โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่14/2556

การศึกษาเปรียบเทียบถังวัดการใช้น้ำของพืช แบบระบายน้ำและแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่

Comparative Study of Lysimeters : Percolation and Constant Water Table Types

โดย

นายหัสดินทร์ พูลทาจักร์

นางสาวภัทรวิภา บุญจันทร์

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

กำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2556

ใบรับรองโครงการงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาเกษตรศาสตร์

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมชลประทาน

เรื่อง : การศึกษาเปรียบเทียบถังวัดการใช้น้ำของพืช แบบระบายน้ำและแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่

Comparative Study of Lysimeters : Percolation and Constant Water Table Types

นามผู้ทำโครงงาน : นายหัสดินทร์ พูลทาจักร์

นางสาวภัทรวิภา บุญจันทร์

ได้รับพิจารณาเห็นชอบ

ประธานที่ปรึกษาโครงการ .....

(ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย)

...../...../.....

กรรมการโครงการ .....

(อ.ดร. สถาพร เตมีพัฒนพงษา)

...../...../.....

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์)

...../...../.....

คำนิยม

โครงการวิศวกรรมชลประทานเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย ประธานกรรมการที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมชลประทาน และ อ.ดร. สถาพร เตมีพัฒนพงษา กรรมการที่ปรึกษา รวมทั้งท่านอาจารย์บุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมชลประทานและอีกหลายท่านที่ให้คำปรึกษาและคอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่างๆในการทำโครงงานตลอดมา ทำให้การทำโครงงานวิศวกรรมนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และให้คำแนะนำแก่ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการจัดทำโครงงานเล่มนี้ ขอขอบพระคุณบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมชลประทานที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในระหว่างการเพาะปลูก และขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้อง ที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานเล่มนี้จนสำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษา และจะเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือ อุปกรณ์ที่นำมาซึ่งการใช้น้ำอย่างคุ้มค่า เพื่อจะได้มีทรัพยากรน้ำในการใช้ประโยชน์ต่อไป

นายหัสดินทร์ พูลทาจักร์

นางสาวภัทรวิภา บุญจันทร์

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การศึกษาเปรียบเทียบถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำและแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่

โดย: นายหัสดินทร์ พูลทาจักร์

นางสาวภัทรวิภา บุญจันทร์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน: ……..

(ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย)

…../……./……

ปัจจุบันมีหลากหลายวิธีในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งวิธีการแต่ละวิธีก็มีความแตกต่างกันในรูปแบบของการวัด แต่ในวิธีการนั้นอาจใช้หลักการที่เหมือนกัน ซึ่งในโครงการวิศวกรรมนี้นี้เป็นศึกษาเปรียบเทียบการใช้น้ำของถั่วเขียวโดยใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำ และ ถังวัดการใช้น้ำของพืชชนิดน้ำใต้ผิวดินคงที่ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงคำนวณจากข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดอากาศอัตโนมัติด้วยสมการ Penman-Monteith และ ปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหย Class A โดยได้ทำการทดลองระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึง 8 พฤษภาคม 2557 รวม 70 วัน

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวที่วัดได้จากถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำมีค่าการใช้น้ำเฉลี่ย 7.56 มิลลิเมตรต่อวัน ปริมาณการใช้น้ำที่วัดได้จากถังวัดการใช้น้ำชนิดน้ำใต้ผิวดินคงที่มีค่าการใช้น้ำเฉลี่ย 4.77 มิลลิเมตรต่อวัน ปริมาณการระเหยเฉลี่ยจากถาดวัดการระเหย Class A-pan เท่ากับ 4.57 มิลลิเมตรต่อวัน และปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยของพืชอ้างอิงจากสมการ Penman-Monteith เท่ากับ 5.01 มิลลิเมตรต่อวัน ปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวรายวันที่วัดได้จากถังวัดการใช้น้ำแบบใต้ผิวดินคงที่มีความแปรปรวนน้อยกว่า ในขณะที่ปริมาณการใช้น้ำที่วัดจากแบบระบายน้ำมีค่าสูงเกินจริงเล็กน้อย

ABSTRACT

Title : Comparative Study of Lysimeters : Percolation and Constant Water Table Types

By : Mr.Hassadin Poontajak

Miss Phattharhawipha Boonchan

Project advisors : ……

(Asst. Prof. Dr. Ekasit Kositsakulchai)

……./……../…….

There are several methods for measuring crop evapotranspiration (ET). Each method has different approaches; however, they are based on the same concept. The main purpose of this senior project was to compare ET of mung bean using two types of lysimeter: percolation-type lysimeter and constant-water-table type lysimeter. The reference ET was estimated using data from automatic weather station by Penman-Monteith equation and from Class A-pan. The experiment was conducted between February 28, 2014 and May 8, 2014 (70 days).

It was found that average ET of mung bean from percolation-type lysimeter was 7.56 mm/day; from constant-water-table type lysimeter was 4.77 mm/day. The reference ET from Class A-pan was 4.57 mm/day and from the Penman-Monteith equation was to 5.01 mm/day. Daily ET of mung bean from constant-water-table type lysimeter was less variable, while ET from percolation-type lysimeter seem over-estimated.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
คำนิยม	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	3
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของแปลงที่ทำการทดลอง	3
2.2 Lysimeter	3
2.3 เครื่องตรวจวัดอากาศแบบอัตโนมัติ	11
2.4 การหาปริมาณการใช้น้ำอ้างอิง	13
2.5 การประมาณปริมาณการใช้น้ำของพืชจากปริมาณการระเหยจากถาดวัด	15
2.6 ถั่วเขียว	17
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	23
3.1 สถานที่ทำการศึกษาทดลอง	23
3.2 วัสดุอุปกรณ์การทดลอง	24
3.3 วิธีการทดลอง	27
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์	30
4.1 ปริมาณการใช้น้ำของพืช	30

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2 ปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว	35
4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ	42
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการทดลอง	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก ก.	48
ภาคผนวก ข.	52
ภาคผนวก ค.	57
ภาคผนวก ง.	71
ภาคผนวก จ.	75
ภาคผนวก ฉ.	79
ภาคผนวก ช.	84

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สรุปปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงรายวัน 31

ตารางที่ 2 สรุปปริมาณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงรายสัปดาห์ 33

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้น้ำถั่วเขียว(ET) รายวัน 36

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว (ET) รายสัปดาห์ 40

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว (Kc) 42

ตารางผนวกที่ 1 สรุป ปริมาณการใช้น้ำถั่วเขียว (ET) รายวัน 53
ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 255

ตารางผนวกที่ 2 สรุปการคำนวณปริมาณการใช้น้ำถั่วเขียว 58
จากถังวัดการใช้น้ำของพืช(Lysimeter) แบบน้ำใต้ผิวดินคงที่ถัง
ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2557

ตารางผนวกที่ 3 สรุปการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว 63
จากถาดวัดการใช้น้ำของพืช(Lysimeter) แบบระบายน้ำถังที่ 3
ตั้งแต่วันที่ วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2557

ตารางผนวกที่ 4 สรุปการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว 67
จากถาดวัดการใช้น้ำของพืช(Lysimeter) แบบระบายน้ำถังที่ 4
ตั้งแต่วันที่ วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2557

ตารางผนวกที่ 5 ข้อมูลปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหย Class-A-pan 72
ตั้งแต่ วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2557

ตารางผนวกที่ 6 เครื่องมือตรวจวัดและสื่อสารข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแบบอัตโนมัติ 76
เดือนกุมภาพันธ์ 2557 ถึง เดือนมิถุนายน 2557

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) แบบระบายน้ำ 5
ภาพที่ 2 ถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ดินคงที่ 6
ภาพที่ 3 เครื่องวัดแบบอัตโนมัติ 11
ภาพที่ 4 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องตรวจวัดอากาศในระบบสัญญาณวิทยุ 12
ภาพที่ 5 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องตรวจวัดอากาศในระบบสัญญาณโทรศัพท์ 13
ภาพที่ 6 ถาดวัดการระเหยแบบ Class A pan 16
ภาพที่ 7 ลำต้นของถั่วเขียว 18
ภาพที่ 8 ดอกของถั่วเขียว 19
ภาพที่ 9 ผลและเมล็ดของถั่วเขียว 20
ภาพที่ 10 แปลงทดลองของภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน 23
ภาพที่ 11 ตำแหน่งที่ตั้งถัง Lysimeters 24
ภาพที่ 12 จอบ 25
ภาพที่ 13 เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว 25
ภาพที่ 14 ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง 25
ภาพที่ 15 ถังตวงน้ำ 25
ภาพที่ 16 บัวรดน้ำ 25
ภาพที่ 17 เครื่องตรวจวัดสื่อสารข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแบบอัตโนมัติ 26
ภาพที่ 18 ถังวัดตัวอย่าง 26
ภาพที่ 19 ถาดวัดการระเหย Class A Pan 26
ภาพที่ 20 ถังบอกปริมาณการใช้น้ำแบบใต้ผิวดินคงที่ 27
ภาพที่ 21 ถังบอกปริมาณการใช้น้ำแบบระบายน้ำ 27
ภาพที่ 22 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่วัดมาจากการระเหย 34
ของถาดวัดการระเหย Class A-pan และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) รายวัน

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 23 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่วัดมาจากการระเหย ของถาดวัดการระเหย Class A-pan และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) รายสัปดาห์ 34

ภาพที่ 24 ปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว (ET) รายวัน 41

ภาพที่ 25 ปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว (ET) สัปดาห์ 41

