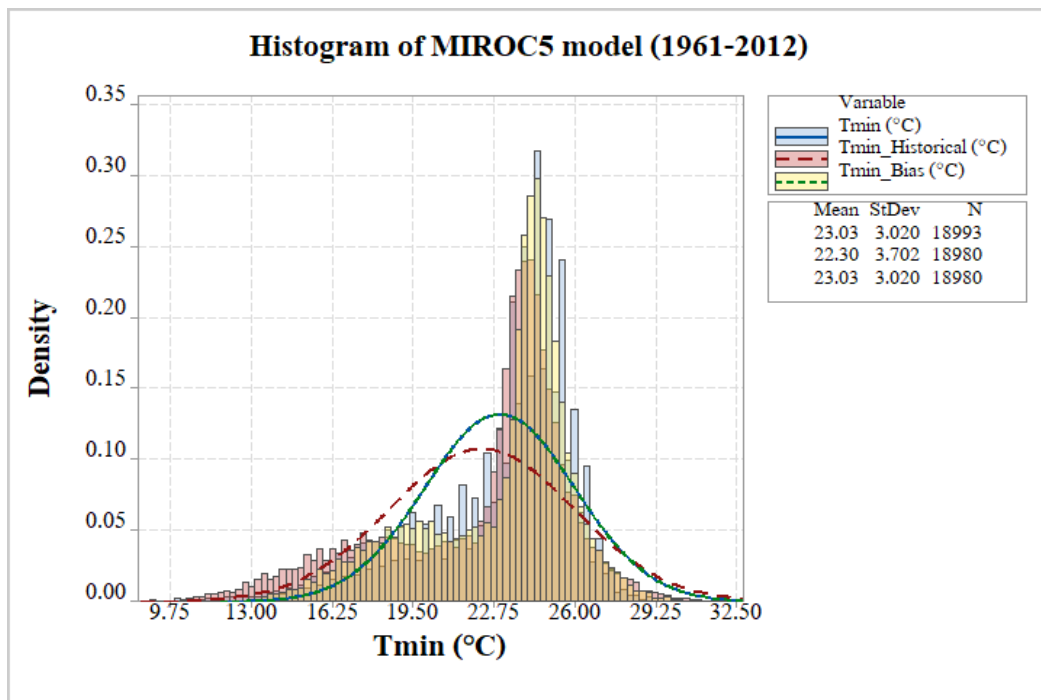
กราฟ Histogram ข้อมูลคุณนิยมหาวิทยาลัยราชว้นช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติ  
ในช่วงปีพื้นฐาน



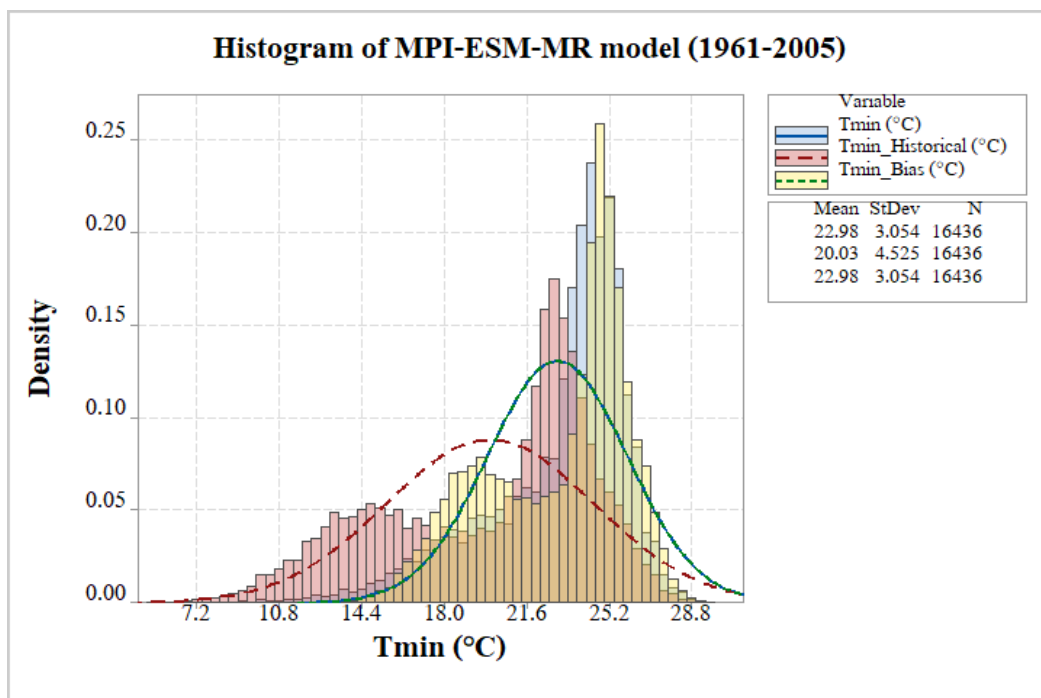
ภาพผนวกที่ ก1 กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง EC-EARTH ในช่วงปีพื้นฐาน



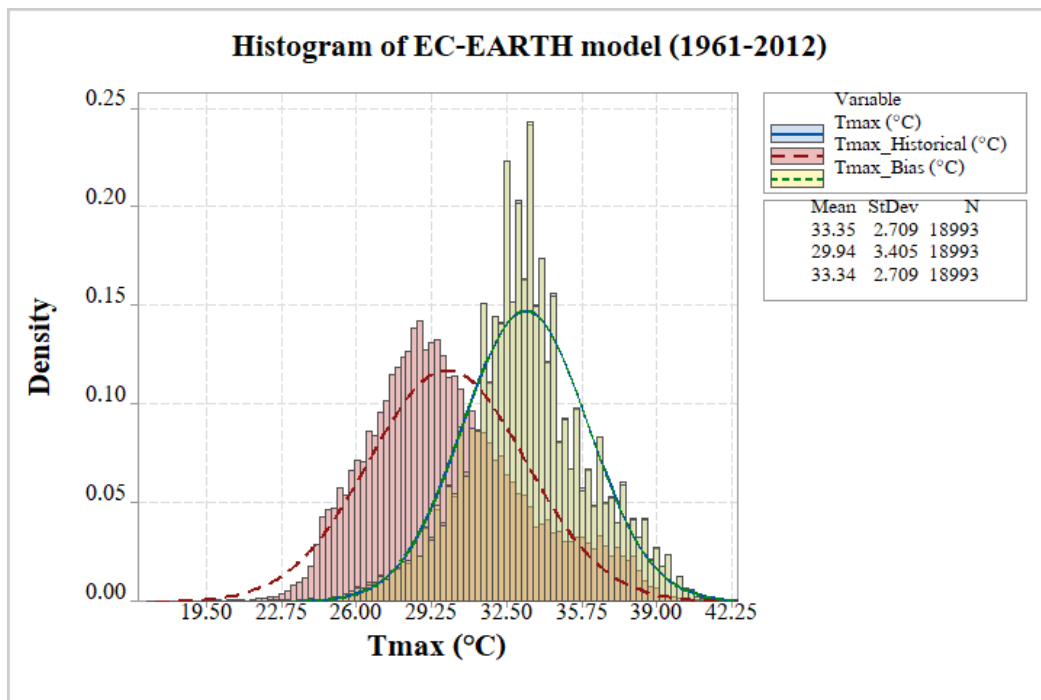
ภาพผนวกที่ ก2 กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง GFDL-CM3 ในช่วงปีพื้นฐาน



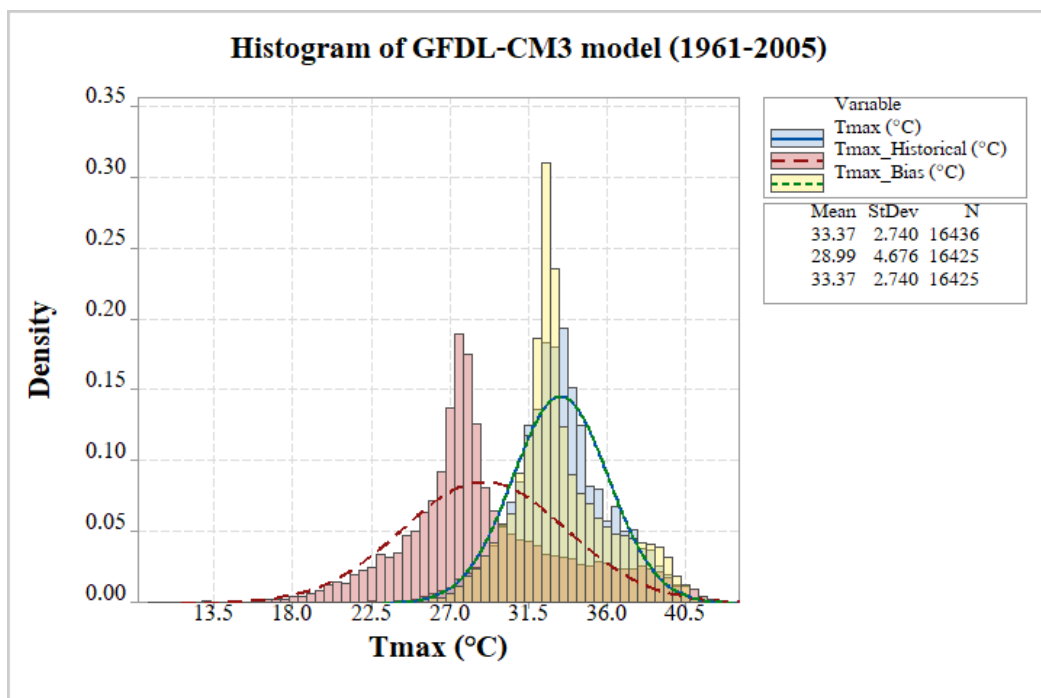
ภาพผนวกที่ ก3 กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน



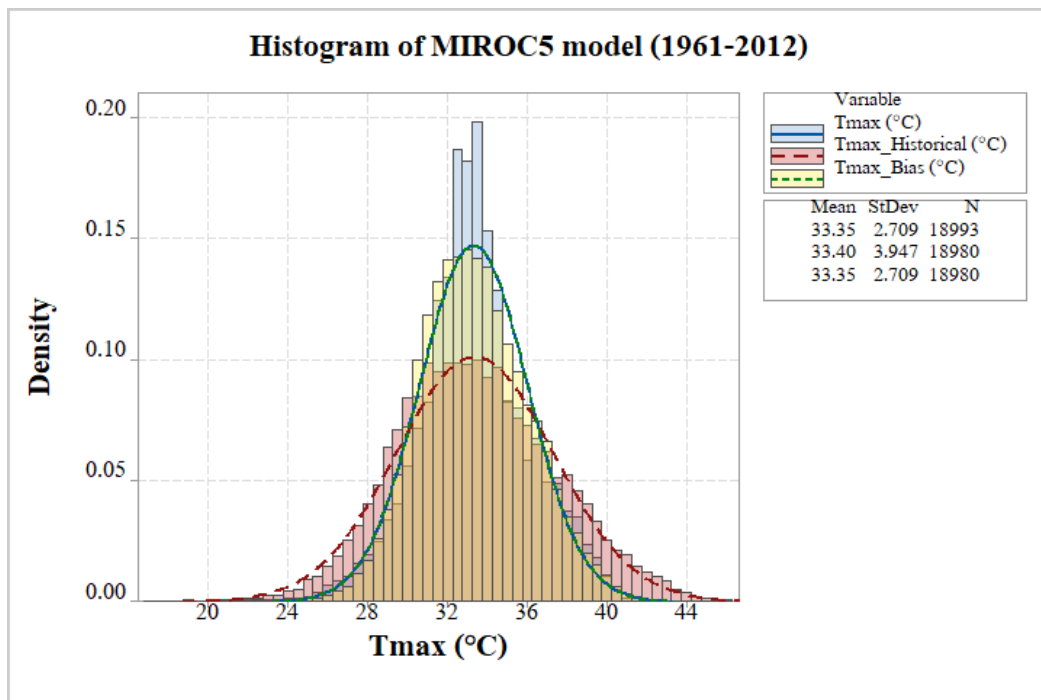
ภาพผนวกที่ ก4 กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MPI-ESM-MR ในช่วงปีพื้นฐาน



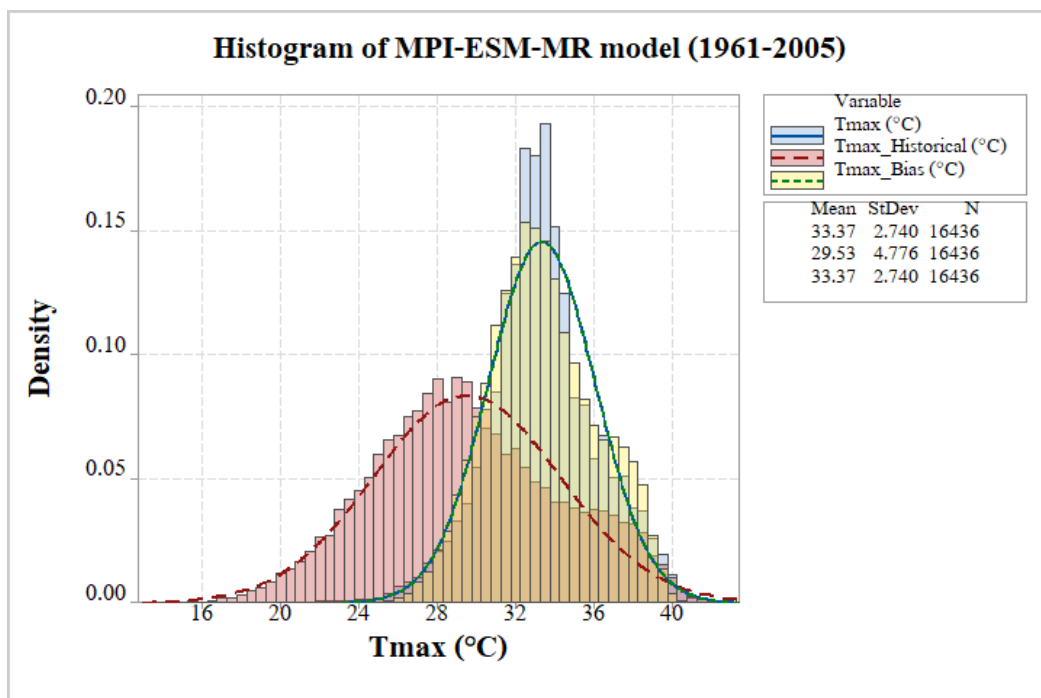
ภาพผนวกที่ ๕ กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง EC-EARTH ในช่วงปีพื้นฐาน



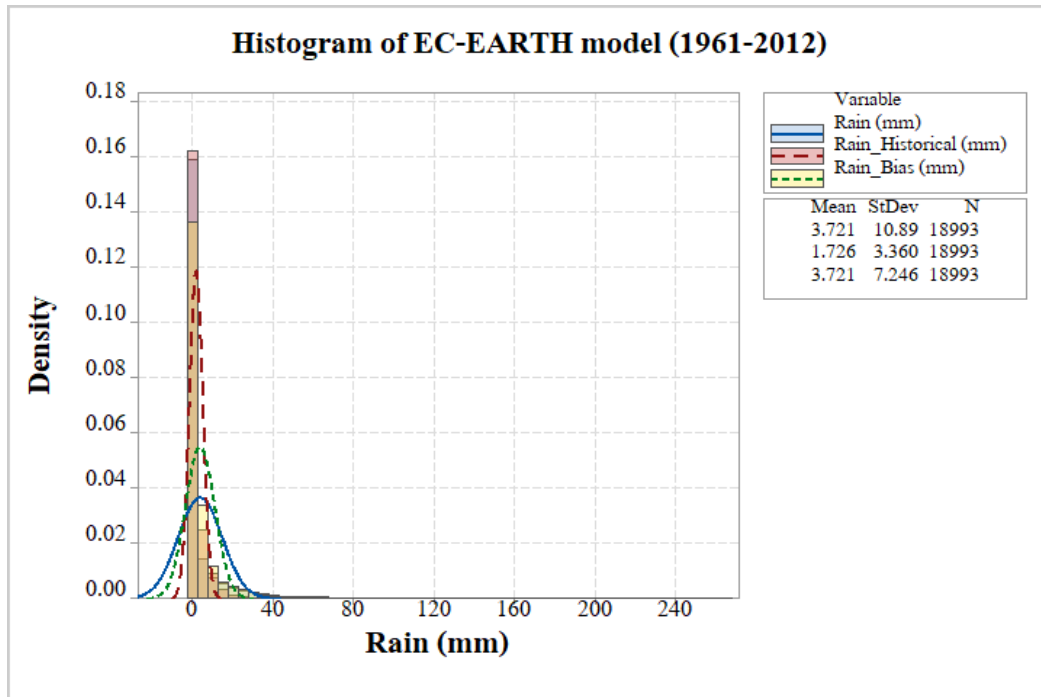
ภาพผนวกที่ ๖ กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง GFDL-CM3 ในช่วงปีพื้นฐาน



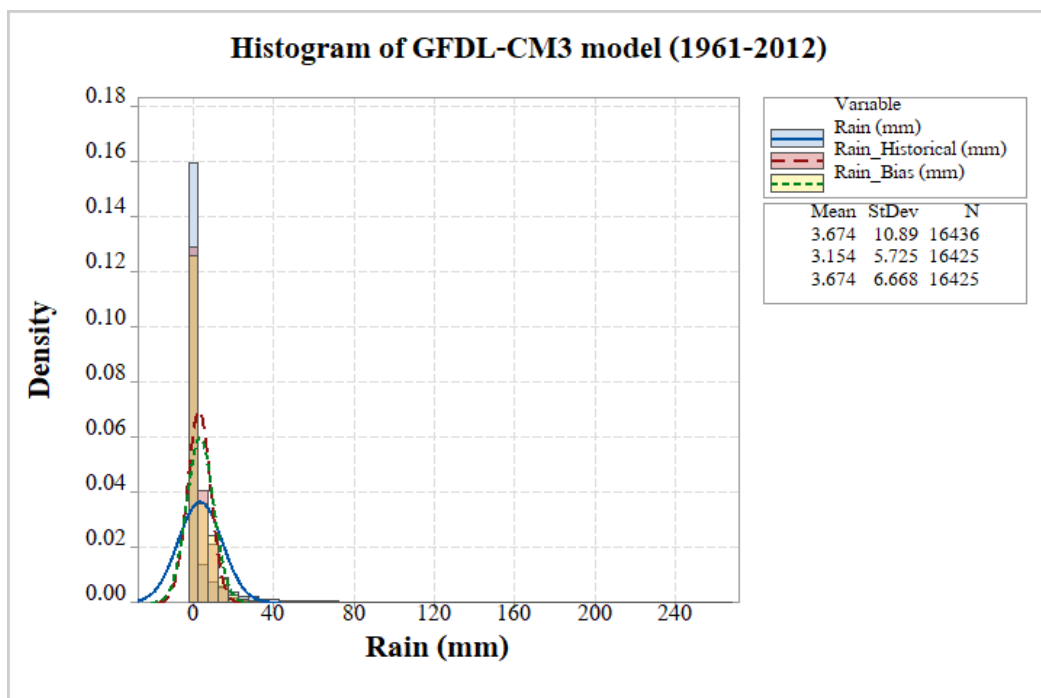
ภาพผนวกที่ ก7 กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน



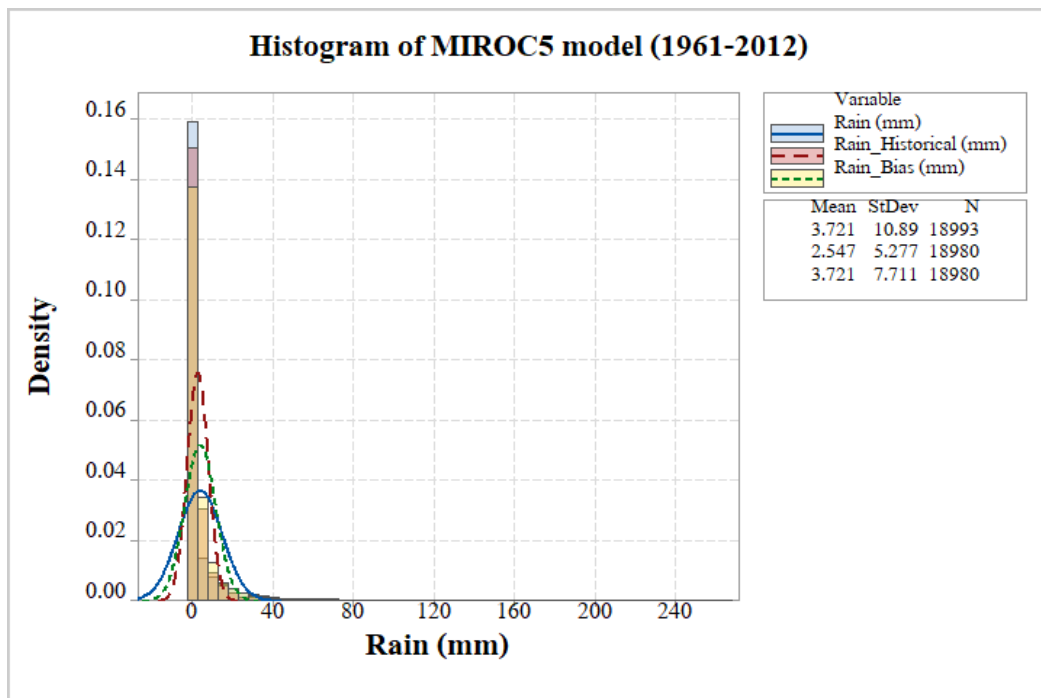
ภาพผนวกที่ ก8 กราฟ Histogram ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MPI-ESM-MR ในช่วงปีพื้นฐาน



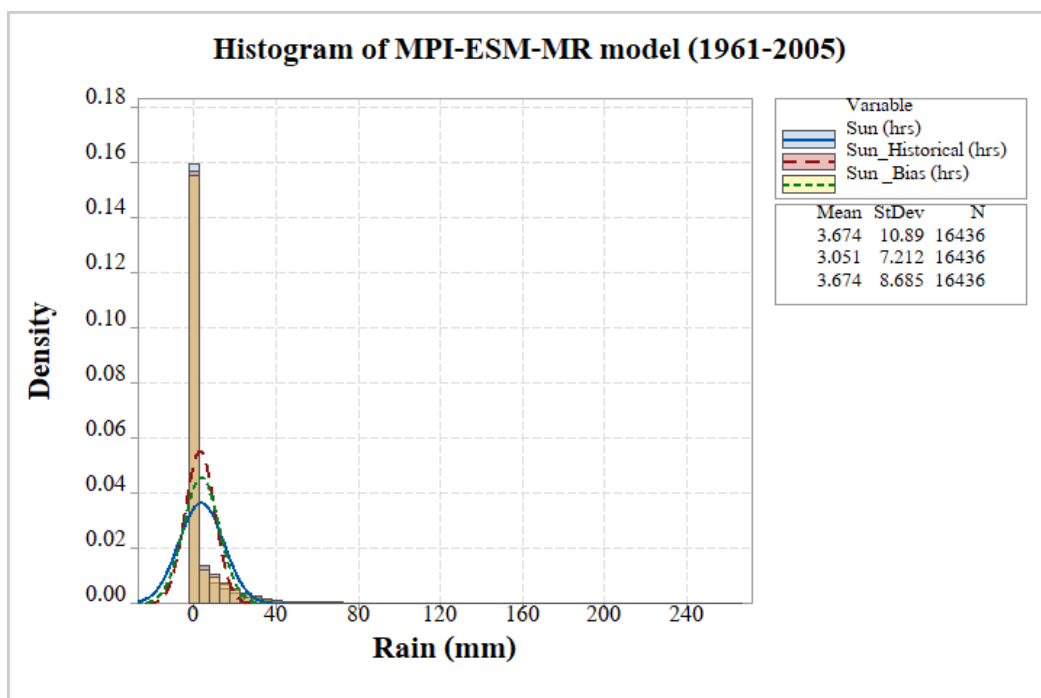
ภาพผนวกที่ ก9 กราฟ Histogram ข้อมูลปริมาณฝนช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง EC-EARTH ในช่วงปีพื้นฐาน



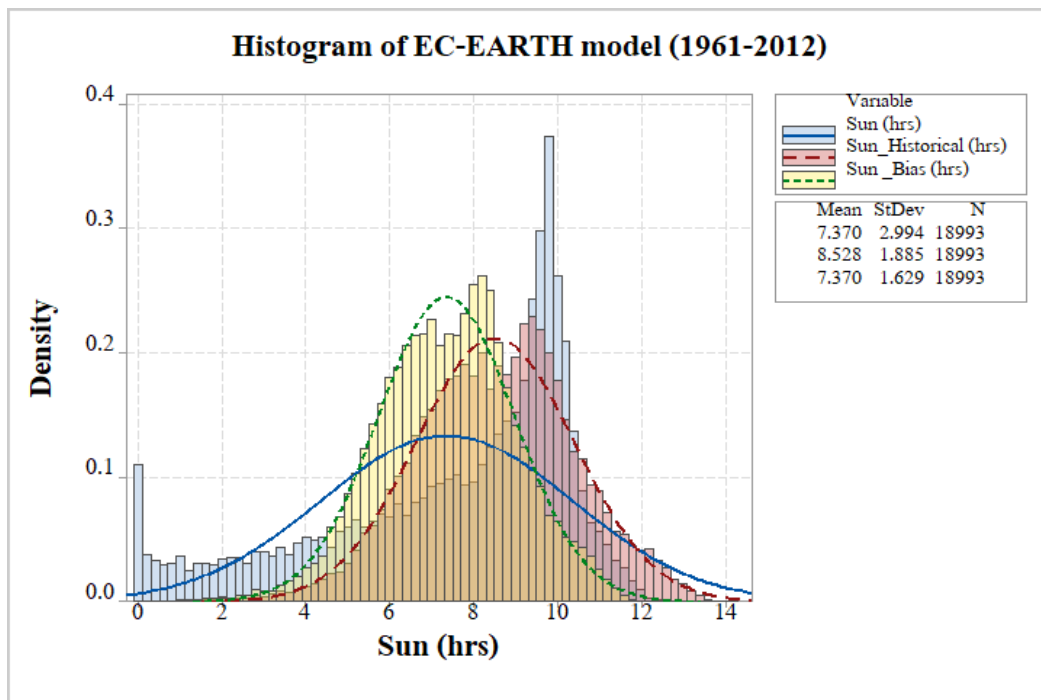
ภาพผนวกที่ ก10 กราฟ Histogram ข้อมูลปริมาณฝนช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง GFDL-CM3 ในช่วงปีพื้นฐาน



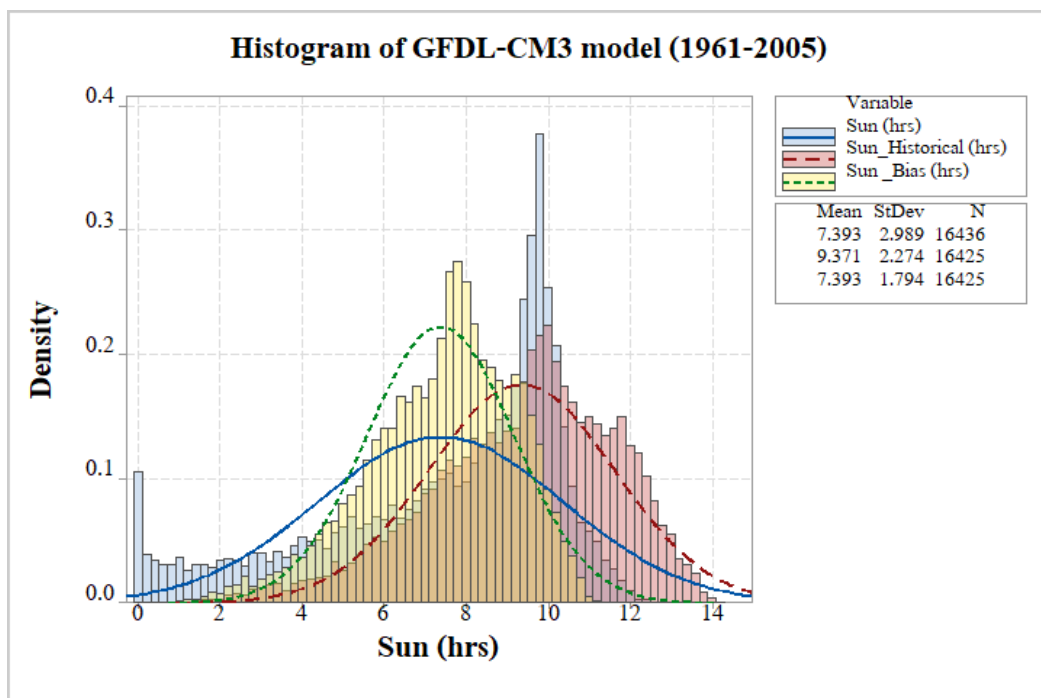
ภาพผนวกที่ ก11 กราฟ Histogram ข้อมูลปริมาณฝนช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน



ภาพผนวกที่ ก12 กราฟ Histogram ข้อมูลปริมาณฝนช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MPI-ESM-MR ในช่วงปีพื้นฐาน

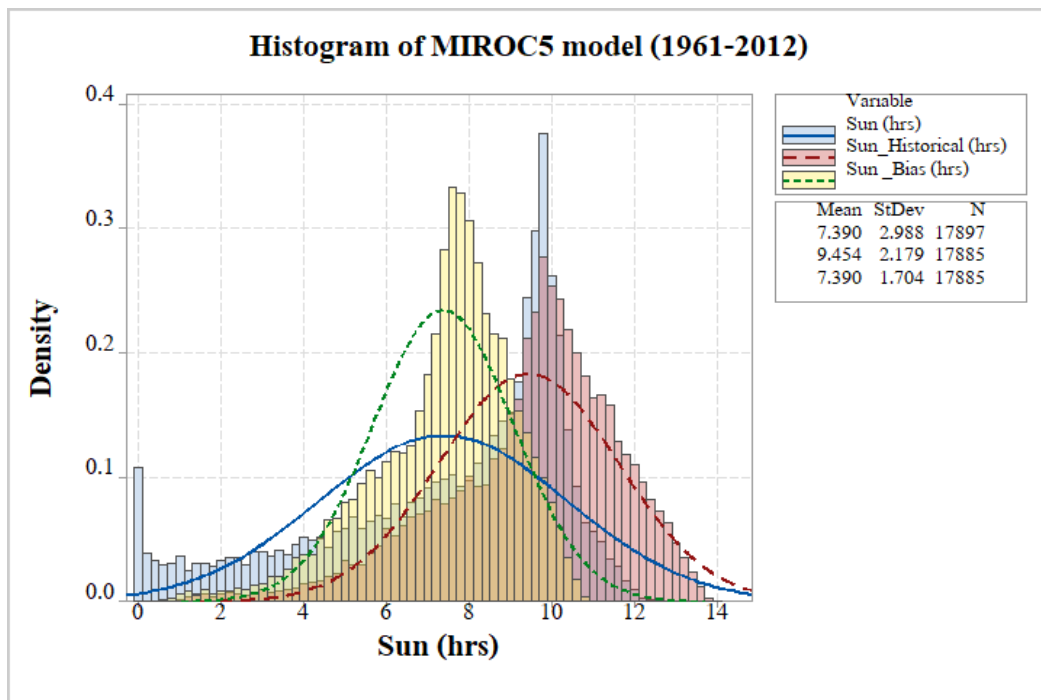


ภาพผนวกที่ ก13 กราฟ Histogram ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง EC-EARTH ในช่วงปีพื้นฐาน

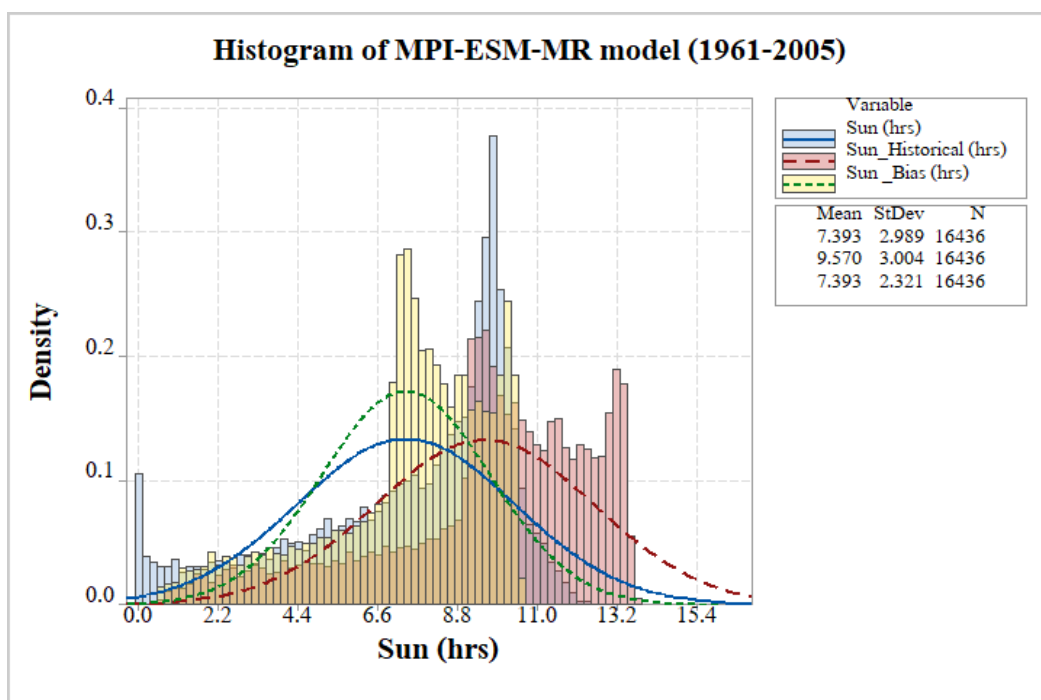


ภาพผนวกที่ ก14 กราฟ Histogram ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง GFDL-CM3 ในช่วงปีพื้นฐาน





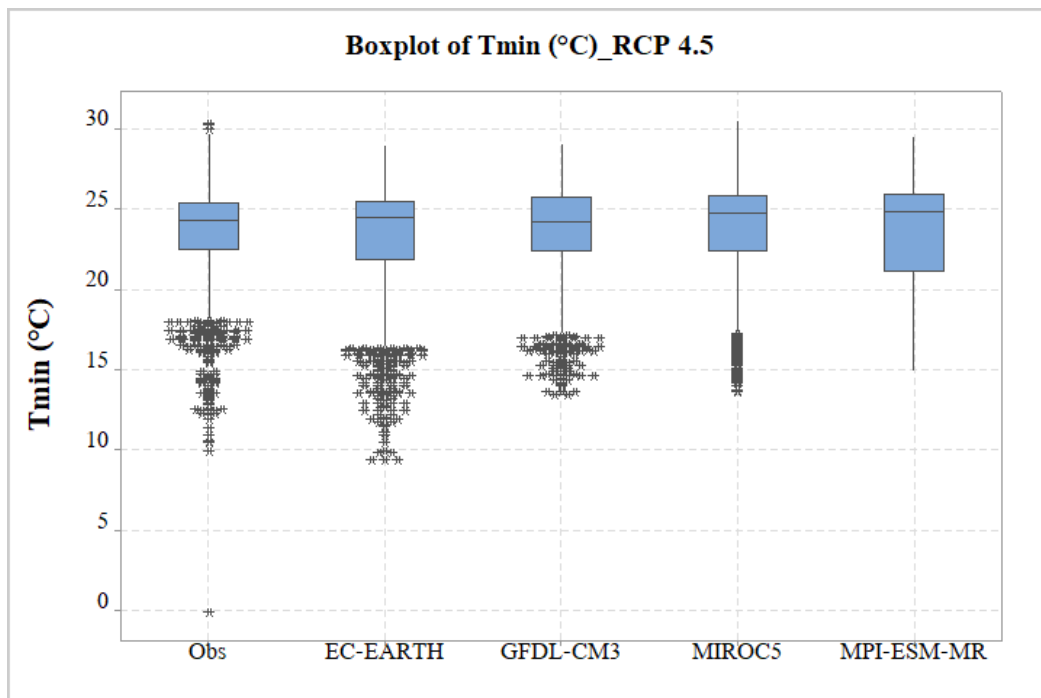
ภาพผนวกที่ ก15 กราฟ Histogram ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MIROC5 ในช่วงปีพื้นฐาน



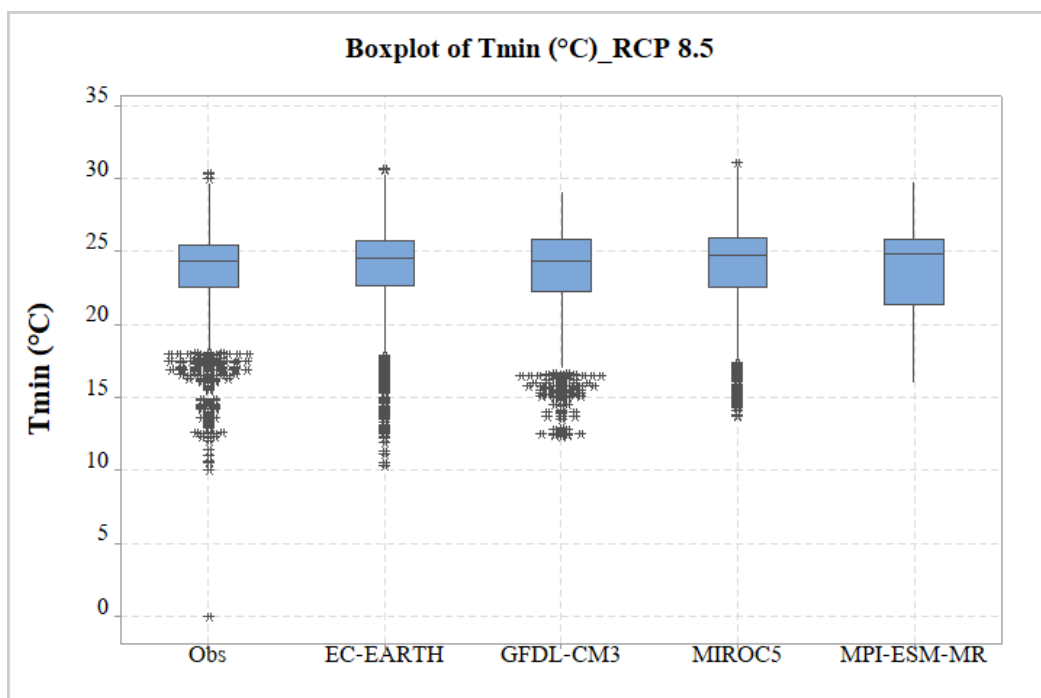
ภาพผนวกที่ ก16 กราฟ Histogram ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดช่วงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าอคติของแบบจำลอง MPI-ESM-MR ในช่วงปีพื้นฐาน

**ภาคผนวก ข**

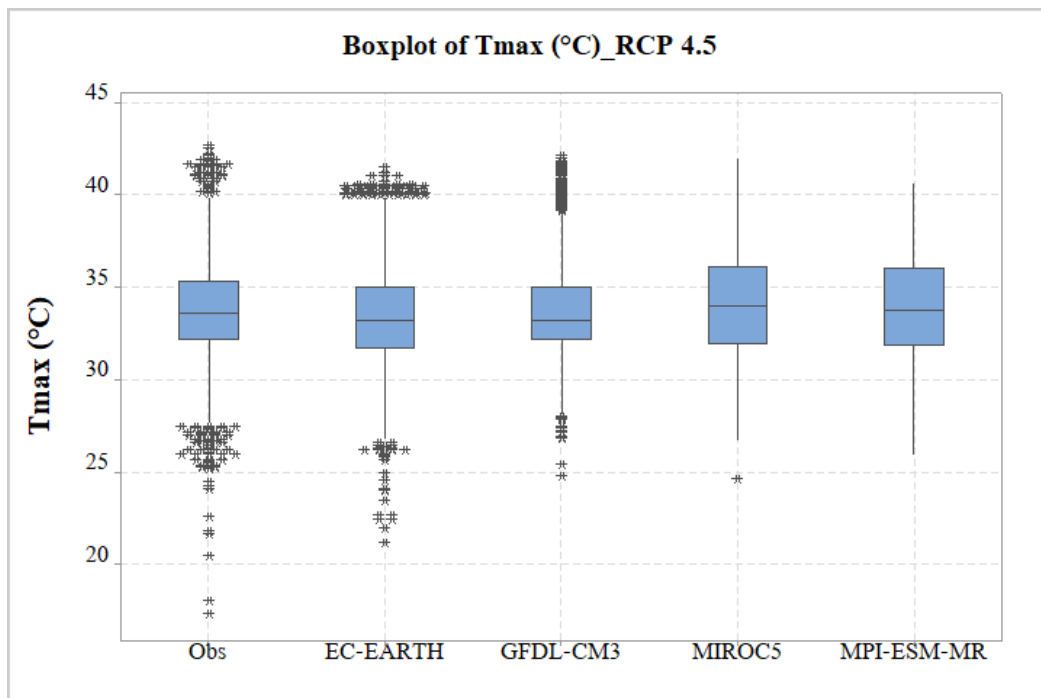
กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลอุตุณิยมหาวิทยาลัยราชว้ันในช่วงปี ค.ศ. 2013-2018



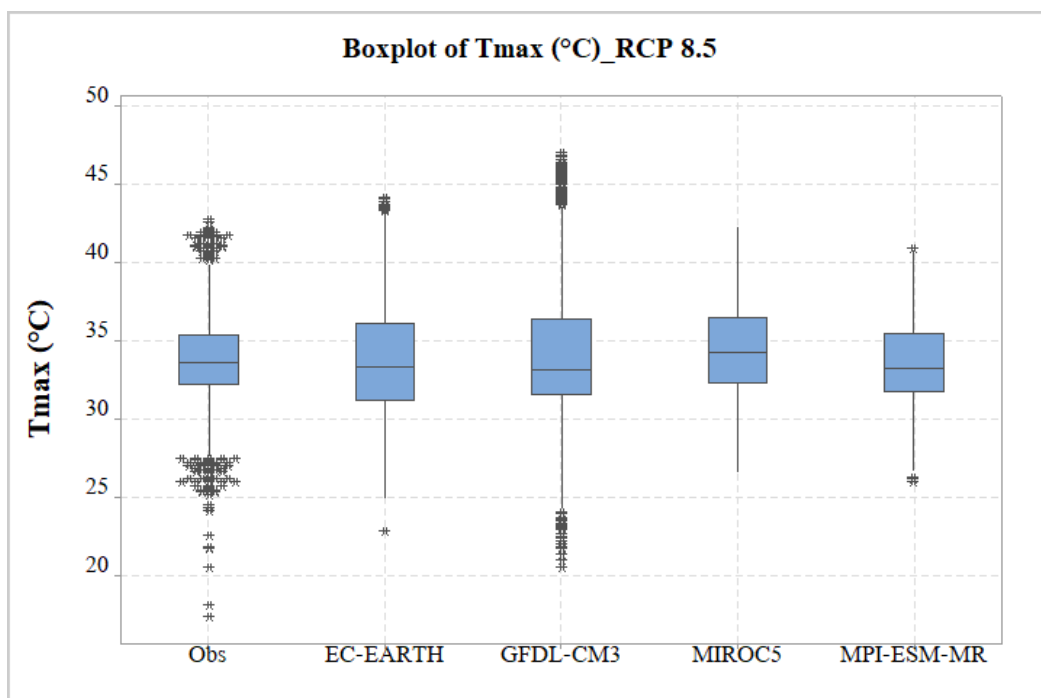
ภาพผนวกที่ ข1 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5



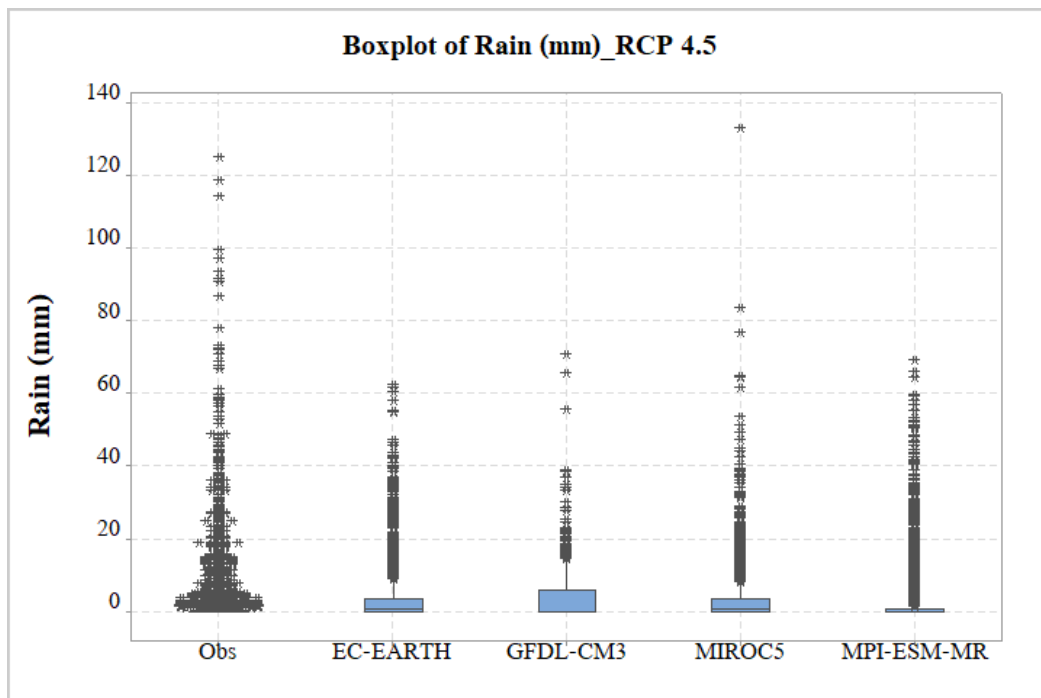
ภาพผนวกที่ ข2 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 8.5



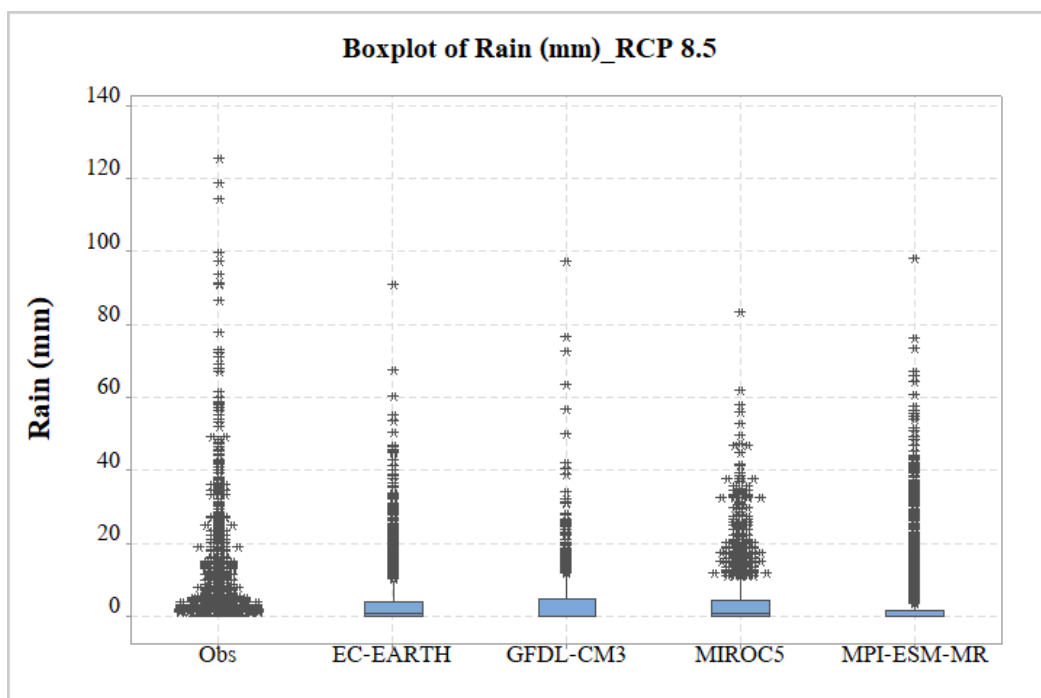
ภาพผนวกที่ ข3 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5



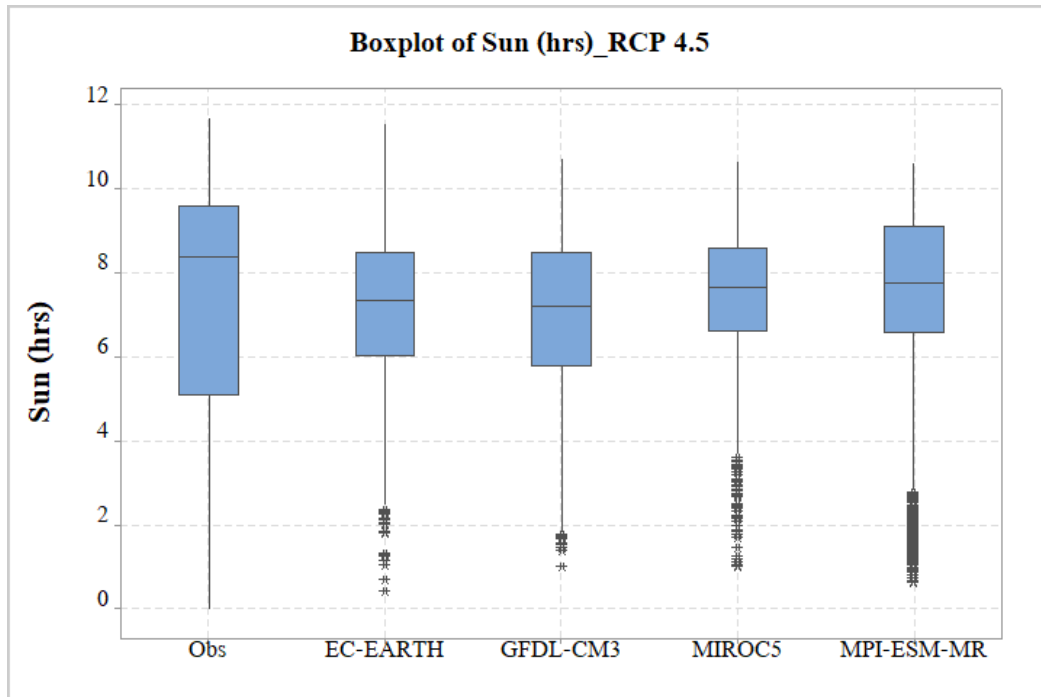
ภาพผนวกที่ ข4 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 8.5