ภาพที่ 26 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว (Kc) ของถังที่ 1 และ 2 43

ภาพที่ 27 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว (Kc) ของถังที่ 3 และ 4 43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหา

เนื่องจากน้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก ซึ่งในปัจจุบันมีหลายพื้นที่ที่ประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรง ซึ่งเหตุผลหนึ่งคือการบริหารจัดการน้ำที่ยังไม่มีคุณภาพที่ดีพอ ในด้านเกษตรกรรม หลายพื้นที่มีการส่งน้ำมาเกินความต้องการของผู้ใช้น้ำ ทำให้มีปริมาณน้ำที่ส่งเกินความต้องการสูญเสียไปเป็นจำนวนมาก และไม่ตรงตามความต้องการน้ำของพืชที่เกษตรกรปลูก เราจึงต้องทำการออกแบบถังวัดการใช้น้ำของพืชเพื่อให้ทราบถึงความต้องการน้ำของพืชในพื้นที่นั้น เพื่อที่จะได้ส่งน้ำได้ตรงตามความต้องการ ถังวัดการใช้น้ำของพืชที่เราจะศึกษาคือถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบใต้ดินคงที่ โดยจะเป็นการวัดการใช้น้ำเชิงปริมาตรซึ่งเป็นวิธีที่ให้ความละเอียดถูกต้องดี และถังวัดการใช้น้ำของพืชชนิดระบายน้ำ ซึ่งในปัจจุบันถังวัดการใช้น้ำของพืชยังไม่มีแบบมาตรฐานเป็นที่แน่นอน และการอ่านค่าการใช้น้ำของพืชนั้นยังทำได้ยากหากผู้ที่ทำการอ่านค่านั้นไม่มีความชำนาญหรือมีความรู้ไม่เพียงพอ และสามารถแบ่งการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืชออกเป็น แบบระบายน้ำและ แบบน้ำใต้ผิวดินคงที่ โดยในการศึกษาได้ศึกษาเกี่ยวกับค่าที่วัดการใช้น้ำของพืช ว่า ถังทั้งสองแบบมีการวัดค่าการใช้น้ำของพืชแตกต่างกันหรือไม่ ค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ โดยจะได้ค่าอ้างอิงการใช้น้ำของพืชจากถังวัดการใช้น้ำของพืชทั้งสองแบบ และมีข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาจากเครื่องมือ ทางอุตุนิยมวิทยามาประกอบเพื่อนำไปสู่การหาค่าการใช้น้ำที่สมบูรณ์

ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาการใช้น้ำของพืช จากถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำและแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเปรียบเทียบถังวัดการใช้น้ำของพืช แบบระบายน้ำและ แบบน้ำใต้ผิวดินคงที่
2. เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืชระหว่างข้อมูลที่ได้จาก Lysimeter แบบระบายน้ำและแบบน้ำใต้ดินคงที่ กับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง โดยใช้สูตร Penman-Monteith และปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหย Class-A-pan

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่ (Constant Water Table Type Lysimeter)
2. ใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำ (Percolation Type Lysimeter)
3. เปรียบเทียบผลของถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่ กับ ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำ
4. พืชที่ใช้ทำการทดสอบคือถั่วเขียว
5. สถานที่ที่ทำการเพาะปลูก: แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของแปลงที่ทำการทดลอง

แปลงทำการทดลองอยู่ในพื้นที่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อยู่ในแปลงการทดลองของภาควิชา วิศวกรรมชลประทานโดยมีการติดตั้งถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำและแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่ อย่างละ 2 ถัง

2.2 Lysimeter

Lysimeter มีวัตถุประสงค์หลัก คือ การใช้ประโยชน์และความถูกต้องแม่นยำในระยะสั้นๆ สำหรับการวางแผนชลประทาน การออกแบบโครงการ และระบบคำสั่งที่ดีในการจัดการระดับไร่นา ไม่จำเป็นต้องใช้ lysimeter ที่มีความแม่นยำสูงและค่า evapotranspiration รายชั่วโมง ใช้ค่ารายเดือนหรือรายสัปดาห์ก็พอแล้ว

2.2.1 เงื่อนไขสำคัญสำหรับพื้นที่ทดลอง

ระยะห่างและความสูงของพืชใน lysimeter และพื้นที่รอบๆ ควรจะเท่าๆกันเพื่อคาดคะเนความต่างของการคายน้ำ ความต่างมักจะเพิ่มขึ้นเมื่อสภาพแห้งแล้งของอากาศเพิ่มขึ้นและเมื่อความต่างกันของความสูงพืชเพิ่มขึ้น 10 -30% ของค่าevapotranspiration ดูจากหญ้าที่สูงกว่าความสูงปกติ 7 – 10 ซม. เช่นเดียวกันเมื่อความต่าง 35% ดูจากพืชที่มีความสูงต่างกัน 30- 40 ซม. สำหรับขนาดของพื้นที่กันชน บางคนเสนอว่าควรทดสอบ 400 จุดในพื้นที่ที่ศึกษา (พื้นที่ lysimeter) การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนเป็นเรื่องสำคัญสำหรับพื้นที่ 50 – 100 ม. แรกของพื้นที่กันชนเมื่อผ่าน 200 ม. แล้วก็มองข้ามไปได้ สำหรับการอ้างถึงข้อมูล evapotranspiration ควรใช้พื้นที่กันชน 2-5 hectares และ guard rings มีค่า 0.1 – 0.5 ha ก็นิยมใช้กันทั่วโลก ในบางตัวอย่าง lysimeter ไม่ต้องใช้พื้นที่กันชนสำหรับวัตถุประสงค์หลายๆอย่างแม้ว่าค่า evapotranspiration จะเชื่อถือได้น้อยพื้นที่กันชนควรจะมีน้ำอย่างสม่ำเสมอพอๆ กับ lysimeter การให้น้ำพื้นที่กันชนรายสัปดาห์แทนที่จะให้ทุก 2-3 วันแบบ lysimeter มักจะให้ค่า evapotranspiration ที่สูงเกินไป 25-35% ในสภาพที่แห้งแล้ง ยกเว้นในการชลประทานน้ำหยด การให้น้ำรายวันไม่จำเป็นและไม่

สะดวก และพื้นที่กันชนควรจะปลูกพืช ใส่ปุ๋ย ให้น้ำและมีการจัดการที่ดี tensiometer ก็เป็นสิ่งที่จำเป็นมากในการทำกำหนดการชลประทานของ lysimeter และพื้นที่รอบ

2.2.2 ประเภทของถังวัดการใช้น้ำของพืช

ถังวัดการใช้น้ำของพืชนั้น ถ้าจะเปรียบเทียบกันแล้วก็คือกระถางต้นไม้ขนาดใหญ่ที่ปลูกด้วยพืชที่ต้องการวัดการใช้น้ำ แล้วตั้งอยู่ในที่ที่ปลูกพืชชนิดเดียวกัน โดยให้มีสภาพทั้งภายในและภายนอกคล้ายคลึงกันกับสภาพที่เป็นจริงตามธรรมชาติมากที่สุด กระถางดังกล่าวออกแบบให้สามารถวัดปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเพื่อจะได้นำมาคำนวณเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชในช่วงระยะเวลาต่างได้

ถังวัดการใช้น้ำของพืชที่มีใช้ในปัจจุบัน อาจแบ่งแยกออกไปตามลักษณะการทำงานของมันเป็น 2 ใหญ่ประเภทคือ

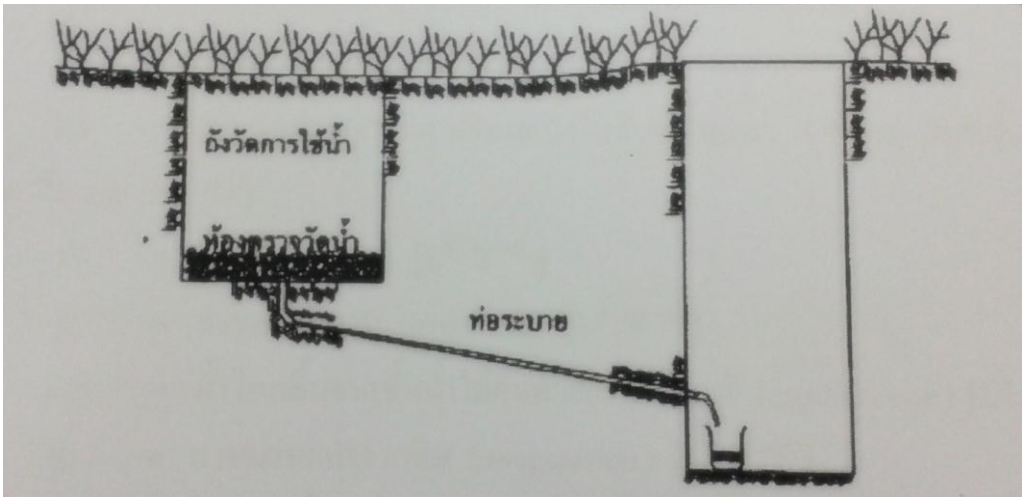
- ประเภทที่วัดโดยไม่เกี่ยวข้องกับน้ำหนัก (Non-weighing lysimeters)
- ประเภทวัดโดยเกี่ยวข้องกับน้ำหนัก (Weighing lysimeters)

2.2.3 ประเภทที่วัดโดยไม่เกี่ยวข้องกับน้ำหนัก (Non-weighing lysimeters)

ถังวัดการใช้น้ำของพืชประเภทนี้จะวัดปริมาตรหรือความลึกของน้ำที่หายไปจากถังแล้วเทียบมาเป็นปริมาณน้ำที่พืชใช้ ถังที่จัดอยู่ในประเภทนี้ก็มี

1. ถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type-lysimeter)

ถังแบบนี้ใช้วัดการใช้น้ำด้วยความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปและระบายออกที่ก้นถัง รวมกับความแตกต่างของจำนวนความชื้นของดินในถังเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดระยะเวลาที่ทำการวัด ความละเอียดถูกต้องของถังประเภทนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการคำนวณหาความชื้นของดินในถัง ซึ่งอาจจะทำได้โดยเก็บตัวอย่างดินหรือใช้เครื่องวัดแบบนิวตรอน อย่างไรก็ตาม ถังวัดประเภทนี้มักจะใช้วัดอัตราการใช้น้ำระยะยาว ซึ่งความแตกต่างของความชื้นของดินภายในถังที่เริ่มต้นและสิ้นสุดระยะเวลาที่ทำการวัดมีผลต่อความละเอียดถูกต้องของการวัดน้อยกว่า



ภาพที่ 1 ถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) แบบระบายน้ำ

ข้อดีและข้อเสีย

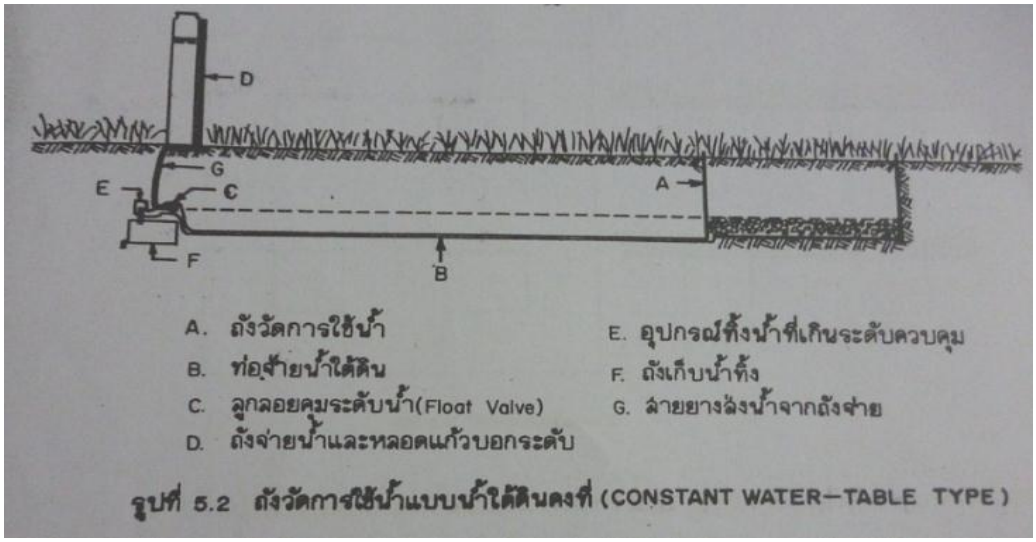
1) ถังก่อสร้างได้ง่ายและมีราคาถูก

2) ไม่มีขีดจำกัดเรื่องขนาด ดังนั้นถังใช้ได้ทั้งพืชไร่และพืชสวน

3) เหมาะสำหรับวัดอัตราการใช้น้ำระยะยาวเท่านั้น ถ้าจะวัดการใช้น้ำระยะสั้นจะต้องมีอุปกรณ์สำหรับความชื้นของดินในถังด้วย อย่างไรก็ตามไม่ควรใช้ถังวัดแบบนี้วัดอัตราการใช้น้ำสั้นกว่า 1 สัปดาห์

2. ถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ดินคงที่ (Constant water table type-lysimeter)

ถังแบบนี้จะให้น้ำแก่พืชที่ปลูกทางใต้ผิวดินโดยการสร้างน้ำใต้ดินที่มีระดับคงที่ขึ้นภายในถัง ระดับน้ำใต้ดินดังกล่าวนี้ควบคุมโดยการใช้วาล์วลูกลอย(Float valve) ซึ่งจะเปิดจ่ายน้ำจนถึงระดับที่กำหนดไว้เมื่อระดับน้ำใต้ดินลดลงโดยการใช้ของพืช ที่ก้นถังจะบรรจุด้วยกรวดและทรายขึ้นมาจนถึงระดับที่น้ำใต้ดินเพื่อให้การไหลของน้ำใต้ดินไปสู่รากพืชเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ปริมาณน้ำที่พืชใช้คำนวณได้จากปริมาตรน้ำที่ลดลงในถังจ่ายน้ำ



ภาพที่ 2 ถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ดินคงที่

ข้อดีและข้อเสีย

1) สร้างได้ง่าย มีราคาถูก และมีความละเอียดถูกต้องดี

2) อาจมีปัญหาอุดตันที่วาล์วลูกลอยได้

3) ควรใช้ในพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงในระดับเดียวกันกับที่กำหนดไว้ในถัง

4) เพื่อให้การไหลของน้ำจากระดับใต้ดินขึ้นไปหารากพืชเพียงพอกับความต้องการ ชั้นดินเหนือระดับใต้ดินต้องไม่ ลึกมาก จึงทำให้ใช้ได้ดีกับพืชรากตื้น

5) อาจมีปัญหาเรื่องการสะสมของเกลือบนผิวดินได้ถ้าหากคุณภาพน้ำใต้ดินไม่ดี

3. ถังวัดการใช้น้ำของนาข้าว (Rice lysimeter)

ถังแบบนี้ออกแบบไว้ใช้สำหรับวัดการใช้น้ำของนาข้าวโดยเฉพาะ คือนอกจากจะวัดการระเหยและการคายน้ำแล้ว ยังสามารถวัดการรั่วซึมในแปลงนา ซึ่งถือว่าเป็นส่วนหนึ่งสำหรับปริมาณน้ำที่ต้องจัดหาให้ข้าวด้วย ปกติอุปกรณ์วัดการใช้น้ำแบบนี้ประกอบด้วย ถังขนาดเดียวกัน 4 ถัง โดยที่ 2ถังจะเป็นถังก้นเปิด และอีก 2ถังจะเป็นถังก้นปิด ในแต่ละแบบจะมีอยู่หนึ่งถังที่ไม่ปลูกข้าวคือจะไม่วัดการคายน้ำ ส่วนการสูญเสียน้ำในถังที่เปิดก้นจะมีส่วนหนึ่งที่เป็นการรั่วซึมในแปลงนาด้วย ระดับน้ำในแต่ละถังที่ลดลงจะวัดด้วยตะขอวัดระดับน้ำ (hoog gage) เมื่อนำค่าที่วัดได้ของ

สองถังที่มีความแตกต่างในการวัดเพียงอย่างเดียวมาลบกันก็จะได้องค์ประกอบของปริมาณน้ำที่ต้องการในนาข้าวได้

ข้อดีและข้อเสีย

1) สร้างได้ง่ายและมีราคาถูก

2) สามารถวัดส่วนประกอบของน้ำที่ต้องการในนาข้าวได้ทุกส่วน

3) ออกแบบไว้สำหรับข้าวและพืชที่ปลูกโดยใช้น้ำขังเท่านั้น

4) อาจมีความผิดพลาดในการวัดได้ถ้าหากดินที่ติดตั้งถังก้นเปิดสองแห่งไม่เหมือนกัน

5) ในขณะต้นข้าวเล็กอยู่ คลื่นและลมอาจทำให้น้ำภายนอกกระฉอกเข้ามาในถังได้

6) ค่าการระเหยที่วัดได้ในถังที่ไม่มีการปลูกข้าวจะมีค่าสูงกว่าการระเหยจากถังที่ปลูกข้าวเนื่องจากได้รับแสงแดดและลมเต็มที่ เมื่อนำค่านี้ไปหักลบกับค่าที่วัดได้ในถังอื่นจะทำให้สัดส่วนของน้ำที่พืชใช้ เช่นการคายน้ำ หรือการรั่วซึมมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง

2.2.4 ประเภทวัดโดยเกี่ยวข้องกับน้ำหนัก (Weighing lysimeters)

ถังวัดการใช้น้ำของพืชโดยการสังเกตน้ำหนักหรือสิ่งที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนัก เช่นความดันหรือความเค้นที่เปลี่ยนไป ชื่อของแต่ละแบบมักเรียกตามอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบหรือวัดค่าดังกล่าว ซึ่งสามารถแบ่งแยกได้เป็น

1. ถังวัดการใช้น้ำแบบชั่งด้วยเครื่องชั่ง (Mechanically weight lysimeter)

เป็นแบบที่วัดน้ำหนักของดินในถังด้วยตาชั่ง แบบที่สร้างขึ้นมาในระยะแรกๆเป็นแบบกระถางเล็กๆที่มีน้ำหนักเบา สามารถยกขึ้นมาชั่งโดยตาชั่ง ธรรมดาได้ ภายหลังได้มีการพัฒนาให้มีขนาดใหญ่และวัดได้ละเอียดถูกต้องดีขึ้น แต่ในการก่อสร้างถังที่มีขนาดใหญ่จะมีค่าใช้จ่ายสูง

ข้อดีและข้อเสีย

1) มีความละเอียดถูกต้องสูง

2) มีราคาที่แพงมากเพราะต้องออกแบบเครื่องชั่งเป็นพิเศษ ดังนั้นจึงไม่มีใช้แพร่หลายเหมือนแบบอื่นๆ