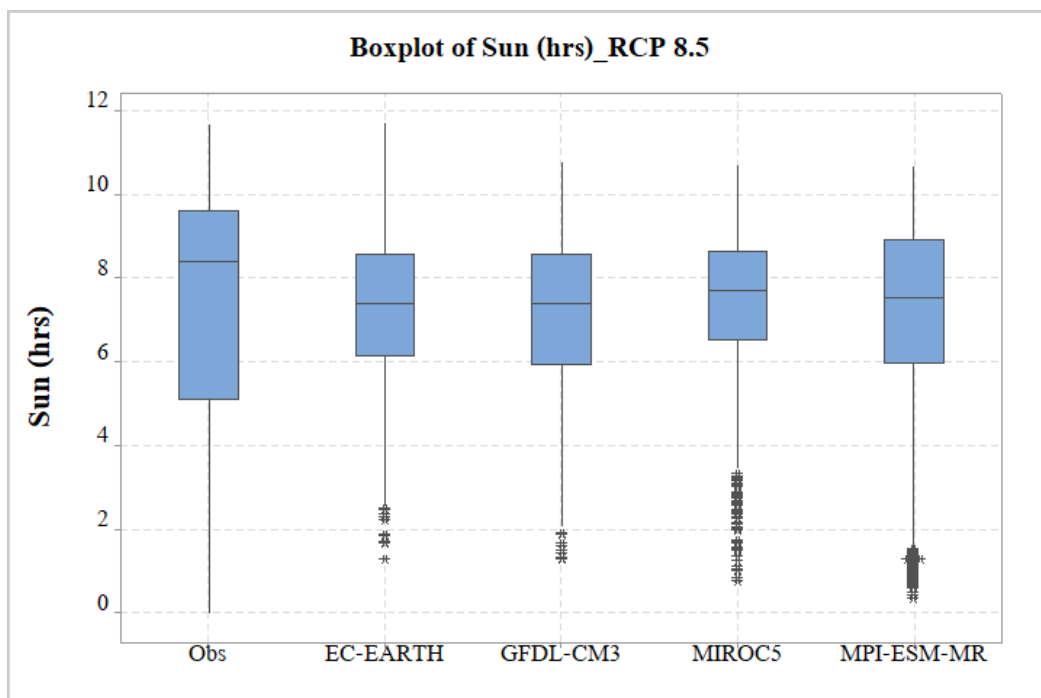
ภาพผนวกที่ ข5 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลปริมาณฝนในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5



ภาพผนวกที่ ข6 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลปริมาณฝนในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 8.5



ภาพผนวกที่ ข7 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5



ภาพผนวกที่ ข8 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ข้อมูลชั่วโมงแสงแดดในช่วง ปี ค.ศ. 2013-2018 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ภายใต้สถานการณ์ RCP 8.5

**ภาคผนวก ค**

ผลคาดการณ์ข้อมูลอุดมศึกษารายเดือนเฉลี่ย ปี ค.ศ. 2021-2050  
ภายใต้สถานการณ์ RCP 4.5 และ RCP 8.5

ตารางผนวกที่ ๑๑ ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพืษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	15.22	18.95	23.62	23.40	25.65	24.64	24.64	25.12	24.38	23.31	19.65	15.55	22.01
2022	19.14	19.62	22.46	24.53	27.17	25.35	26.25	25.40	24.28	21.75	20.40	21.81	23.18
2023	21.03	22.52	24.75	27.34	24.90	26.34	25.25	25.21	24.79	23.69	23.09	22.54	24.29
2024	20.62	19.66	23.19	25.37	26.98	25.62	25.93	25.99	24.84	23.65	23.48	21.72	23.92
2025	21.82	19.05	25.39	26.44	26.56	26.49	25.55	26.19	25.09	24.27	22.98	23.45	24.44
2026	21.15	22.33	23.53	23.46	23.93	25.23	25.38	25.36	25.19	23.28	21.80	19.79	23.37
2027	20.80	20.74	24.79	25.39	24.13	26.37	27.02	26.54	24.84	22.63	22.41	19.79	23.79
2028	22.05	23.45	26.22	26.36	26.30	26.36	26.04	26.29	25.83	24.74	23.60	22.49	24.98
2029	17.16	22.83	26.26	25.66	26.49	27.58	26.05	26.08	25.27	23.87	22.75	20.19	24.18
2030	17.27	19.83	23.70	27.41	27.47	27.33	26.18	25.94	25.27	23.70	25.33	23.50	24.41
2031	22.32	24.54	27.96	27.56	26.39	25.46	25.80	25.57	25.05	23.74	24.05	18.91	24.78
2032	19.59	20.69	23.95	25.05	26.00	25.10	25.98	25.79	25.33	24.59	25.09	22.01	24.10
2033	21.76	22.51	24.00	27.13	27.57	26.41	25.89	25.87	25.34	23.74	22.43	19.18	24.32
2034	20.54	21.18	24.68	25.57	25.75	25.03	25.63	25.26	25.33	24.15	21.26	21.14	23.79
2035	19.86	21.89	23.26	27.38	25.84	26.01	25.37	25.85	25.81	24.65	21.13	20.47	23.96



ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	19.83	20.98	23.58	25.24	27.26	25.88	25.97	25.23	25.16	22.59	21.36	19.70	23.56
2037	22.40	23.61	24.19	26.80	27.19	27.25	27.30	26.87	25.69	24.54	23.65	21.90	25.12
2038	17.00	22.88	24.22	25.90	25.51	25.12	26.03	26.09	25.21	24.22	24.10	21.40	23.97
2039	18.02	22.17	22.35	25.73	27.45	26.94	26.34	26.36	25.32	24.78	23.29	24.76	24.46
2040	22.03	21.65	24.09	26.99	26.27	26.23	27.23	26.75	25.22	24.96	24.49	21.43	24.78
2041	20.35	21.46	25.03	26.38	25.40	25.41	25.65	26.10	25.50	23.39	23.54	22.38	24.22
2042	21.26	21.74	25.98	26.66	25.78	25.88	27.29	25.95	25.85	24.76	25.03	23.02	24.93
2043	19.55	22.86	25.70	27.35	28.18	26.28	26.25	25.60	25.07	23.78	24.31	23.69	24.89
2044	22.41	21.91	24.42	26.65	25.55	26.18	25.68	25.45	25.49	24.81	21.08	18.11	23.98
2045	21.77	21.36	23.29	25.50	27.03	25.28	25.42	25.53	25.29	23.94	23.35	21.61	24.11
2046	22.30	20.17	25.41	26.42	27.39	26.65	27.24	26.79	26.52	25.48	22.65	20.78	24.82
2047	19.09	22.71	24.54	25.98	24.94	25.76	25.67	25.27	25.59	23.32	24.93	22.41	24.18
2048	17.80	23.37	23.73	25.74	26.29	26.35	26.08	26.10	25.76	26.05	24.36	22.63	24.52
2049	21.24	20.46	24.05	26.48	27.06	25.48	25.64	26.03	25.67	24.50	23.70	19.49	24.15
2050	19.46	22.68	24.64	26.80	26.33	26.92	26.95	27.48	26.50	25.19	25.21	21.45	24.97
Average	20.16	21.66	24.43	26.09	26.29	26.03	26.06	25.94	25.35	24.07	23.15	21.24	24.21

ตารางผนวกที่ ๑๒ ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาย RCP 4.5 สถานีพินิจโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	31.04	35.58	35.21	33.77	35.67	32.43	32.43	31.19	30.63	30.60	29.98	31.45	32.50
2022	32.34	34.36	38.12	35.66	37.25	32.62	34.54	31.89	31.27	33.47	33.28	34.07	34.07
2023	34.07	37.46	37.94	38.22	32.81	34.14	31.52	32.96	30.57	31.79	33.17	33.69	34.03
2024	33.10	32.65	37.84	34.88	36.63	32.92	33.82	33.59	31.43	32.96	33.34	33.78	33.91
2025	32.64	32.64	38.58	38.14	34.95	33.91	32.53	33.32	31.47	31.66	32.67	33.22	33.81
2026	33.61	34.38	32.18	31.10	32.21	32.72	32.77	32.96	31.70	30.47	31.99	31.72	32.32
2027	31.42	32.22	35.58	34.42	31.83	35.40	34.75	33.75	31.41	33.12	32.28	31.93	33.18
2028	34.44	36.05	37.48	36.02	34.35	34.11	33.08	33.81	33.33	32.02	33.49	34.46	34.39
2029	32.44	36.34	36.60	35.73	35.41	36.32	32.87	33.21	31.21	32.70	33.59	33.13	34.13
2030	33.06	35.36	37.49	39.66	37.57	35.49	33.02	32.54	31.76	34.21	35.11	35.00	35.02
2031	34.66	37.39	39.70	37.62	34.56	32.03	32.37	32.47	31.94	32.42	32.80	32.47	34.20
2032	34.13	33.61	36.40	35.50	34.52	32.47	33.79	32.96	32.46	32.86	34.37	34.02	33.92
2033	35.29	34.35	36.44	38.36	36.64	33.55	33.13	32.39	30.88	31.87	32.23	32.83	34.00
2034	34.09	33.80	37.22	35.59	34.26	31.81	32.22	32.21	31.50	31.25	32.86	33.36	33.35
2035	33.13	33.97	37.86	38.71	34.19	33.42	32.26	33.15	32.84	33.49	32.41	33.04	34.04

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	33.41	34.84	37.18	35.61	37.67	33.35	33.03	32.08	31.67	30.82	31.32	31.82	33.57
2037	33.85	35.49	36.13	39.13	36.55	35.74	35.55	34.52	32.31	30.89	32.39	31.67	34.52
2038	31.27	34.91	38.16	36.99	33.42	31.57	32.97	32.86	31.55	32.05	33.49	33.24	33.54
2039	32.77	35.88	34.36	37.52	37.06	35.03	34.35	33.55	32.19	34.25	34.36	34.84	34.68
2040	33.90	35.21	38.92	38.22	35.45	33.34	35.52	34.25	31.69	32.78	32.80	33.27	34.61
2041	33.11	35.96	36.42	37.21	33.44	31.89	32.42	33.62	31.55	31.15	33.65	33.57	33.66
2042	33.80	34.06	38.37	39.27	34.77	33.38	34.94	32.64	32.37	33.17	34.89	34.41	34.67
2043	33.16	35.80	38.34	39.60	39.15	33.81	33.11	31.71	32.01	32.18	34.13	34.15	34.76
2044	33.65	33.31	37.97	37.29	33.91	33.06	32.65	32.14	31.65	32.37	31.56	32.20	33.48
2045	34.07	35.05	33.82	36.85	35.72	31.27	31.46	31.89	31.32	31.27	32.82	33.27	33.23
2046	34.17	35.10	38.85	37.48	36.45	34.06	34.76	33.80	33.37	31.75	32.09	32.32	34.52
2047	33.19	36.12	34.68	35.57	32.92	31.99	32.17	31.96	31.87	32.94	33.78	32.81	33.33
2048	33.23	36.09	35.60	36.23	34.99	34.42	33.72	33.37	32.76	34.23	35.14	34.81	34.55
2049	33.18	34.00	37.70	38.22	36.63	31.08	32.35	33.38	31.55	31.61	33.46	32.67	33.82
2050	33.70	35.38	38.65	37.72	34.12	35.24	34.65	35.61	34.01	32.86	34.08	32.78	34.90
Average	33.33	34.91	36.99	36.88	35.17	33.42	33.29	32.99	31.88	32.31	33.12	33.20	33.96

ตารางผนวกที่ 3 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2021	6.47	7.85	61.43	66.89	259.87	275.84	132.61	219.95	143.60	29.98	4.68	4.70	1213.87
2022	40.85	35.31	61.60	189.47	200.17	264.85	204.94	315.55	314.35	140.83	37.00	1.38	1806.29
2023	3.30	3.90	0.09	118.10	121.19	380.89	166.83	244.37	287.68	237.31	90.94	27.49	1682.09
2024	7.19	0.91	53.87	136.09	101.91	369.73	369.78	253.94	468.83	185.26	41.39	73.60	2062.50
2025	7.17	66.07	0.18	43.14	211.66	287.02	214.66	185.14	521.10	115.92	38.96	21.69	1712.71
2026	1.04	0.00	100.57	62.38	212.63	190.93	223.21	397.33	228.31	131.53	88.89	11.33	1648.14
2027	0.07	0.00	20.11	124.13	91.73	22.21	155.35	138.86	218.10	46.91	67.69	12.22	897.38
2028	3.06	0.15	8.14	0.40	78.01	51.66	48.44	76.10	255.63	130.29	8.33	60.83	721.08
2029	9.80	33.20	121.50	303.51	192.37	217.63	349.24	144.22	277.61	271.11	83.26	0.88	2004.33
2030	4.92	15.71	0.74	96.39	275.53	229.38	225.73	238.66	419.64	327.51	28.00	17.19	1879.39
2031	0.11	10.81	21.27	44.73	212.73	289.53	339.26	136.58	376.18	235.71	81.87	45.08	1793.85
2032	0.23	55.36	16.79	148.78	166.19	132.17	161.81	37.58	261.16	128.49	56.28	35.86	1200.69
2033	2.50	0.11	55.71	64.19	62.92	189.91	193.57	140.29	418.23	321.76	21.55	5.41	1476.15
2034	1.31	11.46	13.28	132.06	210.43	110.24	114.11	282.40	325.04	373.45	361.17	19.54	1954.48
2035	0.00	0.76	48.01	106.38	149.46	160.84	46.09	123.33	415.79	148.59	1.36	1.50	1202.11

ตารางผนวกที่ ค3 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2036	2.68	16.69	4.16	100.22	110.44	143.93	147.66	297.99	288.24	333.51	79.67	0.47	1525.68
2037	0.00	5.87	43.20	86.63	129.14	200.06	143.81	263.45	243.77	585.30	29.95	103.30	1834.49
2038	18.51	0.40	50.83	44.20	106.97	164.93	276.02	267.47	370.12	168.71	41.50	24.54	1534.20
2039	1.38	62.80	193.97	90.94	252.20	250.46	146.88	224.72	406.58	223.59	139.59	28.90	2022.01
2040	0.37	38.29	42.23	86.29	203.63	215.73	279.70	204.99	332.49	209.88	16.78	15.20	1645.58
2041	8.81	0.03	29.23	0.48	66.18	156.36	343.61	193.46	342.89	195.27	35.91	23.98	1396.20
2042	0.00	2.84	3.10	61.16	262.56	100.04	364.97	191.34	543.82	343.19	73.77	60.93	2007.73
2043	23.65	15.85	21.13	117.61	181.44	337.16	298.38	108.05	412.11	360.39	9.98	12.66	1898.40
2044	0.21	44.56	7.24	24.41	305.60	235.00	368.14	279.14	237.77	297.60	75.72	38.66	1914.05
2045	6.12	8.84	8.52	10.51	158.00	187.54	244.94	356.28	194.45	266.05	60.57	15.47	1517.29
2046	4.19	0.69	12.22	54.63	184.93	339.05	149.34	332.35	371.30	154.51	35.54	12.04	1650.79
2047	4.45	0.84	84.17	43.64	169.75	247.99	141.26	245.69	260.85	156.59	14.14	7.84	1377.20
2048	26.61	38.68	113.65	73.66	224.84	249.19	99.98	60.58	271.46	135.26	2.79	7.15	1303.84
2049	12.92	0.00	67.47	48.21	137.09	255.09	268.04	64.32	353.45	207.05	35.89	50.04	1499.57
2050	0.50	34.34	7.65	137.27	212.98	267.99	155.14	217.52	241.26	88.60	79.02	10.84	1453.10
Average	6.61	17.08	42.40	87.22	175.09	217.44	212.45	208.05	326.73	218.34	58.07	25.02	1594.51

ตารางผนวกที่ ๓4 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	6.96	7.95	8.81	8.17	5.99	6.51	6.90	6.41	7.15	7.75	7.63	7.14	7.28
2022	7.61	7.95	8.66	8.00	7.60	6.40	6.65	5.73	6.00	7.51	7.27	7.70	7.26
2023	7.30	8.70	10.43	8.85	8.75	6.34	6.21	6.28	6.08	6.62	6.19	6.59	7.36
2024	7.76	8.88	9.10	8.94	8.02	6.18	6.19	6.32	5.84	6.37	7.37	6.71	7.31
2025	7.67	6.67	9.18	9.93	8.32	5.80	6.83	6.02	5.68	6.56	7.01	6.63	7.19
2026	7.43	9.16	8.66	9.19	6.68	6.45	5.75	6.13	6.07	6.77	7.00	7.61	7.24
2027	7.93	8.52	8.77	9.59	8.76	8.44	6.09	5.25	6.70	8.23	6.36	7.07	7.64
2028	7.54	8.57	10.34	11.07	9.01	7.23	7.12	6.29	6.16	6.65	7.95	6.41	7.86
2029	7.40	8.49	7.89	6.75	8.16	6.73	6.06	7.05	6.57	5.83	6.06	7.86	7.07
2030	7.65	8.52	10.03	8.12	6.92	6.60	7.12	6.79	6.22	5.94	7.32	6.88	7.34
2031	7.71	8.43	9.10	8.57	7.97	5.78	5.60	6.63	5.50	6.14	6.56	6.90	7.07
2032	7.75	8.23	8.73	7.22	7.44	7.36	6.78	7.34	6.46	7.04	7.82	7.39	7.46
2033	7.99	8.89	8.55	9.43	8.45	6.91	6.84	5.93	5.11	6.53	7.65	7.41	7.47
2034	7.56	8.83	9.91	8.82	8.00	7.77	7.77	5.78	6.12	5.87	5.25	7.47	7.43
2035	8.10	8.38	8.68	8.93	8.17	6.42	6.28	6.96	5.10	7.26	8.52	7.59	7.53

ตารางผนวกที่ ๓4 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	7.26	7.85	9.95	8.87	7.68	6.67	7.02	6.34	6.01	5.84	7.46	7.51	7.37
2037	8.27	7.95	9.32	9.14	8.34	7.36	6.66	5.70	6.12	4.68	7.76	6.15	7.29
2038	7.38	8.52	8.87	8.34	7.82	7.70	6.22	6.50	5.56	6.54	6.75	7.15	7.28
2039	7.51	7.35	7.70	8.86	7.78	6.47	6.90	5.97	5.63	5.95	6.20	6.39	6.89
2040	7.44	8.37	8.66	8.84	6.68	6.60	6.26	6.30	5.67	6.50	7.57	7.39	7.19
2041	7.15	8.85	9.65	10.24	10.09	8.00	6.33	6.64	5.72	6.40	6.79	7.30	7.76
2042	7.97	8.93	9.14	8.64	7.03	7.31	6.60	6.42	5.78	6.19	6.92	6.10	7.25
2043	7.23	8.26	9.30	8.85	7.59	6.61	6.00	6.16	5.93	5.72	7.46	7.74	7.24
2044	8.05	8.73	9.14	9.61	7.17	6.74	5.96	6.35	6.18	5.86	6.43	6.84	7.26
2045	7.35	8.57	9.37	9.67	7.90	6.32	6.64	5.43	6.09	5.40	6.96	7.11	7.23
2046	7.67	8.74	9.76	9.78	8.81	7.25	6.77	5.48	5.73	6.20	7.36	7.47	7.59
2047	7.04	8.22	9.24	9.23	7.76	6.71	6.68	6.37	6.09	6.28	7.74	7.38	7.40
2048	7.74	8.23	8.71	8.55	7.36	6.87	6.88	7.31	6.54	6.88	7.83	7.46	7.53
2049	7.72	8.62	9.30	10.28	8.65	6.70	6.51	7.67	5.71	6.47	6.62	6.97	7.60
2050	7.86	7.53	8.63	8.47	7.42	7.15	6.32	5.84	6.20	7.30	6.75	7.15	7.22
Average	7.60	8.36	9.12	8.97	7.88	6.85	6.53	6.31	5.99	6.44	7.09	7.12	7.35

ตารางผนวกที่ ค5 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพืษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	24.83	24.13	26.06	25.11	25.91	26.03	24.83	25.27	24.67	23.51	21.08	14.14	23.80
2022	19.05	20.90	23.66	25.49	26.19	26.76	27.14	26.07	25.38	23.98	22.53	21.67	24.07
2023	17.09	19.17	24.34	24.51	23.99	25.69	26.48	25.27	24.79	23.27	23.89	18.51	23.08
2024	20.60	22.20	23.05	25.45	25.47	26.04	25.83	25.34	24.76	23.75	23.23	16.82	23.54
2025	16.18	21.23	24.03	24.58	25.43	25.53	25.23	24.81	23.88	23.21	22.56	18.13	22.90
2026	20.13	22.36	26.03	26.36	25.17	26.50	26.27	25.56	25.21	23.92	22.68	19.96	24.18
2027	19.80	21.85	24.82	27.81	29.31	28.05	27.73	26.37	25.25	23.90	22.37	20.97	24.85
2028	15.54	20.57	26.51	24.88	26.79	26.24	26.43	25.64	25.09	23.99	22.17	18.57	23.53
2029	17.34	22.50	26.80	26.62	24.86	26.47	26.91	27.88	25.46	23.70	20.89	18.78	24.02
2030	20.08	23.15	26.43	25.31	25.25	25.44	25.22	25.68	24.96	23.76	22.62	20.22	24.01
2031	17.65	22.75	25.12	25.32	25.06	24.93	25.40	25.85	24.48	24.38	21.33	19.31	23.47
2032	20.43	20.07	23.98	27.38	26.85	26.65	25.08	26.22	25.61	24.50	23.55	23.51	24.49
2033	20.33	21.00	25.77	25.33	27.28	25.95	26.63	26.69	25.49	24.54	21.26	21.84	24.34
2034	19.98	24.15	25.26	27.85	26.22	26.05	27.23	26.33	25.58	24.75	24.55	21.90	24.99
2035	23.43	21.79	24.35	27.06	28.99	26.40	26.26	25.77	25.11	23.80	19.98	19.65	24.38



ตารางผนวกที่ ค5 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	18.50	22.30	24.76	25.91	25.25	26.82	27.71	28.35	27.05	24.66	24.47	22.07	24.82
2037	18.60	21.89	25.99	26.57	28.93	26.42	26.03	25.26	24.93	24.96	20.85	20.70	24.26
2038	21.20	22.16	24.57	28.09	26.10	25.64	26.75	26.84	25.83	23.85	22.10	20.93	24.51
2039	18.63	21.82	25.84	27.42	29.21	28.03	27.41	25.91	25.29	22.60	23.32	24.56	25.00
2040	22.00	22.77	26.28	26.46	29.49	26.55	25.64	25.81	25.70	24.80	24.21	21.31	25.09
2041	20.98	22.26	24.08	25.81	25.18	27.15	26.65	26.75	25.58	24.58	23.09	20.40	24.38
2042	19.20	19.83	21.75	26.65	24.96	25.04	25.30	25.77	25.71	23.97	22.96	21.73	23.57
2043	22.34	24.68	24.74	27.02	25.47	25.55	26.18	25.91	25.89	25.17	24.88	23.38	25.10
2044	22.22	21.14	26.39	26.47	26.09	27.05	26.72	25.96	25.96	24.55	23.57	19.85	24.66
2045	18.39	17.59	24.61	27.19	24.50	26.68	27.27	27.10	26.05	25.09	21.39	24.47	24.19
2046	17.24	20.56	24.14	27.12	24.99	25.78	26.44	27.01	25.96	24.48	23.01	21.40	24.01
2047	17.47	15.94	25.19	26.04	27.22	28.81	28.02	27.00	26.23	24.49	24.76	19.10	24.19
2048	19.54	20.47	24.13	28.28	25.71	27.00	27.06	27.43	27.07	25.93	24.16	23.51	25.02
2049	20.14	23.16	26.16	25.97	27.15	27.63	26.43	26.24	25.85	24.97	24.15	23.03	25.07
2050	21.68	23.61	25.25	28.17	28.64	28.48	27.56	26.59	25.66	25.19	23.05	23.40	25.61
Average	19.69	21.60	25.00	26.41	26.39	26.51	26.46	26.22	25.48	24.27	22.82	20.79	24.30

ตารางผนวกที่ ๑๖ ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	35.78	37.40	39.99	35.16	34.98	32.19	30.86	31.21	30.96	31.60	29.91	28.62	33.22
2022	32.92	34.88	36.75	37.74	35.91	35.43	35.17	32.81	30.48	31.08	31.74	31.09	33.83
2023	30.45	32.62	35.64	33.82	32.76	33.10	34.16	31.95	30.43	31.97	33.74	29.41	32.50
2024	34.42	35.99	36.82	35.75	34.07	33.74	33.03	31.46	30.90	32.28	32.69	30.41	33.46
2025	31.76	35.67	38.84	35.34	34.18	31.98	30.75	31.09	30.52	30.86	31.67	30.77	32.79
2026	32.58	34.51	38.74	37.43	33.55	34.18	33.48	32.73	31.21	30.57	32.55	30.82	33.53
2027	34.42	37.00	40.50	40.85	41.83	36.59	35.21	32.43	29.73	30.07	31.36	31.87	35.15
2028	30.65	36.19	37.98	35.64	36.45	33.62	34.37	32.10	31.25	33.27	32.39	30.71	33.72
2029	32.35	35.57	39.39	38.11	32.48	34.56	35.19	36.27	30.71	31.43	31.17	31.85	34.09
2030	33.32	35.99	39.86	36.46	32.78	31.94	30.71	32.48	31.48	31.32	32.64	33.28	33.52
2031	31.69	34.17	37.74	36.22	32.38	31.38	31.89	32.52	30.62	30.86	31.42	31.53	32.70
2032	32.13	34.28	39.30	38.94	37.01	33.96	30.19	32.97	33.40	31.46	33.49	34.13	34.27
2033	34.98	34.46	38.54	35.25	35.70	33.15	33.42	34.66	32.87	30.09	30.84	33.16	33.93
2034	33.03	37.77	38.73	40.11	33.52	32.34	35.74	33.59	31.75	33.51	34.72	33.46	34.86
2035	33.77	33.30	36.84	38.20	38.78	33.63	32.92	31.69	31.35	31.83	30.96	32.11	33.78

ตารางผนวกที่ ค6 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	32.51	36.27	40.14	35.41	33.57	35.40	36.54	36.65	34.01	31.96	34.47	32.86	34.98
2037	30.52	37.52	37.63	38.14	39.05	34.11	31.65	31.64	31.48	30.51	30.81	32.27	33.78
2038	33.21	37.18	39.82	38.98	33.19	32.11	34.28	33.03	31.51	30.62	31.88	32.31	34.01
2039	31.55	36.56	37.17	38.28	40.19	35.95	34.28	31.73	31.33	31.70	32.58	35.12	34.70
2040	33.53	36.60	38.50	39.24	40.91	32.26	31.37	32.41	32.09	33.20	32.33	33.38	34.65
2041	33.45	35.32	38.67	35.80	32.58	35.57	32.89	33.80	31.23	30.63	31.81	32.62	33.70
2042	33.38	35.27	34.80	37.96	31.02	30.85	30.73	32.95	31.10	31.87	32.60	33.69	33.02
2043	33.43	35.89	38.79	37.87	32.18	32.23	31.94	32.10	32.94	31.90	35.27	33.74	34.02
2044	34.31	34.59	39.24	37.60	34.05	35.06	32.48	31.66	30.91	31.34	32.27	31.84	33.78
2045	32.41	33.38	39.68	40.81	31.94	34.05	35.33	33.64	32.81	31.10	33.21	35.28	34.47
2046	32.78	35.32	36.13	37.15	33.61	32.77	33.12	33.88	31.71	31.13	31.73	30.77	33.34
2047	31.23	32.56	40.82	37.69	38.33	37.81	35.88	33.56	31.72	31.88	33.48	30.93	34.66
2048	33.26	33.13	36.90	40.42	32.91	33.89	35.25	35.37	33.99	33.12	34.35	35.03	34.80
2049	33.27	35.32	38.92	36.68	36.50	35.45	32.39	33.05	31.26	32.61	31.78	33.01	34.19
2050	33.81	35.72	37.47	41.87	38.00	36.34	34.04	32.09	31.65	30.98	31.43	32.88	34.69
Average	32.90	35.35	38.34	37.63	35.15	33.85	33.31	32.92	31.58	31.56	32.38	32.30	33.94

ตารางผนวกที่ ๗ ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2021	1.82	0.77	42.71	124.51	137.30	291.34	384.13	259.93	207.04	186.59	161.90	0.95	1799.00
2022	0.46	31.43	19.65	108.08	146.51	124.49	107.54	274.08	545.94	166.22	54.99	52.55	1631.95
2023	1.63	2.82	61.65	141.71	186.73	150.93	77.48	321.23	328.80	108.77	15.48	74.16	1471.40
2024	0.28	8.69	72.05	117.69	179.20	144.34	220.77	271.72	285.92	141.98	46.33	0.00	1488.96
2025	13.60	7.83	111.36	86.34	158.87	223.31	253.04	346.96	311.85	212.30	85.78	7.79	1819.05
2026	14.34	18.51	22.32	67.01	122.62	57.25	134.51	201.27	302.94	222.92	51.54	56.12	1271.34
2027	0.63	5.17	1.59	23.49	9.69	109.86	77.31	260.33	461.55	329.09	87.17	14.62	1380.49
2028	0.06	0.61	71.76	101.59	143.09	151.70	125.12	210.39	351.63	49.33	105.94	1.06	1312.29
2029	2.92	13.40	12.83	110.88	226.26	75.85	60.34	45.21	428.48	170.52	153.26	1.92	1301.88
2030	0.36	0.24	4.31	139.44	305.29	215.64	366.15	130.60	293.23	187.45	50.74	4.73	1698.19
2031	22.72	73.28	57.87	94.39	349.85	273.57	212.39	202.68	386.53	290.57	9.64	1.53	1975.04
2032	31.57	11.06	5.61	41.38	99.99	152.49	305.82	107.74	138.25	214.50	24.40	18.45	1151.27
2033	13.16	58.51	51.14	130.57	104.73	231.91	96.13	142.56	167.27	471.44	73.52	2.82	1543.77
2034	47.76	1.17	42.35	33.09	280.80	86.56	63.23	171.49	229.10	99.39	53.87	15.83	1124.64
2035	70.39	39.61	63.37	53.84	44.82	204.37	250.62	417.40	289.99	128.07	39.56	0.14	1602.16

ตารางผนวกที่ ๗ (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2036	15.07	10.24	1.26	129.24	158.03	124.23	88.53	38.67	241.39	249.79	15.90	96.95	1169.30
2037	62.82	0.04	15.96	90.92	31.79	222.51	330.78	186.53	280.61	408.80	55.81	1.14	1687.72
2038	5.53	9.29	2.64	74.12	269.27	242.49	82.35	193.54	349.88	335.94	21.66	10.61	1597.33
2039	30.66	0.55	65.20	44.95	19.34	118.27	187.13	320.55	255.28	138.63	64.35	0.79	1245.69
2040	23.19	12.24	42.91	68.17	45.25	261.88	301.92	233.21	282.20	98.99	116.40	0.51	1486.87
2041	7.54	19.85	35.77	153.08	177.83	78.61	197.86	178.72	383.65	329.91	77.16	3.49	1643.46
2042	0.01	0.37	123.17	75.74	344.09	262.24	312.30	104.00	352.60	245.53	77.66	4.10	1901.80
2043	8.50	18.58	31.56	78.06	211.13	217.04	187.68	282.77	137.65	190.23	2.52	49.70	1415.43
2044	3.78	25.78	29.19	105.74	169.79	117.56	410.53	284.81	337.46	236.98	81.25	2.85	1805.70
2045	0.52	0.00	50.62	59.10	312.14	93.49	95.65	203.07	193.35	338.47	9.70	3.63	1359.74
2046	0.01	20.86	129.19	121.07	247.99	225.73	120.63	99.24	354.31	332.43	73.96	117.46	1842.88
2047	4.21	0.02	0.87	113.11	123.56	35.81	68.97	255.34	371.37	233.66	120.21	51.57	1378.70
2048	0.92	30.61	87.44	51.82	235.87	208.50	76.18	102.52	161.30	168.78	35.20	3.26	1162.39
2049	5.22	29.86	95.49	87.59	211.10	282.85	229.77	209.21	430.49	132.47	119.18	51.02	1884.25
2050	1.88	9.68	52.11	19.10	156.80	72.40	334.59	361.65	296.99	357.32	173.99	11.28	1847.79
Average	13.05	15.37	46.80	88.19	173.66	168.57	191.98	213.91	305.23	225.90	68.64	22.03	1533.35

ตารางผนวกที่ ๑๘ ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง EC-EARTH ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	6.95	8.50	9.20	7.84	7.83	5.79	6.10	5.84	5.78	6.37	6.12	7.76	7.01
2022	7.77	8.15	8.61	9.06	8.24	7.90	6.98	6.40	5.16	6.22	6.63	6.03	7.26
2023	7.45	8.66	7.89	7.35	7.80	6.93	6.76	6.27	5.48	6.66	6.98	6.36	7.05
2024	7.72	8.39	9.05	7.94	7.44	7.07	6.68	6.18	5.96	6.80	6.82	7.75	7.32
2025	8.23	8.39	9.24	8.40	7.23	6.11	5.44	6.32	6.33	6.35	6.31	7.43	7.15
2026	6.97	7.45	8.67	8.46	7.07	6.19	6.21	6.87	5.86	5.67	6.75	6.26	6.87
2027	7.85	8.45	9.66	9.57	9.99	7.36	7.31	5.97	4.95	5.55	6.39	6.94	7.50
2028	8.08	9.02	8.18	8.63	8.27	7.00	7.01	5.83	5.78	7.20	6.79	7.30	7.43
2029	7.82	7.80	8.55	8.85	6.70	7.50	7.25	6.96	5.16	6.58	6.51	7.61	7.27
2030	7.74	8.23	8.87	8.71	6.40	6.68	5.86	6.49	6.07	6.40	6.92	7.49	7.15
2031	7.52	7.36	8.82	8.36	6.70	6.66	6.45	6.52	5.92	5.84	7.69	7.79	7.14
2032	7.01	8.30	9.38	8.81	8.39	6.51	5.21	6.49	6.75	5.97	7.15	6.64	7.22
2033	7.74	7.71	8.54	7.91	7.41	6.66	6.39	6.86	6.33	5.30	6.51	6.94	7.03
2034	7.27	8.37	8.84	9.32	6.97	5.89	7.63	6.56	6.09	6.90	7.28	7.06	7.35
2035	6.72	7.31	8.37	8.31	8.65	7.01	6.63	6.05	6.16	7.03	7.58	7.70	7.29

ตารางผนวกที่ ค8 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	7.57	8.24	9.51	7.70	7.45	7.93	7.90	7.21	5.96	6.40	7.43	6.63	7.50
2037	7.00	8.72	7.93	8.65	8.77	7.50	5.93	6.39	6.41	5.14	7.17	7.48	7.26
2038	7.16	8.52	9.54	8.30	6.47	6.72	7.24	6.01	5.67	6.01	7.17	7.18	7.17
2039	7.57	8.68	7.72	8.55	9.33	7.55	6.23	6.17	6.05	7.22	6.71	7.07	7.40
2040	6.83	8.19	8.37	9.63	9.61	5.86	6.09	6.77	6.44	7.29	6.46	7.59	7.43
2041	7.51	8.11	9.19	8.16	6.66	7.65	5.84	6.40	5.94	5.77	6.76	7.55	7.13
2042	7.99	8.91	7.93	8.60	5.95	6.10	5.78	7.05	5.70	6.75	7.47	7.30	7.13
2043	6.95	7.19	9.18	8.49	6.42	6.26	5.76	6.44	6.63	5.73	7.97	6.89	6.99
2044	7.46	7.78	8.89	8.76	7.03	7.26	5.29	6.01	5.50	6.13	6.63	7.37	7.01
2045	7.96	9.25	9.42	9.91	7.47	7.14	7.15	6.19	6.28	5.56	8.28	7.42	7.67
2046	8.31	8.41	8.35	8.06	7.82	6.48	6.61	6.41	5.86	5.91	6.61	6.00	7.07
2047	7.64	9.31	9.72	9.31	9.45	7.85	6.85	6.27	5.73	6.61	6.53	7.10	7.70
2048	7.74	7.29	8.49	9.15	6.89	6.81	7.48	7.06	6.21	6.24	7.41	7.55	7.36
2049	7.44	7.81	8.87	8.59	8.55	7.28	6.28	7.03	5.64	6.86	6.11	6.74	7.27
2050	7.27	7.83	8.48	9.95	8.28	7.44	6.87	5.78	6.40	5.65	6.46	6.90	7.27
Average	7.51	8.21	8.78	8.64	7.71	6.90	6.51	6.43	5.94	6.27	6.92	7.13	7.25

ตารางผนวกที่ ๑๑ ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภายใต้อาณา RCP 4.5 สถานีพืชนูโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	20.72	20.99	23.70	27.35	27.18	25.81	25.98	25.93	25.00	23.42	22.96	18.29	23.95
2022	19.16	21.69	24.38	26.38	26.72	25.79	26.24	25.82	24.42	23.43	21.15	20.72	23.82
2023	19.40	23.16	23.36	27.27	25.48	25.78	25.84	25.69	25.30	24.06	23.46	19.76	24.05
2024	19.46	21.27	22.21	25.72	26.83	26.15	26.97	26.15	24.80	24.26	22.73	19.12	23.81
2025	20.05	20.78	23.73	26.40	26.05	25.61	26.13	25.82	25.50	23.77	22.44	20.66	23.91
2026	19.29	20.99	25.00	26.39	26.25	25.82	26.12	25.93	24.44	23.65	22.71	17.37	23.66
2027	19.15	22.69	25.42	27.05	26.12	25.94	25.81	25.83	25.09	24.13	21.02	20.35	24.05
2028	18.86	20.91	23.76	26.14	26.21	25.77	25.97	26.06	25.02	23.12	23.89	20.95	23.89
2029	21.18	22.29	25.57	26.39	25.86	25.88	26.02	25.89	24.07	22.67	21.49	20.50	23.98
2030	19.95	21.40	25.35	27.47	28.44	26.78	26.66	26.14	25.40	23.66	22.86	18.56	24.39
2031	16.82	21.10	23.85	26.06	25.53	25.77	25.49	25.02	24.82	22.77	22.10	19.48	23.24
2032	19.60	21.75	25.34	26.09	26.06	25.98	25.84	25.52	23.94	23.71	22.44	19.96	23.85
2033	19.97	22.24	24.09	26.46	26.59	25.94	26.04	25.79	23.54	22.94	20.28	21.36	23.77
2034	19.94	22.23	24.51	27.36	26.50	25.94	26.09	26.05	25.05	23.96	23.23	19.60	24.21
2035	20.46	22.37	24.98	28.09	26.98	26.74	26.71	26.16	24.88	23.28	22.90	20.55	24.51



ตารางผนวกที่ ๑๑ (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	20.15	22.72	24.15	26.57	26.39	26.15	25.98	25.84	25.66	23.99	22.35	20.28	24.19
2037	22.03	20.94	24.24	25.73	25.49	25.83	25.89	25.98	23.79	23.86	23.36	20.79	23.99
2038	19.02	22.89	24.58	27.04	26.36	26.09	26.09	25.89	24.57	24.51	23.62	21.05	24.31
2039	21.43	23.04	25.85	27.32	26.45	26.30	26.39	26.13	25.89	24.41	21.68	19.60	24.54
2040	18.83	21.53	25.43	26.94	26.02	26.01	25.76	26.35	25.74	24.08	22.40	21.38	24.21
2041	18.34	22.90	24.72	26.46	26.54	26.23	26.47	25.61	25.81	24.14	23.32	20.53	24.25
2042	18.56	22.30	24.65	26.93	26.21	25.89	26.25	25.97	25.53	24.15	21.27	21.85	24.13
2043	21.49	23.37	25.13	28.00	26.54	26.11	26.22	25.94	25.60	23.31	22.79	18.86	24.45
2044	18.08	20.65	23.43	27.42	25.87	26.39	26.28	26.09	25.46	23.88	22.04	21.28	23.91
2045	22.57	21.39	24.85	28.23	27.36	27.02	26.52	26.30	24.28	24.64	23.97	21.10	24.85
2046	19.41	21.31	25.98	26.98	27.33	26.28	26.15	26.01	25.24	23.38	23.61	20.71	24.37
2047	18.85	22.02	24.26	28.05	26.08	26.21	26.43	25.99	24.97	24.98	23.05	23.05	24.50
2048	19.78	23.43	25.41	28.04	27.38	26.59	26.60	26.43	25.07	24.43	23.35	19.92	24.70
2049	20.16	21.21	23.78	28.26	26.75	26.12	26.36	26.04	25.30	25.00	21.21	20.42	24.22
2050	18.08	21.76	26.78	27.76	26.25	26.25	26.25	26.20	25.01	23.81	22.82	22.23	24.43
Average	19.69	21.91	24.62	27.01	26.46	26.11	26.18	25.95	24.97	23.85	22.55	20.34	24.14

ตารางผนวกที่ 10 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิชญ์โลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	31.59	33.94	36.90	40.00	38.05	34.22	33.85	33.10	32.79	33.65	34.35	30.64	34.42
2022	31.26	34.75	37.14	37.92	37.00	33.52	35.41	33.08	32.85	32.71	32.55	31.86	34.17
2023	31.82	35.58	35.64	39.15	34.56	33.27	33.37	33.03	32.60	32.89	32.03	30.72	33.72
2024	31.93	34.79	35.44	38.08	37.76	35.12	36.77	34.37	33.58	35.36	33.17	31.03	34.78
2025	31.86	32.95	36.52	38.00	35.98	33.45	34.68	34.18	32.61	31.91	31.24	30.36	33.65
2026	31.25	33.22	38.11	39.45	36.24	34.02	34.53	32.88	32.87	32.57	32.40	29.03	33.88
2027	32.50	35.96	38.84	39.31	34.76	33.21	32.75	33.21	33.14	32.41	31.04	31.54	34.06
2028	30.35	33.87	36.96	38.30	36.33	32.85	33.38	33.09	33.28	32.97	32.97	32.03	33.87
2029	33.06	33.94	38.33	38.23	35.67	33.69	33.35	33.00	32.78	32.97	33.08	32.71	34.23
2030	33.08	33.46	38.36	40.05	39.80	36.01	35.32	33.47	32.93	31.98	32.17	30.07	34.72
2031	29.67	34.66	36.24	38.26	35.25	33.61	33.27	33.13	33.23	32.98	33.19	32.39	33.82
2032	31.47	34.54	38.54	37.18	35.32	33.41	32.80	33.25	33.79	33.82	33.22	31.82	34.10
2033	32.46	33.29	35.94	38.32	37.28	34.52	33.95	33.04	33.41	33.79	32.72	32.39	34.26
2034	32.77	34.87	36.51	38.85	37.00	33.42	33.36	33.56	33.16	34.46	33.73	31.34	34.42
2035	32.90	34.90	39.05	40.23	37.23	36.67	35.34	33.97	32.90	33.33	33.37	31.73	35.14

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	32.00	34.13	36.72	38.39	36.01	33.63	32.98	33.28	33.10	32.31	32.00	30.63	33.77
2037	32.95	33.95	36.83	37.81	34.77	33.28	33.36	33.23	33.34	35.38	33.97	32.67	34.30
2038	31.06	35.06	37.24	38.69	36.64	33.53	33.29	33.67	34.13	34.24	34.63	32.97	34.60
2039	33.30	35.11	38.28	38.70	35.92	34.70	34.62	33.73	33.38	33.42	32.14	31.55	34.57
2040	31.01	33.14	38.51	39.42	35.90	34.17	33.70	35.16	33.37	32.64	32.44	32.31	34.31
2041	30.47	34.57	38.23	38.55	37.28	35.55	34.82	33.69	33.11	33.19	33.78	31.20	34.54
2042	30.93	35.23	37.24	38.95	36.27	34.22	34.51	33.20	33.32	33.16	32.36	32.30	34.31
2043	33.97	36.70	37.77	39.52	37.02	34.72	34.34	33.40	33.48	33.03	33.02	28.76	34.64
2044	30.15	33.38	36.54	39.43	35.24	35.45	34.24	33.21	33.02	32.88	31.56	31.50	33.88
2045	34.51	33.97	38.34	40.81	38.66	36.79	35.29	33.96	33.12	35.16	33.68	32.74	35.59
2046	31.57	32.91	39.38	38.97	37.45	33.77	33.44	33.70	32.82	33.20	33.81	32.45	34.46
2047	30.61	36.65	37.04	39.77	34.32	34.37	35.42	33.46	34.50	36.04	34.70	33.05	34.99
2048	30.88	35.89	38.50	40.79	38.13	35.69	35.79	35.00	32.85	34.67	33.92	31.50	35.30
2049	32.77	33.57	35.97	40.00	37.29	34.60	35.29	34.01	33.60	33.17	31.85	31.70	34.49
2050	31.29	33.43	39.39	39.59	35.57	34.90	34.44	33.30	33.63	33.91	33.60	33.78	34.74
Average	31.85	34.41	37.48	39.02	36.49	34.35	34.26	33.55	33.22	33.47	32.96	31.63	34.39

ตารางผนวกที่ ค11 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2021	3.22	0.75	0.11	28.60	115.67	218.17	233.68	304.38	183.43	6.87	0.57	0.20	1095.66
2022	0.13	2.49	0.24	17.43	168.17	183.65	119.11	261.67	215.30	61.22	0.85	0.89	1031.14
2023	0.46	0.08	1.39	54.64	215.89	231.23	308.84	305.13	500.63	17.13	19.98	1.11	1656.49
2024	12.70	3.34	0.65	20.44	117.39	162.25	117.57	283.79	81.94	9.41	2.06	0.45	811.98
2025	2.00	0.10	0.35	17.73	200.69	158.08	178.52	215.93	392.07	58.96	41.43	3.19	1269.06
2026	0.61	0.35	0.10	5.11	153.08	189.82	152.56	555.77	300.20	97.47	5.33	2.08	1462.49
2027	0.15	0.56	1.65	38.64	190.76	242.56	512.89	258.05	220.61	90.83	2.41	1.25	1560.36
2028	0.29	0.61	0.53	29.71	196.70	309.80	197.47	374.34	181.84	49.64	38.55	4.47	1383.93
2029	0.82	0.17	21.51	44.17	181.63	199.87	325.76	429.81	157.78	27.59	0.76	2.72	1392.60
2030	0.65	0.25	2.88	7.41	63.87	133.39	168.45	332.82	339.81	92.33	16.30	0.71	1158.87
2031	0.04	0.20	5.01	14.75	162.48	302.47	181.65	283.83	214.80	11.77	0.23	1.94	1179.16
2032	0.36	0.13	9.54	60.66	171.97	229.65	372.01	294.47	96.79	115.03	29.39	0.99	1380.98
2033	1.31	6.10	2.04	24.53	104.58	220.52	261.30	695.07	122.76	28.38	0.05	0.69	1467.33
2034	0.17	4.04	8.44	34.83	140.10	255.36	249.03	300.55	185.87	53.60	9.96	0.16	1242.10
2035	3.64	1.25	0.16	21.09	170.60	98.19	220.20	456.28	227.29	0.36	5.26	0.59	1204.92

ตารางผนวกที่ ค11 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2036	0.61	0.18	4.50	61.14	196.52	271.21	436.73	293.31	396.25	167.65	18.14	3.61	1849.85
2037	11.95	1.09	2.17	44.60	223.35	311.32	226.00	411.52	22.30	10.62	8.74	0.09	1273.75
2038	0.74	0.43	0.16	41.46	108.81	468.89	216.17	332.62	98.61	82.29	1.14	0.84	1352.16
2039	0.38	0.43	0.96	21.86	201.87	209.91	214.87	373.66	292.72	16.56	4.31	0.37	1337.90
2040	0.11	0.71	0.35	17.49	164.09	271.76	276.34	210.98	318.04	66.55	3.83	1.26	1331.52
2041	0.07	3.63	1.62	29.33	142.98	164.65	338.06	225.78	343.76	36.10	4.75	3.75	1294.49
2042	1.33	0.04	11.28	64.42	171.48	217.45	331.85	270.45	280.62	63.25	7.70	4.98	1424.85
2043	0.13	2.42	1.39	41.32	236.72	150.15	190.61	359.09	356.40	23.33	15.12	91.59	1468.27
2044	2.43	1.06	0.22	45.15	186.65	196.36	453.59	491.29	455.94	99.81	13.74	1.24	1947.50
2045	1.17	1.06	0.45	33.39	103.70	148.76	212.52	478.55	195.23	10.58	57.37	0.64	1243.43
2046	0.06	0.41	0.71	22.45	195.36	281.32	228.18	274.46	386.22	18.09	11.20	0.62	1419.09
2047	0.11	5.09	12.45	21.45	228.31	171.38	188.10	316.11	63.92	26.06	0.22	25.13	1058.34
2048	0.76	2.04	0.45	35.12	131.83	157.46	163.34	349.23	270.21	3.86	16.97	0.12	1131.38
2049	0.29	2.51	0.39	30.56	199.96	189.30	205.58	313.15	183.15	145.08	4.16	21.75	1295.86
2050	0.09	0.03	0.24	52.31	236.20	163.78	300.90	557.31	150.12	56.30	9.80	2.68	1529.77
Average	1.56	1.39	3.06	32.73	169.38	216.96	252.73	353.65	241.15	51.56	11.68	6.00	1341.84