เนื่องจากว่าเครื่องชั่งที่ต้องออกแบบใหม่เป็นพิเศษมีราคาแพง จึงได้มีการดัดแปลงโดยใช้ตาชั่งแบบวางกับพื้นที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมารับน้ำหนักทั้งหมดของกระถาง แต่ให้คานของตาชั่งถ่ายน้ำหนักเพียงบางส่วนไปยัง Strain gage load call ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงน้ำหนักของกระถางไปเป็นการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถเปลี่ยนกลับเป็นความลึกของน้ำ โดยให้ความละเอียดถูกต้องสูงเช่นเดียวกัน

2. ถังวัดการใช้น้ำแบบทุ่นลอย (Float lysimeter)

ถังวัดการใช้น้ำแบบนี้ทำงานโดยอาศัยหลักการทำงานของอาคีเมดีสที่ว่า ปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่โดยทุ่นลอยจะผันแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักของทุ่นลอยนั้น ดังนั้นถ้าให้กระถางที่ปลูกพืชลอยอยู่ในภาชนะที่บรรจุน้ำ น้ำหนักของกระถางที่สูญเสียไปโดยการใช้น้ำของพืชย่อมสามารถวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในภาชนะนั้น จุดสำคัญของถังวัดการใช้น้ำแบบนี้ก็คือ จะต้องทำให้กระถางปลูกพืชลอยน้ำได้

ข้อดีและข้อเสีย

1) มีราคาถูกและเชื่อถือได้พอควร

2) มีการแผ่กระจายของรากพืชค่อนข้างจำกัด เนื่องจากต้องมีกล่องลมภายในกระถางเพื่อให้มีน้ำหนักและ ลอยน้ำ

3) วัดอัตราการใช้น้ำระยะสั้นได้ถูกต้อง

4) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในอ่างทำให้มีการวัดผิดพลาดได้เนื่องจากการขยายตัวของน้ำ

5) ความผิดพลาดในการวัดอาจเกิดได้จากการรั่วของถัง ซึ่งถ้ามีขนาดเล็กจะตรวจพบได้ยาก

3. ถังวัดการใช้น้ำแบบไฮดรอลิก (Hydraulic weighing lysimeter)

ถังแบบนี้ใช้วัดการใช้น้ำของพืช โดยสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำในหมอนยางที่รองรับน้ำหนักทั้งหมดของกระถาง ที่หมอนยางจะมีท่อขนาดเล็กต่อไปยังอุปกรณ์วัดความดัน เมื่อมีการสูญเสียน้ำโดยการใช้ของพืช ความดันของน้ำในหมอนยางจะลดลง ความแตกต่างของความดันนี้สามารถเปรียบเทียบให้เป็นความลึกของน้ำที่พืชใช้ไป

ข้อดีและข้อเสีย

1) ราคาไม่แพงและให้ความละเอียดถูกต้องดี

2) การยืดตัวของหมอนยาง และการขยายตัวของน้ำในหมอนเนื่องจากอุณหภูมิอาจทำให้การวัดผิดพลาด

3) การรั่วของหมอนยางและตามข้อต่อต่างๆตรวจพบได้ยาก

2.2.5 ประโยชน์ของถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) ในการวัดความต้องการน้ำของพืชและการศึกษาดิน น้ำ พืช

Lysimeter นำมาใช้ประโยชน์ในด้านวัดการคายระเหย (evapotranspiration) และศึกษาเรื่องการใช้น้ำของพืช ค่าที่ได้จาก Lysimeter จะถูกใช้อ้างอิงในการทดสอบสมมติฐานและสูตร semi-empirical evapotranspiration การเปรียบเทียบระหว่างค่าการใช้น้ำที่วัดโดย Lysimeter และค่าจากการคำนวณแบบง่ายโดยสูตรการระเหย

Lysimeteer ถูกใช้หลายครั้งในการใช้ร่วมกับวิธีอื่นๆเพื่อหาการใช้น้ำ โดยค่าที่ได้จะต่างกันไปตามวิธีและเทคนิคที่ใช้ จากนั้นค่าที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการศึกษา ดิน น้ำ พืช โดยเฉพาะการศึกษา simulation models

ในการศึกษาความต้องการใช้น้ำของพืช โดยจะเปรียบเทียบระหว่างอัตราการคายระเหยซึ่งวัดได้จาก Lysimeter ที่มีการปลูกพืชปกคลุมที่ผิวดินในถังและการหาแบบง่ายโดยสูตรการระเหย จากนั้นเปรียบเทียบระหว่าง ค่าการคายระเหยของพืช (ETo) และค่าการคายระเหยสูงสุด (ET_{max}) ซึ่งได้จาก Lysimeter ที่ตั้งในพื้นที่เดียวกัน สุดท้ายอ้างจากค่าการคายระเหย (ETo)ที่ดูจากถาดวัดการระเหย

2.2.6 การวัดและการคำนวณการคายระเหยของพืช (Crop evapotranspiration)

ระบบชลประทานไร่-นาถูกออกแบบบนพื้นฐานของสมการการคาดคะเนการใช้น้ำ (water use prediction equations) เปรียบเทียบจากค่า crop evapotranspiration (ETo) ที่ได้จาก Lysimeter ที่มีการปลูกทดลองด้วยหญ้าซึ่งคำนวณโดยค่าที่ได้จริงหรือสูตร semi-empirical evapotranspiration ซึ่งใช้ในงานการศึกษา evapotranspiration

การเปรียบเทียบระหว่างค่า ETo ซึ่งแสดงลำดับอัตราการคายน้ำจากถาดวัด colorado sunken ซึ่งมีค่าพื้นฐานรายเดือนของความชื้น กึ่งแห้งแล้ง และสภาพแห้งแล้ง สภาพเหล่านี้มีความสำคัญโดยถาดวัดควรจะตั้งในพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยทุ่งนาที่มีการชลประทาน class a pan จะคาดคะเนค่า ETo เกินไปประมาณ 20 – 30 % ภายใต้สภาวะชลประทานที่เหมือนกันในระยะ100 – 200 ม.จะมีอัตราที่สูงเกิน 40 – 50 % ซึ่งพื้นที่โดยรอบเหล่านี้ที่เป็นดินที่แห้ง

2.2.7 Lysimeter วัด crop evapotranspiration (ETo) และ crop evapotranspiration สูงสุด (ETcrop หรือ ETmax)

Lysimeters ยังคงต้องใช้เครื่องมือในการตรวจสอบสูตร evapotranspiration เครื่องมือ bowen ratio ดินและ model พืชและการพัฒนาใหม่ๆ ในแผนการ evapotranspiration ดังนั้น สำหรับการหาค่าความต้องการน้ำของพืช การติดตั้งของ lysimeters บางจุดและ drainage lysimeter ง่ายๆ ภายใต้การตัดหญ้าทั่วทั้งเขตเกษตรกรรมนั้นจะถูกทำอย่างระมัดระวังเพื่อไม่ให้รบกวนสภาพแวดล้อมของแปลงเพาะปลูก

2.3 เครื่องตรวจวัดอากาศแบบอัตโนมัติ

เป็นเครื่องที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้งานในพื้นที่ทางการเกษตรที่อยู่ห่างไกล เนื่องจากมีระบบการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ไม่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าจากไฟบ้าน ชาร์จไฟได้โดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์เพียงนำเครื่องวัดอากาศไปตั้งไว้ในพื้นที่ที่ต้องการวัดสภาพอากาศก็สามารถประมวลผลออกมาได้ จุดเด่นของสถานีวัดอากาศชุดนี้คือ มีตัวหัววัดหลายแบบ ครบตามข้อมูลที่ต้องการวัดสภาพอากาศ ไม่ต้องเสียเวลาเข้าไปทำการตรวจวัดตามพื้นที่ต่างๆ หากต้องการทราบสภาพบรรยากาศในพื้นที่ใด ระบบจะทาการตรวจสอบข้อมูลผ่านจอมอนิเตอร์ได้ทันที

ภาพที่ 3 เครื่องวัดแบบอัตโนมัติ

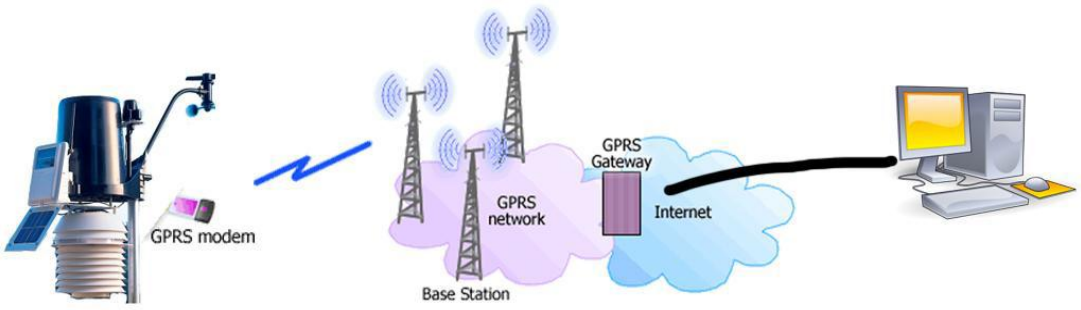
2.3.1 ประโยชน์ของระบบ Wireless LAN

1. สะดวกในการเคลื่อนย้าย ติดตั้ง เนื่องจาก WLAN ไม่จาเป็นต้องมีสายเคเบิ้ลในการต่อ
2. ง่ายในการติดตั้ง เพราะไม่จาเป็นต้องเดินสายเคเบิ้ล
3. ลดค่าใช้จ่าย เนื่องจากไม่ต้องจาเป็นต้องเสียค่าบารุงรักษา ในระยะยาว
4. สามารถขยายเครือข่ายได้ไม่จากัด

2.3.2 ลักษณะทั่วไปของเครื่องมือตรวจวัด การจัดเก็บข้อมูลและการสื่อสารข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาแบบอัตโนมัติ

เครื่องตรวจวัดอากาศแบบอัตโนมัตินั้นจะมีตัว Sensors สำหรับการวัดต่างๆที่เราต้องการจะทราบค่าโดยส่วนใหญ่จะมีการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ความเข้มของแสงอาทิตย์ และค่ารังสี UV โดยเครื่องสามารถนาไปตั้งในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ก็ได้ โดยเครื่องสามารถจะใช้แสงอาทิตย์ในการทำงานของเครื่อง ส่วนการรับข้อมูลก็จะขึ้นอยู่กับตัวรับส่งสัญญาณโดยส่วนใหญ่จะใช้สัญญาณวิทยุ หรือสัญญาณโทรศัพท์ แบบใช้สัญญาณวิทยุนั้นจะส่งข้อมูลเข้ากับตัวรับสัญญาณซึ่งจะเป็นของตัวเครื่องนั้นๆ แล้วใช้ตัว Data Logger ในการเก็บค่า และดึงข้อมูล ส่วนของระบบโทรศัพท์ก็จะใช้สัญญาณโทรศัพท์ในการเชื่อมต่อ Internet และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายพร้อมแสดงค่าผ่านบนเว็บไซต์ และเว็บข้อมูลลงบน Data Base ที่อยู่บนเว็บไซต์นั้นๆ

ภาพที่ 4 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องตรวจวัดอากาศในระบบสัญญาณวิทยุ



ภาพที่ 5 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องตรวจวัดอากาศในระบบสัญญาณโทรศัพท์

2.4 การหาปริมาณการใช้น้ำอ้างอิง

2.4.1 การหาปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงด้วยสมการ FAO Penman-Monteith

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (ET computed from metrological data) เป็นวิธีการที่ไม่ได้วัดปริมาณน้ำที่ระเหยไปโดยตรงแต่จะใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการระเหยนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์กับการระเหยซึ่งอาจแบ่งตามชนิดของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่นำมาใช้เป็น 3 กลุ่มได้แก่

- วิธีคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิ
- วิธีคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์
- วิธีคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ข้อมูลหลายชนิดร่วมกันเช่นวิธีของ Penman

วิธีของ Penman นั้นอาจนับอยู่ในกลุ่มการคำนวณจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาด้วยเนื่องจากในเบื้องต้น Penman ได้ใช้วิธีการทางสถิติคำนวณจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในหลายๆส่วนของสมการแต่ภายหลังได้มีการพัฒนาสมาการเพิ่มเติมโดยได้นำทฤษฎีที่เกี่ยวกับกระบวนการระเหยมาใช้

สำหรับในประเทศไทยวิธีการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตามแนวทางของ Penman เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมใช้มากกว่าวิธีการคำนวณโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิหรือโดยใช้ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ถึงแม้ว่าการหาโดยใช้อุณหภูมิและรังสีแสงอาทิตย์จะต้องการข้อมูลและมีความซับซ้อนในการคำนวณ น้อยกว่าแต่เนื่องจากวิธีของ Penman ได้รวบรวมองค์ประกอบทุกอย่างที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืชมาอยู่ในสมการจึงให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ (วิบูลย์, 2526)

การหาปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงสมการของ FAO Penman – Monteith

สมการของ Penman (เพนแมน) ได้เสนอไว้ตั้งแต่ปี ค.ศ.1948 โดย Penman ได้พัฒนาสมการโดยการผสมผสานวิธีการคำนวณการระเหยน้ำตามหลักสมดุลพลังงานที่พื้นผิว (surface energy balance) เข้ากับวิธีการคำนวณการระเหยน้ำตามหลักการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) สมการดั้งเดิมของ Penman นั้นพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณการระเหยน้ำจากผิวน้ำ

สมการของ Penman มีการปรับปรุงมาตลอดช่วงเวลากว่า 60 ปีที่ผ่านมา แต่เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้ว หลักการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณการระเหยของสมการ Penman ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก โดยองค์ประกอบหลักในสมการ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ

- สมดุลพลังงานการแผ่รังสี (radiation balance)
- องค์ประกอบด้านการไหลเวียนของมวลอากาศ (aerodynamic term) e s

สมการ Penman-Montieth

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

2.5 การประมาณปริมาณการใช้น้ำของพืชจากปริมาณการระเหยจากถาดวัด

ถาดวัดการระเหยเป็นเครื่องมือหลักของการประมาณปริมาณการใช้น้ำของพืช จากปริมาณการระเหยจากถาดวัด (ET Estimated from pan evaporation) โดยถาดวัดวัดการระเหยนั้นมีอยู่หลายรูปแบบ ในที่นี้ใช้ถาดวัดการระเหยแบบ Class A ที่ใช้งานในสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่เป็นถาดวัดการระเหยแบบ Class A ซึ่งเป็นมาตรฐานขององค์กรอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization, WMO) (เอกสิทธิ์, 2547)

ค่าปริมาณการระเหยน้ำที่วัดได้จากถาดวัดการระเหยยังไม่เป็นค่าเดียวกับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของถาดวัดการระเหยกับลักษณะพื้นผิวอ้างอิงอิงมีความแตกต่างกัน อาทิ ค่าสะท้อนพื้นผิว (Albedo) ของน้ำในถาด ซึ่งมีค่าประมาณ 0.05 ถึง 0.08 ในขณะที่พืชพรรณทั่วไป มีค่าการสะท้อนพื้นผิวประมาณ 0.20 ถึง 0.25 (พืชอ้างอิง เท่ากับ 0.23) ดังนั้นจึงเป็นผลทำให้น้ำในถาดวัดการระเหยจะได้รับพลังงานสุทธิมากกว่า เนื่องจากมีการสะท้อนพลังงานออกไปน้อยกว่านอกจากนี้ การเก็บกักความร้อนของน้ำในถาดวัดก็มีผลทำให้น้ำยังคงมีการระเหยต่อเนื่อง แม้ว่าในช่วงไม่มีแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ อาทิ ในเวลากลางคืน ซึ่งต่างกับพืชส่วนใหญ่ที่มีการคายน้ำในเวลากลางวันเท่านั้น

ดังนั้น ในคู่มือFAO-24 จึงได้แนะนำค่าปรับแก้สำหรับการหาการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากข้อมูลของถาดวัดการระเหยดังสมการ

$$ETo = Kp \times Epan$$

โดยที่

ETo = การคายระเหยอ้างอิง (Reference evapotranspiration)

Epan = การระเหยจากถาดวัด (Pan evaporation)

Kp = สัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหย (Pan coefficient)

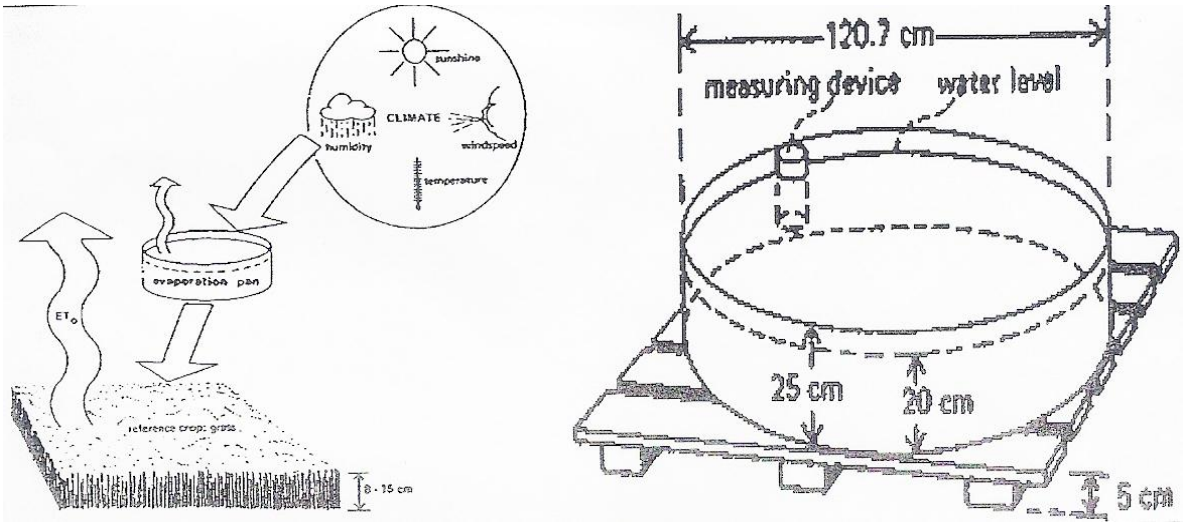
การหาค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ของถาดวัดการระเหย (Kp) จะพิจารณา ปัจจัย 3 ประการ ได้แก่ สิ่งแวดล้อมรอบๆ บริเวณที่ถาดตั้งอยู่ (Fetch (m)) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (RHmean[%]) และความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตร ($U_2[ms^{-1}]$)

สิ่งแวดล้อมรอบๆ บริเวณที่ถาดตั้งอยู่ (Fetch) เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งมีผลต่อปริมาณการระเหยของถาดเป็นอย่างมาก สามารถแยกได้เป็น 2 กรณี คือ

1. Class A เป็นกรณีที่ถาดตั้งในสิ่งแวดล้อมที่ชุ่มชื้น (Pan placed in short green cropped area) มีพืชพรรณในบริเวณใกล้เคียงเป็นระยะเท่ากับ fetch