ตารางผนวกที่ 12 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภายใต้อารมณ์ RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	6.76	8.43	9.58	9.51	8.30	6.57	6.28	5.38	5.70	8.42	7.64	7.14	7.48
2022	7.47	7.90	9.03	9.05	8.09	5.97	7.32	5.28	6.42	7.29	7.79	6.80	7.37
2023	7.60	8.51	9.38	8.99	7.30	5.88	5.65	5.31	4.89	7.52	5.46	6.74	6.94
2024	7.05	8.18	9.53	9.05	8.28	6.67	7.46	6.28	6.90	7.82	7.05	7.30	7.63
2025	6.68	8.51	9.40	8.23	7.25	6.32	6.66	6.17	4.57	6.80	6.03	6.08	6.89
2026	7.17	8.29	9.63	9.79	7.34	6.57	6.31	4.46	6.55	7.46	6.68	6.83	7.26
2027	7.54	8.28	9.05	8.87	6.23	5.70	5.29	6.03	5.75	6.47	7.18	6.75	6.93
2028	7.17	8.48	9.30	9.07	7.26	5.10	6.48	5.12	6.64	7.70	6.15	6.49	7.08
2029	7.40	8.31	9.13	9.08	7.20	6.06	5.49	5.06	7.13	8.15	7.65	6.88	7.29
2030	7.38	8.35	8.32	9.20	9.15	6.55	6.31	5.07	5.64	6.36	6.23	7.08	7.14
2031	7.81	8.70	9.27	9.63	7.11	5.60	6.29	6.03	6.14	8.39	7.57	7.17	7.48
2032	7.53	8.64	9.38	8.18	7.27	5.94	5.08	5.70	7.54	7.72	7.04	6.92	7.25
2033	7.33	7.22	8.26	8.17	8.07	7.09	5.82	4.98	8.03	8.10	8.08	7.12	7.36
2034	7.81	8.19	8.05	8.25	7.53	5.54	5.81	5.79	6.51	8.05	6.40	7.27	7.10
2035	7.20	8.59	9.13	9.28	7.97	7.87	6.15	5.51	6.74	8.69	7.05	7.07	7.60

ตารางผนวกที่ ค12 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	7.53	8.56	9.30	9.16	7.14	6.10	5.19	5.59	5.29	6.82	7.36	6.48	7.04
2037	6.54	8.76	8.89	8.75	7.30	5.88	6.23	4.94	8.68	8.63	6.71	7.40	7.39
2038	7.46	7.68	9.12	8.17	7.74	5.36	5.81	6.48	7.97	7.69	7.41	7.18	7.34
2039	7.64	7.98	8.57	9.09	6.96	6.90	6.38	5.52	5.41	7.48	7.07	7.15	7.18
2040	7.82	8.25	8.91	9.31	7.37	6.39	6.24	6.22	5.40	7.17	6.89	6.78	7.23
2041	7.79	8.29	9.25	9.16	7.78	7.39	5.66	6.44	5.31	7.55	7.15	6.57	7.36
2042	7.65	8.76	8.99	9.13	7.73	6.41	6.30	5.71	6.25	7.14	7.65	6.28	7.33
2043	7.83	7.98	8.46	8.72	8.60	7.33	6.20	5.45	6.06	7.97	6.74	5.80	7.26
2044	7.39	8.36	9.40	8.40	7.26	7.34	5.47	5.08	5.38	7.12	7.06	6.82	7.09
2045	7.36	8.25	9.34	9.39	8.49	7.53	6.53	5.03	7.38	8.55	6.46	7.15	7.62
2046	7.92	8.91	8.94	9.20	8.33	5.64	5.84	6.09	5.57	8.24	6.84	7.09	7.39
2047	7.72	8.65	8.70	8.95	6.38	6.55	6.42	5.17	8.26	8.51	7.94	5.97	7.44
2048	7.35	8.13	9.15	9.76	8.14	7.20	6.24	5.95	6.69	8.38	7.06	7.45	7.63
2049	7.72	7.96	9.40	9.13	8.43	6.77	6.83	6.15	7.20	6.28	7.66	6.71	7.52
2050	7.91	9.00	9.09	9.31	7.11	7.34	6.46	5.00	7.35	7.92	7.29	6.80	7.55
Average	7.45	8.34	9.07	9.00	7.64	6.45	6.14	5.57	6.45	7.68	7.04	6.84	7.30

ตารางผนวกที่ ค13 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	18.95	21.29	24.16	25.71	26.11	25.79	25.62	25.91	24.48	24.95	22.23	18.66	23.65
2022	21.33	22.31	25.18	26.90	26.56	26.06	25.90	25.96	25.25	24.30	23.37	20.23	24.44
2023	20.80	23.50	25.95	28.10	26.47	26.10	26.28	25.95	25.06	23.36	22.12	19.74	24.45
2024	17.44	20.28	24.21	27.32	25.75	25.75	26.04	26.04	24.31	24.20	21.86	20.40	23.63
2025	19.00	21.20	24.17	26.63	25.48	25.97	25.86	25.79	23.53	23.19	22.92	21.81	23.80
2026	21.00	21.98	23.86	26.19	26.05	26.52	25.95	26.00	24.37	23.67	23.29	20.55	24.12
2027	21.66	20.91	24.48	27.26	26.39	25.96	25.97	25.98	24.85	23.10	23.74	21.76	24.34
2028	20.23	22.09	23.95	26.03	26.44	25.87	25.78	25.45	25.07	23.94	22.06	17.48	23.70
2029	20.53	21.23	24.85	26.37	26.44	26.09	26.03	26.07	25.46	23.16	22.18	20.41	24.07
2030	21.87	22.77	24.35	27.73	26.82	27.13	26.52	26.11	25.18	24.77	22.44	19.59	24.61
2031	20.36	20.56	25.09	26.13	25.51	25.92	26.02	25.99	25.48	23.50	21.82	19.38	23.81
2032	19.53	21.87	25.48	26.63	26.50	26.09	26.04	26.08	24.34	24.19	24.23	21.54	24.38
2033	22.62	22.41	25.18	26.45	27.62	26.25	26.45	26.55	25.36	24.68	21.77	20.71	24.67
2034	19.97	23.11	23.86	27.44	26.19	25.93	26.42	26.27	25.14	24.27	23.18	19.06	24.24
2035	20.50	20.91	24.81	26.47	27.19	26.77	26.95	26.51	24.99	24.69	23.25	19.13	24.35



ตารางผนวกที่ ค13 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	18.50	20.72	23.98	26.86	26.94	26.52	26.68	26.16	25.56	22.68	22.58	18.15	23.78
2037	20.97	23.19	25.44	27.74	27.91	26.58	26.64	26.28	25.38	24.65	22.89	20.33	24.83
2038	18.18	22.33	24.38	27.01	26.41	26.48	26.23	26.03	25.01	24.02	19.87	20.97	23.91
2039	17.56	22.11	24.25	27.13	26.19	26.11	26.39	26.25	25.74	24.69	22.93	19.15	24.04
2040	17.70	21.39	24.46	27.02	27.27	26.18	26.68	26.22	24.73	24.33	22.53	21.70	24.19
2041	19.60	22.96	25.50	28.01	27.42	26.45	27.20	26.86	26.15	23.84	22.30	21.35	24.80
2042	20.95	21.92	25.12	26.84	26.18	26.32	26.24	26.12	25.56	24.28	24.00	20.12	24.47
2043	21.51	23.07	25.50	27.15	26.79	27.29	26.75	26.70	25.26	25.20	22.38	21.55	24.93
2044	22.16	21.76	25.12	26.87	26.64	26.90	26.55	26.51	24.87	25.02	22.53	23.01	24.83
2045	21.01	21.82	23.79	27.53	27.70	26.80	26.85	26.24	25.79	23.74	23.20	20.81	24.61
2046	20.82	23.16	24.18	28.64	27.68	26.52	26.80	26.30	24.89	24.00	23.88	19.55	24.70
2047	20.01	21.96	24.75	26.65	26.46	26.12	26.23	26.10	25.17	24.25	23.33	21.65	24.39
2048	17.87	22.45	25.93	27.25	26.45	26.34	26.40	26.25	25.61	24.00	23.49	19.93	24.33
2049	19.48	22.75	23.79	27.41	26.47	26.17	26.94	26.48	25.39	24.55	23.32	20.56	24.44
2050	20.16	23.04	24.39	28.08	26.46	26.48	26.32	26.34	25.23	24.06	21.23	21.18	24.41
Average	20.08	22.03	24.67	27.05	26.62	26.32	26.36	26.18	25.11	24.11	22.70	20.35	24.30

ตารางผนวกที่ 14 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	30.48	33.05	37.15	41.42	38.54	33.85	33.07	33.23	32.79	36.30	32.64	29.27	34.32
2022	31.86	33.53	40.15	42.69	39.30	35.94	34.44	34.65	32.92	33.20	33.43	30.06	35.18
2023	30.48	38.34	42.94	44.51	38.74	35.75	35.56	33.09	32.86	31.55	31.64	29.53	35.42
2024	26.72	30.43	39.93	43.18	36.57	33.66	34.92	34.17	32.33	31.87	30.89	29.61	33.69
2025	30.54	32.08	38.21	40.83	36.27	34.21	32.96	32.13	32.15	33.50	32.87	33.00	34.06
2026	31.53	34.43	39.62	41.22	37.02	37.15	33.26	33.05	33.40	31.93	31.54	28.99	34.43
2027	32.79	33.80	39.99	44.91	38.74	33.98	33.35	33.15	32.83	32.80	32.83	32.41	35.13
2028	29.34	36.56	40.11	40.39	36.64	32.87	32.55	33.36	32.33	31.98	30.04	26.42	33.55
2029	30.52	31.77	41.55	40.51	39.82	34.66	33.18	32.60	32.77	31.48	31.83	30.32	34.25
2030	32.48	36.37	38.76	44.70	39.92	39.17	36.78	34.40	33.81	36.92	33.25	29.66	36.35
2031	32.15	31.92	40.32	40.77	33.32	33.11	33.25	33.38	32.67	32.29	30.33	29.23	33.56
2032	29.05	35.50	42.50	41.93	37.14	34.30	32.36	33.13	34.24	34.86	34.91	31.84	35.15
2033	32.60	35.08	42.29	42.16	41.74	34.10	35.64	35.94	33.35	33.72	30.18	31.17	35.66
2034	29.58	37.66	37.42	43.47	37.60	33.80	37.42	34.62	32.58	33.44	32.77	29.28	34.97
2035	31.26	32.02	40.16	40.64	40.66	37.40	37.76	35.15	33.80	33.02	33.14	27.09	35.17

ตารางผนวกที่ ค14 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	29.34	32.92	38.03	43.03	40.52	36.71	37.30	33.24	33.42	30.95	30.76	26.77	34.42
2037	30.62	37.64	43.04	45.34	42.75	37.05	36.65	34.91	33.65	34.25	34.08	31.09	36.76
2038	27.82	33.67	38.27	41.65	36.29	35.69	34.19	31.99	33.40	31.65	28.28	30.37	33.61
2039	26.72	36.34	41.47	42.46	35.34	34.03	37.03	34.29	33.57	34.27	33.43	29.30	34.85
2040	27.30	33.95	38.89	42.01	41.26	34.46	37.14	33.98	34.97	36.86	32.34	31.79	35.41
2041	30.49	35.22	41.80	43.30	40.77	35.66	38.34	36.52	33.60	32.86	31.35	30.95	35.91
2042	31.49	33.53	40.75	41.56	35.75	35.39	36.46	33.17	32.63	33.55	33.78	30.19	34.86
2043	32.79	37.54	40.94	41.91	39.30	39.27	36.84	35.43	34.01	33.64	31.07	31.84	36.21
2044	33.52	33.14	41.51	41.18	39.23	37.43	37.26	35.32	34.31	35.19	34.53	34.14	36.40
2045	31.93	34.91	36.88	42.94	40.98	38.09	37.12	33.17	33.45	32.83	32.79	30.17	35.44
2046	30.52	38.16	38.48	46.68	40.67	36.31	36.15	33.55	33.58	32.57	33.42	28.81	35.74
2047	30.93	33.29	40.13	41.55	36.63	34.71	33.77	34.04	34.51	34.39	33.19	31.13	34.86
2048	27.43	36.86	41.45	42.59	36.51	34.87	35.85	34.37	33.77	34.09	34.34	30.94	35.26
2049	29.57	34.94	38.34	42.70	37.44	35.90	39.70	35.41	33.60	33.06	32.48	30.81	35.33
2050	30.61	36.68	38.11	44.15	38.10	34.94	33.83	33.88	33.97	33.61	30.22	31.17	34.94
Average	30.42	34.71	39.97	42.55	38.45	35.48	35.47	33.98	33.37	33.42	32.28	30.24	35.03

ตารางผนวกที่ ค15 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภาย RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2021	0.36	0.72	0.56	2.48	134.77	241.02	184.68	213.78	143.58	15.77	7.48	0.13	945.33
2022	0.46	6.37	3.75	44.52	118.40	184.34	157.75	276.35	187.66	19.99	26.76	3.20	1029.54
2023	2.25	0.34	0.15	25.29	151.53	143.47	168.44	360.02	226.78	91.70	0.43	1.10	1171.51
2024	0.10	0.05	0.17	26.58	188.31	204.68	177.84	308.72	166.73	72.59	5.06	1.62	1152.46
2025	0.06	0.42	1.26	68.47	152.13	208.13	331.29	575.38	140.10	14.82	4.60	0.23	1496.88
2026	0.64	9.51	2.22	32.57	159.79	166.50	225.03	544.38	86.63	162.30	31.70	2.81	1424.09
2027	1.41	2.45	4.98	17.46	121.50	209.45	214.78	279.51	275.65	3.13	12.83	0.91	1144.07
2028	0.73	0.65	0.40	23.81	211.64	165.41	214.51	247.34	266.10	38.44	20.32	1.07	1190.43
2029	1.29	0.17	8.40	38.29	115.03	234.12	275.12	704.03	322.01	4.37	2.24	5.00	1710.06
2030	0.90	0.52	1.41	40.71	129.92	114.06	148.43	230.16	129.48	18.37	4.51	0.79	819.26
2031	1.22	0.05	3.30	14.98	269.27	237.33	238.34	335.75	307.20	19.38	9.43	1.17	1437.44
2032	0.94	0.17	7.10	21.63	194.97	187.24	716.02	292.60	72.30	30.12	4.28	3.70	1531.06
2033	6.92	6.47	0.01	25.76	125.30	261.81	182.77	338.48	201.22	53.37	8.30	2.16	1212.56
2034	0.93	0.62	0.21	46.89	138.79	230.16	87.96	347.61	273.26	18.91	3.16	0.33	1148.83
2035	3.43	0.57	0.80	68.29	116.04	155.21	164.70	326.83	109.17	82.88	49.90	62.33	1140.13

ตารางผนวกที่ ค15 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2036	3.76	1.82	0.00	6.71	118.48	127.11	162.43	598.56	290.37	1.73	15.36	1.87	1328.21
2037	2.41	0.04	0.11	20.80	116.66	151.60	147.78	249.47	191.33	28.60	1.62	5.71	916.14
2038	24.96	0.15	13.80	35.27	195.91	199.76	272.27	836.61	231.60	43.48	0.34	8.18	1862.34
2039	0.80	0.11	0.02	53.37	263.62	150.65	101.92	375.26	183.65	21.78	1.85	0.97	1154.02
2040	0.26	0.14	3.02	27.19	126.99	194.17	151.10	290.64	102.73	34.85	37.05	1.29	969.42
2041	0.17	7.08	3.10	41.41	133.39	181.09	108.73	221.30	285.60	41.39	3.69	0.43	1027.37
2042	0.20	0.04	3.43	17.70	213.12	190.94	154.73	425.16	371.96	20.50	10.45	1.13	1409.36
2043	0.07	0.26	0.19	105.63	111.69	278.44	98.05	414.77	207.55	130.92	10.76	1.54	1359.88
2044	0.96	2.53	0.85	76.31	156.57	177.33	108.41	364.30	91.70	67.82	2.76	0.56	1050.11
2045	0.97	0.96	1.00	23.17	127.49	98.12	194.87	381.85	233.66	59.99	3.87	5.74	1131.68
2046	0.29	0.65	1.61	7.63	124.01	154.11	388.85	290.84	206.75	74.23	4.47	0.28	1253.71
2047	1.01	0.10	2.79	40.67	180.96	175.17	396.86	291.91	134.13	8.55	61.00	20.29	1313.44
2048	5.43	0.40	0.33	52.25	203.77	229.21	191.17	237.69	252.73	2.67	7.31	5.04	1188.02
2049	0.11	0.08	0.05	68.44	173.37	150.96	90.68	248.52	285.28	90.00	10.96	1.15	1119.60
2050	0.31	0.18	5.32	54.13	187.00	226.88	439.99	383.11	334.94	43.85	1.71	4.54	1681.96
Average	2.11	1.45	2.34	37.61	158.68	187.62	216.52	366.36	210.39	43.88	12.14	4.84	1243.96

ตารางผนวกที่ 16 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง GFDL-CM3 ภายใต้อาณา RCP 8.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	7.52	8.18	8.36	9.95	7.69	6.26	6.03	5.64	6.45	7.36	6.69	7.28	7.28
2022	7.47	6.81	8.63	9.07	8.44	6.77	6.37	5.56	6.37	6.90	6.55	6.32	7.10
2023	6.89	8.18	9.06	9.08	7.88	7.07	6.00	5.14	6.32	7.58	7.52	6.91	7.30
2024	7.65	8.75	9.28	9.30	7.73	5.67	6.95	5.49	6.69	6.74	6.93	6.63	7.32
2025	7.39	8.37	8.46	8.22	7.17	6.09	5.44	4.69	7.41	8.41	6.78	7.03	7.12
2026	7.14	7.77	8.22	8.36	7.38	6.79	5.66	5.45	7.54	6.95	6.34	5.94	6.96
2027	7.15	7.69	8.07	9.21	7.78	5.76	5.83	5.52	6.02	8.12	6.10	6.41	6.97
2028	6.80	8.40	9.09	8.71	6.47	6.11	5.18	6.05	4.85	6.99	6.15	6.99	6.82
2029	7.06	8.55	8.76	7.82	8.76	6.07	5.73	4.71	5.97	7.98	7.31	6.55	7.10
2030	7.02	8.33	8.32	9.52	8.14	7.37	6.93	5.69	7.06	7.83	7.14	7.01	7.53
2031	7.09	8.72	8.33	8.72	5.90	5.77	5.90	5.70	5.48	7.87	6.80	6.73	6.92
2032	7.34	8.64	8.58	8.92	6.58	6.42	4.72	5.39	8.20	8.03	7.05	6.85	7.23
2033	6.40	8.05	9.13	9.45	8.45	5.63	6.69	5.74	6.43	7.16	6.93	6.80	7.24
2034	7.47	8.37	9.29	8.79	7.38	6.39	6.88	5.42	6.01	7.70	6.87	7.32	7.32
2035	6.90	8.67	8.99	8.23	7.93	7.03	6.38	5.47	7.58	6.39	6.58	6.21	7.20

ตารางผนวกที่ ค16 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	7.38	7.93	9.18	9.42	8.05	6.90	6.97	5.05	6.29	8.36	6.68	7.18	7.45
2037	6.82	8.82	8.96	9.76	8.89	7.26	6.51	6.06	6.23	7.49	7.34	6.63	7.56
2038	7.62	8.49	7.97	8.60	6.60	6.94	6.18	4.15	6.89	7.08	7.90	6.43	7.07
2039	7.27	8.85	9.59	8.38	6.15	6.24	6.86	5.17	6.49	7.53	7.40	6.99	7.24
2040	7.70	8.63	9.16	8.05	8.44	6.16	6.63	5.89	7.98	8.21	6.87	6.86	7.55
2041	7.92	8.35	9.24	8.39	8.14	6.30	7.55	5.51	5.55	7.32	7.15	7.04	7.37
2042	7.74	8.77	8.54	9.91	6.97	6.40	6.92	5.12	5.15	8.24	7.09	6.96	7.32
2043	7.63	8.58	8.59	8.47	8.12	7.27	7.18	5.76	6.91	6.53	7.36	6.74	7.43
2044	7.38	7.82	9.00	8.36	8.43	7.16	6.71	5.44	8.25	7.43	7.61	7.09	7.56
2045	7.20	8.29	8.83	8.88	8.24	7.88	6.53	5.04	5.92	7.90	7.38	6.75	7.40
2046	7.72	7.95	8.97	9.67	8.03	7.40	6.21	5.22	6.65	7.86	7.36	7.04	7.51
2047	7.58	8.66	8.42	8.55	7.25	6.49	5.01	6.37	7.61	8.04	6.60	6.16	7.23
2048	7.18	8.65	8.62	9.04	7.17	6.43	6.71	6.09	6.08	8.65	7.08	6.67	7.36
2049	7.89	8.64	9.26	8.34	7.69	7.42	7.46	5.52	6.32	6.98	6.72	7.07	7.44
2050	7.55	8.70	8.53	8.86	7.60	6.32	5.56	5.20	7.02	8.04	7.52	6.82	7.31
Average	7.33	8.35	8.78	8.87	7.65	6.59	6.32	5.44	6.59	7.59	6.99	6.78	7.27

ตารางผนวกที่ ๑17 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 4.5 สถาบันพินิจโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	19.93	22.86	24.03	25.63	25.44	25.40	26.10	25.54	24.92	24.70	20.95	20.68	23.85
2022	18.91	22.70	24.78	25.17	25.26	24.76	25.63	25.93	25.16	23.90	21.01	18.96	23.51
2023	18.80	20.55	24.55	25.93	26.31	25.44	25.43	25.04	25.13	24.78	22.24	19.40	23.63
2024	20.33	22.48	24.57	26.45	27.21	25.85	25.40	25.10	24.88	25.02	21.03	19.11	23.95
2025	20.50	24.09	26.04	28.79	26.80	27.65	27.13	25.39	25.71	24.76	24.17	18.75	24.98
2026	19.54	20.91	24.56	25.42	26.16	27.02	25.80	25.54	25.10	24.72	22.54	21.13	24.04
2027	19.84	20.71	23.57	25.65	26.04	25.25	24.74	25.17	24.93	23.62	22.19	19.54	23.44
2028	18.44	24.17	25.04	24.84	25.28	25.13	24.66	24.55	24.68	24.23	20.65	16.42	23.17
2029	16.53	21.17	25.09	26.06	26.28	26.01	25.18	24.59	24.95	24.76	23.48	21.39	23.79
2030	20.22	22.93	24.36	26.06	27.17	26.43	25.55	25.83	25.16	24.88	24.04	19.66	24.36
2031	19.83	22.52	26.05	28.32	27.67	29.24	27.23	25.76	25.40	25.55	24.02	21.00	25.22
2032	19.43	19.91	24.28	26.14	26.75	26.47	25.61	25.29	25.22	24.11	21.21	19.92	23.69
2033	19.34	21.99	24.49	25.13	25.40	25.97	25.18	25.14	24.92	24.13	20.53	18.19	23.37
2034	18.43	21.44	24.18	25.13	26.17	25.00	25.14	25.59	24.88	24.53	21.52	18.74	23.40
2035	19.62	22.62	25.87	25.21	25.57	24.92	25.08	25.29	24.59	24.39	21.39	17.76	23.53



ตารางผนวกที่ ค17 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	18.13	22.05	25.08	26.07	25.82	25.07	24.81	24.76	24.88	22.72	21.02	19.54	23.33
2037	20.22	22.86	25.97	26.36	28.62	28.96	26.12	25.78	25.41	25.13	24.02	22.38	25.15
2038	20.76	22.93	26.39	29.24	29.59	27.20	26.14	25.34	24.97	24.81	22.17	22.76	25.19
2039	21.87	20.95	23.85	24.73	25.72	25.29	25.50	25.05	25.22	24.12	21.63	20.14	23.67
2040	17.08	21.28	24.76	25.03	25.30	25.07	24.90	25.37	24.98	24.90	22.39	17.41	23.21
2041	19.74	20.16	23.24	25.54	24.85	24.75	24.88	24.86	24.68	23.97	20.21	17.51	22.87
2042	17.78	21.84	25.63	27.29	28.20	25.87	25.50	26.67	25.34	24.32	22.11	20.93	24.29
2043	22.95	23.64	24.92	27.52	28.22	26.61	26.00	25.46	25.11	25.20	22.49	18.28	24.70
2044	18.11	20.91	24.87	25.95	25.24	25.41	25.39	25.83	25.05	24.76	21.11	18.87	23.46
2045	19.79	23.55	24.31	25.95	26.76	25.63	25.86	25.59	24.91	25.10	20.26	18.13	23.82
2046	17.04	21.54	24.94	25.31	25.66	25.02	25.14	24.90	25.33	25.06	22.23	22.20	23.70
2047	21.74	22.17	24.92	26.44	27.66	26.57	25.64	25.59	25.44	25.21	23.55	18.43	24.45
2048	20.87	22.72	26.93	27.11	28.46	28.91	25.98	26.76	26.12	25.42	22.61	22.90	25.40
2049	20.28	21.65	24.23	25.68	25.70	25.43	25.59	25.42	25.61	24.73	23.54	22.60	24.21
2050	22.08	24.22	23.72	25.03	25.64	25.01	25.28	25.04	24.86	24.29	21.58	21.18	23.99
Average	19.60	22.12	24.84	26.11	26.50	26.04	25.55	25.41	25.12	24.59	22.06	19.80	23.98

ตารางผนวกที่ 18 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	31.71	36.11	37.10	36.06	35.14	33.84	32.47	32.44	32.30	32.85	32.75	31.53	33.69
2022	33.25	36.71	39.18	36.39	39.21	38.96	35.78	33.77	32.87	32.73	33.77	33.80	35.53
2023	34.43	37.70	39.34	40.84	39.45	36.95	34.91	33.85	32.12	32.30	31.79	31.51	35.43
2024	31.92	32.48	36.01	33.65	35.16	34.78	34.06	34.20	33.23	31.81	31.68	31.60	33.38
2025	30.35	34.91	35.45	33.77	34.47	33.58	33.30	33.33	32.43	31.80	31.18	30.23	32.90
2026	31.38	33.20	35.08	35.22	32.25	32.88	33.11	32.93	31.92	31.40	32.01	30.09	32.62
2027	31.01	35.51	37.86	38.10	38.49	34.52	33.81	36.25	32.78	33.43	32.10	32.78	34.72
2028	34.38	36.86	35.37	38.09	38.69	35.10	34.22	33.83	32.57	32.59	30.99	30.11	34.40
2029	30.84	34.74	35.90	35.45	34.04	33.76	34.31	34.91	33.27	33.45	30.98	30.71	33.53
2030	32.89	35.44	36.11	36.76	36.33	35.39	35.44	34.56	32.19	33.57	31.59	30.79	34.25
2031	31.10	35.13	37.03	34.83	34.36	33.27	33.29	32.67	33.48	32.80	33.66	33.55	33.76
2032	32.37	34.60	35.44	37.67	37.39	34.78	34.24	33.47	33.36	32.90	32.76	31.00	34.17
2033	33.78	35.51	37.90	37.36	38.02	38.64	34.19	35.88	33.77	32.58	31.66	31.49	35.07
2034	30.42	33.77	35.96	35.00	34.77	33.94	34.10	34.71	34.28	32.59	32.85	31.82	33.68
2035	33.61	36.56	34.27	34.45	34.70	33.85	34.37	33.70	33.07	32.66	32.79	32.31	33.86

ตารางผนวกที่ ค18 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	31.71	36.11	37.10	36.06	35.14	33.84	32.47	32.44	32.30	32.85	32.75	31.53	33.69
2037	33.25	36.71	39.18	36.39	39.21	38.96	35.78	33.77	32.87	32.73	33.77	33.80	35.53
2038	34.43	37.70	39.34	40.84	39.45	36.95	34.91	33.85	32.12	32.30	31.79	31.51	35.43
2039	31.92	32.48	36.01	33.65	35.16	34.78	34.06	34.20	33.23	31.81	31.68	31.60	33.38
2040	30.35	34.91	35.45	33.77	34.47	33.58	33.30	33.33	32.43	31.80	31.18	30.23	32.90
2041	31.38	33.20	35.08	35.22	32.25	32.88	33.11	32.93	31.92	31.40	32.01	30.09	32.62
2042	31.01	35.51	37.86	38.10	38.49	34.52	33.81	36.25	32.78	33.43	32.10	32.78	34.72
2043	34.38	36.86	35.37	38.09	38.69	35.10	34.22	33.83	32.57	32.59	30.99	30.11	34.40
2044	30.84	34.74	35.90	35.45	34.04	33.76	34.31	34.91	33.27	33.45	30.98	30.71	33.53
2045	32.89	35.44	36.11	36.76	36.33	35.39	35.44	34.56	32.19	33.57	31.59	30.79	34.25
2046	31.10	35.13	37.03	34.83	34.36	33.27	33.29	32.67	33.48	32.80	33.66	33.55	33.76
2047	32.37	34.60	35.44	37.67	37.39	34.78	34.24	33.47	33.36	32.90	32.76	31.00	34.17
2048	33.78	35.51	37.90	37.36	38.02	38.64	34.19	35.88	33.77	32.58	31.66	31.49	35.07
2049	30.42	33.77	35.96	35.00	34.77	33.94	34.10	34.71	34.28	32.59	32.85	31.82	33.68
2050	33.61	36.56	34.27	34.45	34.70	33.85	34.37	33.70	33.07	32.66	32.79	32.31	33.86
Average	32.24	35.10	36.68	36.26	35.79	35.10	34.39	34.04	32.92	32.51	32.06	31.18	34.02

ตารางผนวกที่ 19 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพินิจโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2021	2.88	9.00	99.72	99.44	303.93	75.39	32.37	76.24	391.16	220.37	24.37	7.33	1342.19
2022	3.02	23.47	73.52	202.28	407.89	62.56	89.49	44.85	300.74	233.59	11.87	0.59	1453.88
2023	1.74	2.48	40.83	138.49	173.22	84.96	139.50	191.77	452.04	297.65	13.80	0.32	1536.79
2024	28.09	30.36	117.69	70.37	236.85	70.52	107.65	175.51	191.40	310.51	25.30	9.41	1373.67
2025	25.94	23.56	20.00	104.78	217.52	83.80	43.65	373.82	364.05	258.16	37.59	1.45	1554.33
2026	1.12	1.06	76.19	105.94	286.02	136.30	90.14	229.59	223.99	203.94	80.18	12.92	1447.38
2027	5.94	21.71	136.19	125.24	164.56	105.96	104.28	171.39	161.39	239.24	7.20	8.54	1251.64
2028	0.08	9.85	156.28	305.46	230.33	86.90	287.18	142.99	443.34	310.84	5.29	3.53	1982.07
2029	0.04	2.23	25.07	98.33	192.04	139.99	168.19	211.53	375.44	221.20	69.87	25.49	1529.42
2030	5.27	34.92	114.98	132.30	247.63	65.01	108.18	239.65	331.30	193.71	63.89	7.11	1543.95
2031	5.01	16.49	10.66	86.37	165.60	39.86	74.80	336.74	481.40	209.53	186.57	54.88	1667.90
2032	3.68	0.51	170.35	246.47	179.49	198.32	152.27	114.70	286.07	179.37	5.97	4.33	1541.54
2033	0.77	22.69	100.71	248.68	188.73	73.98	134.90	250.37	337.92	165.17	14.48	23.27	1561.67
2034	0.70	9.85	65.03	154.01	321.48	129.69	132.61	73.52	235.54	238.41	13.61	3.51	1377.95
2035	0.06	13.77	49.60	148.93	126.30	159.74	98.36	126.80	345.45	311.84	42.58	12.26	1435.69

ตารางผนวกที่ ค19 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2036	0.97	9.39	71.57	176.45	190.26	102.47	212.98	351.60	281.34	139.48	4.65	0.57	1541.74
2037	2.74	16.71	11.68	178.07	40.54	118.41	97.29	409.37	354.82	274.94	70.08	6.87	1581.53
2038	0.25	1.62	52.54	47.14	156.32	48.43	176.92	197.37	461.21	258.86	77.69	44.05	1522.41
2039	42.43	98.42	43.87	246.14	68.66	78.88	162.05	142.53	335.23	281.07	33.92	4.16	1537.36
2040	0.00	0.73	142.52	386.83	160.82	161.62	120.24	339.62	352.67	404.04	96.17	1.64	2166.91
2041	16.48	0.70	63.23	234.82	288.23	110.20	90.97	198.46	399.36	478.68	5.87	1.79	1888.81
2042	1.58	8.23	35.56	88.56	86.66	101.64	111.29	78.72	473.90	210.77	85.56	1.50	1283.97
2043	34.31	12.97	114.08	130.59	34.11	241.84	206.64	196.30	389.22	344.16	83.79	4.36	1792.37
2044	1.75	12.58	116.01	169.38	254.79	150.30	86.48	171.63	196.13	210.09	156.68	1.60	1527.42
2045	2.79	6.35	89.44	126.66	146.73	38.80	65.60	144.85	469.79	167.03	9.27	1.03	1268.33
2046	0.05	5.40	58.20	205.34	228.93	186.89	130.83	186.58	234.99	296.30	6.99	6.85	1547.34
2047	54.95	6.80	252.84	86.89	151.75	226.73	65.51	316.26	227.88	307.40	33.48	1.21	1731.70
2048	16.16	12.56	88.46	191.71	157.23	67.46	198.25	94.35	308.84	439.21	142.57	105.21	1822.02
2049	159.76	30.11	68.68	231.10	147.63	102.08	176.26	92.21	212.54	208.59	25.94	84.32	1539.22
2050	7.92	8.34	291.80	201.42	183.49	67.66	185.96	207.75	222.03	165.03	11.95	2.89	1556.25
Average	14.22	15.10	91.91	165.61	191.26	110.55	128.36	196.24	328.04	259.31	48.24	14.77	1563.58

ตารางผนวกที่ ๑๒๐ ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาย RCP 4.5 สถานีพิษณุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	7.73	7.53	7.85	8.35	7.06	7.67	8.35	7.21	5.93	6.23	6.69	6.44	7.25
2022	7.47	7.41	8.32	7.79	6.95	7.59	7.98	7.95	6.22	5.15	6.96	7.19	7.25
2023	7.58	8.23	8.53	8.68	8.14	7.28	7.40	7.11	6.50	5.75	6.44	7.38	7.42
2024	7.00	7.63	7.55	8.89	8.70	8.02	7.43	6.22	6.61	5.89	7.03	7.18	7.35
2025	6.70	7.77	8.64	9.04	8.34	8.07	8.15	6.24	6.65	6.57	6.47	7.00	7.47
2026	7.60	8.65	8.22	8.43	8.10	8.55	7.85	6.76	6.76	6.02	6.22	6.67	7.49
2027	7.21	8.04	8.20	8.39	8.05	7.59	6.96	7.43	6.84	6.57	6.99	6.42	7.39
2028	7.89	8.07	7.77	7.19	7.48	7.90	6.67	7.24	5.78	5.96	7.20	7.08	7.19
2029	8.03	8.45	8.37	8.80	7.96	8.01	7.12	5.70	6.14	6.04	5.95	6.43	7.25
2030	7.44	7.38	7.26	8.67	8.37	8.39	7.50	6.89	6.41	6.30	5.76	6.97	7.28
2031	7.12	7.51	8.75	8.93	8.46	9.08	7.34	6.37	6.39	6.50	5.79	5.84	7.34
2032	7.42	8.52	8.15	8.02	8.06	7.60	6.83	7.63	6.58	6.95	7.23	6.75	7.48
2033	7.46	7.83	7.88	8.00	7.94	8.49	7.64	7.16	6.25	6.52	6.86	6.89	7.41
2034	7.69	8.10	8.80	7.95	7.79	8.09	7.58	8.31	6.55	6.46	6.79	6.81	7.58
2035	7.85	7.97	8.76	7.96	7.84	6.52	7.02	7.26	5.79	6.13	7.23	6.80	7.26

ตารางผนวกที่ ค20 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	7.84	7.97	8.43	8.09	7.93	6.86	6.20	6.13	6.03	7.19	7.73	7.35	7.31
2037	7.58	8.06	8.88	7.67	9.54	9.15	7.60	6.40	6.34	6.37	6.61	6.87	7.59
2038	7.77	8.59	8.65	9.68	8.83	8.48	7.14	7.07	5.81	6.02	6.66	5.78	7.54
2039	6.27	7.37	8.64	7.24	8.10	7.92	6.75	7.47	6.46	6.18	6.85	6.95	7.18
2040	7.96	8.66	7.94	7.00	8.21	7.60	7.20	6.79	6.18	5.59	6.48	7.50	7.26
2041	7.08	8.48	7.82	7.66	6.09	6.76	6.72	6.62	5.51	5.79	7.69	7.28	6.96
2042	7.90	8.37	8.49	8.71	9.04	6.89	6.63	7.81	5.88	6.91	6.87	7.20	7.56
2043	6.65	8.35	7.69	8.68	9.15	7.53	7.07	7.17	6.39	6.02	5.75	6.97	7.28
2044	7.56	8.24	7.51	7.91	7.70	7.42	7.58	7.40	6.82	6.84	6.43	7.29	7.39
2045	7.49	8.19	7.74	8.65	8.20	8.11	7.53	7.22	5.60	6.67	7.32	7.36	7.51
2046	8.07	8.54	8.36	7.80	7.35	6.99	6.92	6.16	6.66	6.29	7.55	6.95	7.30
2047	6.08	7.96	7.21	9.06	8.75	7.02	6.97	6.65	6.62	6.19	6.57	7.45	7.21
2048	7.12	7.78	7.99	8.21	8.77	8.89	6.60	7.72	6.53	5.79	6.35	5.62	7.28
2049	6.56	7.78	8.29	7.51	8.12	7.00	7.43	7.82	7.09	6.22	6.56	6.03	7.20
2050	7.13	8.01	7.60	7.84	8.19	7.24	7.72	7.26	6.83	6.61	7.27	7.23	7.41
Average	7.37	8.05	8.14	8.23	8.11	7.76	7.26	7.04	6.34	6.26	6.74	6.86	7.35

ตารางผนวกที่ ค21 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 8.5 สถาบันพินิจโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	19.14	21.40	25.22	26.94	25.66	27.21	26.17	25.11	24.96	25.17	23.69	20.97	24.30
2022	21.05	23.64	25.00	29.41	27.63	27.06	25.86	25.17	24.94	24.69	21.91	20.96	24.78
2023	20.92	21.93	23.43	25.42	25.00	24.94	25.89	25.65	24.56	23.89	20.96	19.88	23.54
2024	19.49	21.14	22.75	24.97	24.61	24.44	25.38	24.79	24.71	23.95	19.65	18.66	22.88
2025	19.04	19.41	24.17	24.85	24.88	24.89	25.88	25.34	24.67	24.67	22.38	16.65	23.07
2026	20.06	20.45	24.46	25.21	25.75	26.30	25.15	25.10	24.88	24.05	21.10	18.58	23.42
2027	18.33	21.84	24.82	24.95	25.70	25.73	25.35	25.23	25.10	24.88	23.98	23.51	24.12
2028	20.55	22.07	25.19	27.20	27.64	27.33	26.67	25.96	25.56	24.89	22.24	20.45	24.65
2029	20.63	22.30	25.61	27.08	27.87	26.66	26.80	25.94	24.69	24.79	21.20	18.33	24.32
2030	20.89	20.93	24.81	25.22	26.24	25.31	24.82	25.22	25.24	24.74	20.49	18.99	23.58
2031	17.95	22.44	23.86	25.23	25.29	26.25	25.78	25.34	24.75	25.34	21.00	19.54	23.56
2032	18.07	22.50	24.74	25.89	26.10	25.26	25.05	24.84	25.14	24.39	22.15	19.47	23.63
2033	22.30	22.65	25.42	26.78	28.95	27.14	25.93	25.27	25.39	25.58	23.65	23.53	25.22
2034	21.90	23.54	25.91	26.53	29.46	29.93	25.82	25.13	25.52	24.63	21.60	18.67	24.89
2035	20.19	21.82	24.98	25.42	25.51	25.35	25.14	24.98	25.06	24.26	21.41	17.94	23.51



ตารางผนวกที่ ค21 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	18.82	21.33	23.97	24.83	24.91	25.33	26.13	25.44	25.06	24.92	22.26	18.35	23.45
2037	19.47	22.38	24.75	25.94	27.09	25.95	24.79	25.42	24.84	25.32	19.01	18.53	23.62
2038	19.88	22.48	25.96	25.15	25.62	25.76	25.51	25.04	25.36	24.20	23.63	21.61	24.18
2039	21.43	22.59	23.85	26.61	27.13	27.43	25.97	26.13	25.27	25.03	22.65	20.72	24.57
2040	19.03	20.74	25.80	25.69	26.46	25.97	26.07	25.50	25.33	25.27	21.18	18.55	23.80
2041	20.35	20.47	24.24	26.49	25.59	26.05	25.78	25.65	25.38	25.07	19.55	22.06	23.89
2042	19.07	23.76	26.17	26.12	26.47	27.16	25.47	25.65	25.58	25.07	21.29	18.78	24.22
2043	21.96	24.31	25.58	26.43	28.48	26.64	26.35	25.78	25.57	25.34	24.07	19.63	25.01
2044	19.87	24.19	26.47	25.96	26.84	26.65	25.37	25.38	24.96	25.24	22.16	19.88	24.42
2045	19.39	18.52	24.34	26.77	25.72	26.10	26.14	25.39	25.44	25.55	22.81	18.85	23.75
2046	19.26	21.36	24.10	26.69	26.96	26.37	25.39	25.56	25.58	25.57	21.97	19.72	24.04
2047	20.26	22.98	25.88	27.78	28.01	27.91	26.22	25.54	26.02	25.01	20.17	17.37	24.43
2048	19.11	23.05	25.82	26.54	27.99	27.25	26.16	25.73	25.24	25.27	21.51	16.66	24.20
2049	17.53	21.71	25.90	27.25	27.31	27.38	26.05	26.25	25.42	25.31	20.71	19.49	24.19
2050	19.50	21.98	26.14	25.93	27.13	27.70	26.59	25.65	25.42	24.81	20.08	18.74	24.14
Average	19.85	22.00	24.98	26.18	26.60	26.45	25.79	25.44	25.19	24.90	21.68	19.50	24.05

ตารางผนวกที่ ค22 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภายใต้อารมณ์ RCP 8.5 สถานีพิชญ์โลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	31.34	34.01	37.66	38.41	34.71	37.52	35.29	32.98	32.62	32.91	33.41	33.45	34.53
2022	32.75	36.12	37.37	40.77	37.07	36.61	34.71	33.00	32.45	32.08	32.06	30.72	34.64
2023	30.40	32.76	35.80	35.39	33.87	33.57	35.53	34.73	32.04	31.43	31.04	30.27	33.07
2024	29.64	32.63	35.50	34.64	32.67	33.24	34.65	33.47	32.69	32.77	31.12	30.28	32.78
2025	31.76	33.04	35.17	34.86	33.77	34.14	35.89	33.54	32.27	32.32	31.06	28.80	33.05
2026	32.85	32.95	36.45	35.34	34.97	35.89	34.22	33.84	32.60	33.29	32.08	31.05	33.79
2027	31.01	34.86	36.60	34.74	34.70	35.17	33.60	33.90	34.08	33.26	34.40	33.35	34.14
2028	32.54	32.02	37.21	38.22	37.73	36.47	36.09	35.21	33.14	32.57	32.99	32.22	34.70
2029	31.70	33.85	37.43	37.34	38.26	36.28	36.54	35.01	31.58	32.44	30.89	30.59	34.33
2030	32.75	33.71	36.59	34.61	35.51	34.64	33.56	34.47	33.63	33.96	32.32	31.47	33.94
2031	31.23	34.72	33.73	34.43	34.00	36.18	35.12	34.35	32.92	33.00	32.32	30.74	33.56
2032	31.43	34.69	37.21	36.52	35.15	33.54	33.43	32.73	32.89	32.25	33.24	31.42	33.71
2033	32.79	34.99	37.77	37.56	39.52	36.39	35.12	32.96	33.50	34.42	34.39	34.44	35.32
2034	33.73	34.98	36.91	36.22	39.93	39.72	33.46	32.72	32.94	32.04	32.21	29.92	34.57
2035	32.54	34.97	36.29	34.69	33.41	33.69	33.47	33.23	32.51	32.37	31.71	30.57	33.29

ตารางผนวกที่ ค22 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	30.95	33.45	36.17	33.96	33.52	34.91	35.40	34.40	33.50	32.83	31.31	30.77	33.43
2037	31.69	34.87	36.47	35.55	37.14	35.30	32.89	33.69	32.40	32.76	30.82	30.67	33.69
2038	32.33	35.05	38.13	34.50	34.66	34.80	34.28	33.11	32.68	32.71	33.43	32.55	34.02
2039	32.58	32.94	35.67	37.12	36.53	37.08	35.30	34.39	32.61	33.21	33.06	31.72	34.35
2040	31.49	34.33	37.04	34.82	35.63	35.08	35.33	33.28	32.93	33.22	31.69	29.95	33.73
2041	31.72	34.22	37.03	36.80	34.11	35.42	34.85	35.02	33.51	34.78	33.24	33.99	34.56
2042	32.06	36.38	38.16	35.59	35.81	36.47	33.45	34.04	33.73	32.89	32.95	31.61	34.43
2043	34.01	35.93	36.98	36.73	38.27	36.02	35.42	34.16	33.74	33.25	31.92	31.53	34.83
2044	32.35	36.08	37.91	34.98	35.90	35.56	33.43	33.66	32.02	32.58	31.56	29.86	33.82
2045	31.66	31.47	36.17	37.76	34.58	35.41	35.34	33.23	32.85	33.91	32.37	31.42	33.85
2046	32.32	33.71	34.52	36.95	36.87	34.63	33.71	34.01	32.80	33.10	31.90	31.09	33.80
2047	32.66	37.05	37.39	38.02	37.77	37.55	35.18	34.07	33.86	31.86	31.62	30.36	34.78
2048	32.72	35.77	37.37	36.58	37.63	37.07	35.36	34.06	32.49	32.68	31.73	29.55	34.42
2049	30.90	34.35	38.17	37.67	36.11	37.23	35.07	35.31	32.72	33.20	31.77	31.46	34.50
2050	32.11	35.40	37.88	35.39	36.87	37.10	35.56	33.54	32.26	32.18	31.92	30.80	34.25
Average	32.00	34.38	36.76	36.21	35.89	35.76	34.71	33.87	32.87	32.88	32.22	31.22	34.06

**ตารางผนวกที่ ค23** ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพินิจโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2021	5.35	10.50	26.55	66.20	312.50	58.05	135.55	268.50	320.65	256.55	8.15	3.30	1471.85
2022	10.45	41.75	56.80	43.40	175.90	73.85	118.75	325.70	400.40	353.95	5.55	15.65	1622.15
2023	60.95	8.70	36.00	204.05	312.30	101.05	51.50	196.55	535.55	299.50	44.25	15.45	1865.85
2024	12.50	18.45	29.95	170.20	276.65	133.75	128.70	198.40	235.10	127.80	8.25	3.85	1343.60
2025	4.30	3.95	64.30	219.00	236.85	84.40	48.50	337.05	366.20	247.35	30.90	3.80	1646.60
2026	3.80	2.95	32.45	177.40	205.55	82.35	157.35	208.75	387.90	166.85	10.65	3.20	1439.20
2027	5.80	22.80	48.70	183.30	258.65	81.15	130.00	130.00	199.75	188.65	56.80	88.05	1393.65
2028	18.10	87.60	18.45	122.10	81.55	118.35	57.00	160.20	506.60	318.95	8.50	4.65	1502.05
2029	20.45	64.35	36.15	140.95	98.90	101.85	80.25	187.25	590.10	217.95	15.75	3.10	1557.05
2030	17.90	3.20	66.20	231.65	174.10	122.90	169.25	66.95	332.75	108.70	32.90	3.70	1330.20
2031	3.10	11.25	217.80	218.80	173.50	35.55	123.70	131.05	374.30	308.05	11.35	4.85	1613.30
2032	3.10	47.80	80.75	168.64	189.50	178.90	141.75	263.05	335.65	340.65	33.40	3.25	1786.44
2033	19.70	30.50	48.65	152.35	24.90	81.10	167.20	325.45	265.10	156.50	39.65	6.85	1317.95
2034	4.70	65.95	144.20	144.95	112.95	37.65	235.15	291.65	419.65	286.75	5.00	35.40	1784.00
2035	21.50	22.60	97.85	219.25	432.65	129.80	192.10	232.55	379.55	153.85	12.15	3.10	1896.95