2. Class B เป็นกรณีที่ถาดตั้งในสิ่งแวดล้อมที่แห้งแล้ง (Pan placed in dry fallow area) ซึ่งมีผลทำให้การระเหยจากถาดมีค่าสูงมากขึ้น

โดยปกติแล้วข้อมูลของสิ่งแวดล้อมรอบถาดวัดการระเหย หรือ Fetch มักจะไม่สามารถหาได้ในทางปฏิบัติการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การระเหย เฉพาะกรณีของประเทศไทย การเลือก Case A ค่อนข้างสมเหตุสมผลกว่า เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตชุ่มชื้น และบริเวณที่ตั้งถาดวัดการระเหยมักจะมีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ใกล้เคียง



ภาพที่ 6 ถาดวัดการระเหยแบบ Class A pan

2.6 ถั่วเขียว(mungbean)

2.6.1 ชื่อวิทยาศาสตร์ ***Vigna radiata*** **L.**

2.6.2 การจำแนกทางพฤกษศาสตร์

Class	Angiospermae
Subclass	Dicotyledonae
Family	Papilionaceae
Genus	Vigna
Species	radiata

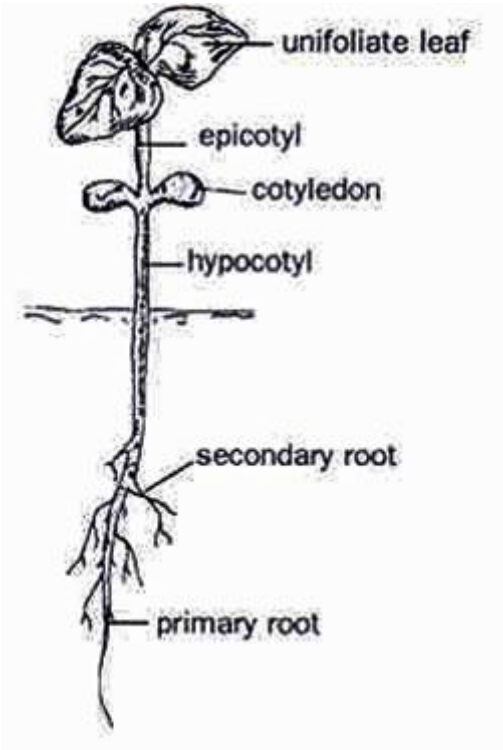
2.6.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

1) ราก

ระบบรากเป็นแบบรากแก้ว (tap root system) ประกอบด้วย รากแก้ว (primary root หรือ tap root) ที่เจริญมาจากแรดิเคิล (radicle) มีรากแขนง (secondary root หรือ lateral root) เจริญออกจากรากแก้ว บริเวณรากมีปม (nodule) เกิดจากแบคทีเรียไรโซเบียม (*Rhizobium japonicum*) เข้าไปอาศัยอยู่

1) **ลำต้น**

ลำต้นตั้งตรงเป็นพุ่ม สูงประมาณ 40-80 เซนติเมตร มีการแตกกิ่ง ลำต้นในระยะต้นอ่อน (ภาพที่ 12-1) ประกอบด้วย ส่วนที่อยู่เหนือใบเลี้ยง (epicotyl) ใบเลี้ยง (cotyledon) และส่วนที่อยู่ใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) และมีขนอ่อน (pubescence หรือ trichome หรือ hair) ปกคลุมอยู่ทั่วไป แต่ไม่มากเท่าที่พบในถั่วเหลือง



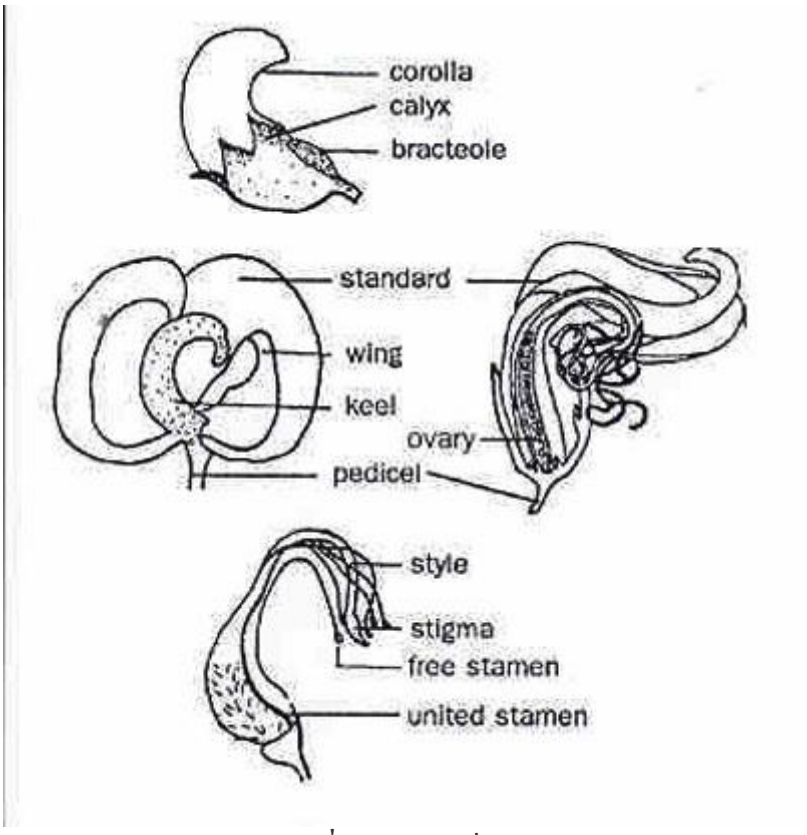
ภาพที่ 7 ลำต้นของถั่วเขียว

2) **ใบ**

ระยะต้นอ่อนมีใบเลี้ยง (cotyledon หรือ seed leaf) ใบจริงคู่แรกซึ่งเป็นใบเดี่ยว (unifoliate leaf) ใบจริงที่เกิดขึ้นต่อมาเป็นใบประกอบ แบบ trifoliolate มี 3 ใบย่อย คือ ใบย่อยด้านปลาย (terminal leaflet) 1 ใบ และใบย่อยด้านข้าง (lateral leaflet) 2 ใบ ที่โคนของก้านใบประกอบ (petiole) มีหูใบ (stipule) 2 อัน ส่วนโคนของก้านใบย่อย (petiolule) มีหูใบย่อย (stipel) 1 อัน แกนของก้านใบประกอบระหว่างรอยต่อของก้านใบย่อยด้านปลายและก้านใบย่อยด้านข้าง เรียกว่า rachis

3) **ช่อดอกและดอก**

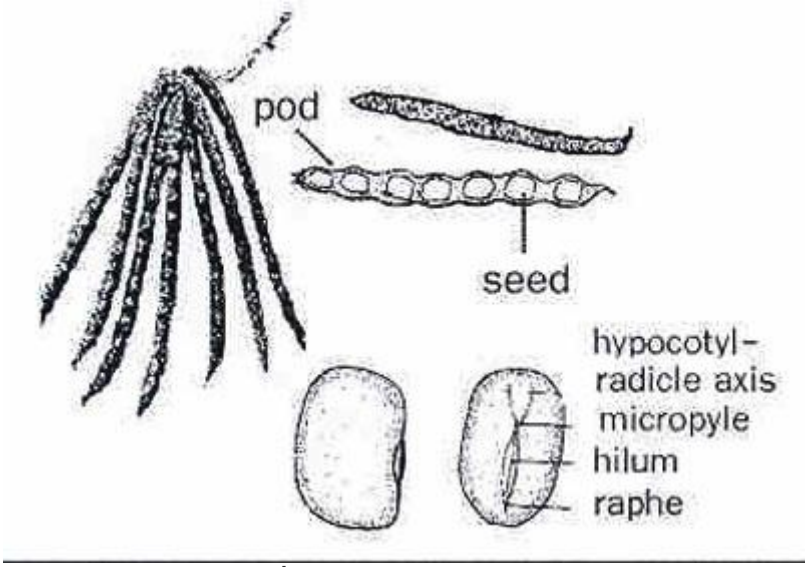
ช่อดอกเป็นแบบ raceme ดอกมีลักษณะเฉพาะเรียกว่า papilionaceous flower ประกอบด้วย กลีบเลี้ยง (sepal) มีส่วนฐานเชื่อมติดกัน (calyx tube) กลีบดอก (petal) 5 กลีบ ได้แก่ กลีบขนาดใหญ่ (banner หรือ standard) 1 กลีบ กลีบขนาดกลางที่อยู่ด้านข้าง (wing) 2 กลีบ และกลีบขนาดเล็ก (keel) 2 กลีบ (ภาพที่ 12-2) เกสรตัวผู้ (stamen) เป็นแบบ diadelphous คือมี 9 อันที่ filament เชื่อมติดกัน (united stamen หรือ fused stamen) และอีก 1 อัน ที่ filament แยกเป็นอิสระ (free stamen หรือ separated stamen) เกสรตัวเมีย (pistil) ที่มียอดเกสรตัวเมีย (stigma) ก้านชูเกสรตัวเมีย (style) และรังไข่ (ovary) เป็นแบบ unicarpellate มีออวุล(ovule) 3-5 ออวุล ที่โคนของก้านดอก (pedicel) มี prophyll 2 อัน ซึ่งต่อมากลายเป็น bracteole ส่วนโคนของก้านช่อดอก (peduncle) มี prophyll 2 อัน ซึ่งต่อมากลายเป็น bract