ตารางผนวกที่ ค23 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2036	3.40	91.55	54.60	226.10	193.50	95.95	180.75	112.90	381.70	189.30	32.10	3.10	1564.95
2037	3.25	2.90	54.80	225.70	77.95	127.75	213.65	190.80	269.20	368.10	4.25	3.25	1541.60
2038	3.20	6.15	53.80	274.40	156.65	97.85	104.20	231.00	411.65	280.50	40.40	8.70	1668.50
2039	23.85	83.45	82.60	138.30	222.10	91.60	114.00	412.65	576.25	234.80	7.90	16.65	2004.15
2040	3.60	2.80	55.85	261.60	168.65	96.15	93.90	336.80	392.70	232.40	6.60	9.55	1660.60
2041	28.20	7.55	23.35	180.10	231.25	67.35	123.70	114.95	271.40	82.05	3.00	3.95	1136.85
2042	3.10	18.10	71.20	214.30	191.70	80.05	244.30	154.85	208.95	328.90	3.45	5.20	1524.10
2043	8.70	46.60	161.70	107.55	100.25	84.45	95.45	239.95	251.00	304.80	253.05	4.20	1657.70
2044	3.10	10.30	42.95	285.15	203.40	178.10	233.85	260.95	491.90	333.60	100.80	16.35	2160.45
2045	6.85	2.80	51.80	107.40	200.65	89.20	107.40	215.75	408.75	151.55	109.20	5.75	1457.10
2046	3.20	51.70	193.85	106.55	111.60	225.50	171.25	185.40	409.05	267.25	72.50	6.80	1804.65
2047	4.70	16.05	38.30	163.50	81.75	63.45	106.25	155.35	315.05	665.45	6.00	3.10	1618.95
2048	3.15	3.30	65.80	161.15	115.45	62.70	121.15	296.40	494.60	360.85	37.80	3.10	1725.45
2049	3.10	15.45	24.85	149.35	187.60	85.50	94.10	180.50	504.25	264.65	31.75	7.75	1548.85
2050	3.10	2.90	46.60	202.00	215.85	95.05	145.65	302.60	437.20	474.05	11.80	16.20	1953.00
Average	10.54	26.80	67.56	175.51	184.16	98.71	136.21	223.80	382.43	269.01	34.80	10.40	1619.92

ตารางผนวกที่ ค24 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MIROC5 ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพินนูกุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	7.49	8.05	7.82	8.98	7.44	8.96	7.15	6.57	6.21	6.19	6.97	7.08	7.41
2022	7.03	7.91	8.44	9.61	8.04	7.92	7.28	6.40	6.22	5.88	7.04	6.23	7.33
2023	5.35	7.09	8.61	7.89	7.80	7.21	8.03	7.28	6.05	5.93	6.58	6.32	7.01
2024	6.17	7.65	8.06	7.36	6.87	7.35	7.83	7.06	6.42	6.70	7.06	6.99	7.13
2025	7.51	8.49	7.73	7.94	7.47	7.94	8.37	6.54	6.26	6.42	6.00	7.42	7.34
2026	7.65	8.23	7.51	8.08	7.90	8.11	7.33	7.19	6.14	7.17	6.80	7.40	7.46
2027	7.54	7.79	7.45	7.70	7.72	7.83	6.29	6.79	7.03	6.63	6.82	6.13	7.15
2028	6.86	5.22	7.46	8.55	8.44	7.91	7.09	7.36	6.43	6.47	7.30	7.00	7.17
2029	6.87	7.07	7.56	8.34	8.96	8.52	7.93	7.41	5.64	6.40	6.44	7.39	7.38
2030	6.82	8.33	8.13	7.52	8.32	7.65	7.45	7.50	6.89	6.98	7.01	7.22	7.48
2031	7.93	7.46	6.55	7.61	7.19	8.57	7.78	7.11	6.79	6.21	7.41	6.74	7.28
2032	7.90	7.25	8.53	8.58	7.99	6.78	6.69	6.37	6.55	6.13	7.22	7.21	7.27
2033	6.36	7.87	8.33	8.70	9.42	7.46	7.54	6.36	6.76	7.22	7.36	6.87	7.52
2034	6.97	7.01	7.55	8.01	8.85	9.20	5.91	6.28	6.33	6.24	7.43	6.86	7.22
2035	7.44	8.16	7.73	7.84	6.86	7.40	7.32	7.28	6.35	6.60	6.75	7.42	7.26

ตารางผนวกที่ ค24 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	7.47	7.71	8.24	7.44	7.45	8.11	7.64	7.31	6.75	6.37	6.20	7.42	7.34
2037	7.79	8.31	7.71	8.09	8.69	7.72	6.41	6.94	6.11	6.00	7.71	7.36	7.40
2038	7.76	7.44	7.64	7.45	7.78	7.56	6.80	6.32	6.06	6.49	7.00	6.88	7.10
2039	6.81	6.22	7.60	8.41	8.48	8.74	7.98	7.07	6.07	6.63	7.28	6.94	7.35
2040	7.68	8.58	7.30	7.52	8.28	7.62	7.61	6.33	6.64	6.86	7.12	6.64	7.35
2041	6.78	8.29	8.55	8.23	7.63	7.87	7.37	7.63	6.32	7.35	8.23	7.26	7.63
2042	8.00	7.60	8.08	7.96	7.87	8.05	6.42	7.16	6.60	6.28	7.81	7.44	7.44
2043	7.00	7.04	8.09	8.20	9.04	7.61	7.36	6.67	6.92	6.43	5.87	7.40	7.30
2044	7.76	7.79	8.01	7.45	8.35	7.78	6.72	7.08	5.87	6.09	6.50	6.11	7.13
2045	7.37	8.78	8.37	8.70	7.69	7.71	7.51	6.20	6.20	7.15	6.60	7.50	7.48
2046	7.89	7.51	7.54	8.03	8.76	7.12	6.99	7.07	6.20	6.42	7.11	6.95	7.30
2047	7.47	8.14	8.04	8.18	8.87	8.47	7.07	6.36	6.68	5.31	7.89	7.64	7.51
2048	7.86	7.93	7.84	8.08	8.79	8.37	7.54	6.87	6.13	5.76	7.25	7.67	7.51
2049	7.94	7.85	8.71	8.73	7.68	8.42	7.56	7.21	6.05	6.66	7.63	7.35	7.65
2050	7.69	8.56	8.15	7.48	8.59	8.36	7.26	6.35	5.69	5.88	7.80	7.24	7.42
Average	7.31	7.71	7.91	8.09	8.11	7.94	7.27	6.87	6.35	6.43	7.07	7.07	7.34

ตารางผนวกที่ ค25 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพินนุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	19.34	20.40	22.44	26.18	26.05	25.52	25.55	25.68	25.04	23.60	21.34	18.39	23.30
2022	18.83	19.55	22.22	26.46	27.29	27.03	26.27	25.57	24.62	24.02	21.91	20.40	23.68
2023	20.39	21.67	23.89	26.76	27.23	26.55	25.65	25.51	24.78	24.43	21.91	19.80	24.05
2024	19.39	20.51	21.43	26.32	27.17	25.75	25.72	25.62	24.87	24.13	22.17	20.45	23.63
2025	19.70	20.95	23.73	26.68	28.50	27.01	25.78	25.91	25.23	22.92	21.64	20.62	24.06
2026	20.29	21.89	23.72	26.96	25.59	25.68	25.30	25.45	24.52	22.11	22.51	19.78	23.65
2027	20.20	21.58	24.32	26.67	28.48	26.22	25.90	25.82	25.07	24.30	23.56	19.82	24.33
2028	18.67	19.82	23.19	26.67	28.13	27.03	25.96	25.67	25.03	23.79	23.50	19.90	23.95
2029	19.66	20.82	23.32	26.42	27.70	26.83	26.35	25.67	24.17	22.62	23.41	19.41	23.87
2030	19.27	20.43	22.81	26.67	26.76	26.65	25.78	25.68	24.66	24.35	22.03	20.36	23.79
2031	19.95	21.80	23.24	26.15	28.13	26.45	25.98	25.68	25.02	24.23	22.89	21.62	24.26
2032	18.97	21.52	23.47	27.01	27.76	27.15	26.28	25.43	25.15	24.38	22.89	19.32	24.11
2033	19.51	20.05	22.40	27.08	26.68	25.74	25.59	25.71	24.98	24.04	22.62	19.41	23.65
2034	17.84	20.13	22.54	26.02	26.66	26.32	25.54	25.36	24.70	23.99	22.28	19.40	23.40
2035	19.10	20.53	23.30	26.11	27.02	26.29	26.38	25.84	25.51	24.90	22.62	22.80	24.20



ตารางผนวกที่ ค25 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	19.66	20.83	22.59	26.71	26.64	26.03	25.81	25.67	25.32	23.63	21.94	20.71	23.79
2037	21.54	22.11	24.27	26.78	27.95	27.64	26.24	25.82	25.63	22.48	21.08	20.23	24.32
2038	20.17	22.45	23.72	26.68	28.08	26.53	25.61	26.10	25.57	24.85	23.13	21.52	24.53
2039	20.87	21.48	24.52	26.20	28.75	27.51	26.98	26.27	25.38	24.67	24.55	21.18	24.86
2040	19.48	20.69	23.72	25.93	28.19	27.28	26.69	25.96	25.45	23.45	22.40	19.73	24.08
2041	21.62	21.37	23.70	27.08	27.19	26.27	25.86	25.75	25.34	24.41	21.07	18.99	24.05
2042	19.33	20.46	23.20	26.29	27.30	26.88	26.07	25.67	25.36	23.43	21.07	22.87	23.99
2043	21.26	22.21	23.40	26.11	28.65	26.27	25.96	25.36	25.36	23.00	19.71	17.32	23.72
2044	18.79	20.50	22.70	26.43	26.08	25.80	26.08	25.69	25.42	24.33	22.14	19.81	23.65
2045	19.02	20.63	22.30	26.15	26.69	26.56	26.18	25.68	25.35	25.01	20.37	19.51	23.62
2046	18.93	20.06	23.16	26.22	27.50	26.92	26.34	25.48	25.46	22.71	20.77	20.56	23.68
2047	19.97	20.96	22.47	26.83	27.99	27.35	26.61	26.21	25.85	25.50	23.07	20.62	24.45
2048	22.04	21.10	24.04	27.35	28.89	27.14	26.51	25.87	25.21	25.65	22.40	21.82	24.83
2049	21.66	21.86	23.35	26.22	26.21	25.63	25.50	25.40	25.38	24.76	21.97	19.28	23.93
2050	18.71	20.04	21.14	25.85	27.10	25.57	25.71	25.82	25.23	24.40	23.73	18.55	23.49
Average	19.80	20.95	23.14	26.50	27.41	26.52	26.01	25.71	25.16	24.00	22.22	20.14	23.96

ตารางผนวกที่ ค26 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพินนุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	31.48	33.55	36.18	38.33	34.72	34.67	34.40	33.55	32.68	32.50	31.00	30.18	33.60
2022	31.38	31.92	35.02	38.70	37.22	36.31	34.48	33.26	33.97	33.18	31.62	30.52	33.96
2023	32.21	34.10	36.66	38.78	37.09	35.71	34.03	32.39	32.63	32.44	31.01	31.29	34.03
2024	31.75	33.16	35.36	38.52	37.56	33.50	32.56	32.70	32.28	32.89	32.14	29.92	33.53
2025	31.69	33.35	36.26	38.76	39.47	34.97	34.25	33.14	32.89	32.36	32.29	31.11	34.21
2026	31.85	34.37	36.65	38.39	34.75	33.13	32.52	32.29	32.85	32.76	32.30	31.00	33.57
2027	32.18	34.69	36.91	39.12	39.11	34.69	34.34	33.56	33.53	32.90	31.81	29.75	34.38
2028	30.71	32.11	35.85	38.85	38.24	36.59	34.09	33.46	32.55	32.66	32.79	30.63	34.04
2029	31.91	32.41	35.60	38.80	38.57	35.99	34.39	33.72	32.06	32.81	33.05	31.29	34.22
2030	31.39	33.10	36.83	38.81	36.01	35.53	34.61	34.17	32.60	32.82	31.99	32.05	34.16
2031	32.20	33.15	36.44	38.77	39.09	35.49	34.16	34.00	33.46	34.03	32.35	31.55	34.56
2032	30.51	34.03	36.26	38.53	37.96	36.51	35.14	33.37	33.48	33.00	31.82	30.24	34.24
2033	31.44	33.23	35.79	37.63	35.52	33.80	33.29	33.76	32.93	32.89	32.01	29.41	33.48
2034	30.60	32.51	35.37	37.52	36.86	35.83	33.38	33.48	32.47	32.77	31.53	29.87	33.51
2035	30.91	32.51	36.17	37.67	37.30	35.50	34.98	33.60	33.74	33.53	32.52	31.82	34.19

ตารางผนวกที่ ค26 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	30.83	33.12	35.47	38.85	35.89	34.39	33.10	33.20	32.90	33.60	32.73	32.26	33.86
2037	33.63	35.22	36.98	38.74	37.68	36.37	33.31	33.60	33.32	32.33	31.50	31.26	34.49
2038	32.09	34.55	36.69	38.70	38.25	34.49	32.44	33.18	34.23	33.77	32.88	31.66	34.41
2039	33.12	34.47	36.89	37.92	39.54	36.35	35.62	34.04	33.33	33.92	33.82	30.86	34.99
2040	31.65	32.65	35.68	38.44	38.96	36.55	34.77	34.13	34.45	33.43	32.58	32.18	34.62
2041	32.92	34.06	35.92	38.03	36.88	34.84	33.61	33.17	32.97	32.10	31.59	29.25	33.78
2042	31.19	32.44	35.86	37.59	37.39	36.15	33.87	33.69	33.96	33.96	32.47	33.56	34.34
2043	33.44	34.41	36.60	38.82	39.12	34.90	33.91	32.64	32.76	31.74	30.12	29.02	33.96
2044	30.93	32.79	35.60	38.09	35.20	35.10	34.48	32.79	32.63	32.39	31.54	30.36	33.49
2045	31.98	32.05	35.24	36.66	35.84	35.38	34.11	33.02	33.19	33.65	30.64	30.65	33.53
2046	30.69	33.44	35.64	37.77	38.56	36.33	34.36	32.37	32.79	32.03	31.51	32.06	33.96
2047	31.54	33.61	36.22	39.23	38.60	36.62	34.91	33.32	33.81	34.51	33.29	31.40	34.75
2048	33.43	34.24	37.28	38.24	39.56	36.08	35.07	33.41	33.34	33.99	31.82	31.76	34.85
2049	31.37	32.75	34.65	38.62	35.60	33.11	33.27	33.33	32.86	32.30	30.80	29.20	33.16
2050	30.49	32.48	32.98	36.01	36.78	33.70	33.53	34.72	32.74	32.27	32.19	28.73	33.05
Average	31.72	33.35	35.97	38.30	37.44	35.29	34.03	33.37	33.11	32.98	31.99	30.83	34.03

ตารางผนวกที่ ค27 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 4.5 สถานีพินิจโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2021	0.00	0.00	0.00	36.33	429.10	235.27	106.18	312.07	441.39	50.80	1.52	0.42	1613.09
2022	0.00	0.00	3.60	14.20	159.33	105.99	240.78	411.53	153.45	21.21	2.26	10.68	1123.03
2023	0.01	0.00	0.00	0.67	165.18	293.66	323.60	432.44	451.60	177.35	4.60	0.00	1849.10
2024	0.02	33.55	0.00	0.00	43.39	692.24	235.22	211.72	455.98	108.23	9.10	14.06	1803.51
2025	1.11	0.00	0.28	0.15	14.59	525.33	225.35	256.96	159.04	5.08	0.00	0.28	1188.17
2026	0.02	0.00	0.00	92.99	388.07	578.94	475.17	418.26	263.34	0.04	14.12	3.40	2234.36
2027	0.00	0.00	0.02	0.00	68.74	432.53	325.03	291.13	266.02	87.78	1.16	0.11	1472.52
2028	0.00	0.02	15.97	2.43	68.67	125.88	335.18	367.02	401.02	48.98	7.76	2.01	1374.93
2029	0.00	0.97	0.00	0.00	76.66	272.29	181.22	346.17	263.67	0.20	0.00	0.00	1141.19
2030	0.03	16.05	0.00	1.27	190.73	216.10	323.82	348.84	345.46	17.15	7.38	0.00	1466.85
2031	0.00	37.81	0.00	0.00	29.91	209.20	239.04	378.11	196.60	25.25	0.24	2.76	1118.94
2032	0.01	4.32	0.00	6.01	71.50	102.99	194.09	293.64	113.39	131.69	64.89	1.62	984.15
2033	2.73	0.00	0.00	53.34	403.82	315.95	280.34	151.22	354.17	141.28	0.57	0.02	1703.45
2034	0.00	0.00	0.41	11.67	174.79	251.41	372.99	268.85	363.21	140.83	60.90	0.00	1645.06
2035	0.00	0.00	0.64	0.24	83.97	196.37	255.61	290.05	278.19	173.29	7.29	162.33	1447.99

ตารางผนวกที่ ค27 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2036	1.54	0.00	2.71	0.41	255.37	259.94	316.28	234.36	214.95	42.98	2.40	0.00	1330.95
2037	0.00	0.00	0.00	26.88	161.50	133.50	288.19	388.71	358.01	48.42	0.00	2.28	1407.50
2038	0.00	0.00	0.00	29.65	115.31	532.80	175.16	109.32	207.54	115.19	3.33	10.39	1298.69
2039	0.00	0.00	0.37	0.85	35.33	374.94	95.92	326.52	301.57	34.89	16.91	3.86	1191.15
2040	0.07	0.00	0.00	0.00	98.47	233.14	147.59	310.56	238.72	0.00	0.01	0.00	1028.56
2041	12.00	1.23	13.52	6.93	219.37	295.24	282.93	334.33	365.82	408.72	0.00	0.34	1940.41
2042	0.35	0.31	0.60	2.12	202.20	245.20	273.68	238.28	116.04	2.19	0.00	0.02	1080.99
2043	30.02	0.00	0.00	1.54	65.91	451.02	301.61	428.28	228.13	40.18	0.00	0.00	1546.69
2044	0.22	0.00	0.00	4.23	380.47	165.71	340.79	448.81	229.18	230.82	0.00	2.74	1802.97
2045	0.00	12.88	16.82	64.14	429.18	232.85	161.75	338.09	309.73	100.52	0.00	0.02	1665.98
2046	0.04	0.00	0.00	8.73	88.43	174.07	224.74	494.11	330.81	39.73	0.00	0.01	1360.67
2047	0.00	0.00	0.00	0.32	97.87	141.02	120.12	286.27	384.31	33.48	62.45	0.00	1125.84
2048	0.00	2.70	0.00	43.92	28.35	377.32	371.83	319.46	186.40	146.06	0.00	0.09	1476.13
2049	1.48	29.81	10.09	12.97	224.74	587.08	261.07	289.86	306.81	299.05	2.60	10.93	2036.49
2050	0.07	0.00	34.14	33.26	184.77	298.21	368.78	267.13	464.29	144.81	35.33	26.87	1857.67
Average	1.66	4.65	3.31	15.17	165.19	301.87	261.47	319.74	291.63	93.87	10.16	8.51	1477.23

ตารางผนวกที่ ค28 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภายใต้อารมณ์ RCP 4.5 สถานีพินนาคโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	7.36	8.11	9.25	9.53	6.83	7.29	8.10	5.29	5.68	6.85	6.57	7.06	7.33
2022	7.38	7.63	8.68	9.87	8.82	8.40	6.61	5.45	7.82	7.36	5.83	5.33	7.43
2023	6.87	7.83	8.84	9.84	8.75	7.96	6.33	4.98	7.08	6.36	6.41	7.09	7.36
2024	7.13	7.59	9.46	9.65	8.88	5.13	5.06	5.12	5.78	7.42	6.63	6.29	7.01
2025	7.19	7.62	8.42	9.78	10.03	5.75	6.56	5.21	5.57	7.34	7.28	6.30	7.25
2026	6.56	8.04	9.03	9.41	6.93	5.64	6.62	5.10	7.62	8.06	6.59	6.57	7.18
2027	6.85	8.05	9.05	10.00	9.90	6.30	7.24	5.53	7.73	5.66	5.18	5.93	7.29
2028	7.26	7.99	8.56	9.96	8.74	8.36	5.70	5.34	5.88	6.93	5.97	6.30	7.25
2029	7.26	7.05	9.03	9.58	9.68	7.56	6.46	6.25	5.28	7.86	6.88	7.21	7.51
2030	7.06	7.89	9.31	9.47	6.73	7.25	7.74	7.29	6.52	6.58	6.53	7.11	7.46
2031	7.35	7.24	8.92	9.93	9.93	6.65	6.46	7.15	7.16	7.39	6.27	5.39	7.49
2032	6.60	7.48	8.83	9.50	9.50	8.29	7.18	5.29	5.82	5.83	5.55	6.65	7.21
2033	6.80	8.29	9.24	8.78	7.43	6.56	6.43	6.20	6.84	7.58	6.27	6.28	7.23
2034	7.49	7.49	8.79	9.63	8.12	8.66	5.59	5.87	6.09	7.52	6.88	6.58	7.39
2035	7.23	7.86	8.72	9.64	9.27	8.45	7.21	5.53	6.14	6.68	7.28	4.96	7.41

ตารางผนวกที่ ค28 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	6.65	7.53	8.78	9.88	6.54	6.35	4.44	4.93	6.75	7.57	7.49	6.92	6.99
2037	7.11	7.72	8.47	9.78	9.16	7.91	4.22	6.24	7.16	7.89	7.76	6.80	7.52
2038	7.28	7.57	9.18	9.80	9.66	6.05	3.40	4.82	6.88	7.02	6.55	5.69	6.99
2039	7.12	8.21	8.78	9.53	9.66	7.37	7.70	6.12	5.03	7.35	6.22	5.82	7.41
2040	7.05	7.91	8.56	9.88	9.20	7.83	6.54	6.32	7.21	8.75	7.20	7.31	7.81
2041	6.41	7.53	8.36	8.95	8.50	7.23	5.81	5.45	6.63	6.43	7.67	6.43	7.12
2042	6.87	7.90	8.54	9.64	8.88	7.95	6.25	5.87	5.95	8.54	7.96	6.54	7.57
2043	6.65	7.64	9.18	9.94	9.26	6.87	5.64	5.80	5.22	7.21	7.29	7.30	7.33
2044	6.98	7.87	8.81	9.32	7.97	8.39	6.96	5.59	5.08	5.78	7.39	6.80	7.25
2045	7.24	6.55	8.86	8.84	8.35	9.00	6.34	4.57	6.71	6.46	7.77	6.79	7.29
2046	7.26	8.10	8.36	9.26	10.09	7.86	5.84	4.20	5.58	7.68	7.52	6.97	7.39
2047	7.04	7.88	9.22	9.90	8.72	8.14	6.55	4.25	5.26	6.59	7.00	7.01	7.29
2048	6.64	8.08	8.91	9.26	10.12	6.79	7.49	5.62	7.15	5.51	6.80	6.18	7.38
2049	5.65	6.90	7.88	9.83	7.42	5.15	6.84	6.61	6.01	5.64	6.23	5.61	6.65
2050	7.12	7.86	7.43	7.89	8.56	5.54	6.79	7.89	5.68	5.30	5.55	6.13	6.81
Average	6.98	7.71	8.78	9.54	8.72	7.22	6.34	5.66	6.31	6.97	6.75	6.44	7.29

ตารางผนวกที่ ค29 ผลคาดการณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพินนุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	19.94	21.66	23.85	27.11	26.81	25.84	25.65	25.50	25.15	23.68	21.71	19.87	23.90
2022	19.68	20.26	23.88	26.53	26.47	26.63	25.92	25.69	25.18	24.96	21.41	19.44	23.84
2023	19.31	20.10	23.69	26.63	27.88	26.47	25.62	25.60	25.02	24.36	22.86	19.26	23.90
2024	20.11	21.41	24.29	27.10	28.06	26.36	25.86	25.50	25.04	23.49	22.59	19.99	24.15
2025	19.59	20.84	23.14	26.74	27.61	26.57	26.85	25.91	25.44	24.96	21.18	18.07	23.91
2026	18.64	20.63	23.82	26.17	26.13	25.77	25.65	25.62	25.09	23.36	21.78	18.90	23.46
2027	18.25	20.90	23.32	26.43	27.58	26.42	25.36	25.53	25.30	24.40	22.81	18.19	23.71
2028	19.81	20.81	24.04	27.23	27.88	25.83	25.48	25.64	24.97	24.32	23.25	21.67	24.24
2029	20.96	19.81	22.37	26.10	28.08	26.10	25.91	25.62	25.34	25.04	20.94	19.83	23.84
2030	19.44	20.92	23.52	27.48	27.50	27.07	26.28	25.63	25.46	24.85	22.08	20.61	24.24
2031	19.85	21.12	24.12	26.26	26.92	26.49	25.90	25.39	25.39	23.70	20.92	19.18	23.77
2032	19.82	20.80	22.99	26.32	26.72	25.93	25.63	25.47	25.27	23.80	21.96	19.49	23.68
2033	20.09	21.00	23.80	26.95	27.92	26.55	25.69	25.69	25.18	23.78	22.00	20.64	24.11
2034	19.60	22.19	24.10	26.17	27.76	26.47	25.56	25.50	24.75	24.35	21.31	20.36	24.01
2035	18.15	20.61	23.76	26.22	27.49	27.40	26.24	25.83	25.16	23.37	21.69	18.01	23.66



ตารางผนวกที่ ค29 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	18.27	20.01	23.46	26.17	28.57	27.79	26.56	25.67	25.56	24.91	23.62	19.48	24.17
2037	19.61	20.84	24.24	27.52	27.41	25.80	25.60	25.69	24.96	23.47	20.50	19.66	23.77
2038	20.16	20.98	24.37	26.17	27.84	26.42	25.56	25.34	24.88	25.01	23.28	19.90	24.16
2039	19.55	20.37	23.31	26.73	27.32	26.46	25.84	25.51	25.27	24.42	23.25	22.32	24.19
2040	20.04	19.53	24.21	26.63	27.60	26.66	26.07	26.17	25.65	23.33	22.92	21.43	24.19
2041	20.10	20.70	24.33	27.62	28.82	27.15	26.20	25.73	25.57	23.61	23.51	20.64	24.50
2042	20.97	22.22	23.94	26.40	28.15	27.49	26.36	26.32	25.77	24.68	24.43	19.70	24.70
2043	20.19	21.57	23.40	26.72	27.73	25.56	26.54	25.66	25.92	25.18	22.88	21.11	24.37
2044	20.48	21.01	22.96	26.90	28.20	26.84	25.78	26.05	24.70	24.62	23.82	20.88	24.35
2045	19.13	20.62	23.74	27.36	27.79	27.53	26.73	26.05	25.47	25.78	22.66	21.86	24.56
2046	19.51	21.01	23.59	26.17	28.43	27.40	26.52	26.34	25.84	25.13	24.20	23.09	24.77
2047	19.39	22.29	24.13	26.24	28.60	27.52	26.87	26.33	25.97	24.55	21.13	20.23	24.44
2048	18.67	19.88	23.64	27.13	27.66	25.83	25.86	25.51	25.65	24.51	23.13	20.73	24.02
2049	19.31	21.30	23.69	27.01	27.06	26.61	26.24	25.74	24.86	24.64	20.56	19.59	23.88
2050	20.31	21.05	23.21	27.19	27.80	26.87	26.07	25.69	25.69	25.34	23.55	21.71	24.54
Average	19.63	20.88	23.70	26.71	27.66	26.59	26.01	25.73	25.32	24.39	22.40	20.20	24.10

ตารางผนวกที่ ค30 ผลคาดการณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (°C) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพืชนูโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	32.06	34.13	36.79	38.56	36.13	33.34	33.85	32.59	33.30	32.36	31.42	31.78	33.86
2022	31.90	33.06	35.88	38.81	35.93	35.40	32.94	33.10	32.75	33.90	30.64	30.39	33.72
2023	31.44	31.87	36.10	38.77	37.69	35.15	33.14	34.02	32.52	32.48	32.81	30.80	33.90
2024	32.36	34.24	36.76	38.99	38.40	34.87	33.75	33.02	32.46	32.41	31.27	30.46	34.08
2025	30.13	32.43	36.10	37.38	38.57	35.75	35.76	34.61	34.08	32.99	30.88	29.36	34.00
2026	31.65	32.22	36.03	37.48	35.62	34.47	33.20	32.87	32.70	32.11	31.00	29.67	33.25
2027	31.18	32.97	36.15	38.29	37.97	34.58	33.17	33.06	33.49	33.67	31.72	29.83	33.84
2028	31.40	33.22	35.94	38.08	38.02	33.95	33.65	33.21	33.72	32.23	32.90	32.37	34.06
2029	31.08	32.48	34.54	38.12	38.94	34.39	33.42	33.05	32.90	32.23	31.24	29.86	33.52
2030	31.58	32.82	36.19	38.03	36.95	36.09	34.66	33.24	34.59	33.40	31.82	31.36	34.23
2031	31.50	33.12	35.44	37.15	36.88	35.14	34.14	33.25	33.82	33.22	31.26	31.13	33.84
2032	32.58	34.26	36.96	38.45	36.75	33.98	33.88	32.96	32.53	33.25	31.59	30.65	33.99
2033	31.60	32.97	36.55	38.92	38.35	34.86	33.78	33.43	32.85	32.77	32.17	31.59	34.15
2034	31.36	33.69	36.51	38.59	38.34	35.44	33.08	32.84	32.20	32.67	31.48	31.01	33.93
2035	30.07	33.08	36.03	38.18	37.56	36.87	34.07	33.70	32.60	32.44	30.97	28.39	33.66

ตารางผนวกที่ ค30 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	30.55	32.70	36.08	38.59	39.29	37.33	34.70	33.15	34.02	33.36	33.40	29.57	34.39
2037	31.42	32.78	36.85	38.46	37.47	33.28	33.63	32.55	32.81	32.37	30.35	30.64	33.55
2038	32.29	34.53	36.72	37.25	38.60	34.93	34.12	32.30	32.58	34.28	31.28	30.96	34.15
2039	30.80	33.00	36.09	38.25	37.48	35.18	33.91	33.05	32.80	32.78	32.51	31.82	33.97
2040	31.40	32.21	36.44	38.28	37.08	35.42	33.79	34.76	32.42	31.99	33.67	31.95	34.12
2041	32.07	33.50	37.43	39.59	39.89	36.74	34.35	33.04	33.31	33.08	33.18	31.88	34.84
2042	33.79	34.28	35.95	38.63	38.86	36.69	34.57	34.51	33.75	33.56	34.43	30.59	34.97
2043	31.66	33.66	35.89	37.74	37.56	32.40	34.63	32.64	33.89	34.14	32.95	32.13	34.11
2044	31.99	33.82	35.63	39.13	38.84	34.42	32.56	32.90	34.18	34.78	31.73	32.11	34.34
2045	31.25	32.85	36.01	38.64	38.02	36.78	35.02	33.11	34.71	34.42	32.33	31.93	34.59
2046	31.46	33.22	35.38	37.83	39.82	36.99	34.16	34.52	34.84	34.16	34.59	32.96	34.99
2047	31.36	34.09	37.03	39.29	39.09	36.98	35.59	34.71	34.13	32.19	31.27	30.25	34.67
2048	29.83	32.41	36.91	37.97	37.33	33.57	33.88	32.67	33.97	33.84	32.84	31.14	33.86
2049	31.43	33.70	36.73	39.45	36.39	34.84	33.46	33.23	32.58	33.65	31.27	29.82	33.88
2050	32.29	34.23	36.47	39.26	37.88	35.28	32.45	31.92	33.16	33.81	32.49	32.08	34.28
Average	31.52	33.25	36.25	38.41	37.86	35.17	33.91	33.27	33.32	33.15	32.05	30.95	34.09

ตารางผนวกที่ ค31 ผลคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (mm) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภาพฉาย RCP 8.5 สถานีพินนุโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2021	0.00	0.01	0.00	10.55	279.08	378.00	248.71	318.74	192.27	181.96	1.70	1.42	1612.43
2022	0.03	17.80	0.29	0.44	192.19	238.54	236.79	416.39	136.93	92.00	12.79	0.18	1344.37
2023	0.02	0.00	0.12	1.86	163.54	301.99	290.18	300.09	297.64	134.04	1.71	0.00	1491.19
2024	0.21	0.00	0.57	0.00	74.61	401.12	263.59	438.47	406.23	72.89	59.85	0.00	1717.53
2025	0.01	18.18	0.00	35.04	74.76	136.01	74.62	215.00	416.90	88.86	1.01	0.05	1060.44
2026	0.11	0.00	6.38	51.68	322.56	377.06	392.63	346.30	329.66	145.66	12.78	1.66	1986.47
2027	0.00	0.01	0.00	0.13	111.65	274.85	350.12	174.50	312.08	49.36	9.55	4.66	1286.90
2028	0.32	1.79	0.00	31.07	67.86	278.29	263.08	210.27	269.93	211.00	0.00	18.03	1351.65
2029	127.11	0.01	21.54	3.20	47.40	410.23	351.80	296.85	266.76	435.16	0.01	1.90	1961.98
2030	0.11	0.16	0.00	32.49	203.98	217.68	213.00	301.02	191.49	153.64	0.47	0.00	1314.04
2031	2.49	0.00	3.41	68.47	144.28	227.35	206.61	337.73	118.55	15.70	3.46	0.00	1128.05
2032	0.08	3.69	0.00	3.77	293.10	255.84	222.63	301.54	294.70	3.68	0.34	0.00	1379.38
2033	12.37	4.65	0.00	17.48	72.13	481.69	220.41	211.87	281.86	58.26	0.00	0.00	1360.71
2034	0.00	0.04	0.36	0.00	54.30	428.40	428.52	373.77	443.27	104.60	0.04	0.02	1833.33
2035	0.00	0.00	0.00	0.07	78.95	193.50	230.40	444.57	475.74	32.50	0.96	0.00	1456.70

ตารางผนวกที่ ค31 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly Total
2036	0.00	0.00	0.83	1.19	20.43	161.88	227.94	427.83	220.86	31.00	16.69	0.55	1109.21
2037	0.07	5.17	0.00	37.83	144.57	588.69	175.19	190.69	307.99	54.72	1.57	0.00	1506.50
2038	0.49	0.00	0.48	41.42	97.31	311.94	361.23	490.25	222.92	64.43	12.36	0.00	1602.83
2039	0.41	0.00	0.07	46.84	59.22	410.16	350.51	240.41	349.68	142.07	0.04	1.48	1600.90
2040	0.00	0.00	0.00	3.65	204.22	368.80	366.13	240.67	333.38	111.47	0.00	0.00	1628.33
2041	0.00	0.04	0.00	0.57	46.12	159.63	282.71	330.50	475.35	39.71	7.87	0.00	1342.52
2042	0.01	0.00	2.09	0.00	76.62	174.46	332.75	205.43	352.08	68.12	0.06	0.00	1211.62
2043	0.00	0.00	0.00	148.41	123.43	846.19	151.80	406.16	159.04	131.83	0.60	61.59	2029.06
2044	0.00	0.00	1.28	0.00	6.25	725.83	333.11	512.91	139.04	58.28	122.83	0.00	1899.53
2045	0.00	0.00	0.00	9.14	115.26	173.64	197.80	324.86	114.01	164.01	4.17	0.00	1102.88
2046	0.07	20.47	0.00	0.37	9.54	140.15	210.24	210.51	199.71	100.45	0.00	0.00	891.50
2047	1.25	0.00	0.00	0.00	97.97	212.16	304.50	266.81	425.39	189.06	0.06	0.00	1497.20
2048	0.00	0.00	0.40	62.51	129.03	503.10	250.04	368.92	81.73	189.93	0.00	0.00	1585.67
2049	1.19	0.00	0.00	0.53	268.17	302.20	233.53	163.59	319.74	218.95	0.00	0.00	1507.91
2050	0.45	0.00	0.00	41.52	128.40	401.31	344.15	376.15	213.82	96.14	18.05	0.00	1619.99
Average	4.89	2.40	1.26	21.67	123.56	336.02	270.49	314.76	278.29	114.65	9.63	3.05	1480.69

ตารางผนวกที่ ค32 ผลคาดการณ์ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน (hrs) ปี ค.ศ. 2021-2050 แบบจำลอง MPI-ESM-MR ภายใต้อารมณ์ RCP 8.5 สถานีพินิจโลก

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2021	7.31	8.22	9.21	9.58	7.23	5.02	6.66	4.80	7.17	7.19	6.44	6.90	7.14
2022	7.34	8.12	8.55	9.95	7.05	7.32	4.32	5.18	5.55	6.65	6.69	6.77	6.96
2023	7.20	7.50	9.00	9.76	8.42	7.22	4.94	6.08	5.64	5.45	6.70	7.01	7.08
2024	7.29	8.16	8.75	9.63	8.97	6.46	6.24	6.16	6.22	7.79	4.96	6.64	7.27
2025	6.46	7.04	8.80	8.50	10.02	7.00	7.82	6.32	6.58	4.81	6.61	6.61	7.21
2026	7.31	7.64	8.78	8.98	8.07	7.56	5.93	6.18	6.53	6.85	6.04	6.36	7.18
2027	7.48	7.58	9.05	9.73	9.22	5.55	5.76	5.19	6.40	7.17	5.68	6.87	7.14
2028	6.71	7.60	8.49	9.45	9.47	5.22	5.97	5.15	6.36	5.93	6.98	5.98	6.94
2029	5.29	8.08	8.55	9.80	9.84	6.73	5.55	5.53	6.16	4.98	6.69	5.95	6.93
2030	7.29	7.84	8.92	8.62	8.66	8.20	7.12	4.72	8.02	5.09	6.78	6.79	7.34
2031	6.51	7.98	8.50	9.18	9.38	7.19	6.99	5.97	6.35	7.70	6.86	7.13	7.48
2032	7.10	7.90	9.33	9.74	9.08	5.84	6.84	5.25	4.98	7.50	7.12	7.09	7.31
2033	6.23	7.34	8.53	9.46	9.57	6.16	6.06	5.97	5.25	6.89	7.52	6.96	7.16
2034	7.27	7.07	8.63	9.59	9.75	7.07	5.82	6.78	5.64	6.93	7.14	6.51	7.35
2035	7.10	7.88	8.34	9.82	8.56	8.89	5.70	5.92	6.11	6.37	6.50	6.76	7.33

ตารางผนวกที่ ค32 (ต่อ)

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Average
2036	7.31	8.15	8.79	9.96	9.63	9.12	6.49	4.94	6.92	5.36	6.78	6.18	7.47
2037	7.09	7.36	8.55	9.37	9.16	5.19	7.16	4.39	6.10	7.39	6.89	6.63	7.11
2038	7.01	8.09	8.55	8.16	9.67	6.80	7.37	5.50	6.06	6.67	5.59	7.15	7.22
2039	5.78	7.96	9.05	9.53	9.35	7.32	6.27	5.22	6.36	6.68	6.66	5.80	7.16
2040	7.09	8.06	8.91	9.10	8.45	7.37	5.52	7.89	4.60	6.73	7.40	6.83	7.33
2041	7.14	7.81	9.08	9.55	9.96	8.10	6.64	4.54	5.75	6.94	6.16	6.87	7.38
2042	7.26	7.37	8.43	9.90	9.50	7.54	7.33	6.74	5.95	7.46	7.01	7.17	7.64
2043	6.94	7.77	8.13	8.42	9.68	5.36	7.94	5.06	6.11	7.17	7.57	6.48	7.22
2044	7.11	7.95	8.50	9.79	8.93	5.07	4.64	5.25	8.30	7.50	4.50	7.03	7.05
2045	7.34	7.68	8.93	9.36	8.37	8.47	6.83	4.41	6.77	6.64	6.48	6.59	7.32
2046	7.04	7.33	8.23	9.51	10.09	8.06	4.58	6.42	6.98	6.68	7.02	6.82	7.40
2047	6.98	7.49	9.00	9.99	9.31	8.28	7.37	7.01	7.11	5.05	6.94	6.68	7.60
2048	6.61	8.07	8.92	8.96	9.13	5.65	6.59	5.36	6.38	7.17	7.20	6.57	7.22
2049	6.80	7.92	8.95	9.76	7.69	7.00	5.00	5.18	5.02	7.65	7.99	6.46	7.12
2050	6.70	7.96	8.85	9.65	9.73	5.90	3.04	3.62	6.23	6.74	6.47	6.68	6.80
Average	6.94	7.76	8.74	9.43	9.07	6.89	6.15	5.56	6.25	6.64	6.65	6.68	7.23

**ภาคผนวก ง**

ผลการทดลองการเพาะปลูกร้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559



ตารางผนวกที่ ๑๑ ความสูงต้นข้าว (ซม.) ของแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตจากวิธีการส่งน้ำ  
แบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2559

ช่วง คู่ม ต้นที่	ความสูงตั้งตัว			ความสูงแตกกอ			ความสูงตั้งท้อง			ความสูงก่อนเก็บเกี่ยว		
	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
1	28.3	29.0	29.3	58.2	50.2	51.1	72.1	67.5	62.0	102.0	95.0	92.0
2	28.4	31.2	27.0	48.0	48.0	47.0	61.2	63.4	66.2	96.4	97.2	94.2
3	25.2	28.0	25.2	46.3	52.4	42.0	61.3	58.2	55.5	93.0	90.1	83.5
4	27.4	25.4	28.1	49.4	48.0	51.0	65.1	55.0	61.5	101.0	95.0	87.5
5	26.9	26.9	27.0	46.0	50.0	40.4	66.2	70.4	57.0	89.0	99.0	91.0
6	26.0	30.1	29.2	49.1	49.0	47.1	59.0	60.0	64.5	92.0	95.9	92.0
7	28.3	27.3	26.3	46.1	49.0	47.0	65.3	64.2	56.5	90.3	95.1	92.5
8	25.0	29.0	25.3	44.0	50.1	43.0	58.3	62.4	59.1	93.0	90.0	95.0
9	29.2	29.1	25.3	50.3	50.1	48.3	66.0	65.7	58.1	93.0	95.6	96.4
10	24.1	28.6	27.3	44.3	51.0	46.1	55.3	62.2	57.0	90.0	93.5	92.0
11	23.4	30.2	28.0	43.1	51.1	45.4	62.8	71.2	63.0	89.4	92.0	97.2
12	28.2	28.0	26.0	49.4	51.0	45.0	64.1	68.6	59.6	99.1	99.5	89.2
13	25.1	27.0	30.1	57.2	49.0	47.0	63.1	58.2	66.7	88.0	92.0	98.0
14	26.1	26.1	29.2	48.0	48.0	47.0	61.0	60.6	64.3	90.4	92.1	96.0
15	24.3	26.1	28.0	41.4	47.4	45.2	57.2	55.0	59.4	85.2	92.0	86.1
16	27.0	28.0	25.2	42.2	48.3	42.6	58.9	64.0	62.0	85.1	100.0	92.0
17	24.9	28.3	28.4	53.2	46.2	41.0	62.0	56.4	56.0	89.0	98.0	87.2
18	28.3	28.0	27.3	48.1	49.5	47.0	60.3	62.5	58.0	95.0	89.0	88.0
19	28.0	29.1	27.3	58.1	43.0	46.1	68.1	64.5	63.9	92.0	94.2	92.5
20	26.2	31.4	26.1	43.8	52.2	46.2	59.6	70.2	61.0	92.0	103.2	91.2
21	22.3	27.8	30.0	43.4	46.3	46.0	62.0	60.1	59.0	93.0	87.0	94.2
22	27.3	29.9	25.1	48.1	49.6	42.4	64.9	59.0	55.0	89.1	89.0	92.4
23	26.3	28.1	28.9	41.2	46.3	41.0	58.0	63.1	62.3	91.0	90.5	89.0
24	26.2	29.1	25.4	43.3	48.2	46.0	54.4	67.5	57.6	92.0	92.0	92.2
25	25.1	31.0	28.0	40.0	51.1	43.5	54.5	60.7	61.0	100.0	95.0	93.2

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ช่วง	ความสูงตั้งตัว			ความสูงแตกกอ			ความสูงตั้งท้อง			ความสูงก่อนเก็บเกี่ยว		
	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
26	25.3	32.0	30.1	43.0	45.2	45.5	63.1	64.0	58.6	94.3	95.1	91.1
27	24.1	29.1	29.0	45.0	48.1	42.1	58.9	61.3	60.2	93.0	91.2	95.1
28	30.1	26.4	27.4	48.0	48.3	44.0	66.3	65.4	61.9	84.3	91.5	89.1
29	27.4	28.0	30.2	43.1	48.3	45.6	61.3	59.2	62.2	91.0	92.2	88.0
30	25.3	31.2	27.1	50.0	53.0	42.0	65.4	67.8	57.0	89.3	94.0	87.0
เฉลี่ย	26.3	28.7	27.6	47.0	48.9	45.1	61.9	62.9	60.2	92.1	93.9	91.5

ตารางผนวกที่ ง2 จำนวนต้นข้าวต่อกอของแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตจากวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2559

ระยะ	ช่วงตั้งตัว			ช่วงแตกกอ			ช่วงตั้งท้อง			ช่วงก่อนเก็บเกี่ยว		
	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
1	14	12	12				45	34	39			
2	9	12	11				39	42	34			
3	9	13	11				39	44	29			
4	9	12	12				34	40	33			
5	8	9	11				33	41	31			
6	12	12	12				40	39	37			
7	10	11	10				41	38	40			
8	10	11	10				37	44	43			
9	11	11	16				36	40	34			
10	11	12	8				37	36	41			
11	8	10	11				32	35	34			
12	11	11	10				38	36	25			
13	9	10	9				24	34	39			

## ตารางผนวกที่ ง2 (ต่อ)

ระยะ คู่ม กอที่	ช่วงตั้งตัว			ช่วงแตกกอ			ช่วงตั้งท้อง			ช่วงก่อนเก็บเกี่ยว		
	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
14	10	13	12				35	41	39			
15	12	11	9				35	41	30			
16	9	11	11				33	31	39			
17	8	12	11				31	36	31			
18	10	9	14				39	35	41			
19	12	10	10				42	42	46			
20	9	10	12				40	35	38			
21	12	11	9				38	37	36			
22	9	12	8				32	37	31			
23	9	14	8				30	37	32			
24	12	13	11				32	39	36			
25	14	11	9				37	31	35			
26	9	10	12				33	34	41			
27	11	9	12				33	34	36			
28	9	10	12				32	29	35			
29	9	13	10				37	31	33			
30	10	10	10				32	35	40			
เฉลี่ย	10.2	11.2	10.8				35.5	36.9	35.9			

ตารางผนวกที่ 3 จำนวนรวงข้าวต่อกอจากวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2559

สุ่มกอที่	CF	AWD1	AWD2
1	32.00	31.00	29.00
2	33.00	35.00	33.00
3	23.00	26.00	29.00
4	26.00	23.00	36.00
5	22.00	33.00	28.00
6	21.00	26.00	31.00
7	23.00	24.00	28.00
8	32.00	28.00	28.00
9	27.00	30.00	35.00
10	26.00	30.00	28.00
11	22.00	21.00	24.00
12	32.00	28.00	19.00
13	22.00	30.00	28.00
14	20.00	31.00	29.00
15	25.00	32.00	25.00
16	20.00	27.00	31.00
17	21.00	27.00	21.00
18	27.00	25.00	33.00
19	29.00	32.00	32.00
20	21.00	35.00	31.00
21	22.00	21.00	27.00
22	21.00	28.00	27.00
23	20.00	33.00	27.00
24	21.00	30.00	26.00
25	33.00	34.00	24.00
26	24.00	29.00	25.00
27	23.00	26.00	26.00
28	23.00	25.00	26.00

ตารางผนวกที่ ๓3 (ต่อ)

ผู้มกที่	CF	AWD1	AWD2
29	24.00	27.00	26.00
30	22.00	25.00	31.00
เฉลี่ย	24.57	28.40	28.10

ตารางผนวกที่ ๓4 ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ CF ปี พ.ศ. 2559

ผู้มกที่	15	1	9	14	4	3	22	11	28	30
1	24.50	25.10	28.00	26.70	26.30	23.50	24.50	27.50	22.90	24.70
2	24.70	24.30	26.10	25.50	25.50	24.70	27.50	25.00	23.10	25.00
3	25.90	27.00	26.90	25.70	26.60	24.60	23.60	24.70	24.50	26.70
4	23.50	25.90	20.00	20.80	24.20	24.50	24.20	27.00	22.20	25.20
5	24.30	26.70	25.70	23.90	23.80	26.80	25.50	23.90	22.30	23.80
6	22.00	24.90	24.80	24.50	25.10	26.00	25.60	24.30	24.30	25.00
7	22.40	25.20	26.50	23.70	26.50	24.70	23.00	23.00	24.00	27.80
8	25.50	27.60	25.80	24.80	25.80	25.00	24.50	24.60	24.50	24.00
9	22.80	26.70	26.00	23.30	21.20	23.60	23.00	26.50	24.00	23.50
10	23.40	26.00	26.50	22.60	26.30	25.00	26.10	25.40	24.90	24.90
11	17.40	25.70	25.70	22.10	25.20	24.30	23.40	22.50	19.70	24.50
12	22.50	24.10	23.80	22.80	26.90	23.40	22.00	27.30	25.50	18.00
13	22.30	27.60	25.10	24.20	24.00	25.00	23.60	25.50	21.70	24.20
14	20.00	27.20	26.10	24.50	25.50	20.50	24.00	24.20	20.20	24.10
15	22.50	20.50	25.00	23.80	24.40	25.50	26.20	25.20	20.40	25.50
16	21.80	23.10	25.50	21.50	21.60	25.00	18.70	24.10	19.50	25.10
17	23.90	27.00	27.50	23.60	26.50	24.90	22.40	25.70	21.80	26.10
18	24.60	26.10	23.50	25.30	20.70	26.80	20.70	20.80	18.50	23.80
19	23.60	28.10	21.20	21.90	26.90	19.40	18.20	19.60	22.00	24.40
20	21.70	27.70	20.90	21.10	20.80	25.60	20.20	21.20	25.20	
21	22.00	21.70	24.40		26.70	21.00	24.40	21.60		