ภาพที่ 8 ดอกของถั่วเขียว

4) **ผลและเมล็ด**

ผลเป็นแบบ legume เรียกทั่วไปว่าฝัก (pod) เมล็ดมีรูปร่างกลมรี หรือรูปไข่ ประกอบด้วย เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ testa) รอยแผลหรือเปลือกตา (hilum หรือ seed scar) มีรูเล็กๆ (micropyle) เกิดจากเนื้อเยื่อ integument ของรังไข่ ที่ปลายอีกข้างหนึ่งของรอยแผล มีร่องเล็กๆ (raphe) ที่เกิดจากการเกาะของ integument กับผนังรังไข่ ใบเลี้ยง (cotyledon หรือ lateral divergence) และแกนต้นอ่อน (primary axis หรือ embryonic axis) ประกอบด้วยส่วนของพลูมูล (plumule) และแกนของ hypocotyl-radicle axis ซึ่งอยู่บริเวณด้านเดียวกับ micropyle (ภาพที่ 12-3)



ภาพที่ 9 ผลและเมล็ดของถั่วเขียว

2.6.3 พันธุ์แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ถั่วเขียวผิวมัน ได้แก่ พันธุ์อู่ทอง 1 กำแพงแสน 1 ชัยนาท 60 และ 36, มอ. 1 เป็นต้น

2. ถั่วเขียวผิวดำ ได้แก่ พันธุ์อู่ทอง 2 และพิษณุโลก 2 ซึ่งมีตลาดรับซื้อจำกัดกว่าถั่วเขียวผิวมัน

1. ลักษณะประจำพันธุ์ถั่วเขียวผิวมัน

1) พันธุ์อู่ทอง 1 ฝักแก่สีดำและค่อนข้างยาว ไม่แตกง่าย เมล็ดสีเขียวมัน อายุเก็บเกี่ยว 60-70 วัน ให้ผลผลิต 165 กิโลกรัม/ไร่ ไม่ต้านทานโรคใบจุด จึงควรปลูกในฤดูแล้ง ลักษณะเด่น ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้กว้าง และทนทานต่อสภาพดินด่าง เช่น ดินชุดตาคลี (ความเป็นกรด-ด่างของดิน 7-8) ลักษณะด้อย ฝักอยู่ในทรงพุ่มทำให้มีปัญหาเวลาเก็บเกี่ยวอ่อนแอต่อโรคใบจุดและราแป้ง และการหักล้มของลำต้นค่อนข้างสูง

2) พันธุ์กำแพงแสน 1 ฝักแก่สีดำ เมล็ดสีเขียวมัน อายุเก็บเกี่ยว 65-75 วัน ให้ผลผลิต 202 กิโลกรัม/ไร่ สามารถปลูกได้ตลอดปีในเขตชลประทาน ลักษณะเด่น ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้กว้าง ฝักอยู่เหนือทรงพุ่ม ต้านทานต่อการหักล้ม ต้านทานต่อโรคใบจุดและราแป้งปานกลาง ลักษณะด้อย ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำเมื่อปลูกในดินด่าง

3) พันธุ์กำแพงแสน 2 ฝักแก่สีดำ เมล็ดสีเขียวมัน อายุเก็บเกี่ยว 65-75 วัน ให้ผลผลิต 189 กิโลกรัม/ไร่ สามารถปลูกได้ตลอดปี ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์กำแพงแสน 1 เมื่อปลูกในฤดูแล้งนอกเขตชลประทาน ลักษณะเด่น ฝักอยู่เหนือทรงพุ่ม ต้านทานต่อการหักล้มในระดับสูงต้านทานต่อโรคใบจุดและราแป้ง ลักษณะด้อย ให้ผลผลิตต่ำเมื่อปลูกในดินด่าง

4) พันธุ์ชัยนาท 60 ฝักแก่สีดำ เมล็ดสีเขียวมัน อายุเก็บเกี่ยว 55 วัน เป็นพันธุ์อายุสั้น แต่ฝักแก่จะแตกง่าย จึงควรปลูกในฤดูฝนให้ผลผลิต 175 กิโลกรัม/ไร่ ลักษณะเด่น อายุเก็บเกี่ยวสั้น ฝักอยู่เหนือทรงพุ่ม ทนทานต่อสภาพดินด่าง ลักษณะด้อย อ่อนแอต่อโรคราแป้ง และฝักแก่จะแตกง่าย

5) พันธุ์ชัยนาท 36 ฝักแก่สีดำ ฝักดก เมล็ดสีเขียวมัน อายุเก็บเกี่ยว 67 วัน สามารถปลูกได้ตลอดปี ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ลักษณะเด่น ให้ผลผลิตในทุกสภาพสูงกว่าพันธุ์มาตรฐานอื่น แม้แต่ปลูกในดินด่าง เมล็ดมีขนาดใหญ่และติดฝักดก ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาลปานกลาง และเมื่อนำเมล็ดไปเพาะจะได้ต้นถั่วงอกสีขาวตามความต้องการของตลาด

2. **ลักษณะประจำพันธุ์ ถั่วเขียวผิวดำ**

ถั่วเขียวผิวดำ มีพันธุ์ที่ใช้แนะนำส่งเสริม 2 พันธุ์ คือ พิษณุโลก 2 และอู่ทอง 2 ซึ่งมีข้อเปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ระหว่างพันธุ์พิษรุโลก 2 กับ พันธุ์อู่ทอง 2 ดังนี้ (การเปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ระหว่างถั่วเขียวผิวดำ 2 พันธุ์)

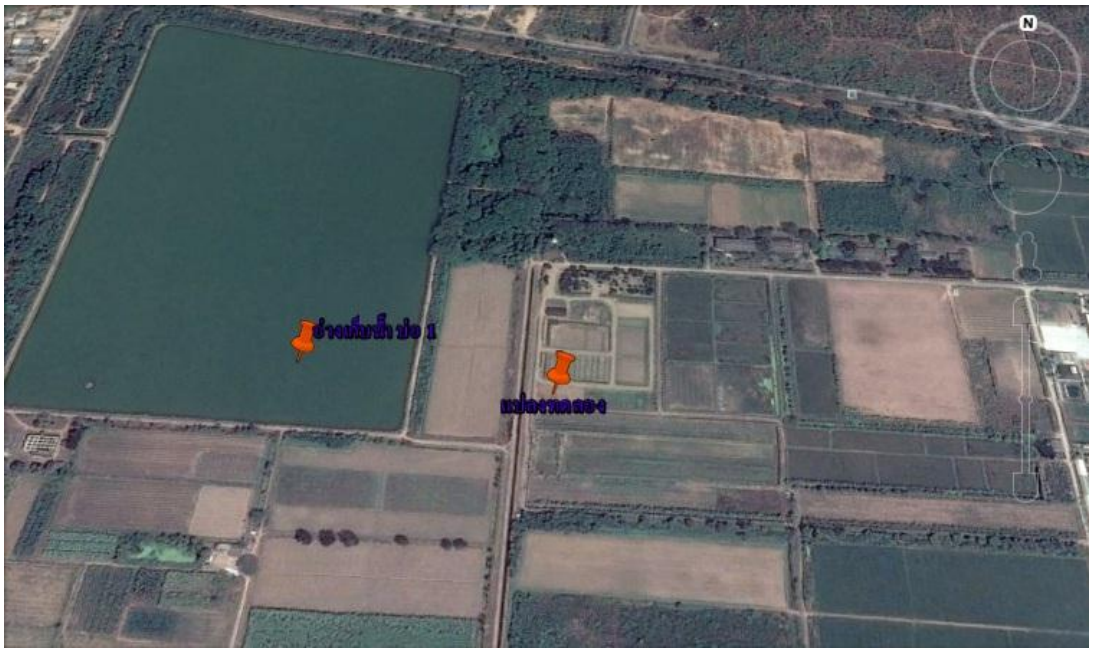
ลักษณะ	**พันธุ์พิษณุโลก 2**	**พันธุ์อู่ทอง 2**
ขนาดใบ	ปานกลาง	ใหญ่
การล้ม	ปานกลาง	มาก
อายุดอกบาน (วัน)	33	39
อายุเก็บเกี่ยว (วัน)	77	86
ความสูง	57	72
เมล็ดต่อฝัก	7	7
นน. 1,00 เมล็ด (กรัม)	50	44
ผลผลิต (กก./ไร่)		
-ฤดูแล้ง (ม.ค.)	190	171
-ฤดูฝน (ส.ค.)	229	238
องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด (% ต่อน้ำหนัก)		
แป้ง	43	40
โปรตีน	24.8	26.6
เยื่อใย	4.0	5.8
น้ำตาล	5.4	4.0