## ตารางผนวกที่ ๓4 (ต่อ)

ส้มกอที่	15	1	9	14	4	3	22	11	28	30
22	24.50	25.90	23.80		25.50	23.60		25.40		
23	24.40	25.40	22.90		24.60	22.90				
24	22.10	26.30	20.20		25.70					
25	23.00	26.70	17.30		16.80					
26		26.60	17.50		14.60					
27		26.20	15.80							
28		27.10								
29		22.80								
30		28.00								
เฉลี่ย	23.01	25.77	23.80	23.62	24.14	24.19	23.40	24.32	22.56	24.54

## ตารางผนวกที่ ๓5 ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD1 ปี พ.ศ. 2559

ส้มกอที่	7	8	26	3	12	9	4	17	13	21
1	25.00	21.80	25.70	25.50	27.70	24.40	24.90	25.80	23.20	25.90
2	26.20	24.80	24.40	24.90	27.80	26.30	23.70	26.10	24.70	24.00
3	27.60	23.70	23.90	25.00	27.00	25.20	25.50	24.50	24.80	24.90
4	27.40	21.70	24.70	23.30	25.10	23.60	23.60	25.50	26.00	22.80
5	27.20	22.80	23.50	24.50	26.00	24.00	22.60	23.70	25.00	24.20
6	25.40	21.70	27.20	23.00	26.80	25.50	24.20	25.20	23.90	24.40
7	25.60	24.20	25.90	24.40	27.10	26.40	23.10	24.90	24.80	23.60
8	27.90	23.80	23.00	24.40	26.80	26.20	25.60	22.40	25.50	25.40
9	24.60	21.70	23.80	25.80	23.50	25.10	21.90	22.90	23.60	25.00
10	24.40	24.50	28.90	24.60	27.10	25.10	24.60	25.40	24.60	21.00
11	24.50	22.90	25.50	23.60	25.20	23.50	24.20	24.50	20.30	21.00
12	22.40	22.80	19.40	19.90	23.50	21.00	23.10	23.30	21.50	22.70
13	21.50	20.50	24.70	22.50	20.00	23.10	21.40	23.70	23.20	19.90
14	25.80	21.60	25.40	22.80	26.20	20.80	19.00	24.30	24.20	23.70

ตารางผนวกที่ ๖5 (ต่อ)

ส้มกอที่	7	8	26	3	12	9	4	17	13	21
15	23.60	22.60	23.50	22.70	27.00	22.60	24.90	24.20	24.50	20.80
16	18.50	23.70	28.90	19.70	25.30	21.80	21.40	20.10	23.00	21.10
17	24.90	22.30	26.20	22.80	24.00	24.40	17.20	23.90	21.00	24.00
18	25.40	25.70	25.30	17.00	21.60	24.00	21.70	22.00	20.10	23.90
19	24.00	24.50	27.50	24.30	22.20	21.40	22.60	20.60	23.20	24.80
20	26.40	25.00	23.40	18.50	21.70	24.20	23.70	19.00	21.50	23.10
21	18.90	21.20	20.30	20.80	20.20	25.50	19.70	23.10	18.20	21.60
22	23.10	20.80	20.80	22.00	24.90	22.90	19.90	23.70	20.00	
23	23.80	25.50	24.50	23.30	25.20	19.80	21.10	23.80	16.00	
24	22.20	23.40	25.60	22.40	22.70	22.70		23.70	23.20	
25		24.60	22.70	18.30	25.90	22.30		22.20	24.10	
26		19.00	23.20	17.70	18.50	22.70		18.50	22.70	
27		24.10	25.70		22.50	25.20		18.00	21.20	
28		21.00			26.90	17.60			24.10	
29						22.70			24.30	
30						23.50			22.30	
เฉลี่ย	24.43	22.93	24.21	22.45	24.59	23.45	22.59	23.15	22.82	23.23

ตารางผนวกที่ ๖6 ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD2 ปี พ.ศ. 2559

ส้มกอที่	14	9	28	2	15	12	25	23	22	10
1	25.70	25.20	26.10	25.60	24.50	24.30	25.70	21.80	25.20	25.70
2	25.80	26.10	24.70	25.70	25.10	24.60	26.60	26.40	24.70	23.50
3	26.50	23.00	24.70	26.40	26.60	23.50	23.90	24.00	22.70	24.40
4	24.70	24.20	24.70	26.50	24.70	24.10	26.30	26.50	23.40	23.90
5	24.40	24.50	22.50	24.10	23.80	25.70	23.80	25.40	24.10	25.30
6	26.80	24.80	24.80	25.90	24.50	21.50	26.20	26.20	25.50	25.90
7	28.20	26.00	25.70	26.50	24.00	25.50	24.00	26.10	21.90	22.40

## ตารางผนวกที่ ๖ (ต่อ)

กลุ่มกอที่	14	9	28	2	15	12	25	23	22	10
8	25.00	23.40	24.90	23.60	24.50	23.30	23.10	26.80	22.50	25.10
9	28.30	26.00	25.60	24.70	24.30	27.20	26.40	24.00	22.40	23.60
10	27.10	22.60	23.30	22.60	23.00	22.60	22.70	26.60	21.60	22.90
11	23.20	19.00	24.40	25.40	22.20	23.50	26.40	26.70	20.60	23.20
12	19.10	24.60	24.60	21.40	24.30	24.90	24.40	24.10	23.40	19.90
13	24.50	26.70	21.50	22.50	24.40	21.10	20.50	20.20	22.30	19.00
14	25.40	21.60	20.70	22.50	9.50	21.10	21.60	21.50	21.10	19.90
15	26.50	21.50	21.70	23.40	19.30	24.40	20.60	21.20	18.90	22.70
16	20.30	24.60	19.60	19.30	19.50	20.20	23.80	24.80	20.30	20.90
17	21.10	22.70	22.60	23.00	23.40	19.00	23.60	26.80	20.10	22.40
18	24.00	20.40	21.70	22.10	18.50	21.20	21.50	27.50	16.20	24.10
19	21.50	21.90	20.20	23.20	21.50	19.10	19.40	24.90	20.30	22.10
20	21.40	19.50	17.80	22.00	21.20		23.80	24.10	22.60	24.60
21	24.40	21.10	22.50	17.70	23.60		27.70	22.60	23.50	22.00
22	22.60	24.80	22.80	23.80	19.00		20.40	23.10	19.70	21.70
23	22.60	25.40	20.70	22.50	22.50		25.10	21.40	18.30	19.80
24	24.40	22.10	17.90	23.40	22.40		20.50	20.30	20.90	23.80
25	23.70	18.30	22.40	23.60	20.50			20.60	22.30	25.40
26	18.70	24.50	24.10	20.00				16.90	19.60	19.90
27	25.30	19.20		26.90				16.30	17.20	20.50
28	20.10	19.70		24.70						23.80
29	19.30	22.00		26.60						
30		20.90		18.50						
เฉลี่ย	23.81	22.88	22.78	23.47	22.27	22.99	23.67	23.59	21.53	22.80



ตารางผนวกที่ ๗ จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ CF ปี พ.ศ. 2559

คู่มกที่		1	28	14	9	15	3	22	11	4	30
1	ดี		65	86	126	56		62	71	75	66
2	ดี		39	68	102	49		24	66	69	65
3	ดี		94	53	95	73		72	66	73	85
4	ดี		72	45	63	59		69	72	77	81
5	ดี		42	81	56	46		76	50	63	60
6	ดี		51	83	59	42		73	71	60	72
7	ดี		51	50	90	40		59	47		94
8	ดี		56	58	82	53		74	60		59
9	ดี		66	53	82	50		74	70		42
10	ดี		90		96	42		91	70		59
	เฉลี่ย		63	64	85	51		67	64	70	68
1	ลีบ		42	47	21	36		24	46	46	29
2	ลีบ		26	44	29	37		23	42	27	43
3	ลีบ		16	58	38	24		32	47	25	15
4	ลีบ		16	13	5	14		27	37	31	29
5	ลีบ		32	31	38	40		26	32	23	26
6	ลีบ		39	17	45	16		48	42	22	19
7	ลีบ		26	26	24	25		18	47		38
8	ลีบ		21	23	13	22		30	26		34
9	ลีบ		12	26	29	21		17	42		33
10	ลีบ		4		37	30		29	27		48
	เฉลี่ย		23	32	28	27		27	39	29	31

ตารางผนวกที่ ๖8 จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD1 ปี พ.ศ. 2559

ลำดับที่	ส่วนที่	7	26	12	3	13	17	4	9	21	8
1	ดี	71	57	42	65	56	46	56	59	63	30
2	ดี	59	69	93	63	72	68	67	63	58	67
3	ดี	75	61	68	63	48	65	45	56	49	64
4	ดี	85	45	67	71	51	71	55	58	61	57
5	ดี	76	43	55	58	56	60	75	42	55	66
6	ดี	48	68	59	59	52	54	49	55	55	42
7	ดี	56	53	75	74	49	57	71	59	64	49
8	ดี	65	60	59	58	58	48	51	53	54	65
9	ดี	69	59	66	68	45	41	42	75	71	44
10	ดี	75	74	62	53	71	57	31	71	40	57
	เฉลี่ย	68	59	65	63	56	57	54	59	57	54
1	ลีบ	51	34	50	43	25	42	24	33	49	21
2	ลีบ	31	25	25	42	42	17	30	50	39	31
3	ลีบ	32	54	70	42	36	29	41	41	20	23
4	ลีบ	32	32	40	41	45	46	29	43	39	25
5	ลีบ	49	43	36	29	32	21	38	61	34	23
6	ลีบ	54	42	44	22	27	44	26	42	29	49
7	ลีบ	39	57	54	44	36	19	21	51	28	39
8	ลีบ	53	30	45	22	51	26	39	34	40	50
9	ลีบ	40	46	19	24	50	11	11	35	36	27
10	ลีบ	41	51	46	30	12	40	49	21	14	21
	เฉลี่ย	42	41	43	34	36	30	31	41	33	31

ตารางผนวกที่ ๑๑ จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD2 ปี พ.ศ. 2559

ลำดับที่	คู่มกอที่	9	28	2	12	15	14	25	23	22	10
1	ดี	46	70		76	55	45	85	38	62	57
2	ดี	50	78		55	74	91	84	72	63	37
3	ดี	51	78		42	78	82	68	35	48	64
4	ดี	44	43		44	53	57	78	77	49	58
5	ดี	57	53		70	54	69	62	49	56	55
6	ดี	38	61		33	64	69	85	60	60	68
7	ดี	49	72		81	63	71	55	57	37	56
8	ดี	46	79		58	57	67	55	67	42	52
9	ดี	58	63		51	46	86	93	34	41	48
10	ดี	33	65		53	68	75	55	70	43	53
	เฉลี่ย	47	66		56	61	71	72	56	50	55
1	ลีบ	20	34		44	59	37	48	19	28	41
2	ลีบ	40	40		54	26	25	28	57	31	23
3	ลีบ	16	36		28	35	49	38	44	17	10
4	ลีบ	29	35		45	34	41	17	37	36	23
5	ลีบ	26	45		29	33	31	39	41	26	21
6	ลีบ	47	51		27	33	52	24	46	45	35
7	ลีบ	57	60		8	12	58	30	45	9	19
8	ลีบ	26	27		21	29	32	28	49	13	42
9	ลีบ	43	51		20	40	47	36	45	16	22
10	ลีบ	31	36		14	18	50	48	49	13	35
	เฉลี่ย	34	42		29	32	42	34	43	23	27

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณผลผลิตและน้ำหนักรวมเมล็ด จำนวน 1,000 เมล็ด ปี พ.ศ. 2559

วิธีการ	ซ้ำที่	น้ำหนักรวมผลผลิต	น้ำหนักรวมผลผลิตที่สุ่ม			ผลผลิต (กก./ไร่)	ความชื้น	กก/ไร่ (0%)	ผลผลิต กก/ไร่ (14%)	ผลผลิตเฉลี่ย กก/ไร่ (14%)	น้ำหนักรวมเมล็ด 1,000 เมล็ด		
			นน.ก่อนอบ	นน.หลังอบ	ความชื้น						นน.หลังอบ	14%	เฉลี่ย
CF	1	2.44	99.58	92.25	7.36	649.33	5.35	614.58	714.63**	1,058.58	26.63	30.97	30.52
	2	3.89	127.69	115.64	9.44	1,036.80	7.87	955.20	1,110.69		25.82	30.02	
	3	3.44	149.45	138.18	7.54	916.27	5.53	865.56	1,006.47		26.29	30.57	
AWD1	1	4.07	101.13	88.81	12.18	1,084.27	12.18	952.18	1,107.18	1,106.14	26.87	31.24	30.76
	2	3.89	131.92	123.39	6.47	1,036.53	6.47	969.51	1,127.34		26.53	30.85	
	3	3.74	119.79	112.02	6.49	996.80	6.49	932.14	1,083.89		25.96	30.19	
AWD2	1	4.20	109.18	94.22	13.70	1,118.67	13.70	965.39	1,122.54	1,044.37	27.01	31.41	31.40
	2	3.69	113.29	99.29	12.36	982.93	12.36	861.47	1,001.70		27.30	31.74	
	3	3.43	126.66	120.32	5.01	913.33	5.01	867.62	1,008.86		26.69	31.03	

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณการใช้น้ำและระดับน้ำในแปลงนาทดลอง ปี พ.ศ. 2559

วัน เดือน ปี	อายุข้าว (วัน)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	ค่าการ ระเหย (มม.)	ปริมาณการส่งน้ำ			ระดับน้ำในแปลงนา		
				(มิลลิเมตร)			(เซนติเมตร)		
				CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
17/12/2015	17	-	2.78	-	-	-	ไม่จดบันทึก		
18/12/2015	18	-	3.09	17.77	17.77	17.77	ไม่จดบันทึก		
19/12/2015	19	-	3.57	-	-	-	ไม่จดบันทึก		
20/12/2015	20	-	3.01	-	-	-	ไม่จดบันทึก		
21/12/2015	21	-	3.10	30.77	22.61	-	ไม่จดบันทึก		
22/12/2015	22	-	2.41	-	-	-	ไม่จดบันทึก		
23/12/2015	23	-	3.77	-	-	-	ไม่จดบันทึก		
24/12/2015	24	-	2.91	13.54	6.10	19.22	ไม่จดบันทึก		
25/12/2015	25	-	2.46	-	18.74	14.87	ไม่จดบันทึก		
26/12/2015	26	30.8	3.97	-	-	-	ไม่จดบันทึก		
27/12/2015	27	-	1.41	-	-	-	ไม่จดบันทึก		
28/12/2015	28	-	2.91	15.05	15.60	15.11	5.00	5.00	5.00
29/12/2015	29	-	2.75	10.40	-	-	4.20	4.40	3.70
30/12/2015	30	-	3.58	-	-	-	4.60	3.90	3.20
31/12/2015	31	-	3.51	19.05	20.50	20.80	3.70	3.50	2.80
01/01/2016	32	-	3.67	-	-	-	5.00	4.80	4.50
02/01/2016	33	-	3.64	-	-	-	4.40	4.10	4.00
03/01/2016	34	-	3.78	15.05	17.95	-	3.50	3.50	3.80
04/01/2016	35	-	3.79	16.26	9.01	32.35	4.00	4.90	3.10
05/01/2016	36	-	3.47	-	-	-	5.00	5.00	5.00
06/01/2016	37	-	3.00	-	-	-	4.40	4.50	4.60
07/01/2016	38	-	3.49	-	-	-	4.20	4.20	4.10
08/01/2016	39	-	3.01	-	-	-	4.00	3.50	3.40
09/01/2016	40	-	2.36	9.67	25.45	-	3.80	3.10	3.00
10/01/2016	41	-	3.20	-	-	-	5.00	5.00	2.50

## ตารางผนวกที่ ง11 (ต่อ)

วัน เดือน ปี	อายุข้าว (วัน)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	ค่าการ ระเหย (มม.)	ปริมาณการส่งน้ำ (มิลลิเมตร)			ระดับน้ำในแปลงนา (เซนติเมตร)		
				CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
11/01/2016	42	-	3.27	-	-	-	4.00	4.00	2.00
12/01/2016	43	-	3.17	-	-	-	3.50	3.80	1.50
13/1/2016	44	-	2.92	29.38	-	-	3.00	3.20	1.00
14/1/2016	45	-	4.36	-	-	-	5.00	2.80	0.60
15/1/2016	46	-	4.25	-	-	-	4.20	2.20	0.00
16/1/2016	47	-	3.99	18.98	-	-	3.80	1.60	-0.40
17/1/2016	48	-	4.49	-	-	-	5.00	1.00	-1.00
18/1/2016	49	-	3.14	14.87	-	-	4.00	0.50	-2.00
19/1/2016	50	-	3.55	-	-	-	4.80	0.20	-3.80
20/1/2016	51	-	3.86	-	-	-	4.10	0.00	-5.00
21/1/2016	52	3.7	3.21	-	-	-	3.00	-2.00	-7.00
22/1/2016	53	-	4.55	25.45	-	-	3.00	-2.00	-11.00
23/1/2016	54	-	4.13	-	-	-	5.00	-3.50	-13.00
24/1/2016	55	-	4.06	-	-	-	4.00	-6.20	-15.00
25/1/2016	56	-	2.5	27.51		102.00	3.00	-10.00	-15.00
26/1/2016	57	22	1.71	-	-	-	7.40	0.00	7.00
27/1/2016	58	7.3	0.99	-	-	-	7.80	2.00	8.00
28/1/2016	59	9.7	1.75	-	-	-	7.80	2.00	8.00
29/1/2016	60	-	2.85	-	-	-	7.20	1.50	7.70
30/1/2016	61	-	3.57	-	-	-	6.50	1.30	7.00
31/1/2016	62	-	3.76	-	-	-	6.00	1.00	6.60
01/02/2016	63	-	3.81	-	-	-	5.10	0.50	6.00
02/02/2016	64	-	3.1	13.05			4.80	0.30	5.50
03/02/2016	65	-	3.83	-	-	-	5.00	0.00	5.00
04/02/2016	66	-	3.63	-	-	-	4.80	-1.00	4.50

## ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ)

วัน เดือน ปี	อายุข้าว (วัน)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	ค่าการ ระเหย (มม.)	ปริมาณการส่งน้ำ			ระดับน้ำในแปลงนา		
				(มิลลิเมตร)			(เซนติเมตร)		
				CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
05/02/2016	67	-	3.58	-	-	-	4.50	-1.80	4.00
06/02/2016	68	-	6.25	28.84			4.00	-2.60	3.40
07/02/2016	69	-	4.09	-	-	-	5.00	-4.80	2.70
08/02/2016	70	-	4.31	-	-	-	4.00	-7.30	2.00
09/02/2016	71	-	3.81	27.61	-	-	3.60	-9.60	1.20
10/02/2016	72	-	3.29	60.31	-	-	5.00	-11.50	1.00
11/02/2016	73	-	3	-	120.43	-	5.00	-15.00	0.50
12/02/2016	74	-	3.55	-	-	-	4.70	5.00	0.20
13/2/2016	75	-	4.41	-	-	-	4.00	4.00	0.00
14/2/2016	76	-	4.32	-	-	-	3.20	3.20	-0.50
15/2/2016	77	-	4.06	26.80	26.45	-	2.90	2.60	-2.00
16/2/2016	78	-	3.54	-	-	-	4.50	4.50	-3.00
17/2/2016	79	-	4.01	-	-	98.83	4.00	4.00	-4.80
18/2/2016	80	-	4.46	-	-	-	3.20	3.10	4.50
19/2/2016	81	-	4.95	-	-	-	2.70	2.80	3.90
20/2/2016	82	-	4.2	37.00	37.54	-	2.00	2.00	3.20
21/2/2016	83	-	4.79	-	-	-	4.60	4.60	2.70
22/2/2016	84	-	3.8	-	-	-	4.00	4.00	2.10
23/2/2016	85	-	2.33	-	-	-	3.10	3.40	1.50
24/2/2016	86	-	4.7	35.11	-	54.36	2.00	3.00	1.10
25/2/2016	87	-	4.63	-	-	-	4.80	2.20	4.80
26/2/2016	88	-	5.51	-	41.73	-	4.00	1.60	4.00
27/2/2016	89	-	4.25	-	-	-	3.00	4.80	3.60
28/2/2016	90	-	4.88	-	-	-	2.40	3.70	2.80
29/2/2016	91	-	5.59	-	-	-	1.70	2.60	2.00

## ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ)

วัน เดือน ปี	อายุข้าว (วัน)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	ค่าการ ระเหย (มม.)	ปริมาณการส่งน้ำ			ระดับน้ำในแปลงนา		
				(มิลลิเมตร)			(เซนติเมตร)		
				CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
01/03/2016	92	-	5.97	52.37	37.45	48.73	0.80	2.00	1.20
02/03/2016	93	-	4.75	-	-	-	4.50	4.60	4.80
03/03/2016	94	-	4.73	-	-	-	3.50	3.80	4.00
04/03/2016	95	-	3.75	-	-	-	2.40	3.00	3.30
05/03/2016	96	-	4.08	-	-	-	2.00	2.40	2.70
06/03/2016	97	-	5.45	-	-	-	1.50	1.80	2.10
07/03/2016	98	-	4.9	48.56	45.43	-	1.10	1.10	1.50
08/03/2016	99	-	6.5	-	-	-	4.00	4.00	1.00
09/03/2016	100	-	5.27	-	-	-	3.30	3.50	0.70
10/03/2016	101	-	4.79	32.63	29.92	-	2.80	2.90	0.20
11/03/2016	102	-	4.89	-	-	-	4.60	4.40	0.00
12/03/2016	103	-	5.55	-	-	-	4.10	4.00	-1.10
13/3/2016	104	-	6.81	-	-	-	3.30	3.00	-2.20
14/3/2016	105	-	5.91	-	-	-	2.40	2.20	-3.70
15/3/2016	106	-	6.56	-	-	-	1.90	1.60	-5.50
16/3/2016	107	-	6.75	-	-	-	0.90	1.00	-10.00
17/3/2016	108	-	6.89	-	-	-	0.00	0.20	-15.00
18/3/2016	109	-	7.81	-	-	11.72	0.00	-0.50	0.00
19/3/2016	110	-	7.46	-	-	-	0.00	-2.50	-5.80
20/3/2016	111	-	6.65	-	-	-	0.00	-4.70	-6.40
21/3/2016	112	-	6.62	-	-	-	-	-	-
22/3/2016	113	-	7.65	-	-	-	-	-	-
23/3/2016	114	-	7.91	-	-	-	-	-	-
24/3/2016	115	-	7.62	-	-	-	-	-	-
25/3/2016	116	-	6.59	-	-	-	-	-	-



ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ)

วัน เดือน ปี	อายุข้าว (วัน)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	ค่าการ ระเหย (มม.)	ปริมาณการส่งน้ำ (มิลลิเมตร)			ระดับน้ำในแปลงนา (เซนติเมตร)		
				CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
26/3/2016	117	-	5.12	-	-	-	-	-	-
27/3/2016	118	-	3.19	-	-	-	-	-	-
28/3/2016	119	-	6.73	-	-	-	-	-	-
29/3/2016	120	-	5.23	-	-	-	-	-	-
30/3/2016	121	-	6.17	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ 12 เวลาการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชการทดลอง ปี พ.ศ. 2559

วัน/เดือน/ปี	ชื่อสามัญ	อัตราการใช้	ป้องกันและกำจัด
18 ธ.ค. 2558	fipronil	20 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอนห่อใบข้าว เพลี้ยไฟ
	propineb	20-30 กรัม/น้ำ 20 ลิตร	เชื้อรา
5 ม.ค. 2559	Carbaryl	20 มิลลิลิตร/20 ลิตร	แมลง ค้างคาวปีกแข็ง
	propineb	20-30 กรัม/น้ำ 20 ลิตร	เชื้อรา
	Omethoate	40 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอน เพลี้ย
15 ม.ค. 2559	fipronil	20 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอนห่อใบข้าว เพลี้ยไฟ
28 ม.ค. 2559	Omethoate	40 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอน เพลี้ย
	Profenofos	40 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอนห่อใบข้าว เพลี้ยไฟ
	propineb	20-30 กรัม/น้ำ 20 ลิตร	เชื้อรา
17 ก.พ. 2559	Omethoate	40 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอน เพลี้ย
1 มี.ค. 2559	Omethoate	40 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอน เพลี้ย



ภาพผนวกที่ ๑1 การเตรียมแปลงนาทดลองการทดลองการเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559



ภาพผนวกที่ ๑2 การปักดำกล้าในการเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559



ภาพผนวกที่ ๓3 ระบบส่งน้ำชลประทานในการเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559



ภาพผนวกที่ ๓4 การจัดเก็บข้อมูลวัดความสูงต้นข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559



ภาพผนวกที่ ๓5 การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ที่อายุข้าว 56-57 วัน



ภาพผนวกที่ ๓6 การพ่นสารกำจัดโรคและแมลงศัตรูข้าวฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559



ภาพผนวกที่ ๗ การป้องกันศัตรูข้าวจากนก



ภาพผนวกที่ ๘ การสุ่มเก็บผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. ๒๕๕๙



ภาพผนวกที่ 9 การตรวจผลผลิตเมล็ดข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559



ภาพผนวกที่ 10 การตรวจวัดองค์ประกอบผลผลิต ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2559

**ภาคผนวก จ**

ผลการทดลองการเพาะปลูกร้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560

ตารางผนวกที่ จ1 ความสูงต้นข้าว (ซม.) ของแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตจากวิธีการส่งน้ำ  
แบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2560

ช่วง คู่ม ต้นที่	ความสูงตั้งตัว			ความสูงแตกกอ			ความสูงตั้งท้อง			ความสูงก่อนเก็บเกี่ยว		
	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
1	14.0	19.0	17.0	53.9	56.0	46.0	80.2	78.0	78.0	100.3	95.3	89.0
2	18.0	18.0	16.0	55.0	51.0	54.0	84.2	83.2	87.0	101.0	88.0	102.2
3	20.5	20.0	22.0	53.0	52.4	51.3	84.9	81.0	77.0	96.0	98.4	94.2
4	23.0	17.0	17.0	55.1	53.1	52.1	89.0	83.0	79.0	94.0	101.0	98.0
5	17.4	18.0	18.4	49.0	50.0	50.1	81.0	80.0	82.0	91.2	94.0	103.0
6	20.0	19.0	19.0	56.2	51.0	46.4	88.4	78.3	75.0	91.0	92.0	96.0
7	22.0	20.4	19.5	57.2	47.3	49.0	84.0	73.5	73.2	94.4	87.9	98.0
8	20.0	21.0	12.0	24.5	52.0	41.5	92.0	87.0	74.0	96.3	97.5	92.3
9	25.0	18.0	21.0	56.2	44.0	51.5	83.8	72.0	85.0	101.0	93.2	100.0
10	24.0	18.0	14.0	61.3	54.0	49.0	95.5	78.0	75.0	101.5	93.3	96.2
11	17.0	17.5	20.0	52.0	47.2	59.0	79.0	72.2	79.0	91.2	86.0	90.1
12	15.4	18.0	17.0	51.0	46.1	46.2	81.5	81.0	88.0	95.3	97.0	105.3
13	18.4	18.5	18.0	52.3	49.0	46.0	81.0	82.0	85.0	93.4	95.0	95.4
14	19.0	19.0	19.0	54.0	51.3	49.0	93.0	76.0	80.0	96.0	96.0	105.0
15	14.0	19.5	20.0	53.0	55.1	52.0	85.2	81.0	82.0	100.0	96.1	96.0
16	18.0	19.0	19.0	53.2	52.0	52.0	84.0	75.0	74.0	94.0	90.4	91.0
17	22.0	21.0	17.0	60.4	53.0	51.0	98.5	77.2	77.1	105.0	94.0	90.5
18	18.0	18.0	19.0	53.0	49.0	54.0	85.5	75.9	78.0	99.0	90.2	94.0
19	20.0	19.5	19.0	56.5	54.5	44.0	93.0	80.2	68.0	104.0	99.0	85.3
20	22.0	20.0	17.0	55.0	51.0	51.0	84.9	78.5	75.0	96.4	94.0	95.4
21	15.4	17.0	23.0	52.1	51.0	57.0	83.4	84.0	78.1	97.0	97.2	95.3
22	16.4	18.0	19.0	50.2	49.0	51.0	78.0	77.4	72.0	99.0	96.0	93.2
23	18.4	20.0	21.0	52.1	51.1	50.0	77.0	80.0	83.0	92.0	98.0	92.2
24	17.2	19.0	16.0	52.0	51.1	52.0	84.0	82.0	82.0	90.4	98.5	87.5
25	16.0	20.0	21.0	45.2	52.2	46.0	73.3	80.0	82.0	95.0	95.0	98.0



ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ช่วง คู่ม ต้นที่	ความสูงตั้งตัว			ความสูงแตกกอ			ความสูงตั้งท้อง			ความสูงก่อนเก็บเกี่ยว		
	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
26	17.0	19.0	16.0	50.0	46.0	42.1	81.0	77.0	70.0	91.0	96.2	92.0
27	16.0	18.0	19.0	47.0	55.0	43.0	71.2	81.0	68.0	90.0	96.0	84.0
28	21.0	18.5	18.0	53.2	53.1	49.0	85.0	76.4	68.1	95.6	92.5	91.0
29	18.5	20.0	19.0	54.0	52.0	45.2	75.0	77.2	73.0	96.0	95.4	90.3
30	22.0	21.0	19.0	54.2	48.4	46.0	86.0	77.0	73.5	97.0	95.3	87.5
เฉลี่ย	18.9	19.0	18.4	52.4	50.9	49.2	84.1	78.8	77.4	96.1	94.6	94.3

ตารางผนวกที่ จ2 จำนวนต้นข้าวต่อกอของแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตจากวิธีการส่งน้ำ  
แบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2560

ระยะ คู่ม ต้นที่	ช่วงตั้งตัว			ช่วงแตกกอ			ช่วงตั้งท้อง			ช่วงก่อนเก็บเกี่ยว		
	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
1	7	5	5	*	*	*	22	20	18	*	*	*
2	7	4	7	*	*	*	21	14	18	*	*	*
3	6	6	9	*	*	*	18	20	21	*	*	*
4	5	8	7	*	*	*	18	23	18	*	*	*
5	4	6	7	*	*	*	16	13	15	*	*	*
6	4	6	6	*	*	*	17	23	21	*	*	*
7	6	4	7	*	*	*	18	18	20	*	*	*
8	6	6	6	*	*	*	16	23	20	*	*	*
9	3	5	4	*	*	*	20	20	24	*	*	*
10	6	5	4	*	*	*	17	22	16	*	*	*
11	8	7	7	*	*	*	21	15	28	*	*	*
12	5	5	4	*	*	*	18	19	17	*	*	*
13	9	4	7	*	*	*	23	24	21	*	*	*

## ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

ระยะ คู่ ต้นที่	ช่วงตั้งตัว			ช่วงแตกกอ			ช่วงตั้งท้อง			ช่วงก่อนเก็บเกี่ยว		
	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
14	4	6	9	*	*	*	15	19	25	*	*	*
15	5	5	6	*	*	*	18	24	16	*	*	*
16	7	4	8	*	*	*	21	18	19	*	*	*
17	4	8	7	*	*	*	19	20	27	*	*	*
18	5	4	4	*	*	*	15	18	19	*	*	*
19	6	6	5	*	*	*	19	21	20	*	*	*
20	5	8	4	*	*	*	16	26	18	*	*	*
21	7	6	6	*	*	*	18	24	26	*	*	*
22	7	7	4	*	*	*	14	20	18	*	*	*
23	6	5	4	*	*	*	13	15	21	*	*	*
24	5	5	5	*	*	*	12	21	17	*	*	*
25	6	5	5	*	*	*	18	19	21	*	*	*
26	7	9	8	*	*	*	13	25	20	*	*	*
27	5	6	5	*	*	*	14	20	20	*	*	*
28	5	8	7	*	*	*	15	23	27	*	*	*
29	4	5	4	*	*	*	12	20	14	*	*	*
30	7	6	6	*	*	*	15	20	18	*	*	*
เฉลี่ย	5.7	5.8	5.9	-	-	-	17.07	20.23	20.1	-	-	-

ตารางผนวกที่ ๑3 จำนวนรวงข้าวต่อกอจากวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2560

สุ่มกอที่	CF	AWD1	AWD2
1	22	22	18
2	21	14	19
3	18	26	20
4	19	21	21
5	17	20	22
6	20	20	19
7	20	18	18
8	15	22	21
9	19	21	24
10	19	22	17
11	24	18	19
12	18	18	22
13	22	19	21
14	17	22	25
15	18	22	20
16	20	18	18
17	15	20	21
18	15	16	16
19	19	22	21
20	16	23	18
21	16	20	23
22	17	23	17
23	15	16	21
24	15	21	17
25	18	16	20
26	17	19	21
27	16	19	19
28	16	21	21

## ตารางผนวกที่ จ3 (ต่อ)

สุ่มกอที่	CF	AWD1	AWD2
29	16	15	16
30	15	22	23
เฉลี่ย	17.83	19.87	19.93

## ตารางผนวกที่ จ4 ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ CF ปี พ.ศ. 2560

สุ่มกอที่	2	14	23	9	3	2	14	23	9	3
1	25.7	23.4	25.8	29	27.7	25.7	23.4	25.8	29	27.7
2	25.2	24.2	26.8	28.7	25.8	25.2	24.2	26.8	28.7	25.8
3	25.3	25.5	25.8	26.1	25.6	25.3	25.5	25.8	26.1	25.6
4	26.2	25.7	26.7	25.6	24.6	26.2	25.7	26.7	25.6	24.6
5	25.5	24.4	24.1	27.8	26	25.5	24.4	24.1	27.8	26
6	25.3	24.3	25.3	28.2	24.5	25.3	24.3	25.3	28.2	24.5
7	26.5	22.9	25	27.6	22.7	26.5	22.9	25	27.6	22.7
8	28	26.1	24.9	28.9	27	28	26.1	24.9	28.9	27
9	29.4	23.4	24.5	24.2	22.4	29.4	23.4	24.5	24.2	22.4
10	25.7	24.1	23.5	25.6	25.7	25.7	24.1	23.5	25.6	25.7
11	24.5	20.9	19.6	26.7	26.4	24.5	20.9	19.6	26.7	26.4
12	25	24.1	28.4	26.4	23.8	25	24.1	28.4	26.4	23.8
13	26.1	23.2	22.1	23.2	22.7	26.1	23.2	22.1	23.2	22.7
14	23.6	3.1	20.2	27.4	24.8	23.6	3.1	20.2	27.4	24.8
15	24	22.2		24.5	24.1	24	22.2		24.5	24.1
16	23.4	26.1		24.6	24	23.4	26.1		24.6	24
17	22	24.3		27.6	27.2	22	24.3		27.6	27.2
18	23.8			27.4	24.7	23.8			27.4	24.7
19	24.1			27.5		24.1			27.5	
20	25.1					25.1				
เฉลี่ย	25.22	22.82	24.48	26.68	24.98	25.22	22.82	24.48	26.68	24.98

ตารางผนวกที่ จ5 ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD1 ปี พ.ศ. 2560

สุ่มกอที่	4	2	5	21	11	4	2	5	21	11
1	27.50	25.00	25.10	25.00	27.50	27.50	25.00	25.10	25.00	27.50
2	27.20	26.30	25.00	22.80	24.50	27.20	26.30	25.00	22.80	24.50
3	29.30	25.50	24.30	25.10	26.60	29.30	25.50	24.30	25.10	26.60
4	25.10	25.10	25.40	25.50	24.60	25.10	25.10	25.40	25.50	24.60
5	26.70	25.00	27.50	23.80	25.00	26.70	25.00	27.50	23.80	25.00
6	24.20	26.20	27.10	26.40	24.50	24.20	26.20	27.10	26.40	24.50
7	25.70	24.00	25.70	25.60	24.60	25.70	24.00	25.70	25.60	24.60
8	23.50	23.70	25.00	23.60	26.40	23.50	23.70	25.00	23.60	26.40
9	26.00	25.90	27.90	24.20	26.10	26.00	25.90	27.90	24.20	26.10
10	26.90	24.50	21.30	25.50	23.30	26.90	24.50	21.30	25.50	23.30
11	30.50	24.90	21.70	18.70	22.80	30.50	24.90	21.70	18.70	22.80
12	25.50	26.50	23.10	23.00	24.20	25.50	26.50	23.10	23.00	24.20
13	24.50	24.20	20.00	21.60	23.50	24.50	24.20	20.00	21.60	23.50
14	26.50		25.20	20.80	25.30	26.50		25.20	20.80	25.30
15	26.10		22.40	22.30	21.80	26.10		22.40	22.30	21.80
16	25.40		23.00	20.10	21.50	25.40		23.00	20.10	21.50
17	24.60		21.40	23.70	21.40	24.60		21.40	23.70	21.40
18	23.80		24.10	22.60	20.90	23.80		24.10	22.60	20.90
19	27.50		19.60	22.70		27.50		19.60	22.70	
20	22.80		21.60	19.90		22.80		21.60	19.90	
เฉลี่ย	25.97	25.14	23.82	23.15	24.14	25.97	25.14	23.82	23.15	24.14

ตารางผนวกที่ ๖6 ความยาวรวงของต้นข้าวจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD2 ปี พ.ศ. 2560

สุ่มกอที่	30	16	14	23	5	30	16	14	23	5
1	24.10	27.40	25.60	25.40	25.30	24.10	27.40	25.60	25.40	25.30
2	26.20	22.50	24.60	23.80	26.00	26.20	22.50	24.60	23.80	26.00
3	25.10	24.90	26.80	27.00	26.50	25.10	24.90	26.80	27.00	26.50
4	27.10	24.60	25.40	27.10	24.90	27.10	24.60	25.40	27.10	24.90
5	26.60	23.00	25.00	25.60	26.20	26.60	23.00	25.00	25.60	26.20
6	24.50	23.30	24.50	24.20	27.30	24.50	23.30	24.50	24.20	27.30
7	25.70	19.40	27.10	26.10	25.40	25.70	19.40	27.10	26.10	25.40
8	24.10	26.30	25.20	23.90	27.00	24.10	26.30	25.20	23.90	27.00
9	25.20	23.70	24.50	27.40	25.60	25.20	23.70	24.50	27.40	25.60
10	24.60	22.60	26.20	25.10	23.10	24.60	22.60	26.20	25.10	23.10
11	22.50	24.20	23.40	25.90	25.20	22.50	24.20	23.40	25.90	25.20
12	27.90	21.60	25.50	23.70	26.50	27.90	21.60	25.50	23.70	26.50
13	25.60	23.50	24.00	23.20	24.20	25.60	23.50	24.00	23.20	24.20
14	26.60	20.30	27.70	26.00	25.50	26.60	20.30	27.70	26.00	25.50
15	25.90	21.40	23.20	24.90	21.40	25.90	21.40	23.20	24.90	21.40
16	24.00	23.10	26.50	24.80	23.80	24.00	23.10	26.50	24.80	23.80
17	23.50	24.20	24.90	25.00	23.70	23.50	24.20	24.90	25.00	23.70
18	17.00	20.00	25.00	24.20	20.20	17.00	20.00	25.00	24.20	20.20
19	23.60		24.90	24.50	22.10	23.60		24.90	24.50	22.10
20	22.10		24.00	25.70	25.20	22.10		24.00	25.70	25.20
เฉลี่ย	24.60	23.11	25.20	25.18	24.76	24.60	23.11	25.20	25.18	24.76

ตารางผนวกที่ จ7 จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ CF ปี พ.ศ. 2560

กอที่	14		2		23		3		9	
	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ
1	61	47	90	46	81	13	67	50	111	28
2	60	63	61	41	92	31	118	42	81	64
3	72	40	90	38	76	26	72	44	56	62
4	69	34	68	63	97	13	74	31	61	56
5	85	20	84	41	65	24	102	32	69	50
6	65	41	95	73	58	18	53	48	73	82
7	65	29	119	24	67	15	40	21	62	41
8	63	56	83	18	52	26	108	34	80	70
9	64	32	101	71	67	24	49	17	64	44
10	69	36	59	32	73	41	91	46	76	45
เฉลี่ย	67	40	85	45	73	23	77	37	73	54

ตารางผนวกที่ จ8 จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD1 ปี พ.ศ. 2560

กอที่	5		11		4		2		21	
	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ
1	34	42	75	50	81	52	90	30	77	32
2	70	28	63	35	64	55	93	37	35	25
3	41	32	52	46	85	54	89	24	86	24
4	47	40	31	40	79	49	81	34	71	50
5	58	60	55	35	72	24	90	28	56	29
6	68	33	53	41	83	44	52	86	69	38
7	47	37	64	24	52	30	92	23	88	43
8	59	49	71	35	60	94	72	32	40	26
9	64	45	63	51	85	32	68	42	64	25
10	35	22	59	25	86	48	67	47	58	33
เฉลี่ย	52	39	59	38	75	48	79	38	64	33

ตารางผนวกที่ ๑๑ จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบจากวิธีการส่งน้ำแบบ AWD2 ปี พ.ศ. 2560

กอที่	5		11		4		2		21	
	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ	ดี	ลีบ
1	34	42	75	50	81	52	90	30	77	32
2	70	28	63	35	64	55	93	37	35	25
3	41	32	52	46	85	54	89	24	86	24
4	47	40	31	40	79	49	81	34	71	50
5	58	60	55	35	72	24	90	28	56	29
6	68	33	53	41	83	44	52	86	69	38
7	47	37	64	24	52	30	92	23	88	43
8	59	49	71	35	60	94	72	32	40	26
9	64	45	63	51	85	32	68	42	64	25
10	35	22	59	25	86	48	67	47	58	33
เฉลี่ย	52	39	59	38	75	48	79	38	64	33



ตารางผนวกที่ ๑10 ปริมาณผลผลิตและน้ำหนักรวมเฉลี่ย จำนวน 1,000 เมล็ด ปี พ.ศ. 2560

วิธีการ	ซ้ำที่	ผลผลิตสด กก./ไร่	ตัวอย่างสด ก่อนอบ	ตัวอย่างสด หลังอบ	น้ำหนักรวม	% ความชื้น	ผลผลิต กก./ไร่ (0%)	ผลผลิต กก./ไร่ (14%)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด
CF	1	854.85	170.16	159.10	11.06	6.50	799.29	929.41	28.73
	2	859.96	122.64	116.43	6.21	5.06	816.41	949.31	28.51
	3	903.41	120.94	113.98	6.96	5.75	851.42	990.02	28.87
AWD1	1	759.26	89.21	83.60	5.61	6.29	711.51	827.34	29.40
	2	872.28	98.44	93.02	5.42	5.51	824.25	958.43	29.44
	3	892.08	109.46	102.31	7.15	6.53	833.81	969.54	29.94
AWD2	1	864.74	140.95	131.47	9.48	6.73	806.58	937.88	29.37
	2	818.71	118.50	112.03	6.47	5.46	774.01	900.01	28.93
	3	822.38	116.90	110.35	6.55	5.60	776.30	902.67	29.71

ตารางผนวกที่ ๑1 ปริมาณการใช้น้ำและระดับน้ำในแปลงนาทดลอง ปี พ.ศ. 2560

วัน เดือน ปี	อายุข้าว (วัน)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	ค่าการ ระเหย (มม.)	ระดับน้ำในแปลงนา (เซนติเมตร)			ปริมาณการส่งน้ำ (มิลลิเมตร)		
				CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
25 ธ.ค. 59	17	-	3.46	1.5	1.5	1.5			
26 ธ.ค. 59	18	-	4.07	1.3	1.2	1.2			
27 ธ.ค. 59	19	-	4.18	1.0	0.9	1.0			
28 ธ.ค. 59	20	-	3.96	0.7	0.5	0.5	16.49	13.25	12.37
29 ธ.ค. 59	21	-	3.56	1.0	1.2	0.9	12.74		
30 ธ.ค. 59	22	-	3.95	2.0	0.9	0.7	15.59	35.92	27.80
31 ธ.ค. 59	23	-	2.52	3.0	3.0	3.0			
1 ม.ค. 60	24	-	2.31	2.1	1.8	2.0	15.22	15.74	10.74
2 ม.ค. 60	25	-	3.42	3.0	3.0	3.0			
3 ม.ค. 60	26	-	2.82	2.5	2.5	2.4			
4 ม.ค. 60	27	-	4.48	2.0	2.0	2.0	15.66	16.08	15.18
5 ม.ค. 60	28	-	2.08	3.0	3.0	3.0			
6 ม.ค. 60	29	0.2	3.64	2.0	2.7	2.8	11.90		
7 ม.ค. 60	30		3.31	2.8	2.5	2.2			
8 ม.ค. 60	31		2.15	2.2	2.0	1.5			
9 ม.ค. 60	32	3.2	2.77	1.9	1.7	1.2	15.96		
10 ม.ค. 60	33	31.1	2.41	2.9	1.2	0.7			
11 ม.ค. 60	34	3.9	0.62	5.2	4.5	4.0			
12 ม.ค. 60	35	-	2.30	5.2	4.8	4.3			
13 ม.ค. 60	36	-	2.85	4.8	4.8	4.0			
	สูบน้ำออก				1.0	0.0		-3.80	-4.00
14 ม.ค. 60	37	-	3.71	4.2	0.7	0.0			
15 ม.ค. 60	38	-	4.06	3.8	0.4	-0.5			
16 ม.ค. 60	39	-	3.23	3.2	0.2	-1.1	19.14		
17 ม.ค. 60	40	-	3.76	4.8	0.0	-1.6			

## ตารางผนวกที่ จ11 (ต่อ)

วัน เดือน ปี	อายุข้าว (วัน)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	ค่าการ ระเหย (มม.)	ระดับน้ำในแปลงนา			ปริมาณการส่งน้ำ		
				(เซนติเมตร)			(มิลลิเมตร)		
				CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
18 ม.ค. 60	41	-	3.03	4.0	-0.3	-3.9			
19 ม.ค. 60	42	-	4.14	3.5	-0.5	-6.5	28.75		
20 ม.ค. 60	43	-	3.89	4.8	-0.9	-7.4			
21 ม.ค. 60	44	-	4.51	4.2	-2.5	-8.6			
22 ม.ค. 60	45	-	4.67	3.7	-5.1	-9.3	39.49		
23 ม.ค. 60	46	-	3.90	4.8	-7.5	-12.5			
24 ม.ค. 60	47	-	3.73	4.0	-8.9	-15.0			103.35
25 ม.ค. 60	48	-	3.82	3.0	-10.5	4.2			
26 ม.ค. 60	49	-	3.73	1.9	-13.0	2.7	30.85		
27 ม.ค. 60	50	-	3.09	4.7	-15.0	1.9		121.68	
28 ม.ค. 60	51	-	4.87	4.0	4.6	0.9			
29 ม.ค. 60	52	-	3.59	3.3	3.9	0.4			
30 ม.ค. 60	53	-	4.03	2.3	3.1	0.2			
31 ม.ค. 60	54	-	4.20	1.8	2.4	0.0	50.91		
1 ก.พ. 60	55	-	4.12	5.0	1.7	0.0		23.82	
2 ก.พ. 60	56	-	3.68	4.8	3.2	-0.5			
3 ก.พ. 60	57	-	4.82	4.5	2.5	-1.2			
4 ก.พ. 60	58	-	4.50	3.8	1.8	-1.8			
5 ก.พ. 60	59	-	5.11	3.0	1.2	-3.3			
6 ก.พ. 60	60	-	4.55	2.7	0.0	-7.6	33.91		
7 ก.พ. 60	61	-	4.71	4.8	-0.2	-10.2			
8 ก.พ. 60	62	-	4.71	4.2	-0.5	-13.0			
9 ก.พ. 60	63	-	3.93	3.5	-0.7	-15.0			
10 ก.พ. 60	64	-	3.93	3.2	-0.9	-15.0			96.09
11 ก.พ. 60	65	-	4.32	2.8	-1.2	4.0	35.46		

## ตารางผนวกที่ จ11 (ต่อ)

วัน เดือน ปี	อายุข้าว (วัน)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	ค่าการ ระเหย (มม.)	ระดับน้ำในแปลงนา			ปริมาณการส่งน้ำ		
				(เซนติเมตร)			(มิลลิเมตร)		
				CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
12 ก.พ. 60	66	-	4.01	4.6	-6.5	3.0			
13 ก.พ. 60	67	-	5.63	4.0	-7.7	2.5			
14 ก.พ. 60	68	-	3.63	3.5	-8.9	1.9			
15 ก.พ. 60	69	-	4.23	2.2	-11.1	0.9	36.43		
16 ก.พ. 60	70	-	4.24	4.5	-13.5	0.3			
17 ก.พ. 60	71	-	4.96	3.8	-15.0	0.0		105.45	
18 ก.พ. 60	72	-	4.73	3.3	4.2	-0.2			
19 ก.พ. 60	73	-	4.00	2.7	3.4	-0.3			
20 ก.พ. 60	74	-	5.13	1.9	2.4	-1.4	39.07	32.44	
21 ก.พ. 60	75	-	4.57	4.8	4.7	-4.5			
22 ก.พ. 60	76	-	3.97	4.2	3.8	-8.8			
23 ก.พ. 60	77	-	4.85	3.7	2.9	-11.2			
24 ก.พ. 60	78	-	4.81	3.1	2.5	-13.9			
25 ก.พ. 60	79	-	5.69	2.6	1.9	-15.0	30.84	35.44	
26 ก.พ. 60	80	-	5.75	4.8	5.0	-15.0			99.94
27 ก.พ. 60	81	-	4.36	4.0	4.4	3.7			
28 ก.พ. 60	82	-	5.40	3.5	3.7	2.7			
1 มี.ค. 60	83	-	5.26	2.8	3.0	2.0	34.77	21.29	32.78
2 มี.ค. 60	84	-	5.37	5.0	4.0	4.8			
3 มี.ค. 60	85	-	4.97	4.0	3.3	3.7		26.90	
4 มี.ค. 60	86	-	5.18	3.4	4.8	2.8			
5 มี.ค. 60	87	-	4.94	2.2	4.5	2.0	28.91		
6 มี.ค. 60	88	-	5.09	5.0	3.9	1.5		17.85	32.87
7 มี.ค. 60	89	-	5.46	3.9	5.0	5.0			
8 มี.ค. 60	90	-	5.23	2.5	4.8	4.2			

## ตารางผนวกที่ จ11 (ต่อ)

วัน เดือน ปี	อายุข้าว (วัน)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	ค่าการ ระเหย (มม.)	ระดับน้ำในแปลงนา			ปริมาณการส่งน้ำ		
				(เซนติเมตร)			(มิลลิเมตร)		
				CF	AWD1	AWD2	CF	AWD1	AWD2
9 มี.ค. 60	91	-	5.82	5.0	4.6	3.5	45.82		
10 มี.ค. 60	92	-	4.87	4.1	3.8	2.6			25.93
11 มี.ค. 60	93	-	5.87	3.0	3.5	4.8			
12 มี.ค. 60	94	-	6.15	2.2	2.8	3.7	32.05		
13 มี.ค. 60	95	-	6.13	5.0	2.5	2.7			
14 มี.ค. 60	96	-	6.34	3.9	1.9	1.6	10.91	35.93	31.29
15 มี.ค. 60	97	-	5.63	4.5	4.7	4.8			
16 มี.ค. 60	98	-	5.73	3.8	4.0	4.0			
17 มี.ค. 60	99	-	3.71	3.0	3.2	3.0			
18 มี.ค. 60	100	-	6.82	2.5	2.7	2.4			
19 มี.ค. 60	101	-	6.01	1.9	2.1	2.0			
20 มี.ค. 60	102	-	6.95	1.0	1.7	1.3			
21 มี.ค. 60	103	-	5.14	0.5	1.0	0.9			
22 มี.ค. 60	104	-	5.71	0.3	0.5	0.6			
23 มี.ค. 60	105	-	5.12	0.0	0.2	0.0			
24 มี.ค. 60	106	-	7.08	-0.5	0.0	-0.8			
25 มี.ค. 60	107	-	5.26	-0.8	-0.4	-1.1			
26 มี.ค. 60	108	-	7.11	-1.1	-1.3	-1.8			
27 มี.ค. 60	109	1.10	3.51	-1.9	-2.0	-2.4			
28 มี.ค. 60	110	-	5.21	-2.5	-3.0	-3.1			

หมายเหตุ ค่าปริมาณน้ำฝน (มม.) วัดจากเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนที่ติดตั้ง ณ แปลงนาทดลอง

ตารางผนวกที่ ๑12 เวลาการฉีดพ่นสารเคมีกำจัด โรคและแมลงศัตรูพืชการทดลอง ปี พ.ศ. 2560

วัน/เดือน/ปี	ชื่อสามัญ	อัตราการใช้	ป้องกันและกำจัด
12 ม.ค. 2560	Omethoate	40 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอน เพลี้ย
	propineb	20-30 กรัม/น้ำ 20 ลิตร	เชื้อรา
24 ม.ค. 2560	Omethoate	40 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอน เพลี้ย
	propineb	20-30 กรัม/น้ำ 20 ลิตร	เชื้อรา
6 ก.พ. 2560	Omethoate	40 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอน เพลี้ย
	propineb	20-30 กรัม/น้ำ 20 ลิตร	เชื้อรา
23 ก.พ. 2560	Omethoate	40 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอน เพลี้ย
	propineb	20-30 กรัม/น้ำ 20 ลิตร	เชื้อรา
20 มี.ค. 2560	Omethoate	40 มิลลิลิตร/20 ลิตร	หนอน เพลี้ย
	propineb	20-30 กรัม/น้ำ 20 ลิตร	เชื้อรา



ภาพผนวกที่ จ1 การเตรียมแปลงนาทดลองการทดลองการเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560



ภาพผนวกที่ จ2 ระบบท่อส่งน้ำและมิเตอร์วัดน้ำในการเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560



ภาพผนวกที่ จ3 แปลงนาทดลองการเพาะปลูกข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560



ภาพผนวกที่ จ4 การจัดเก็บข้อมูลวัดความสูงต้นข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560





ภาพผนวกที่ จ5 เครื่องมือวัดปริมาณฝนในพื้นที่ศึกษา



ภาพผนวกที่ จ6 การพ่นสารกำจัด โรคและแมลงศัตรูข้าวฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560



ภาพผนวกที่ จ7 การสุ่มจัดเก็บข้อมูลวัดความสูงต้นข้าวช่วงหลังข้าวตั้งตัว



ภาพผนวกที่ จ8 การสุ่มเก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560



ภาพผนวกที่ ๑๑ การสุ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560



ภาพผนวกที่ ๑๑๐ การตรวจวัดผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2560

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการประมวลผลแบบจำลอง DSSAT-CERES-Rice

```

*EXP.DETAILS: KUPL1501GS THESIS SURASIT; PHITSANULOK, THAILAND

*GENERAL
@PEOPLE
-99
@ADDRESS
Phrom Phiram District
@SITE
Phitsanulok, Thailand

*TREATMENTS
-----FACTOR LEVELS-----
@N R O C TNAME..... CU FL SA IC MP MI MF MR MC MT ME MH SM
1 1 0 0 CF          1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1
2 1 0 0 AWD1       1 1 1 1 1 2 1 0 0 0 0 1 1
3 1 0 0 AWD2       1 1 1 1 1 3 1 0 0 0 0 1 1

*CULTIVARS
@C CR INGENO CNAME
1 RI TR0006 PHITSANULOK 2

*FIELDS
@L ID_FIELD WSTA.... FLSA FLOB FLDT FLDD FLDS FLST SLTX SLDP ID_SOIL FLNAME
1 KUPL0001 SPPL6118 -99 0 DR000 0 0 0 C 150 CCQU000033 Phrom Phiram District, PHITSANULOK
@L .....XCRD .....YCRD .....ELEV .....AREA .SLEN .FLWR .SLAS FLHST FHDUR
1          17.046          100.186          47.8          -99 -99 -99 -99 -99 -99

*SOIL ANALYSIS
@A SADAT SMHB SMPX SMKE SANAME
1 70165 SA011 -99 -99 Phrom Phiram Soil
@A SABL SADM SAOC SANI SAPHW SAPHB SAPX SAKE SASC
1 15 -99 2.5 -99 4.4 -99 -99 -99 -99
1 30 -99 2.5 -99 4.4 -99 -99 -99 -99

*INITIAL CONDITIONS
@C PCR ICDAT ICTR ICND ICRN ICRE ICWD ICRES ICREN ICREP ICRIIP ICRIID ICNAME
1 RI 15335 -99 -99 1 1 -99 -99 1 -99 -99 -99 Phrom Phiram field plot
@C ICBL SH20 SNH4 SNO3
1 5 .47 .2 2.1
1 15 .473 .2 2.1
1 30 .491 .2 2.1

*PLANTING DETAILS
@P PDATE EDATE PPOP PPOE PLME PLDS PLRS PLRD PLDP PLWT PAGE PENV PLPH SPRL PLNAME
1 15351 -99 27 27 T H 30 -99 3 -99 17 29 3 3 Phrom Phiram plot

*IRRIGATION AND WATER MANAGEMENT
@I EFIR IDEP ITHR IEPT IOFF IAME IAMT IRNAME
1 1 30 50 100 GS000 IR001 10 CF
@I IDATE IROP IRVAL
1 18 IR006 17.8
1 21 IR006 30.8
1 24 IR006 13.5
1 28 IR006 15.1
1 29 IR006 10.4
1 31 IR006 19.1
1 34 IR006 15.1
1 35 IR006 16.3
1 40 IR006 9.7
1 44 IR006 29.4
1 47 IR006 19
1 49 IR006 14.9
1 53 IR006 25.5
1 56 IR006 27.5
1 64 IR006 13.1
1 68 IR006 28.8
1 71 IR006 27.6
1 72 IR006 60.3
1 77 IR006 26.8
1 82 IR006 37
1 86 IR006 35.1
1 92 IR006 52.4
1 98 IR006 48.6
1 101 IR006 32.6
@I EFIR IDEP ITHR IEPT IOFF IAME IAMT IRNAME
2 1 30 50 100 GS000 IR001 10 AWD1
@I IDATE IROP IRVAL
2 18 IR006 17.8
2 21 IR006 22.6
2 24 IR006 6.1
2 25 IR006 18.7
2 28 IR006 15.6
2 31 IR006 20.5
2 34 IR006 18

```

ภาพผนวกที่ ๑1 ไฟล์ข้อมูลการจัดการในระดับแปลงนาทดลอง (FILE X)

```

*EXP.DETAILS: KUTH6115SN TEST SEASONAL #15cm|

*GENERAL
@PEOPLE
-99
@ADDRESS
-99
@SITE
-99
@ PAREA PRNO PLEN PLDR PLSP PLAY HAREA HRNO HLEN HARM.....
  -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99

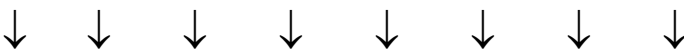
*TREATMENTS
-----FACTOR LEVELS-----
@N R O C TNAME..... CU FL SA IC MP MI MF MR MC MT ME MH SM
1 1 1 0 water 15 cm 100%      1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1
2 1 1 0 water 15 cm 90%       1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 2
3 1 1 0 water 15 cm 80%       1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 3
4 1 1 0 water 15 cm 70%       1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 4
5 1 1 0 water 15 cm 60%       1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 5

*CULTIVARS
@C CR INGENO CNAME
  1 RI TR0006 PHITSANULOK 2

*FIELDS
@L ID_FIELD WSTA.... FLSA FLOB FLDT FLDD FLDS FLST SLTX SLDP ID_SOIL FLNAME
1 Phit6119 SPPL6118 -99 -99 DR000 -99 -99 0 C 150 KUPL000001 Phitsanulok Thailand
@L .....XCRD .....YCRD .....ELEV .....AREA .SLEN .FLWR .SLAS FLHST FHDUR
  1 16.783 100.267 44 -99 -99 -99 -99 -99 -99

*SOIL ANALYSIS
@A SADAT SMHB SMPX SMKE SANAME
1 61335 SA011 -99 -99 Phitsanulok Soil
@A SABL SADM SAOC SANI SAPHW SAPHB SAPX SAKE SASC
  1 15 -99 2.2 -99 4.4 -99 -99 -99 -99
    
```

I



```

@N MANAGEMENT PLANT IRRIG FERTI RESID HARVS
4 MA R F R R M
@N OUTPUTS FNAME OVVEW SUMRY FROPT GROUT CAOUT WAOUT NIOUT MIOUT DIOUT VBOSE CHOUT OPOUT FMOPT
4 OU Y N Y 10 N N N N N N N N N A

@ AUTOMATIC MANAGEMENT
@N PLANTING PFRST PLAST PH20L PH20U PH20D PSTMX PSTMN
4 PL 61001 61001 40 100 30 40 10
@N IRRIGATION IMDEP ITHRL ITHRU IROFF IMETH IRAMT IREFF
4 IR 15 70 100 IB001 IR006 10 .5
@N NITROGEN NMDEP NMTHR NAMNT NCODE NAOFF
4 NI 30 50 25 IB001 IB001
@N RESIDUES RIPCN RTIME RIDEP
4 RE 100 1 20
@N HARVEST HFRST HLAST HPCNP HPCNR
4 HA 0 96001 100 0

@N GENERAL NYERS NREPS START SDATE RSEED SNAME..... SMODEL
5 GE 57 1 S 61335 5000 15 cm 60% SEASONAL SIMU RICER
@N OPTIONS WATER NITRO SYMBI PHOSP POTAS DISES CHEM TILL CO2
5 OP Y N N N N N N N N D
@N METHODS WTHR INCON LIGHT EVAPO INFIL PHOTO HYDRO NSWIT MESOM MESEV MESOL
5 ME M M E R S C R 1 G S 2
@N MANAGEMENT PLANT IRRIG FERTI RESID HARVS
5 MA R F R R M
@N OUTPUTS FNAME OVVEW SUMRY FROPT GROUT CAOUT WAOUT NIOUT MIOUT DIOUT VBOSE CHOUT OPOUT FMOPT
5 OU Y N Y 10 N N N N N N N N N A

@ AUTOMATIC MANAGEMENT
@N PLANTING PFRST PLAST PH20L PH20U PH20D PSTMX PSTMN
5 PL 61001 61001 40 100 30 40 10
@N IRRIGATION IMDEP ITHRL ITHRU IROFF IMETH IRAMT IREFF
5 IR 15 60 100 IB001 IR006 10 .5
@N NITROGEN NMDEP NMTHR NAMNT NCODE NAOFF
5 NI 30 50 25 IB001 IB001
@N RESIDUES RIPCN RTIME RIDEP
5 RE 100 1 20
@N HARVEST HFRST HLAST HPCNP HPCNR
5 HA 0 96001 100 0
    
```

I

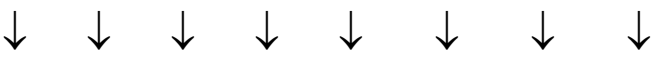
□

ภาพผนวกที่ ๑2 ไฟล์ข้อมูลการจัดการในระดับรายฤดูปลูก ระดับน้ำ 15 เซนติเมตร (FILE X)

```

! The cultivar coefficient G5 was added to CSM-CERES-Rice Version 4.7.5
! v4.7.7 - remove G4 and G5 and introduce THOT, TCLDP, and TCLDF
!
! COEFF  DEFINITIONS
! =====
! VAR# Identification code or number for a specific cultivar.
! VAR-NAME Name of cultivar.
! EXPNO Number of experiments used to estimate cultivar parameters
! ECO# Ecotype code for this cultivar points to the Ecotype in the ECO
! file (currently not used).
!
! P1 Time period (expressed as growing degree days [GDD] in oC-d above a
! base temperature of 9oC) from seedling emergence during which the
! rice plant is not responsive to changes in photoperiod. This period
! is also referred to as the basic vegetative phase of the plant.
! Range: 150-800 oC-d.
! Calibration: flexible, compare with observed panicle initiation
! and flowering dates.
!
! P20 Critical photoperiod or the longest day length (in hours) at
! which the development occurs at a maximum rate. At values higher
! than P20 developmental rate is slowed, hence there is delay due
! to longer day lengths.
! Range 11-13 h. Default 12 h.
! Calibration: Do not go below 11 unless data are available.
!
! P2R Extent to which phasic development leading to panicle initiation
! is delayed (expressed as GDD in oC-d) for each hour increase in
! photoperiod above P20.
! Range 5-300 oC-d.
! Calibration: Modern rice varieties will have values in
! the lower range.
!
! P5 Time period in GDD oC-d) from beginning of grain filling (3 to
! 4 days after flowering) to physiological maturity with a base
! temperature of 9oC.
! Range 150-850 oC-d.
! Calibration: Ensure P1, P20 and P2R are correctly calibrated for
! anthesis data. Then calibrate P5 for observed maturity date.
!
! G1 Potential spikelet number coefficient as estimated from the
! number of spikelets per g of main culm dry weight (less leaf

```



```

!chp added revised cultivars from ATTACHAI JINTRAWET (Thailand) - gave new name
! starting with MC.
! A low G3 value put more biomass to tillers, thru TILRAT and
! TPANIWT variables, meaning that more STMT is needed.

```

!VAR#	VAR-NAME	EXPNO	ECO#	P1	P2R	P5	P20	G1	G2	G3	PHINT	THOT	TCLDP	TCLDF	!	previous
MC0020	RD 23	.	IB0001	310.3	140.0	370.0	11.2	53.0	.0230	0.30	83.0	28.0	15.0	15.0	!	1.00 1.0
TR0001	KDML105	.	IB0001	502.3	123.3	386.5	12.7	45.7	.0270	1.00	83.0	29.5	15.0	15.0	!	0.95 1.0
TR0002	NIEW SANPATONG	.	IB0001	495.8	128.3	364.2	12.7	40.7	.0277	0.70	83.0	32.9	15.0	15.0	!	0.85 1.0
TR0003	SUPANBURI 60	.	IB0001	540.0	154.7	497.0	11.9	77.7	.0280	1.00	83.0	27.2	15.0	15.0	!	1.03 1.0
TR0004	CHAINAT 1	.	IB0001	570.0	122.8	334.8	11.9	63.1	.0278	1.00	83.0	28.0	15.0	15.0	!	1.00 1.0
TR0005	DOA 1	.	IB0001	388.5	20.0	381.8	12.0	73.8	.0275	1.10	83.0	24.3	15.0	15.0	!	1.15 1.0
TR0006	PHITSANULOK 2	.	IB0001	390.9	198.6	434.7	11.9	78.2	.0300	0.82	83.0	24.3	15.0	15.0	!	1.20 1.0

ภาพผนวกที่ ๓3 ไฟล์ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าว (พันธุ์พิษณุโลก 2)

```

!SOILS: General DSSAT Soil Input File
! DSSAT v4.7; 09/01/2017
!
! Standard Soil Profiles
!
! The following generic information was developed by A.J. Gijsman:
!
! - BD was estimated as BD = 100 / (SOM% / 0.224 + (100 - SOM%) / mineral BD)
!   (Adams, 1973; Rawls and Brakensiek, 1985).
! - LL and DUL are according to Saxton et al., 1986.
! - SAT was taken as a fraction of porosity (Dalglish and Foale, 1998):
!   0.93 for soil classes S, SL and LS; 0.95 for soil classes L, SIL, SI,
!   SCL and SC; and 0.97 for soil classes C, CL, SIC and SICL.
! For this, porosity was estimated as: POR = 1 - BD / APD (in which APD
! is the adjusted particle density, i.e. corrected for SOM; Baumer and Rice, 1988).
! - The ranges of LL and DUL values were calculated by stepping through the
!   complete texture triangle in steps of 1% sand, 1% silt and 1% clay (>5000
!   combinations), but with the texture limitations that Saxton set for his method
!   taken into consideration. For SAT, these limitations do not hold, as this was
!   based on POR and not on Saxton. See Gijsman et al., 2002.
! - The root growth distribution function SRGF was calculated as:
!   SRGF = 1 * EXP(-0.02 * LAYER_CENTER); SRGF was set 1 for LAYER_BOTTOM <= 15.
!
! SOIL CLASS      BD              LL              DUL              SAT
! -----
! C               1.129 - 1.512      0.220 - 0.346    0.330 - 0.467    0.413 - 0.488
! CL              1.243 - 1.502      0.156 - 0.218    0.282 - 0.374    0.417 - 0.512
! L               1.245 - 1.483      0.083 - 0.156    0.222 - 0.312    0.415 - 0.501
! LS              1.353 - 1.629      0.059 - 0.110    0.137 - 0.185    0.355 - 0.416
! S               1.446 - 1.574      0.055 - 0.085    0.123 - 0.158    0.374 - 0.400
! SC              1.501 - 1.593      0.195 - 0.294    0.276 - 0.389    0.376 - 0.409
! SCL             1.475 - 1.636      0.132 - 0.191    0.213 - 0.304    0.360 - 0.418
! SI              0.978 - 1.464      0.096 - 0.099    0.299 - 0.307    0.442 - 0.488
! SIC             1.307 - 1.446      0.224 - 0.326    0.379 - 0.456    0.455 - 0.489
! SICL            1.248 - 1.464      0.155 - 0.219    0.324 - 0.392    0.448 - 0.511
! SIL             0.968 - 1.464      0.082 - 0.152    0.240 - 0.333    0.439 - 0.547
! SL              1.142 - 1.647      0.066 - 0.133    0.164 - 0.243    0.348 - 0.499
!

```



```

*IN00020001  SCS          -99      160  BLACK SOIL, JNKVV, INDORE,MP
@SITE        COUNTRY      LAT      LONG SCS FAMILY
JNKVV        INDIA        22.4     75.5  TYPIC HAPLUSTERT, FINE, MONTMORILLONITIC
@ SCOM  SALB  SLUI  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
BN .11      6      .5      70     1      .88  IB001  IB001  IB001
@ SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCF  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
5  AP .177 .4 .602 1 -99 1.36 .6 -99 -99 -99 -99 8 -99 -99 -99
15 AP .177 .4 .602 1 -99 1.36 .6 -99 -99 -99 -99 8 -99 -99 -99
30 AP .177 .4 .602 1 -99 1.36 .6 -99 -99 -99 -99 8 -99 -99 -99
60 A .177 .39 .603 1 -99 1.36 .64 -99 -99 -99 -99 8.1 -99 -99 -99
90 B .177 .39 .603 1 -99 1.36 .64 -99 -99 -99 -99 8.1 -99 -99 -99
120 BS .177 .39 .602 1 -99 1.36 .6 -99 -99 -99 -99 8.1 -99 -99 -99
150 BS .177 .39 .603 1 -99 1.36 .6 -99 -99 -99 -99 8.1 -99 -99 -99
160 BS .177 .39 .603 1 -99 1.36 .6 -99 -99 -99 -99 8.1 -99 -99 -99

*AUTA810001  CSIRO        CL      200  Red sodosol
@SITE        COUNTRY      LAT      LONG SCS FAMILY
Tatura       Australia  36.27   145.14 Red brown earth
@ SCOM  SALB  SLUI  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
R .13      6      .1      80     1      1  IB001  IB001  IB001
@ SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCF  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
20 1 .23 .455 .505 1 .23 1.3 1.03 35 30 -99 -99 8.2 -99 -99 -99
40 2 .24 .49 .54 .549 .23 1.3 .86 35 30 -99 -99 8.5 -99 -99 -99
60 3 .24 .49 .54 .368 .23 1.29 .77 35 30 -99 -99 8.6 -99 -99 -99
80 4 .25 .5 .55 .247 .23 1.31 .65 35 30 -99 -99 8.6 -99 -99 -99
100 5 .27 .42 .47 .165 .23 1.35 .54 35 30 -99 -99 7.4 -99 -99 -99
120 6 .31 .385 .435 .111 .23 1.36 .48 35 30 -99 -99 5.3 -99 -99 -99
140 7 .38 .43 .48 .074 .23 1.36 .43 35 30 -99 -99 5 -99 -99 -99
160 8 .38 .405 .455 .05 .23 1.36 .43 35 30 -99 -99 5 -99 -99 -99
180 9 .38 .405 .455 .033 .23 1.36 .43 35 30 -99 -99 5 -99 -99 -99
200 10 .38 .38 .43 .022 .23 1.36 .43 35 30 -99 -99 5 -99 -99 -99

*KUPL000001  -99      C      30  Clay
@SITE        COUNTRY      LAT      LONG SCS FAMILY
Phitsanulok THAILAND -99 -99
@ SCOM  SALB  SLUI  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
-99 .09  6.8 .6 76 1 1  IB001  IB001  IB001
@ SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCF  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
5 -99 .351 .47 .485 1 -99 1.17 2.9 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99
15 -99 .354 .473 .488 1 -99 1.21 2.91 -99 -99 -99 -99 -99 -99 -99

```

ภาพผนวกที่ ๓4 ไฟล์ข้อมูลดินจากแปลงนาทดลอง



WEATHER DATA : PHAC

@ INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WNDHT		
PHAC	17.033	100.183	48	28.4	7.7	-99.0	-99.0		
@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
15001	18.7	29.8	12.8	0.0					
15002	18.5	28.8	13.4	0.0					
15003	17.7	30.1	14.8	0.0					
15004	18.5	32.0	15.3	0.0					
15005	18.8	33.4	18.9	0.0					
15006	18.9	34.4	19.3	0.0					
15007	18.6	34.6	21.0	0.0					
15008	7.6	30.8	20.8	2.2					
15009	7.0	30.0	19.0	7.1					
15010	7.3	21.2	17.1	13.0					
15011	18.0	23.0	17.0	0.2					
15012	18.9	28.6	14.9	0.0					
15013	17.5	27.7	14.8	0.0					
15014	18.8	27.8	13.5	0.0					
15015	18.8	29.0	14.9	0.0					
15016	17.5	31.0	15.9	0.0					
15017	19.5	28.0	14.9	0.0					
15018	19.5	29.8	17.8	0.0					
15019	18.4	29.9	15.8	0.0					
15020	18.9	31.3	16.7	0.0					
15021	18.8	31.4	16.6	0.0					
15022	19.0	32.1	17.0	0.0					
15023	19.6	32.0	16.9	0.0					
15024	18.1	32.3	15.0	0.0					
15025	19.9	33.1	15.0	0.0					
15026	20.0	33.0	15.1	0.0					
15027	19.8	33.1	15.5	0.0					
15028	20.6	33.8	14.9	0.0					
15029	20.5	34.4	15.9	0.0					
15030	19.2	34.2	18.0	0.0					
15031	16.6	33.6	19.5	0.0					



17330	18.6	32.2	22.5	0.0					
17331	18.8	31.9	22.5	0.0					
17332	17.8	32.6	22.5	0.0					
17333	18.0	34.3	22.5	0.0					
17334	18.7	34.0	22.5	0.0					
17335	17.2	34.0	18.7	0.0					
17336	18.6	33.4	18.7	0.0					
17337	17.9	32.4	18.7	0.0					
17338	18.2	34.8	18.7	0.0					
17339	9.8	30.8	18.7	0.0					
17340	18.5	32.6	18.7	0.0					
17341	15.8	32.5	18.7	0.0					
17342	9.8	32.1	18.7	0.9					
17343	11.6	30.3	18.7	0.0					
17344	17.8	32.1	18.7	0.0					
17345	17.8	33.8	18.7	0.0					
17346	15.4	33.7	18.7	0.0					
17347	15.1	33.5	18.7	0.0					
17348	17.5	34.0	18.7	0.0					
17349	17.1	33.5	18.7	0.0					
17350	16.0	34.2	18.7	0.0					
17351	17.2	31.6	18.7	0.0					
17352	16.8	29.2	18.7	0.0					
17353	17.8	26.9	18.7	0.0					
17354	18.2	25.4	18.7	0.0					
17355	17.7	26.8	18.7	0.0					
17356	17.8	27.6	18.7	0.0					
17357	17.9	31.8	18.7	0.0					
17358	18.0	32.4	18.7	0.0					
17359	14.2	29.3	18.7	0.0					
17360	7.3	26.0	18.7	5.1					
17361	6.8	21.7	18.7	18.6					
17362	6.9	22.6	18.7	1.8					
17363	13.4	29.6	18.7	0.0					
17364	16.9	33.1	18.7	0.0					
17365	16.1	32.3	18.7	0.0					

ภาพผนวกที่ ๓5 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 2 ปี 2015-2017

WEATHER DATA : 378201-PHITSANULOK

@ INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WNDHT		
SPPPL	16.783	100.267	44	28.2	6.4	-99.0	-99.0		
@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
61001	15.7	30.4	17.0	0.0					
61002	17.7	31.6	17.3	0.0					
61003	19.4	32.5	17.3	0.0					
61004	18.0	33.7	18.5	0.0					
61005	19.2	34.6	20.0	0.0					
61006	16.6	34.8	21.6	0.0					
61007	14.3	32.2	22.4	0.0					
61008	18.4	32.9	19.8	0.0					
61009	19.3	34.5	19.7	0.0					
61010	19.4	35.2	20.0	0.0					
61011	16.7	33.8	20.6	0.0					
61012	19.4	31.7	19.3	0.0					
61013	19.0	30.9	19.2	0.0					
61014	19.4	30.5	16.8	0.0					
61015	19.6	29.6	15.7	0.0					
61016	18.4	27.3	15.1	0.0					
61017	19.7	25.9	13.3	0.0					
61018	19.7	25.7	11.4	0.0					
61019	19.8	26.4	9.3	0.0					
61020	19.8	29.6	10.6	0.0					
61021	19.4	30.8	14.0	0.0					
61022	15.9	31.2	17.9	0.0					
61023	16.9	31.5	16.2	0.0					
61024	19.0	33.1	16.2	0.0					
61025	15.9	34.2	16.6	0.0					
61026	17.8	33.3	19.5	0.0					
61027	18.4	31.9	17.1	0.0					
61028	20.3	31.9	15.2	0.0					
61029	20.4	33.7	16.2	0.0					
61030	20.4	34.6	17.3	0.0					
61031	20.4	35.2	19.3	0.0					

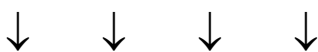


18330	18.6	32.5	21.9	0.0					
18331	18.8	32.0	19.6	0.0					
18332	13.3	30.2	20.5	0.0					
18333	15.2	33.2	23.2	0.0					
18334	17.3	32.9	22.5	0.0					
18335	18.4	34.5	22.6	0.0					
18336	18.5	35.5	23.5	0.0					
18337	18.6	35.3	23.1	0.0					
18338	18.4	35.5	23.8	0.0					
18339	18.5	35.6	23.1	0.0					
18340	18.1	35.0	23.0	0.0					
18341	14.5	34.1	23.4	0.0					
18342	14.6	26.6	24.8	8.4					
18343	7.0	29.8	23.3	0.3					
18344	13.2	31.6	23.2	0.0					
18345	15.5	32.6	23.4	0.0					
18346	14.4	31.3	24.8	0.0					
18347	14.4	31.0	23.2	0.0					
18348	17.0	31.3	20.6	0.0					
18349	6.9	31.1	20.1	0.0					
18350	18.3	32.0	21.9	0.0					
18351	18.3	32.0	21.8	0.0					
18352	18.6	31.4	21.7	0.0					
18353	18.7	32.1	20.6	0.0					
18354	18.8	33.5	20.9	0.0					
18355	18.3	34.4	22.8	0.0					
18356	16.6	34.7	23.5	0.0					
18357	18.6	33.7	22.8	0.0					
18358	18.0	32.4	21.5	0.0					
18359	19.1	33.4	19.5	0.0					
18360	18.7	33.5	18.0	0.0					
18361	18.1	32.7	17.3	0.0					
18362	16.9	32.5	19.8	0.0					
18363	14.4	27.1	23.0	3.2					
18364	8.9	27.5	20.5	0.0					
18365	14.6	28.5	20.5	0.0					

ภาพผนวกที่ ๑๖ ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศสถานีตรวจอากาศพิษณุโลก ปี 1961-2018

\*WEATHER DATA : 45EC

@	INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WNDHT	
45EC	17.046	100.186	48	29.1	4.7	-99.0	-99.0		
@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
21001	16.8	29.7	12.5	0.0					
21002	16.4	27.9	11.8	0.0					
21003	17.0	26.7	10.6	0.0					
21004	17.2	30.0	12.5	0.0					
21005	17.0	30.9	14.7	0.0					
21006	16.9	30.0	18.0	0.0					
21007	14.0	30.0	16.4	0.0					
21008	15.3	25.7	16.2	0.0					
21009	12.8	22.5	12.8	0.0					
21010	13.4	29.4	12.5	0.5					
21011	14.1	30.3	13.6	1.0					
21012	14.9	30.5	13.3	0.6					
21013	15.9	31.8	14.0	0.0					
21014	15.2	31.4	15.4	0.6					
21015	16.0	31.4	15.2	0.2					
21016	17.2	32.2	15.4	0.0					
21017	14.4	32.6	16.0	0.4					
21018	14.2	32.1	16.6	0.2					
21019	15.7	32.3	16.4	0.0					
21020	16.6	31.7	15.0	0.0					
21021	16.8	31.6	14.6	0.0					
21022	17.6	32.3	14.0	0.0					
21023	17.9	32.7	15.3	0.0					
21024	17.8	33.5	16.5	0.0					
21025	18.7	33.0	19.7	0.0					
21026	18.5	32.5	18.1	0.0					
21027	16.3	32.9	16.9	0.0					
21028	17.5	33.7	16.5	0.0					
21029	17.4	35.1	19.0	0.1					
21030	14.8	33.3	17.3	1.9					
21031	14.5	32.4	14.9	1.0					



50330	18.2	32.5	22.7	0.0					
50331	16.7	31.5	22.1	1.2					
50332	13.7	33.1	21.8	0.7					
50333	17.5	31.7	24.0	0.0					
50334	18.1	32.0	23.9	0.0					
50335	17.8	34.3	24.0	0.0					
50336	15.2	34.2	20.6	0.0					
50337	16.4	33.2	18.5	0.0					
50338	12.9	33.5	18.2	2.1					
50339	11.8	33.5	18.5	2.3					
50340	13.0	32.8	18.0	1.6					
50341	14.8	33.2	19.2	2.3					
50342	14.2	26.0	19.9	0.7					
50343	13.9	32.0	19.6	0.0					
50344	15.6	31.4	19.3	1.5					
50345	16.0	33.5	21.4	0.2					
50346	15.4	34.9	24.8	0.0					
50347	17.2	34.2	23.4	0.0					
50348	17.4	34.1	22.8	0.0					
50349	17.6	34.5	24.5	0.0					
50350	17.5	32.6	21.7	0.0					
50351	17.5	31.8	21.4	0.0					
50352	17.6	30.3	20.1	0.0					
50353	17.4	25.7	18.8	0.0					
50354	15.8	29.2	18.7	0.0					
50355	14.8	32.1	23.2	0.0					
50356	17.0	31.2	24.5	0.0					
50357	17.0	32.5	24.3	0.0					
50358	16.6	33.3	22.5	0.0					
50359	16.4	34.3	21.6	0.0					
50360	15.3	35.2	21.1	0.0					
50361	15.4	35.6	23.8	0.1					
50362	16.2	34.4	22.7	0.0					
50363	16.1	34.0	22.0	0.0					
50364	15.1	34.6	21.5	0.0					
50365	14.6	34.1	24.4	0.0					

ภาพผนวกที่ ๗7 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง EC-EARTH RCP 4.5 ปี 2021-2050

WEATHER DATA : 85EC

@	INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WNDHT	
85EC	17.050	100.190		48	30.1	6.0	-99.0	-99.0	
@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
21001	15.3	35.6	25.2	0.1					
21002	15.5	35.8	24.8	0.0					
21003	14.6	35.6	26.4	0.0					
21004	14.3	33.6	23.6	0.4					
21005	15.3	35.4	23.4	0.0					
21006	15.8	37.0	24.5	0.0					
21007	14.9	36.7	22.9	0.0					
21008	16.6	37.0	22.3	0.0					
21009	16.8	37.0	26.3	0.0					
21010	15.5	35.6	26.8	0.0					
21011	14.4	33.1	25.5	0.0					
21012	15.3	33.5	23.9	0.0					
21013	16.9	35.2	23.6	0.0					
21014	16.8	36.1	25.4	0.0					
21015	15.0	36.2	26.4	0.0					
21016	15.1	36.3	25.8	1.2					
21017	15.4	34.3	24.4	0.0					
21018	17.7	35.4	23.9	0.0					
21019	16.6	35.7	24.1	0.0					
21020	15.3	35.8	24.1	0.0					
21021	15.1	35.7	23.9	0.0					
21022	14.9	35.7	25.8	0.0					
21023	15.1	35.7	25.5	0.0					
21024	15.3	35.9	26.5	0.0					
21025	17.0	35.8	25.5	0.0					
21026	17.5	35.7	24.8	0.0					
21027	18.6	35.5	24.4	0.0					
21028	17.4	35.7	24.8	0.0					
21029	18.7	37.3	24.4	0.0					
21030	18.8	38.5	24.3	0.0					
21031	17.2	36.6	26.1	0.0					

I



50330	15.7	32.3	24.2	1.3					
50331	16.0	32.4	23.8	0.7					
50332	15.2	32.4	23.4	0.8					
50333	14.2	31.0	23.5	2.4					
50334	12.6	30.7	23.6	1.3					
50335	14.0	31.6	24.4	1.9					
50336	15.9	33.0	21.7	1.2					
50337	17.2	33.0	21.5	0.0					
50338	17.0	32.8	21.6	0.0					
50339	15.4	32.3	23.7	0.0					
50340	15.9	32.4	23.9	0.0					
50341	16.2	31.1	23.3	0.0					
50342	16.4	31.9	23.0	0.0					
50343	15.5	32.9	23.5	0.1					
50344	16.3	33.3	23.4	0.0					
50345	15.4	34.1	24.8	0.0					
50346	16.1	35.5	25.3	0.0					
50347	16.7	35.6	23.3	0.0					
50348	17.1	35.3	23.1	0.0					
50349	15.7	33.4	23.4	0.0					
50350	16.9	32.5	21.9	0.0					
50351	16.9	31.6	21.2	0.0					
50352	17.0	32.0	20.7	0.0					
50353	16.9	34.0	20.4	0.0					
50354	16.4	34.5	23.3	0.0					
50355	14.6	32.8	24.4	0.8					
50356	16.3	32.6	24.5	0.0					
50357	15.0	32.7	24.6	0.0					
50358	14.4	32.2	24.1	0.0					
50359	14.8	31.5	23.7	0.0					
50360	16.0	33.5	23.6	0.0					
50361	10.6	30.8	25.0	0.2					
50362	13.2	32.3	24.6	1.8					
50363	13.9	33.7	24.8	2.5					
50364	14.5	33.4	24.7	1.3					
50365	11.3	30.9	24.0	1.4					

I

ภาพผนวกที่ ๑๘ ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง EC-EARTH RCP 8.5 ปี 2021-2050

WEATHER DATA : 45GF

@	INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WINDHT	
45GF	17.046	100.186	48	29.3	7.2	-99.0	-99.0		
@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
21001	13.6	29.6	20.1	0.1					
21002	11.7	28.8	21.5	0.1					
21003	13.3	30.1	20.6	0.0					
21004	16.3	30.1	19.7	0.1					
21005	13.3	29.7	19.7	0.0					
21006	15.6	31.3	19.9	0.1					
21007	16.8	31.3	19.2	0.0					
21008	17.0	31.8	19.0	0.0					
21009	16.9	31.5	19.0	0.0					
21010	17.2	31.8	19.2	0.0					
21011	17.0	31.9	20.6	0.0					
21012	16.3	32.3	23.3	0.0					
21013	16.7	31.9	23.4	0.1					
21014	13.4	31.0	23.4	0.2					
21015	13.0	31.5	23.2	0.1					
21016	15.1	32.1	23.3	0.0					
21017	16.7	32.6	23.3	0.1					
21018	16.9	32.7	22.0	0.0					
21019	17.5	33.1	22.0	0.0					
21020	17.9	33.2	21.8	0.0					
21021	17.8	33.1	22.0	0.0					
21022	17.9	33.4	21.2	0.0					
21023	17.9	34.4	19.0	0.0					
21024	17.9	35.6	19.2	0.0					
21025	18.1	34.8	22.0	0.0					
21026	18.4	34.3	20.6	0.0					
21027	18.2	34.7	19.5	0.0					
21028	17.0	30.2	18.4	0.5					
21029	12.9	27.6	18.3	0.5					
21030	10.7	26.1	19.0	0.8					
21031	11.4	26.9	19.0	0.3					

I



50330	16.7	32.8	22.5	0.0					
50331	10.5	29.3	22.7	3.5					
50332	9.8	28.6	22.8	5.0					
50333	11.9	31.4	23.3	0.5					
50334	15.9	33.1	23.3	0.0					
50335	15.7	34.3	23.8	0.0					
50336	14.0	33.0	24.0	0.1					
50337	12.9	33.5	24.0	1.0					
50338	11.5	32.0	23.7	0.1					
50339	15.4	33.2	23.3	0.0					
50340	15.1	32.2	23.1	0.0					
50341	15.9	32.8	23.0	0.0					
50342	16.3	33.2	22.6	0.0					
50343	16.3	33.8	22.3	0.0					
50344	15.6	34.1	21.5	0.0					
50345	16.2	35.3	21.5	0.0					
50346	16.1	35.1	23.2	0.3					
50347	14.3	32.5	23.0	0.1					
50348	14.3	31.8	21.3	0.0					
50349	16.0	32.5	21.2	0.0					
50350	16.2	32.9	21.4	0.0					
50351	16.2	33.1	21.8	0.0					
50352	16.0	32.7	22.2	0.0					
50353	16.1	33.7	20.6	0.0					
50354	16.2	34.5	20.6	0.0					
50355	16.2	35.1	21.8	0.0					
50356	16.0	34.4	22.8	0.0					
50357	15.5	32.6	22.2	0.0					
50358	15.7	32.7	22.1	0.0					
50359	14.2	32.2	22.3	0.3					
50360	13.2	33.0	23.6	0.2					
50361	14.0	34.4	22.7	0.0					
50362	15.4	36.2	22.3	0.0					
50363	16.4	36.5	21.3	0.0					
50364	16.6	36.9	19.9	0.0					
50365	16.0	36.5	20.0	0.5					

I

ภาพผนวกที่ ๑๑ ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง GFDL-CM3 RCP 4.5 ปี 2021-2050

WEATHER DATA : 85GF

@	INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WNDHT		
@	DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
21001	16.4	32.2	22.2	0.0						
21002	16.5	32.5	22.2	0.0						
21003	15.9	28.2	17.0	0.0						
21004	16.8	24.8	16.5	0.0						
21005	16.6	26.7	16.3	0.0						
21006	15.7	28.7	19.0	0.0						
21007	14.2	28.5	19.6	0.0						
21008	16.7	31.9	19.5	0.0						
21009	16.5	28.7	18.4	0.0						
21010	17.1	27.1	17.5	0.0						
21011	17.1	25.8	17.0	0.0						
21012	16.9	26.7	16.9	0.0						
21013	17.0	29.0	18.5	0.0						
21014	17.2	30.1	18.0	0.0						
21015	17.4	32.2	15.8	0.0						
21016	17.5	35.9	16.1	0.0						
21017	17.6	37.2	18.5	0.0						
21018	17.6	38.0	18.5	0.0						
21019	17.6	38.0	20.0	0.0						
21020	17.1	37.1	19.0	0.0						
21021	17.2	35.5	19.9	0.1						
21022	14.9	32.4	23.0	0.0						
21023	16.2	33.4	23.4	0.0						
21024	17.4	33.4	23.2	0.0						
21025	17.8	32.5	22.7	0.0						
21026	17.7	31.5	22.0	0.0						
21027	16.7	27.9	18.0	0.0						
21028	18.0	25.5	17.9	0.0						
21029	15.7	23.9	17.2	0.1						
21030	15.9	24.4	16.8	0.0						
21031	18.4	25.3	16.8	0.0						



50330	17.3	27.6	16.9	0.0						
50331	17.1	28.6	17.6	0.0						
50332	17.2	28.8	17.8	0.0						
50333	16.9	29.6	18.6	0.1						
50334	13.6	30.1	23.1	0.1						
50335	14.5	31.0	20.5	0.0						
50336	17.0	31.4	20.1	0.0						
50337	16.9	32.4	20.1	0.0						
50338	16.1	34.6	23.0	1.6						
50339	9.5	27.0	23.0	2.3						
50340	15.9	31.8	23.1	0.1						
50341	14.8	32.8	23.4	0.2						
50342	14.2	32.7	23.4	0.1						
50343	15.2	32.6	23.4	0.0						
50344	16.0	32.6	22.9	0.0						
50345	16.1	32.4	22.6	0.0						
50346	16.2	32.2	22.2	0.0						
50347	16.2	32.2	22.2	0.0						
50348	13.7	31.2	23.1	0.0						
50349	12.8	30.4	22.6	0.2						
50350	15.9	31.2	21.3	0.0						
50351	16.3	30.5	21.2	0.0						
50352	13.0	29.5	21.3	0.0						
50353	16.0	32.8	21.0	0.0						
50354	16.1	32.4	20.9	0.0						
50355	16.2	32.6	20.4	0.0						
50356	16.3	33.0	20.1	0.0						
50357	16.2	32.4	20.6	0.0						
50358	16.2	32.0	20.7	0.0						
50359	16.1	30.5	20.2	0.0						
50360	16.3	30.5	20.2	0.0						
50361	15.6	29.7	19.1	0.1						
50362	16.3	27.7	18.0	0.0						
50363	16.4	29.2	18.0	0.0						
50364	16.2	30.6	19.9	0.1						
50365	12.6	24.5	18.2	0.0						

ภาพผนวกที่ 10 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง GFDL-CM3 RCP 8.5 ปี 2021-2050

\*WEATHER DATA : 45MI

@ INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WNDHT		
45MI	17.046	100.186	48	29.0	5.7	-99.0	-99.0		
@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
21001	16.3	33.6	18.9	0.0					
21002	16.3	34.5	19.2	0.0					
21003	16.0	34.2	20.9	1.1					
21004	16.3	34.6	20.1	0.1					
21005	16.6	34.7	19.7	0.0					
21006	16.6	35.2	20.1	0.0					
21007	16.4	35.1	18.9	0.0					
21008	17.0	35.5	19.1	0.0					
21009	17.0	34.9	19.3	0.0					
21010	17.0	35.4	19.7	0.0					
21011	16.4	33.6	21.7	0.5					
21012	16.9	31.4	18.6	0.0					
21013	17.1	31.2	18.0	0.0					
21014	16.8	30.8	18.4	0.0					
21015	16.5	31.2	19.2	0.0					
21016	16.9	31.0	19.4	0.0					
21017	17.3	31.4	19.0	0.0					
21018	17.3	31.6	18.8	0.0					
21019	17.3	31.2	19.2	0.0					
21020	17.4	31.5	18.6	0.0					
21021	17.3	31.5	18.8	0.0					
21022	17.6	32.7	19.1	0.0					
21023	17.6	33.2	19.4	0.0					
21024	17.7	34.0	19.8	0.0					
21025	17.9	34.7	20.6	0.0					
21026	17.9	35.1	20.9	0.0					
21027	17.8	35.6	21.5	0.1					
21028	17.2	35.5	21.9	0.1					
21029	17.2	35.5	23.1	0.1					
21030	18.1	35.6	22.9	0.0					
21031	17.8	35.7	23.2	0.7					

I



50330	17.0	32.8	20.1	0.0					
50331	16.8	33.1	22.2	0.1					
50332	16.6	32.6	22.0	0.0					
50333	13.1	30.4	22.1	0.4					
50334	13.1	30.8	22.4	0.3					
50335	16.0	33.0	22.4	0.1					
50336	15.5	33.3	23.3	0.0					
50337	15.8	33.1	23.1	0.0					
50338	16.5	33.4	23.1	0.1					
50339	15.0	32.3	23.3	0.2					
50340	15.3	33.0	23.4	0.7					
50341	15.2	32.6	24.1	0.2					
50342	15.7	32.5	23.1	0.6					
50343	15.9	32.9	23.1	0.5					
50344	16.1	34.0	23.4	0.0					
50345	15.3	33.1	23.4	0.1					
50346	15.2	33.0	23.8	0.3					
50347	15.5	33.0	22.6	0.2					
50348	16.1	33.3	22.2	0.0					
50349	15.4	31.9	21.0	0.0					
50350	16.2	31.6	20.1	0.0					
50351	16.1	30.6	18.5	0.0					
50352	16.3	30.4	18.4	0.0					
50353	15.4	31.0	19.0	0.0					
50354	16.2	31.8	20.3	0.0					
50355	16.1	31.6	20.8	0.0					
50356	16.1	32.0	20.6	0.0					
50357	16.0	32.5	20.2	0.0					
50358	16.1	32.9	19.3	0.0					
50359	16.0	33.7	19.5	0.0					
50360	16.2	33.4	20.5	0.0					
50361	16.3	32.9	21.3	0.0					
50362	16.0	32.2	20.1	0.0					
50363	16.4	30.8	18.5	0.0					
50364	16.5	30.0	17.3	0.0					
50365	16.7	30.0	16.9	0.0					

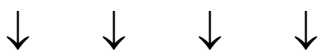
I

ภาพผนวกที่ 11 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง MIROC5 RCP 4.5 ปี 2021-2050

WEATHER DATA : 85MI

@ INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WNDHT		
85MI	17.046	100.186	48	29.1	5.9	-99.0	-99.0		
@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
21001	16.5	29.6	16.4	0.1					
21002	16.5	29.6	16.6	0.1					
21003	16.2	30.0	17.6	0.1					
21004	16.3	29.9	17.9	0.1					
21005	16.5	30.3	17.3	0.1					
21006	15.9	30.0	17.8	0.1					
21007	16.5	30.3	18.0	0.1					
21008	16.3	30.6	18.2	0.1					
21009	16.7	30.8	18.5	0.1					
21010	16.3	31.3	18.8	0.1					
21011	16.4	31.4	18.8	0.1					
21012	16.7	31.8	19.1	0.1					
21013	15.0	31.5	20.1	1.1					
21014	9.4	28.5	21.6	1.1					
21015	16.7	31.3	20.9	0.3					
21016	16.3	29.8	18.1	0.1					
21017	17.2	31.7	18.1	0.1					
21018	17.4	32.5	18.4	0.1					
21019	17.2	32.7	18.9	0.1					
21020	17.5	32.2	19.9	0.1					
21021	17.3	31.9	19.8	0.1					
21022	17.5	31.7	19.2	0.1					
21023	17.7	31.7	19.0	0.1					
21024	17.8	31.9	19.5	0.1					
21025	17.8	32.5	20.2	0.1					
21026	17.9	32.3	20.3	0.1					
21027	18.1	32.5	20.6	0.1					
21028	18.0	33.1	20.9	0.1					
21029	18.2	33.0	20.5	0.1					
21030	18.4	32.9	20.8	0.1					
21031	18.1	32.6	21.4	0.1					

I



50330	17.1	32.1	19.7	0.1					
50331	16.9	32.3	20.4	0.1					
50332	16.6	32.6	21.0	0.1					
50333	14.5	31.8	20.6	0.1					
50334	16.9	31.6	20.2	0.1					
50335	16.6	31.0	19.5	0.1					
50336	16.8	30.2	18.5	0.1					
50337	17.0	29.5	17.3	0.1					
50338	16.9	28.6	16.8	0.1					
50339	17.0	29.3	15.7	0.1					
50340	16.9	29.6	16.0	0.1					
50341	16.9	30.5	16.8	0.1					
50342	16.8	30.6	17.0	0.1					
50343	16.4	31.0	17.4	0.1					
50344	16.5	31.7	19.5	0.1					
50345	16.0	30.4	20.1	2.2					
50346	14.6	30.6	21.1	3.6					
50347	8.2	25.9	20.0	7.5					
50348	13.0	28.6	19.2	0.1					
50349	16.1	29.2	18.7	0.1					
50350	16.4	29.4	17.4	0.1					
50351	16.4	29.6	17.5	0.1					
50352	16.3	30.3	17.6	0.1					
50353	16.2	31.0	17.9	0.1					
50354	15.4	31.3	18.3	0.1					
50355	16.2	32.1	18.6	0.1					
50356	16.1	32.6	18.9	0.1					
50357	16.2	33.1	19.2	0.1					
50358	16.1	33.4	19.7	0.1					
50359	16.0	33.4	20.9	0.1					
50360	16.1	33.5	21.0	0.1					
50361	16.1	32.8	21.0	0.1					
50362	16.2	32.1	20.4	0.1					
50363	16.1	31.4	19.9	0.1					
50364	15.8	31.1	19.7	0.1					
50365	16.0	31.0	19.1	0.1					

ภาพผนวกที่ 12 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง MIROC5 RCP 8.5 ปี 2021-2050



\*WEATHER DATA : 45MP

@	INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WINDHT	
45MP	17.046	100.186	48	29.0	6.9	-99.0	-99.0		
@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
21001	15.7	29.6	18.9	0.0					
21002	14.7	29.2	20.4	0.0					
21003	15.8	29.5	19.3	0.0					
21004	15.9	29.8	18.2	0.0					
21005	15.9	30.6	18.4	0.0					
21006	15.9	30.9	18.3	0.0					
21007	16.0	31.0	18.8	0.0					
21008	16.1	30.8	18.8	0.0					
21009	16.2	31.4	18.3	0.0					
21010	16.2	32.2	19.4	0.0					
21011	16.0	32.8	20.6	0.0					
21012	16.0	31.7	21.2	0.0					
21013	16.0	32.9	20.5	0.0					
21014	16.1	32.3	21.1	0.0					
21015	16.4	32.0	21.2	0.0					
21016	16.5	32.5	19.7	0.0					
21017	16.4	32.3	20.5	0.0					
21018	16.2	32.5	20.1	0.0					
21019	16.6	31.8	20.9	0.0					
21020	17.1	31.3	19.6	0.0					
21021	17.3	31.6	18.1	0.0					
21022	17.3	31.9	18.0	0.0					
21023	17.4	32.3	18.8	0.0					
21024	17.4	31.8	18.5	0.0					
21025	17.4	30.6	19.7	0.0					
21026	17.5	30.9	18.5	0.0					
21027	17.7	31.8	18.1	0.0					
21028	17.9	32.1	18.2	0.0					
21029	18.0	33.4	17.9	0.0					
21030	17.9	32.4	19.1	0.0					
21031	17.9	30.3	20.4	0.0					

I



50330	17.2	29.4	20.2	0.0					
50331	16.9	29.8	19.4	0.0					
50332	14.0	30.1	20.7	0.0					
50333	14.7	31.9	21.6	0.0					
50334	16.4	31.3	22.9	0.0					
50335	16.5	31.7	21.4	0.0					
50336	16.5	30.6	20.9	0.0					
50337	16.2	29.8	19.7	0.0					
50338	16.6	29.5	19.8	0.0					
50339	16.6	29.8	18.6	0.0					
50340	16.6	29.7	17.7	0.0					
50341	16.4	28.7	18.8	0.0					
50342	16.4	28.6	18.2	0.0					
50343	16.2	29.1	17.5	0.0					
50344	14.4	29.9	19.8	0.0					
50345	9.0	27.9	21.9	0.0					
50346	9.2	28.8	21.3	0.0					
50347	15.8	30.1	20.8	0.0					
50348	15.9	29.9	19.7	0.0					
50349	15.9	28.0	18.9	0.0					
50350	16.0	27.8	17.6	0.0					
50351	16.2	27.7	16.7	0.0					
50352	16.1	27.8	16.4	0.0					
50353	15.9	27.9	17.1	0.0					
50354	15.9	28.2	17.5	0.0					
50355	16.0	29.0	16.7	0.0					
50356	16.0	28.9	16.6	0.0					
50357	15.9	28.4	17.6	0.0					
50358	15.6	29.4	17.6	0.0					
50359	13.4	30.3	19.3	0.0					
50360	9.8	29.3	22.5	0.0					
50361	8.5	27.5	18.6	1.7					
50362	7.7	24.1	15.6	24.1					
50363	9.8	24.8	15.7	1.1					
50364	13.6	28.1	17.9	0.0					
50365	15.6	29.8	17.0	0.0					

I

ภาพผนวกที่ 13 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง MPI-ESM-MR RCP 4.5 ปี 2021-2050

\*WEATHER DATA : 85MP

@	INSI	LAT	LONG	ELEV	TAV	AMP	REFHT	WNDHT	
85MP	17.046	100.186	48	29.1	7.2	-99.0	-99.0		
@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	DEWP	WIND	PAR	EVAP	RHUM
21001	15.9	33.2	20.1	0.0					
21002	15.9	33.2	20.1	0.0					
21003	15.7	31.4	21.0	0.0					
21004	16.0	31.2	19.7	0.0					
21005	15.9	31.4	19.1	0.0					
21006	16.0	30.6	19.7	0.0					
21007	16.1	30.6	18.8	0.0					
21008	16.1	30.9	18.6	0.0					
21009	16.1	31.1	18.8	0.0					
21010	16.1	31.3	19.2	0.0					
21011	13.5	30.6	20.6	0.0					
21012	16.3	31.0	19.5	0.0					
21013	16.4	32.0	19.2	0.0					
21014	16.4	31.7	19.9	0.0					
21015	16.6	31.5	19.6	0.0					
21016	16.7	31.8	18.9	0.0					
21017	16.8	31.9	19.3	0.0					
21018	16.7	31.6	19.3	0.0					
21019	16.7	32.2	20.1	0.0					
21020	16.8	32.5	20.4	0.0					
21021	16.9	32.9	20.5	0.0					
21022	17.0	33.2	20.5	0.0					
21023	17.1	33.5	20.3	0.0					
21024	17.6	34.4	20.1	0.0					
21025	16.7	32.9	20.1	0.0					
21026	17.4	32.5	21.1	0.0					
21027	17.4	32.4	20.9	0.0					
21028	17.5	32.4	21.4	0.0					
21029	17.6	32.1	21.0	0.0					
21030	17.7	32.9	20.2	0.0					
21031	17.9	33.1	20.5	0.0					

I



50330	8.5	30.2	22.4	0.7					
50331	13.5	31.4	24.6	0.0					
50332	14.8	32.1	23.7	0.0					
50333	16.5	31.8	22.6	0.0					
50334	12.5	32.0	22.9	0.0					
50335	16.4	32.1	23.3	0.0					
50336	16.2	32.3	22.4	0.0					
50337	14.8	31.9	22.1	0.0					
50338	11.7	31.5	23.4	0.0					
50339	16.1	32.6	21.9	0.0					
50340	16.0	33.4	21.9	0.0					
50341	15.1	33.6	22.9	0.0					
50342	14.6	34.3	24.2	0.0					
50343	14.2	33.8	25.1	0.0					
50344	14.9	33.5	24.6	0.0					
50345	14.1	33.7	23.9	0.0					
50346	15.6	33.5	23.4	0.0					
50347	15.7	34.0	22.9	0.0					
50348	14.0	34.1	22.5	0.0					
50349	15.7	34.1	22.6	0.0					
50350	15.8	33.5	22.0	0.0					
50351	15.7	33.5	21.9	0.0					
50352	15.7	33.2	21.8	0.0					
50353	15.6	33.1	21.8	0.0					
50354	15.6	31.8	22.2	0.0					
50355	15.7	30.4	21.0	0.0					
50356	15.9	29.4	20.4	0.0					
50357	15.8	29.3	19.2	0.0					
50358	15.8	29.5	19.0	0.0					
50359	16.0	29.5	18.5	0.0					
50360	16.1	29.6	17.2	0.0					
50361	15.8	29.8	17.7	0.0					
50362	15.5	30.1	20.4	0.0					
50363	15.6	30.1	21.0	0.0					
50364	15.3	31.6	20.5	0.0					
50365	10.7	31.8	21.0	0.0					

I

ภาพผนวกที่ 14 ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศแบบจำลอง MPI-ESM-MR RCP 8.5 ปี 2021-2050

**ภาคผนวก ข**

ผลการประมวลผลแบบจำลอง DSSAT-CERES-Rice ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 1961-2018

**ตารางผนวกที่ ข1** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
5 cm - 100 %	880	916	940	960	990	1020	1050
5 cm - 90 %	770	820	850	870	900	930	940
5 cm - 80 %	740	756	780	800	820	874	920
5 cm - 70 %	600	636	670	710	730	750	770
5 cm - 60 %	440	496	510	530	560	600	640

**ตารางผนวกที่ ข2** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
5 cm - 100 %	2853	3739	4279	5051	5962	7315	10355
5 cm - 90 %	2807	3695	4213	5031	5939	6995	10331
5 cm - 80 %	2486	2860	3439	4220	5156	6215	8483
5 cm - 70 %	1171	1849	2182	2682	3322	4409	5262
5 cm - 60 %	566	694	894	1050	1186	1690	2358

**ตารางผนวกที่ ข3** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองสัปดาห์การคายระเหย (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำ  
ที่ระดับ 5 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
5 cm - 100 %	342	357	371	389	405	420	430
5 cm - 90 %	358	377	391	406	425	436	447
5 cm - 80 %	344	365	375	384	397	419	429
5 cm - 70 %	300	340	349	372	381	385	403
5 cm - 60 %	254	273	282	289	307	320	333

**ตารางผนวกที่ ข4** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 5  
เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
5 cm - 100 %	88	92	94	96	99	102	106
5 cm - 90 %	88	92	94	96	99	102	106
5 cm - 80 %	88	91	93	95	97	101	102
5 cm - 70 %	88	90	92	94	96	98	102
5 cm - 60 %	88	90	92	94	96	98	102

**ตารางผนวกที่ ข5** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 10 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
10 cm - 100 %	870	920	930	960	990	1020	1050
10 cm - 90 %	790	820	840	870	920	944	960
10 cm - 80 %	720	750	770	800	840	864	910
10 cm - 70 %	650	700	720	760	780	810	840
10 cm - 60 %	580	636	670	710	730	764	800

**ตารางผนวกที่ ข6** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 10 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
10 cm - 100 %	2837	3792.8	4278	4989	6023	7267.6	10255
10 cm - 90 %	2760	3668	4196	4961	5787	7210.8	10223
10 cm - 80 %	2689	3580.6	4122	4874	5672	7134.4	9675
10 cm - 70 %	2444	3099.6	3745	4438	5065	6843.2	9385
10 cm - 60 %	1305	1815.4	2409	2923	3313	4547.2	7502

**ตารางผนวกที่ ข7** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองสัปดาห์การคายระเหย (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 10 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
10 cm - 100 %	283	299	309	325	338	352	363
10 cm - 90 %	361	379	387	401	425	439	449
10 cm - 80 %	367	386	394	407	427	442	455
10 cm - 70 %	364	373	384	399	410	425	444
10 cm - 60 %	308	348	358	376	384	403	417

**ตารางผนวกที่ ข8** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 10 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
10 cm - 100 %	88	92	94	96	99	102	106
10 cm - 90 %	88	92	94	96	99	102	106
10 cm - 80 %	88	92	94	96	99	102	106
10 cm - 70 %	88	91	92	94	97	100	102
10 cm - 60 %	88	90	92	94	96	98	102

**ตารางผนวกที่ ข9** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
15 cm - 100 %	880	910	930	960	990	1020	1050
15 cm - 90 %	770	800	840	870	910	940	970
15 cm - 80 %	720	740	760	790	840	874	900
15 cm - 70 %	640	686	710	750	770	804	830
15 cm - 60 %	600	646	670	710	740	770	810

**ตารางผนวกที่ ข10** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
15 cm - 100 %	2853	3739	4279	5051	5962	7315	10355
15 cm - 90 %	2812	3717	4211	5030	5891	7292	10318
15 cm - 80 %	2717	3611	4207	4947	5707	7225	10236
15 cm - 70 %	2398	3116	3582	4449	5102	6791	9418
15 cm - 60 %	1460	2120	2729	3155	3666	5106	7909



**ตารางผนวกที่ ข11** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) โดยวิธีการชั่งน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
15 cm - 100 %	342	357	370	389	405	419	430
15 cm - 90 %	360	378	388	404	426	442	450
15 cm - 80 %	366	385	396	406	429	445	455
15 cm - 70 %	359	367	382	397	408	423	443
15 cm - 60 %	322	350	362	380	389	406	421

**ตารางผนวกที่ ข12** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการชั่งน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
15 cm - 100 %	88	92	94	96	99	102	106
15 cm - 90 %	88	92	94	96	99	102	106
15 cm - 80 %	88	92	94	96	99	102	106
15 cm - 70 %	88	91	92	94	96	98	102
15 cm - 60 %	88	90	92	94	96	98	102

**ตารางผนวกที่ ข13** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทาน (มิลลิเมตร) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 20 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
20 cm - 100 %	880	910	930	960	990	1020	1050
20 cm - 90 %	770	800	840	870	910	940	970
20 cm - 80 %	720	740	760	790	840	874	900
20 cm - 70 %	640	686	710	750	770	804	830
20 cm - 60 %	600	646	670	710	740	770	810

**ตารางผนวกที่ ข14** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) โดยวิธีการขังน้ำที่ระดับ 20 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

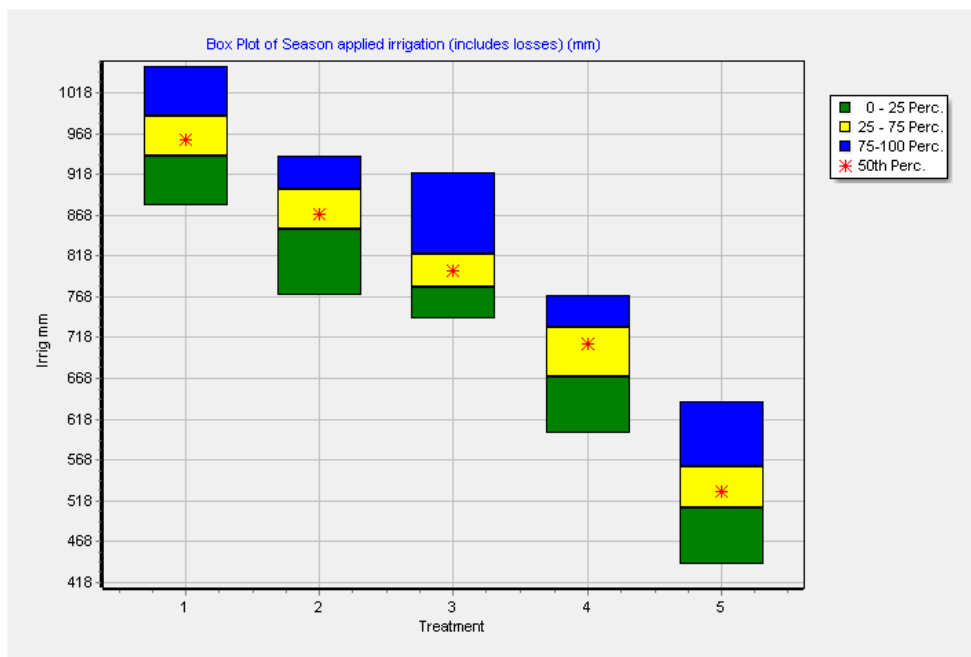
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
20 cm - 100 %	2853	3739	4279	5051	5962	7315	10355
20 cm - 90 %	2812	3717	4211	5030	5891	7292	10318
20 cm - 80 %	2717	3611	4207	4947	5707	7225	10236
20 cm - 70 %	2398	3116	3582	4449	5102	6791	9418
20 cm - 60 %	1460	2120	2729	3155	3666	5106	7909

**ตารางผนวกที่ ข15** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) โดยวิธีการชั่งน้ำที่ระดับ 20 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

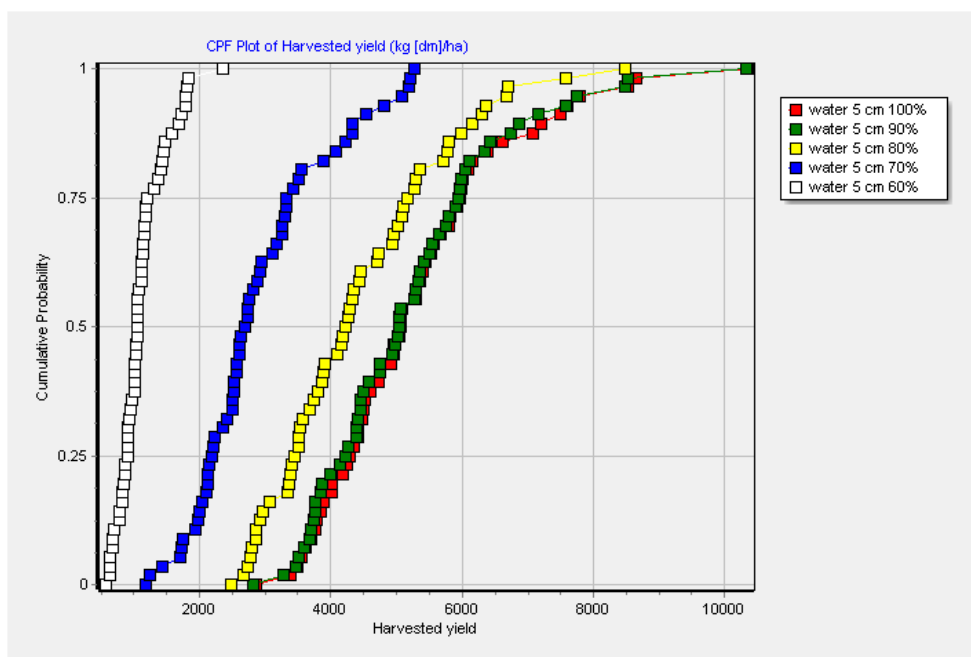
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
20 cm - 100 %	342	357	370	389	405	419	430
20 cm - 90 %	360	378	388	404	426	442	450
20 cm - 80 %	366	385	396	406	429	445	455
20 cm - 70 %	359	367	382	397	408	423	443
20 cm - 60 %	322	350	362	380	389	406	421

**ตารางผนวกที่ ข16** ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) โดยวิธีการชั่งน้ำที่ระดับ 20 เซนติเมตร ด้วยข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศพิษณุโลก

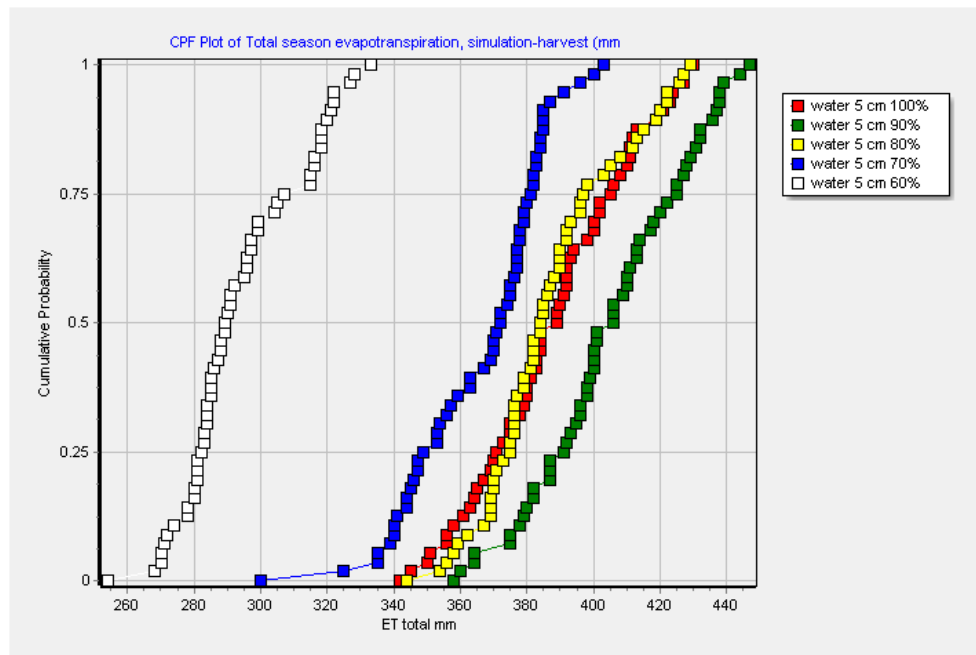
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
20 cm - 100 %	88	92	94	96	99	102	106
20 cm - 90 %	88	92	94	96	99	102	106
20 cm - 80 %	88	92	94	96	99	102	106
20 cm - 70 %	88	91	92	94	96	98	102
20 cm - 60 %	88	90	92	94	96	98	102



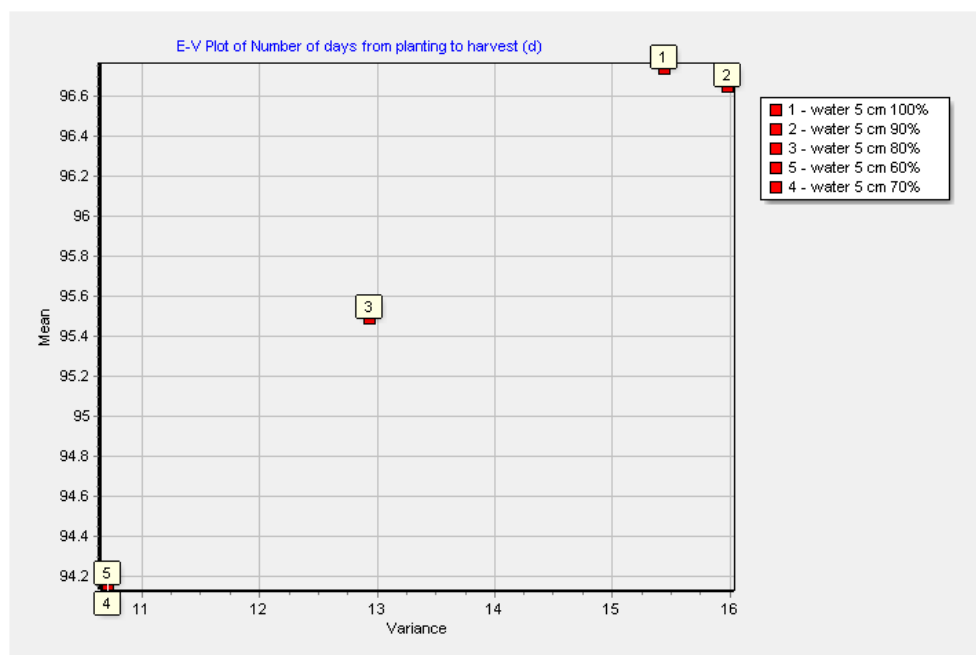
ภาพผนวกที่ ข1 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



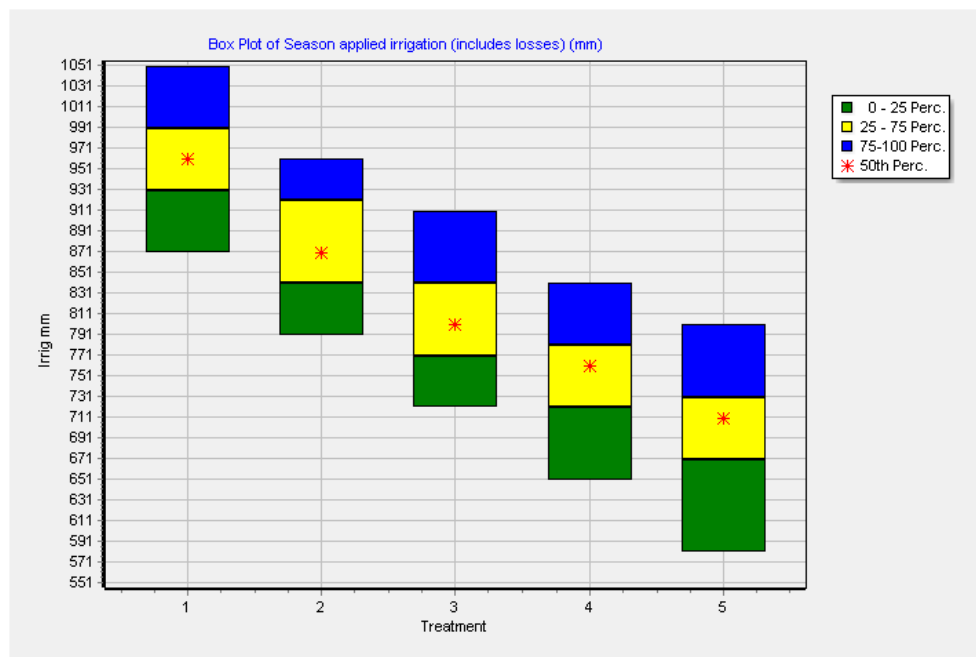
ภาพผนวกที่ ข2 ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



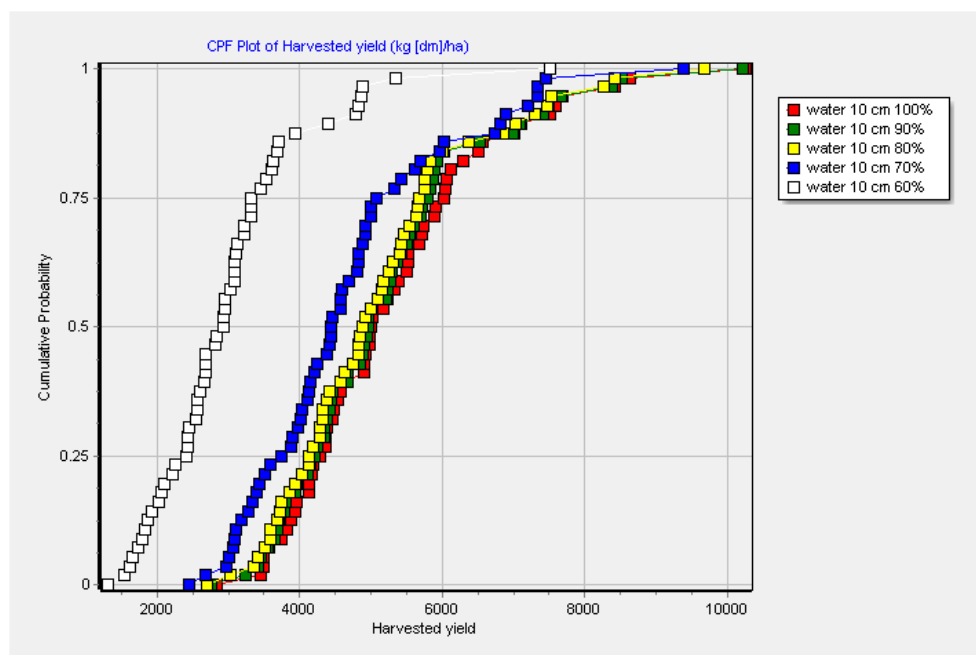
ภาพผนวกที่ ๓ ผลการจำลองค่าศักย์การคายระเหย (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



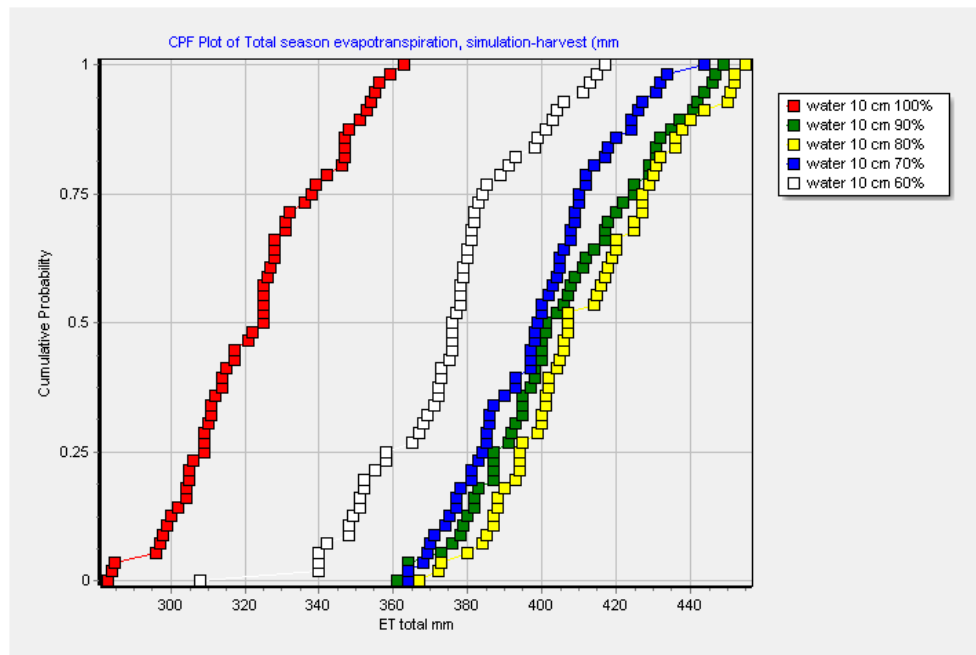
ภาพผนวกที่ ๔ ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 5 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



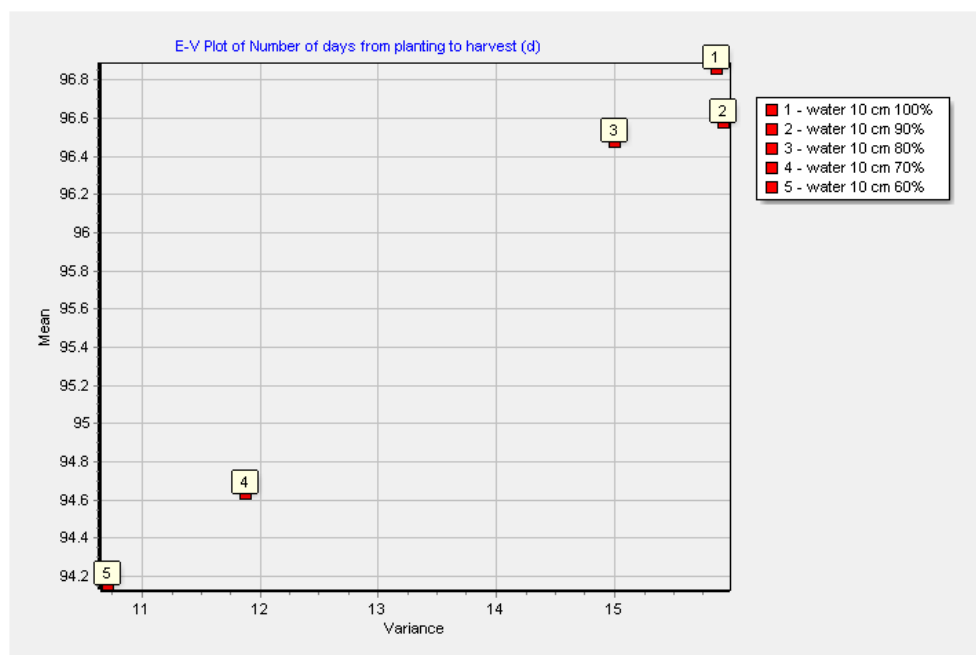
ภาพผนวกที่ ข5 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 10 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



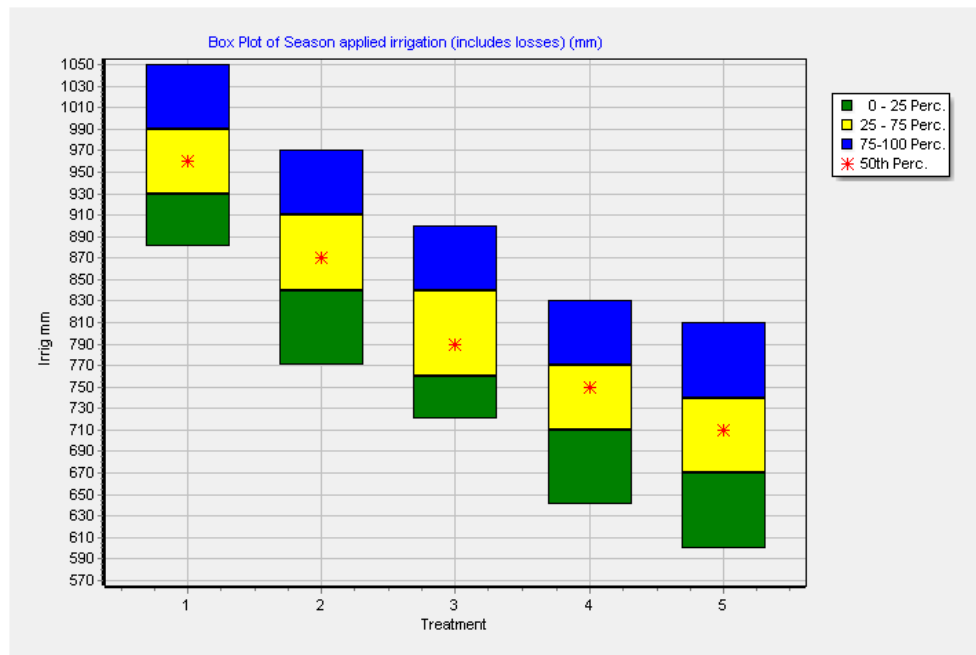
ภาพผนวกที่ ข6 ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 10 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



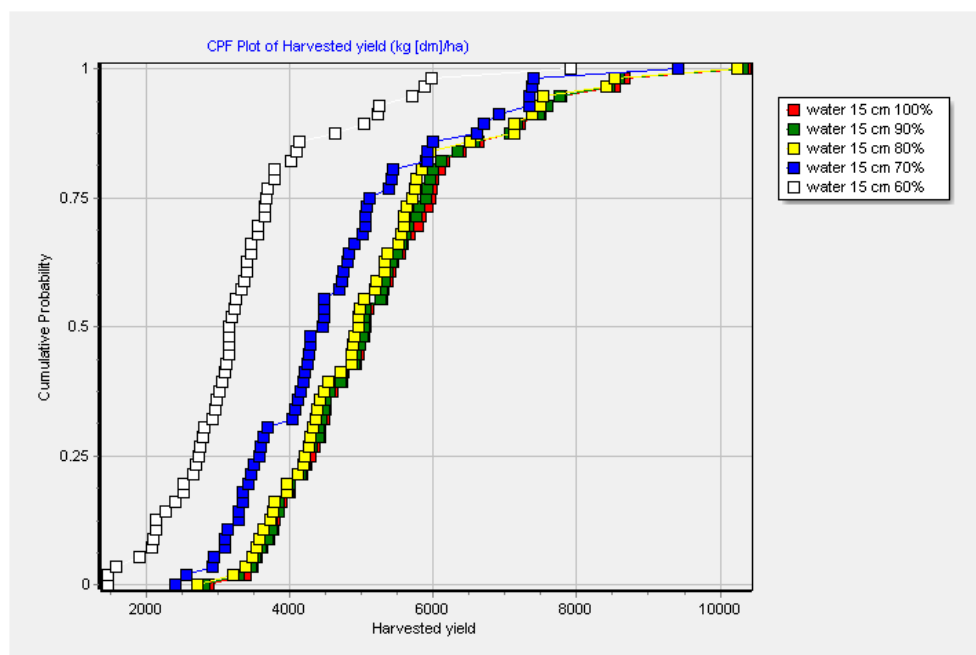
ภาพผนวกที่ ๗ ผลการจำลองค่าศักย์การคายระเหย (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 10 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



ภาพผนวกที่ ๘ ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 10 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018

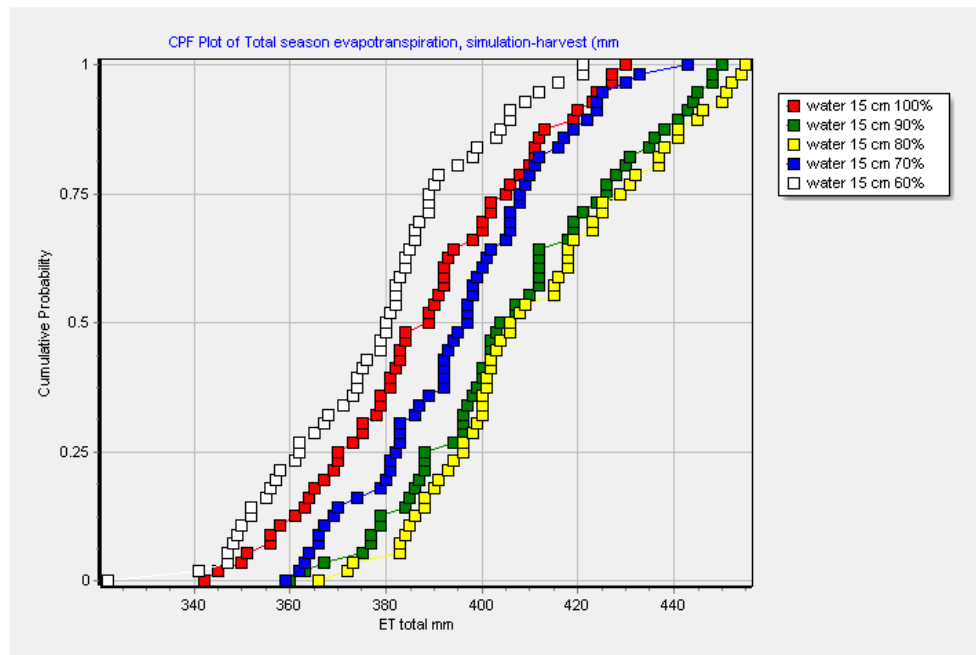


ภาพผนวกที่ ข9 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018

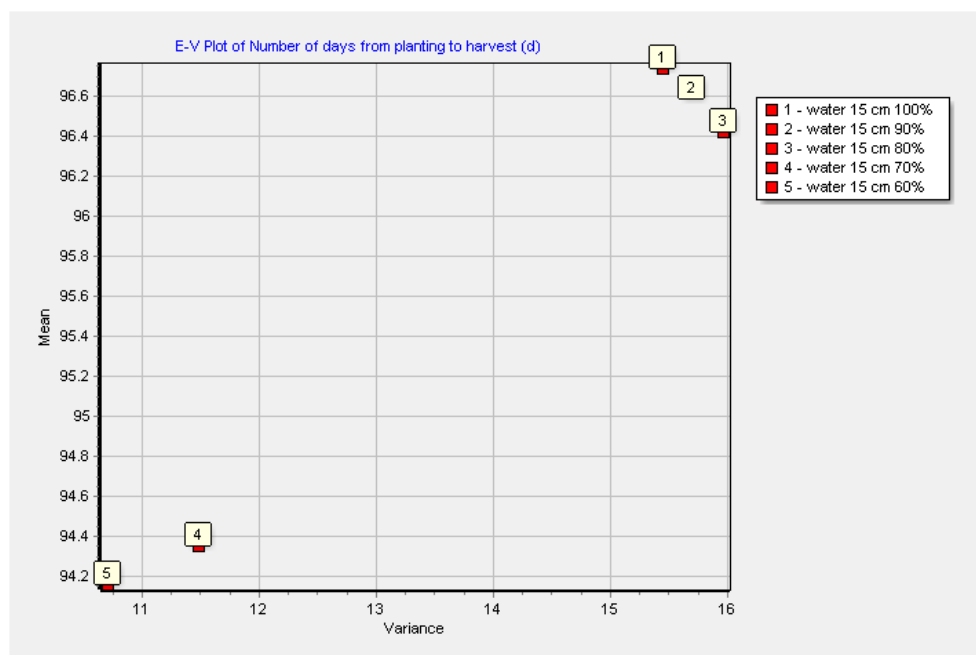


ภาพผนวกที่ ข10 ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018

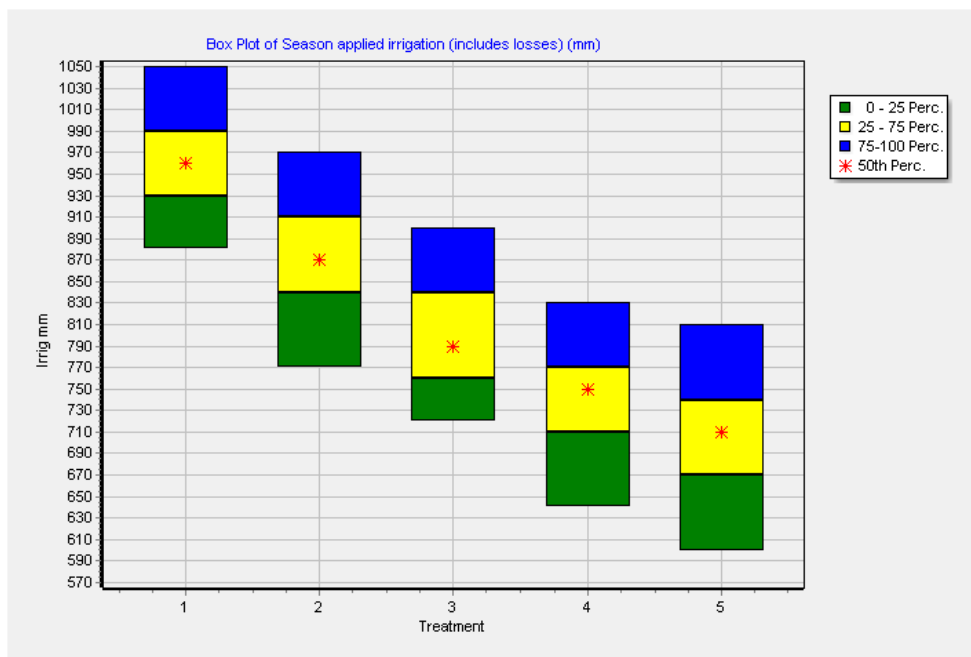




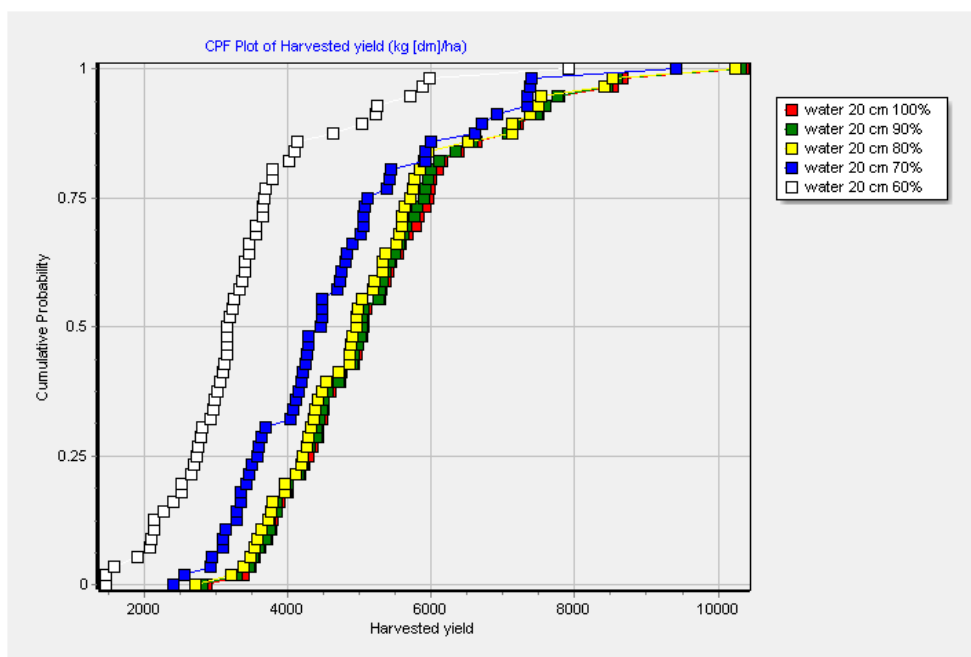
ภาพผนวกที่ ข11 ผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



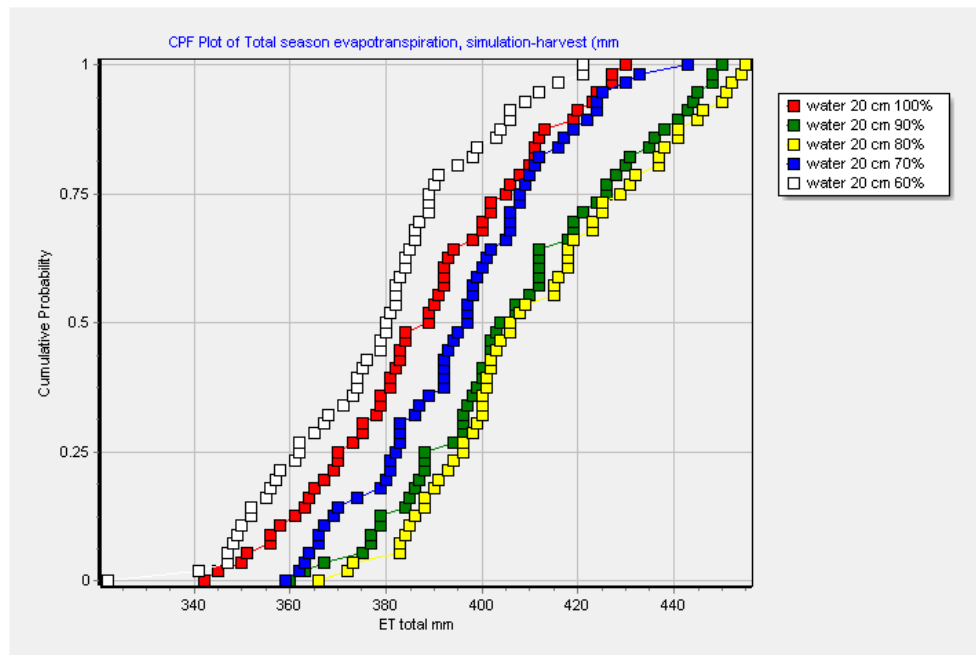
ภาพผนวกที่ ข12 ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 15 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



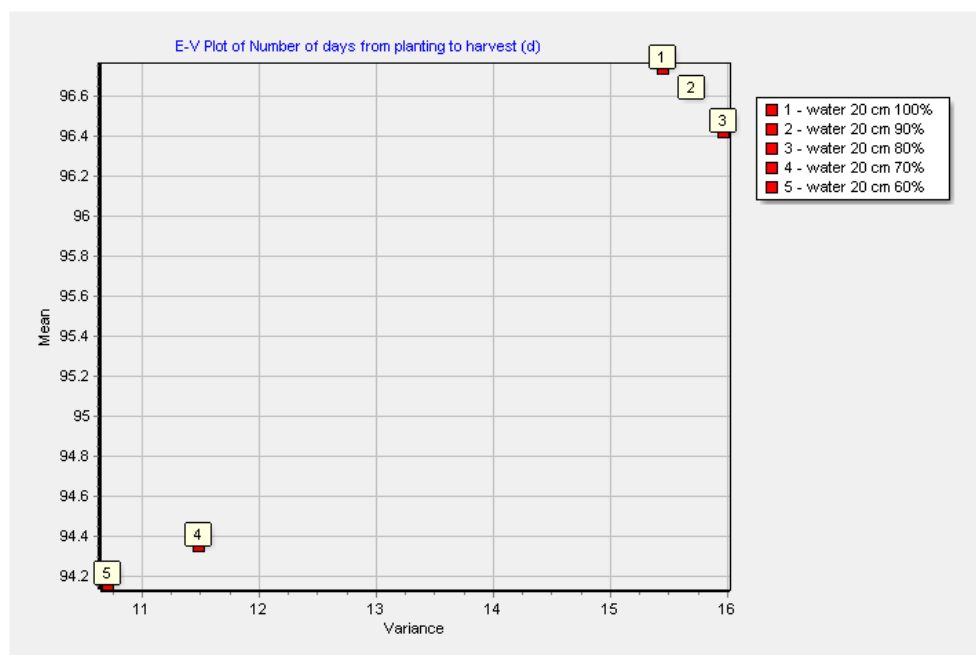
ภาพผนวกที่ ข13 ผลการจำลองปริมาณการใช้น้ำชลประทานภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



ภาพผนวกที่ ข14 ผลการจำลองผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



ภาพผนวกที่ 15 ผลการจำลองค่าศักยภาพการคายระเหย (มิลลิเมตร) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018



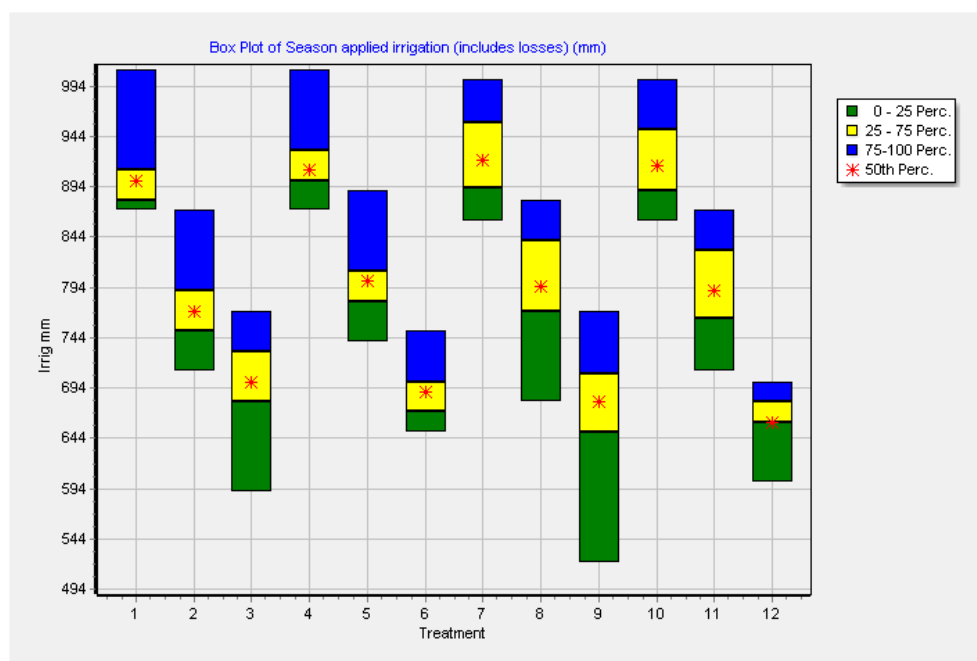
ภาพผนวกที่ 16 ผลการจำลองจำนวนอายุข้าว (วัน) ภายใต้การขังน้ำชลประทานที่ระดับ 20 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ที่มีความน่าเชื่อถือการได้รับน้ำ 60-100 % ปี ค.ศ. 1961-2018

**ภาคผนวก ข**

ผลการประมวลผลแบบจำลอง DSSAT-CERES-Rice ในฤดูนาปรัง ปี ค.ศ. 2021-2050

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 4.5

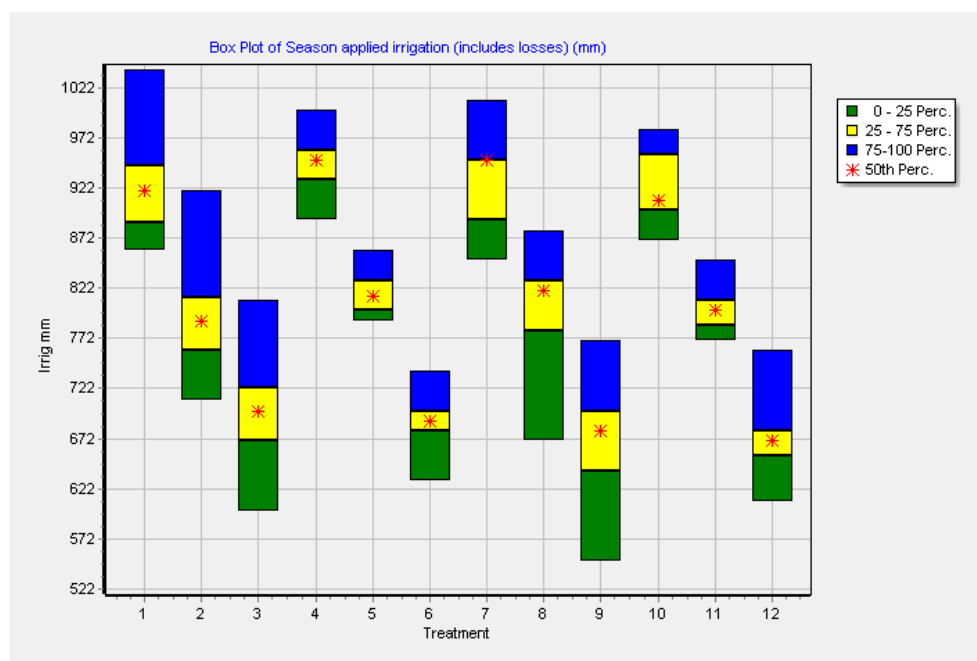
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
5 cm - 100 % - EC	870	870	880	900	910	930	1010
5 cm - 90 % - EC	710	740	750	770	790	814	870
5 cm - 80 % - EC	590	658	680	700	730	742	770
5 cm - 100 % - GF	870	890	900	910	930	960	1010
5 cm - 90 % - GF	740	766	780	800	810	854	890
5 cm - 80 % - GF	650	660	670	690	700	710	750
5 cm - 100 % - MI	860	875	893	920	958	990	1000
5 cm - 90 % - MI	680	730	770	795	840	860	880
5 cm - 80 % - MI	520	600	650	680	708	715	770
5 cm - 100 % - MP	860	880	890	915	950	980	1000
5 cm - 90 % - MP	710	760	763	790	830	865	870
5 cm - 80 % - MP	600	640	660	660	680	690	700



ภาพผนวกที่ ข1 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 4.5

ตารางผนวกที่ ข2 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 8.5

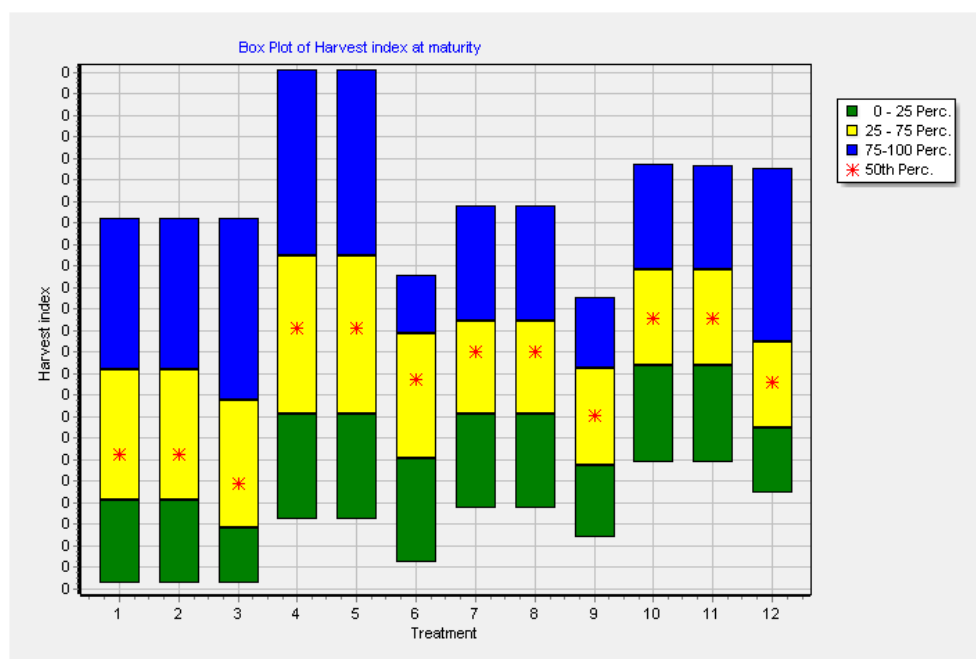
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
5 cm - 100 % - EC	860	870	888	920	945	984	1040
5 cm - 90 % - EC	710	750	760	790	813	860	920
5 cm - 80 % - EC	600	653	670	700	723	751	810
5 cm - 100 % - GF	890	920	930	950	960	989	1000
5 cm - 90 % - GF	790	790	800	815	830	830	860
5 cm - 80 % - GF	630	660	680	690	700	709	740
5 cm - 100 % - MI	850	882	890	950	950	968	1010
5 cm - 90 % - MI	670	722	780	820	830	848	880
5 cm - 80 % - MI	550	594	640	680	700	700	770
5 cm - 100 % - MP	870	882	900	910	955	970	980
5 cm - 90 % - MP	770	772	785	800	810	840	850
5 cm - 80 % - MP	610	640	655	670	680	680	760



ภาพผนวกที่ ข2 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 8.5

ตารางผนวกที่ ข3 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 4.5

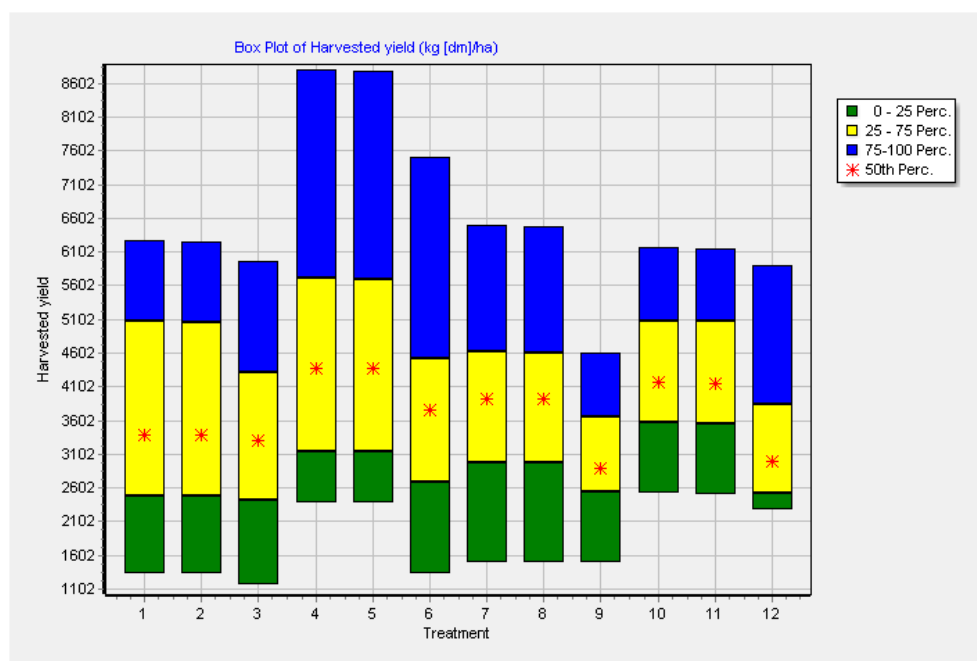
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
5 cm - 100 % - EC	1072	1539	1951	2678	3653	4356	4908
5 cm - 90 % - EC	1071	1531	1942	2678	3647	4347	4906
5 cm - 80 % - EC	1068	1498	1667	2260	2899	4007	4689
5 cm - 100 % - GF	1804	2193	3011	3963	5177	5448	8192
5 cm - 90 % - GF	1798	2188	3004	3953	5161	5439	8178
5 cm - 80 % - GF	1371	1798	2467	3144	3868	4181	4539
5 cm - 100 % - MI	1761	2220	2871	4109	4559	5263	6129
5 cm - 90 % - MI	1755	2212	2866	4105	4553	5252	6116
5 cm - 80 % - MI	1434	1862	2439	3013	3674	3964	4016
5 cm - 100 % - MP	2416	2922	3522	4154	5151	5484	6037
5 cm - 90 % - MP	2411	2914	3515	4143	5144	5475	6032
5 cm - 80 % - MP	1966	2226	2735	3202	3666	3934	5354



ภาพผนวกที่ ข3 กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 4.5

ตารางผนวกที่ ๗4 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 8.5

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
5 cm - 100 % - EC	1335	2199	2491	3393	5070	5655	6267
5 cm - 90 % - EC	1333	2189	2477	3378	5059	5648	6250
5 cm - 80 % - EC	1160	2090	2410	3306	4314	4994	5953
5 cm - 100 % - GF	2376	2546	3140	4382	5708	6642	8802
5 cm - 90 % - GF	2371	2538	3132	4373	5694	6630	8786
5 cm - 80 % - GF	1320	2070	2682	3760	4527	5674	7501
5 cm - 100 % - MI	1501	2523	2973	3921	4615	5080	6492
5 cm - 90 % - MI	1497	2510	2966	3913	4607	5070	6484
5 cm - 80 % - MI	1497	1849	2538	2885	3658	4512	4603
5 cm - 100 % - MP	2517	3313	3570	4166	5075	5928	6158
5 cm - 90 % - MP	2509	3307	3560	4158	5067	5917	6147
5 cm - 80 % - MP	2281	2371	2516	3004	3844	4468	5894

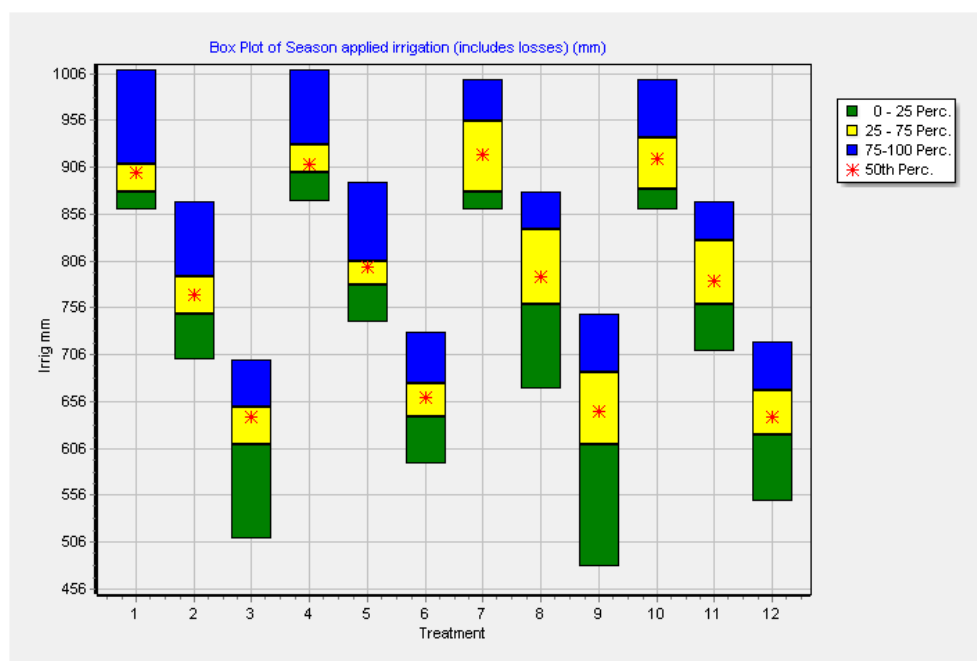


ภาพผนวกที่ ๗4 กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 5 cm, RCP 8.5



ตารางผนวกที่ ข5 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 4.5

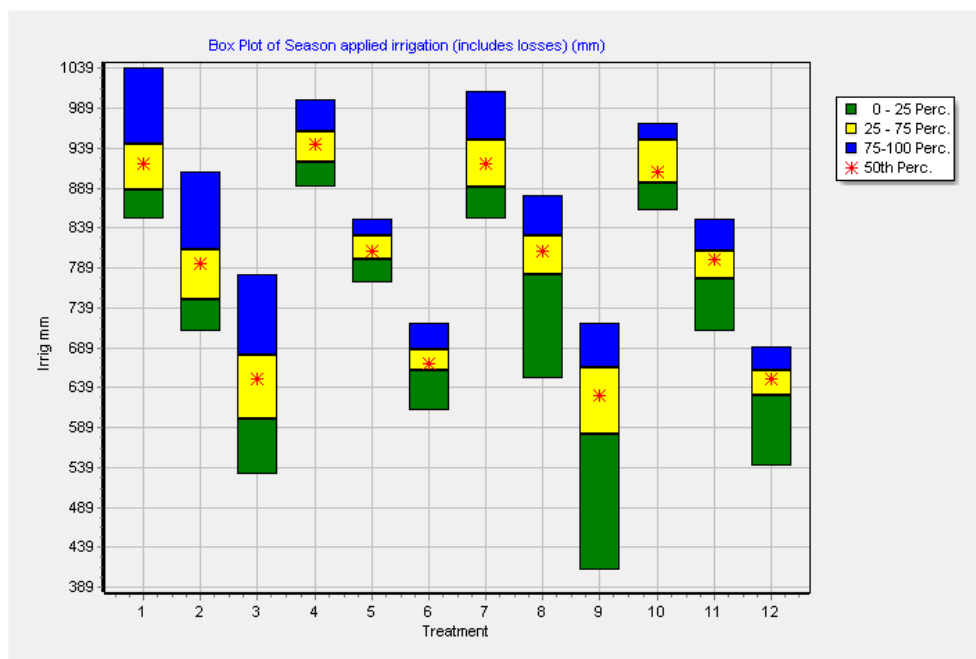
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
10 cm - 100 % - EC	860	870	880	900	910	930	1010
10 cm - 90 % - EC	700	740	750	770	790	814	870
10 cm - 80 % - EC	510	590	610	640	650	664	700
10 cm - 100 % - GF	870	880	900	910	930	954	1010
10 cm - 90 % - GF	740	772	780	800	805	838	890
10 cm - 80 % - GF	590	626	640	660	675	704	730
10 cm - 100 % - MI	860	865	880	920	955	990	1000
10 cm - 90 % - MI	670	705	760	790	840	855	880
10 cm - 80 % - MI	480	555	610	645	688	705	750
10 cm - 100 % - MP	860	865	883	915	938	970	1000
10 cm - 90 % - MP	710	740	760	785	828	855	870
10 cm - 80 % - MP	550	605	620	640	668	695	720



ภาพผนวกที่ ข5 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 4.5

ตารางผนวกที่ ข6 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 8.5

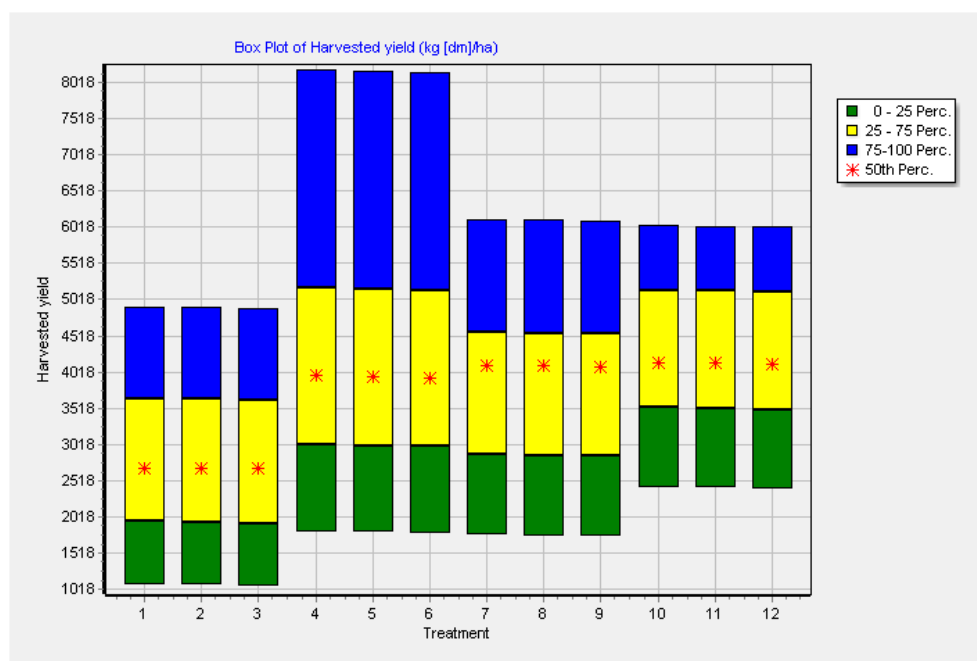
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
10 cm - 100 % - EC	850	870	888	920	945	984	1040
10 cm - 90 % - EC	710	740	750	795	813	860	910
10 cm - 80 % - EC	530	590	600	650	680	707	780
10 cm - 100 % - GF	890	920	923	945	960	989	1000
10 cm - 90 % - GF	770	790	800	810	830	830	850
10 cm - 80 % - GF	610	640	660	670	688	700	720
10 cm - 100 % - MI	850	872	890	920	950	968	1010
10 cm - 90 % - MI	650	722	780	810	830	840	880
10 cm - 80 % - MI	410	510	580	630	665	688	720
10 cm - 100 % - MP	860	880	895	910	950	960	970
10 cm - 90 % - MP	710	770	775	800	810	844	850
10 cm - 80 % - MP	540	620	630	650	660	670	690



ภาพผนวกที่ ข6 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 8.5

ตารางผนวกที่ ข7 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 4.5

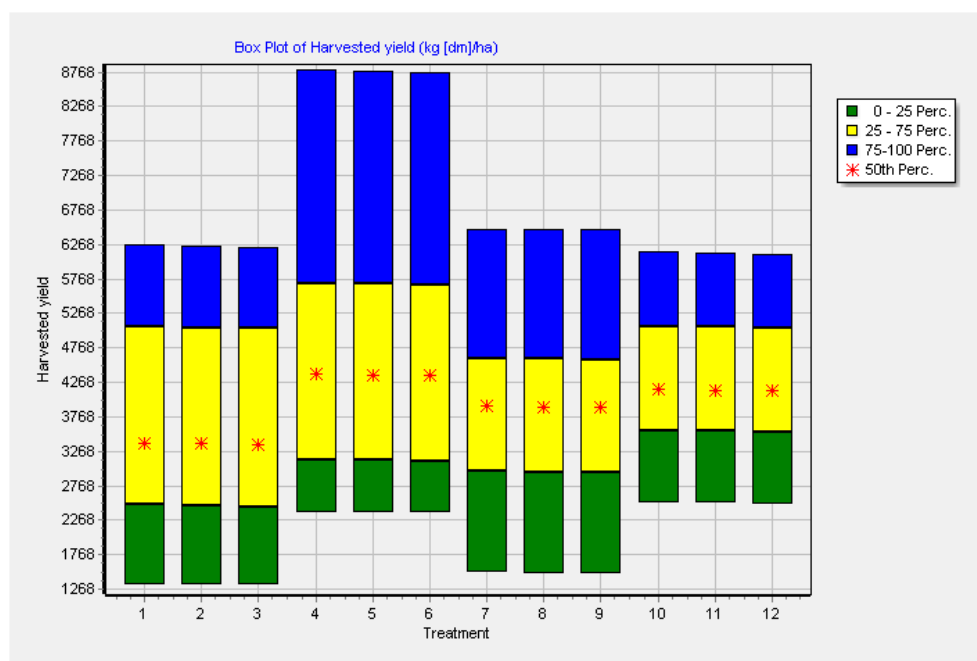
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
10 cm - 100 % - EC	1072	1539	1951	2678	3653	4356	4908
10 cm - 90 % - EC	1068	1531	1938	2678	3647	4347	4906
10 cm - 80 % - EC	1055	1526	1914	2678	3632	4320	4891
10 cm - 100 % - GF	1804	2193	3011	3963	5177	5448	8192
10 cm - 90 % - GF	1798	2188	3004	3953	5161	5439	8178
10 cm - 80 % - GF	1791	2179	2989	3930	5138	5421	8160
10 cm - 100 % - MI	1761	2220	2871	4109	4559	5263	6129
10 cm - 90 % - MI	1755	2213	2866	4105	4553	5252	6116
10 cm - 80 % - MI	1743	2194	2856	4092	4541	5238	6094
10 cm - 100 % - MP	2416	2922	3522	4154	5151	5484	6037
10 cm - 90 % - MP	2411	2914	3515	4143	5144	5475	6032
10 cm - 80 % - MP	2399	2901	3501	4122	5125	5458	6029



ภาพผนวกที่ ข7 กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 4.5

ตารางผนวกที่ ข8 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 8.5

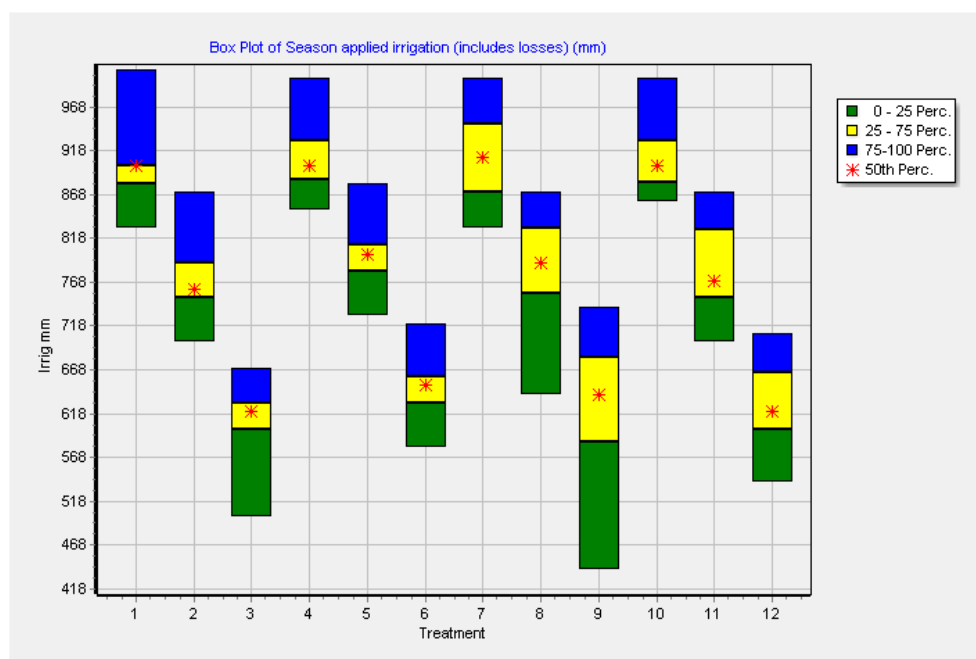
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
10 cm - 100 % - EC	1335	2199	2491	3393	5070	5655	6267
10 cm - 90 % - EC	1333	2189	2477	3378	5059	5648	6250
10 cm - 80 % - EC	1334	2169	2462	3356	5050	5635	6230
10 cm - 100 % - GF	2376	2546	3140	4382	5708	6642	8802
10 cm - 90 % - GF	2371	2538	3132	4373	5695	6630	8786
10 cm - 80 % - GF	2373	2520	3121	4362	5675	6606	8754
10 cm - 100 % - MI	1501	2523	2973	3921	4615	5080	6492
10 cm - 90 % - MI	1497	2510	2966	3913	4607	5070	6484
10 cm - 80 % - MI	1497	2498	2961	3904	4601	5062	6476
10 cm - 100 % - MP	2517	3313	3570	4166	5075	5928	6158
10 cm - 90 % - MP	2509	3307	3560	4158	5067	5917	6147
10 cm - 80 % - MP	2497	3296	3538	4139	5053	5890	6131



ภาพผนวกที่ ข8 กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 10 cm, RCP 8.5

ตารางผนวกที่ ข9 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 4.5

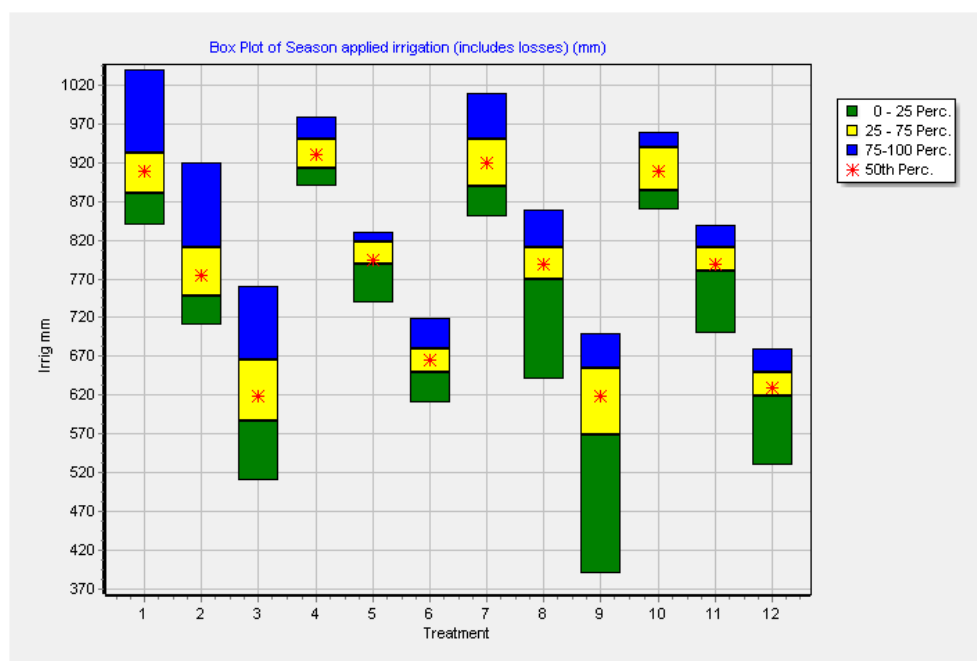
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
15 cm - 100 % - EC	830	858	880	900	900	922	1010
15 cm - 90 % - EC	700	748	750	760	790	806	870
15 cm - 80 % - EC	500	560	600	620	630	650	670
15 cm - 100 % - GF	850	876	885	900	930	954	1000
15 cm - 90 % - GF	730	756	780	800	810	838	880
15 cm - 80 % - GF	580	610	630	650	660	694	720
15 cm - 100 % - MI	830	855	870	910	948	985	1000
15 cm - 90 % - MI	640	695	755	790	830	860	870
15 cm - 80 % - MI	440	530	585	640	683	700	740
15 cm - 100 % - MP	860	865	883	900	930	960	1000
15 cm - 90 % - MP	700	730	750	770	828	860	870
15 cm - 80 % - MP	540	590	600	620	665	690	710



ภาพผนวกที่ ข9 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 4.5

ตารางผนวกที่ ข10 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 8.5

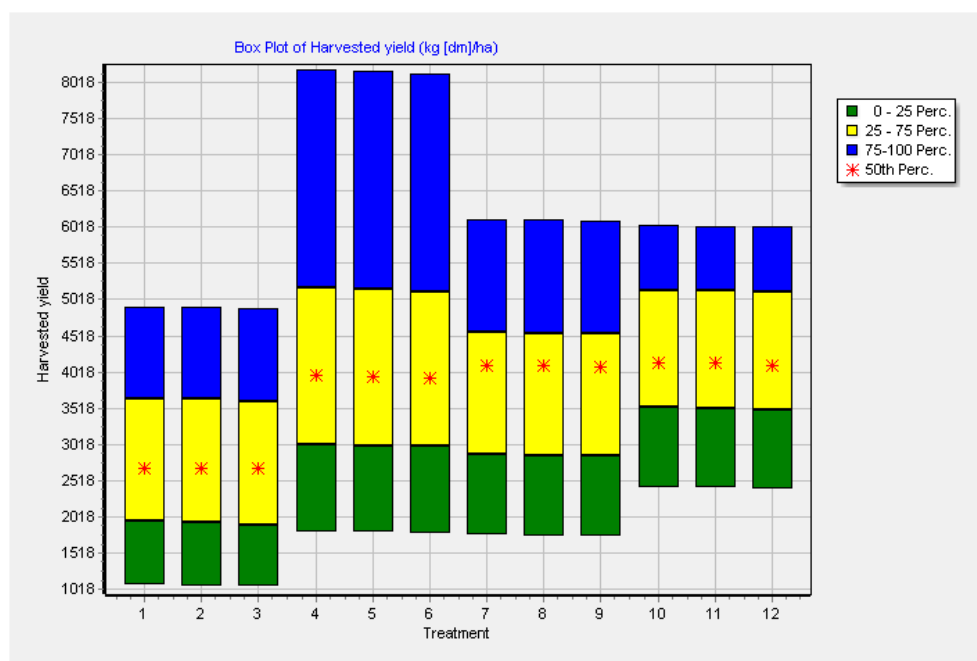
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
15 cm - 100 % - EC	840	863	880	910	933	967	1040
15 cm - 90 % - EC	710	740	748	775	810	850	920
15 cm - 80 % - EC	510	563	588	620	665	700	760
15 cm - 100 % - GF	890	910	913	930	950	960	980
15 cm - 90 % - GF	740	780	790	795	818	829	830
15 cm - 80 % - GF	610	630	650	665	680	690	720
15 cm - 100 % - MI	850	862	890	920	950	960	1010
15 cm - 90 % - MI	640	690	770	790	810	836	860
15 cm - 80 % - MI	390	482	570	620	655	678	700
15 cm - 100 % - MP	860	870	885	910	940	960	960
15 cm - 90 % - MP	700	760	780	790	810	818	840
15 cm - 80 % - MP	530	602	620	630	650	668	680



ภาพผนวกที่ ข10 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 8.5

ตารางผนวกที่ ข11 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 4.5

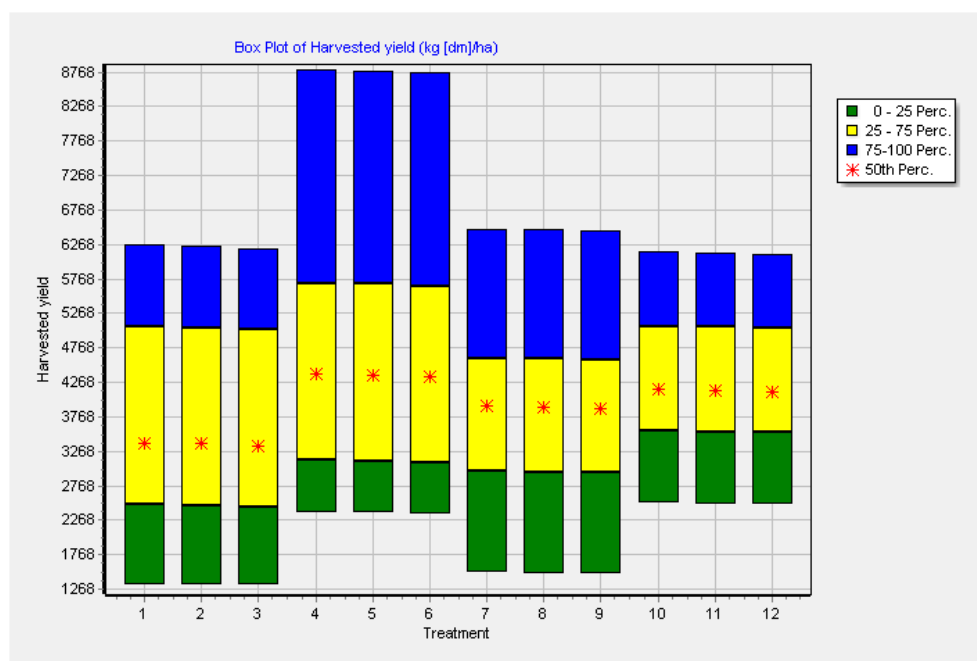
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
15 cm - 100 % - EC	1072	1539	1951	2678	3653	4356	4908
15 cm - 90 % - EC	1064	1532	1937	2678	3647	4341	4906
15 cm - 80 % - EC	1056	1511	1908	2678	3614	4302	4890
15 cm - 100 % - GF	1804	2193	3011	3963	5177	5448	8192
15 cm - 90 % - GF	1798	2186	3004	3948	5157	5435	8176
15 cm - 80 % - GF	1792	2179	2989	3931	5132	5415	8141
15 cm - 100 % - MI	1761	2220	2871	4109	4559	5263	6129
15 cm - 90 % - MI	1755	2207	2866	4104	4553	5247	6112
15 cm - 80 % - MI	1742	2193	2860	4091	4540	5226	6094
15 cm - 100 % - MP	2416	2922	3522	4154	5151	5484	6037
15 cm - 90 % - MP	2410	2909	3514	4139	5144	5469	6032
15 cm - 80 % - MP	2397	2897	3502	4107	5125	5458	6022



ภาพผนวกที่ ข11 กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 4.5

ตารางผนวกที่ ข12 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 8.5

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
15 cm - 100 % - EC	1335	2199	2491	3393	5070	5655	6267
15 cm - 90 % - EC	1333	2186	2475	3377	5056	5646	6243
15 cm - 80 % - EC	1324	2164	2448	3343	5031	5632	6211
15 cm - 100 % - GF	2376	2546	3140	4382	5708	6642	8802
15 cm - 90 % - GF	2370	2530	3129	4370	5690	6630	8782
15 cm - 80 % - GF	2365	2508	3110	4354	5661	6605	8754
15 cm - 100 % - MI	1501	2523	2973	3921	4615	5080	6492
15 cm - 90 % - MI	1498	2509	2965	3912	4606	5070	6484
15 cm - 80 % - MI	1489	2484	2952	3892	4588	5050	6464
15 cm - 100 % - MP	2517	3313	3570	4166	5075	5928	6158
15 cm - 90 % - MP	2507	3307	3555	4156	5066	5914	6147
15 cm - 80 % - MP	2494	3295	3536	4121	5052	5891	6129

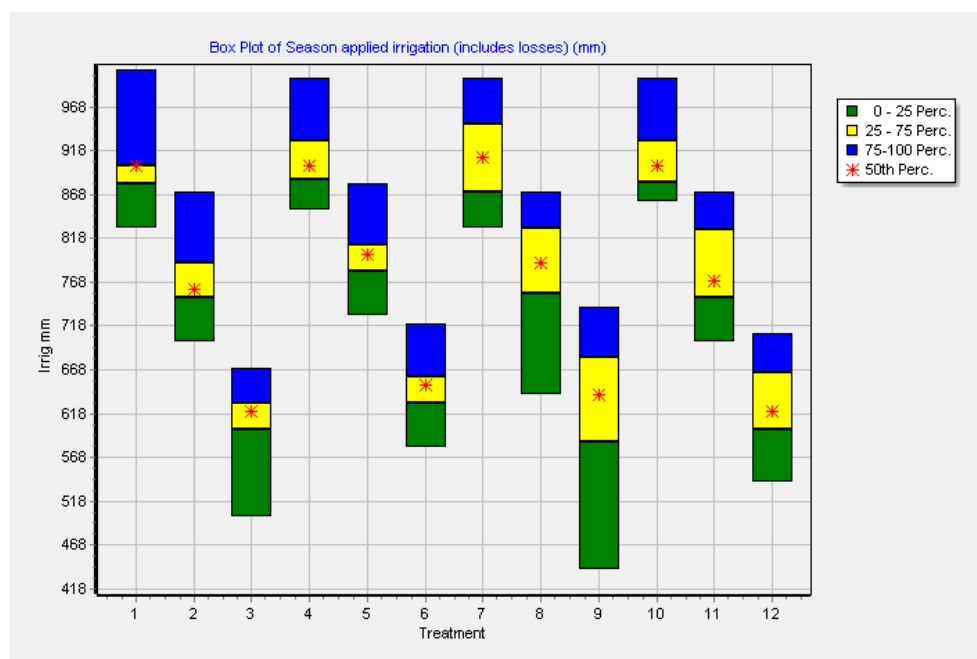


ภาพผนวกที่ ข12 กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 15 cm, RCP 8.5



ตารางผนวกที่ ข13 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 4.5

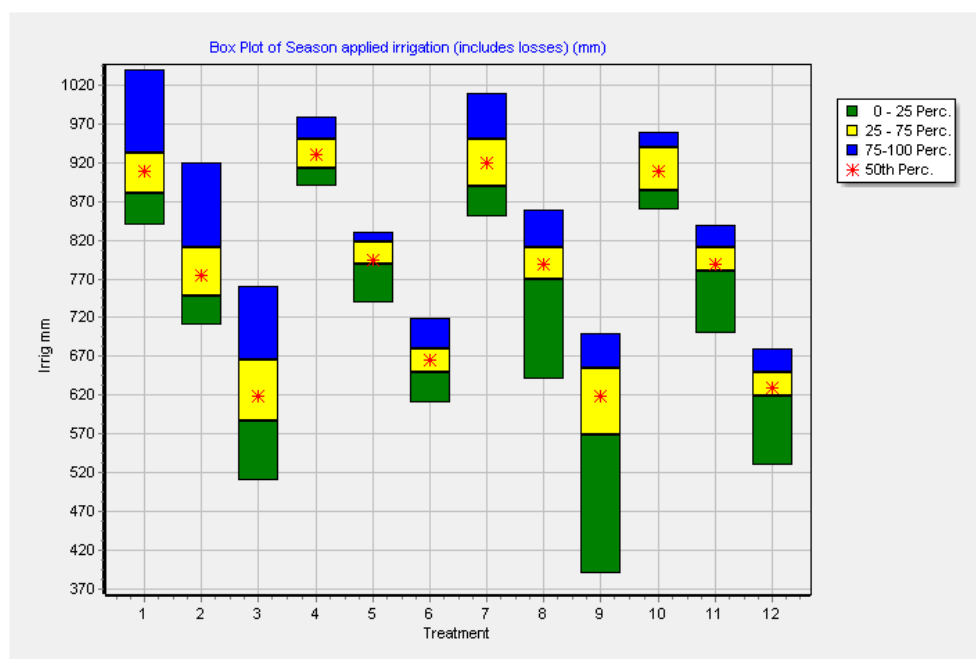
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
20 cm - 100 % - EC	830	858	880	900	900	922	1010
20 cm - 90 % - EC	700	748	750	760	790	806	870
20 cm - 80 % - EC	500	560	600	620	630	650	670
20 cm - 100 % - GF	850	876	885	900	930	954	1000
20 cm - 90 % - GF	730	756	780	800	810	838	880
20 cm - 80 % - GF	580	610	630	650	660	694	720
20 cm - 100 % - MI	830	855	870	910	948	985	1000
20 cm - 90 % - MI	640	695	755	790	830	860	870
20 cm - 80 % - MI	440	530	585	640	683	700	740
20 cm - 100 % - MP	860	865	883	900	930	960	1000
20 cm - 90 % - MP	700	730	750	770	828	860	870
20 cm - 80 % - MP	540	590	600	620	665	690	710



ภาพผนวกที่ ข13 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 4.5

ตารางผนวกที่ ข14 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 8.5

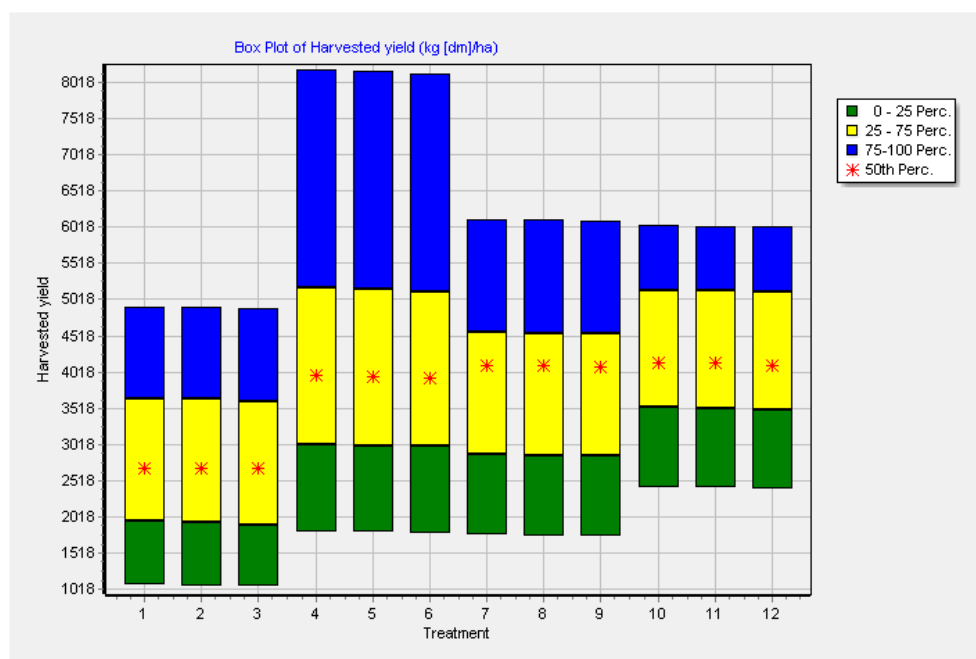
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
20 cm - 100 % - EC	840	863	880	910	933	967	1040
20 cm - 90 % - EC	710	740	748	775	810	850	920
20 cm - 80 % - EC	510	563	588	620	665	700	760
20 cm - 100 % - GF	890	910	913	930	950	960	980
20 cm - 90 % - GF	740	780	790	795	818	829	830
20 cm - 80 % - GF	610	630	650	665	680	690	720
20 cm - 100 % - MI	850	862	890	920	950	960	1010
20 cm - 90 % - MI	640	690	770	790	810	836	860
20 cm - 80 % - MI	390	482	570	620	655	678	700
20 cm - 100 % - MP	860	870	885	910	940	960	960
20 cm - 90 % - MP	700	760	780	790	810	818	840
20 cm - 80 % - MP	530	602	620	630	650	668	680



ภาพผนวกที่ ข14 กราฟ Boxplot ปริมาณการใช้น้ำ (mm) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 8.5

ตารางผนวกที่ ข15 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 4.5

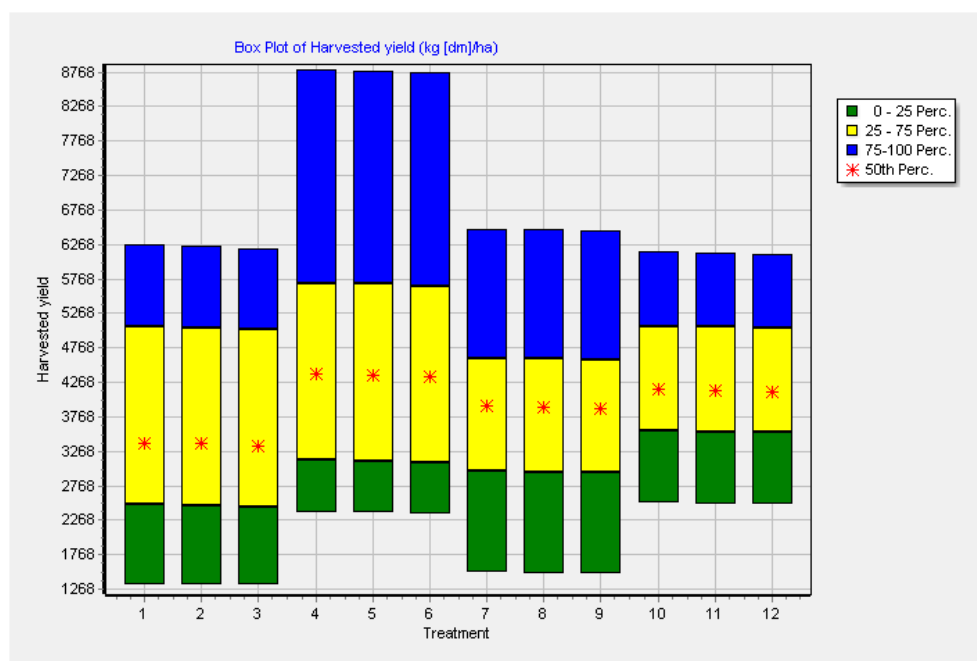
Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
20 cm - 100 % - EC	1072	1539	1951	2678	3653	4356	4908
20 cm - 90 % - EC	1064	1532	1937	2678	3647	4341	4906
20 cm - 80 % - EC	1056	1511	1908	2678	3614	4302	4890
20 cm - 100 % - GF	1804	2193	3011	3963	5177	5448	8192
20 cm - 90 % - GF	1798	2186	3004	3948	5157	5435	8176
20 cm - 80 % - GF	1792	2179	2989	3931	5132	5415	8141
20 cm - 100 % - MI	1761	2220	2871	4109	4559	5263	6129
20 cm - 90 % - MI	1755	2207	2866	4104	4553	5247	6112
20 cm - 80 % - MI	1742	2193	2860	4091	4540	5226	6094
20 cm - 100 % - MP	2416	2922	3522	4154	5151	5484	6037
20 cm - 90 % - MP	2410	2909	3514	4139	5144	5469	6032
20 cm - 80 % - MP	2397	2897	3502	4107	5125	5458	6022



ภาพผนวกที่ ข15 กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 4.5

ตารางผนวกที่ ข16 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 8.5

Water level (%)	Percentiles						
	0th	10th	25th	50th	75th	90th	100th
20 cm - 100 % - EC	1335	2199	2491	3393	5070	5655	6267
20 cm - 90 % - EC	1333	2186	2475	3377	5056	5646	6243
20 cm - 80 % - EC	1324	2164	2448	3343	5031	5632	6211
20 cm - 100 % - GF	2376	2546	3140	4382	5708	6642	8802
20 cm - 90 % - GF	2370	2530	3129	4370	5690	6630	8782
20 cm - 80 % - GF	2365	2508	3110	4354	5661	6605	8754
20 cm - 100 % - MI	1501	2523	2973	3921	4615	5080	6492
20 cm - 90 % - MI	1498	2509	2965	3912	4606	5070	6484
20 cm - 80 % - MI	1489	2484	2952	3892	4588	5050	6464
20 cm - 100 % - MP	2517	3313	3570	4166	5075	5928	6158
20 cm - 90 % - MP	2507	3307	3555	4156	5066	5914	6147
20 cm - 80 % - MP	2494	3295	3536	4121	5052	5891	6129



ภาพผนวกที่ ข16 กราฟ Boxplot ผลผลิตข้าว (kg/ha) โดยวิธีการขังน้ำ 20 cm, RCP 8.5

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายสุรสิทธิ์ ปัญญาวรณศิริ
เกิดวันที่	4 ธันวาคม 2519
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมชลประทาน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บธ.บ. (การจัดการงานก่อสร้าง) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรชลประทาน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนการศึกษาระดับปริญญาเอก โครงการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)