บทที่ 3

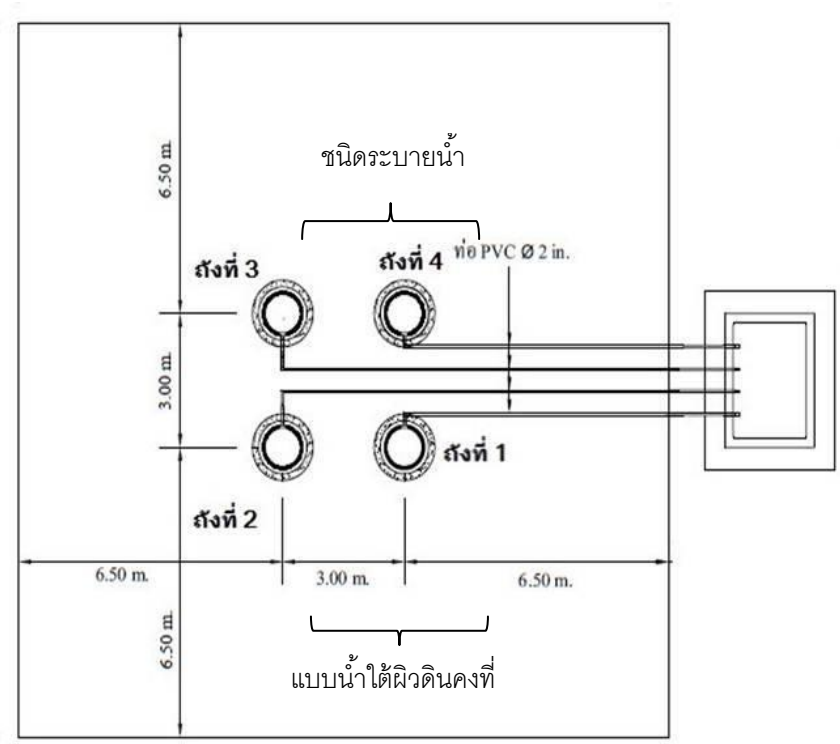
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 สถานที่ทำการศึกษาทดลอง

แปลงทดลองของภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม



ภาพที่ 10 แปลงทดลองของภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน



ภาพที่ 11 ตำแหน่งที่ตั้งถัง Lysimeters

3.2 วัสดุอุปกรณ์การทดลอง

3.2.1 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

- **จอบ** ใช้ในการขึ้นแปลงและขุดหลุมปลูกถั่วเขียว
- **บัวรดน้ำ** ใช้ตวงน้ำรดถั่วเขียวในการรดน้ำถั่วในถังวัดการใช้น้ำของพืชชนิดระบายน้ำ
- **ถังรองน้ำ** ใช้รองน้ำที่ระบายจากถังวัดการใช้น้ำของพืชชนิดระบายน้ำ
- **แก้วตวงวัดน้ำ** ใช้ตวงปริมาณน้ำที่ระบายออกมาจากถังวัดการใช้น้ำของพืชชนิดระบายน้ำ
- **ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง** ใช้เมื่อมีการรบกวนจากแมลงที่เป็นศัตรูพืช
- **เมล็ดพันธ์ ถั่วเขียว** ใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว พันธุ์อู่ทอง 2

ภาพที่ 12 จอบ

ภาพที่ 13 เมล็ดพันธ์ถั่วเขียว

ภาพที่ 14 ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง

ภาพที่ 15 ถังตวงน้ำ

ภาพที่ 16 บัวรดน้ำ

3.2.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

- ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำ
- ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่
- เครื่องตรวจวัดสื่อสารข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแบบอัตโนมัติ
- ถาดวัดการระเหย Class A Pan

ภาพที่ 17 เครื่องตรวจวัดสื่อสารข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแบบอัตโนมัติ

ภาพที่ 18 ถังวัดตัวอย่าง

ภาพที่ 19 ถาดวัดการระเหย Class A Pan

ภาพที่ 20 ถังบอกปริมาณการใช้น้ำแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่

ภาพที่ 21 ถังบอกปริมาณการใช้น้แบบระบายน้ำ

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การหาค่าการใช้น้ำของถั่วเขียว

1. การเตรียมแปลงทดลอง

1) ปรับปรุงพื้นที่และกำจัดวัชพืชในแปลงทดลองและบริเวณรอบๆโดยใช้รถไถและแรงงานคน

2) ไถพรวนดินตากไว้ประมาณ 7 วัน แล้วไถพรวนเก็บเอาเศษวัชพืชออก

3) ยกร่องแปลงขนาดกว้าง 0.6 เมตร สูง 30 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างร่องละ 0.6 เมตร จำนวน 6 แปลง โดยใช้พื้นที่ 14.65 × 9 ตารางเมตร

2. การปลูกและดูแลรักษา

1) คัดเลือกเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่มีความสมบูรณ์นำมาคลุกเมล็ดด้วยเชื้อไรโซเบียมสำหรับถั่วเขียว เนื่องจากในพื้นที่แปลงทดลองไม่เคยปลูกถั่วเขียวมาก่อน

2) นำเมล็ดถั่วเขียวลงปลูกด้วยวิธีการหยอด ขุดหลุมลึกประมาณ 10-20 เซนติเมตร หยอดเมล็ดถั่วเขียวลงในหลุมหลุมละประมาณ 2-3 เมล็ด โดยให้แต่ละหลุมห่างกันประมาณ 20 เซนติเมตร

3) ให้น้ำหลังจากหยอดเมล็ด 1 วัน เนื่องจากเราได้ทำการเพราะปลูกในฤดูแล้ง การให้น้ำชลประทาน เราจึงให้น้ำอย่างสม่ำเสมอทุก 10-14 วัน และหยุดให้น้ำเมื่อถั่วเขียวเจริญเติบโตถึงระยะฝักแรกเปลี่ยนเป็นสีดำ

3. การเก็บข้อมูล

1) ถังวัดการใช้น้ำของพืชชนิดระบายน้ำ

(1) วัดปริมาณน้ำที่ระบายออกจากถัง Lysimetersทั้ง 2 ถัง เพื่อนำไปลบออกจากน้ำชลประทานเป็นปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว

(2) รวบรวมข้อมูลภูมิอากาศรายวันและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) รายวัน

(3) รวบรวมข้อมูลการระเหยจากถาดวัดการระเหยโดยใช้ฮุกเกดทุกวันตลอดการเพาะปลูกเพื่อนำมาคูณกับสัมประสิทธิ์การระเหยหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

2) ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบน้ำใต้ผิวดิน

ทำการวัดค่าปริมาณของน้ำที่พืชใช้ไปในแต่ละวันจากถังจ่ายน้ำซึ่งจะทำการวัดค่าทุกวัน เวลา 17.00 น.

3.3.2 การหาค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากเครื่องมือตรวจวัดสื่อสารข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแบบอัตโนมัติ

1. ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดสื่อสารข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแบบอัตโนมัติ
2. ติดตั้งตัวรับข้อมูลอากาศไว้ในบริเวณห้องใต้ดิน
3. นำคอมพิวเตอร์มาโหลดข้อมูลจากเครื่องรับข้อมูล
4. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดย สมการ **Penman – Monteith** จะได้ข้อมูลการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากข้อมูลอากาศ (ETO)

3.3.3 การหาค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากถาดวัดการระเหยClass A Pan

1. ติดตั้งถังวัดการระเหยบริเวณแปลงทดลอง
2. นำน้ำใส่เข้าไปพร้อมบันทึกค่า (นิ้ว)
3. เมื่อผ่านไป 1 วัด มาวัดระดับที่ลดลงไป
4. นำข้อมูลที่ได้ มาคำนวณ หาปริมาณน้ำของพืชอ้างอิง (EPan)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ปริมาณการใช้น้ำของพืช

การศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration; ET) ครั้งแรกตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึง 8 พฤษภาคม 2557 รวม 10 สัปดาห์ ซึ่งกล่าวถึงตารางสรุปปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่วัดได้จากถาดวัดการระเหย Class A-pan (Epan) และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration; ETo) รายวันและรายสัปดาห์ รวมถึงภาพการเปรียบเทียบปริมาณการระเหย Class A-pan (Epan) และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo)

จากการศึกษาว่า ปริมาณการระเหยของถาดวัดการระเหย Class A-pan (Epan) และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.57 มิลลิเมตรต่อวัน และ 5.01 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) จะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันมากกว่าปริมาณการระเหยของถาดวัดการระเหย Class A-pan (Epan) และปริมาณการระเหยของถาดวัดการระเหย Class A-pan (Epan) จะมีค่ามากกว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo)

ปริมาณการระเหยของถาดวัดการระเหย Class A-pan (Epan) มีค่าต่ำสุด คือ 0.77 มิลลิเมตรต่อวัน มีค่าสูงสุด คือ 8.25 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่าที่ได้ในแต่ละวันจะมีความแตกต่างกันบ้างขึ้นอยู่กับสภาพอากาศที่เป็นปัจจัยต่อการระเหยของน้ำ

ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) มีค่าต่ำสุด คือ 3.22 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าสูงสุด คือ 6.36มิลลิเมตร

จะเห็นได้ว่าปริมาณการระเหยของถาดวัดการระเหย Class A-pan (Epan) และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) มีค่าที่ไม่ค่อยสอดคล้องกันซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนของถาดวัดการระเหย เช่น ปริมาณน้ำฝน หรือความชื้นในอากาศ

ตารางที่ 1 สรุปปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงรายวัน ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์2557 ถึง 8 พฤษภาคม 2557

วันที่	มม./วัน	
	ETo (Epan)	ETo (PM)
28/2/2014	4.59	4.90
1/3/2014	4.68	4.69
2/3/2014	4.93	4.96
3/3/2014	2.98	4.86
4/3/2014	2.81	4.87
5/3/2014	6.46	4.88
6/3/2014	4.00	4.78
7/3/2014	2.81	4.94
8/3/2014	4.59	5.08
9/3/2014	4.51	4.63
10/3/2014	4.08	5.13
11/3/2014	5.36	4.78
12/3/2014	3.57	4.98
13/3/2014	3.57	5.13
14/3/2014	5.78	5.09
15/3/2014	2.64	4.27
16/3/2014	3.83	3.86
17/3/2014	2.98	3.28
18/3/2014	3.83	5.17
19/3/2014	7.82	5.21
20/3/2014	3.57	5.26
21/3/2014	4.59	4.76
22/3/2014	3.15	3.35
23/3/2014	5.70	3.54
24/3/2014	1.87	4.57
25/3/2014	6.21	4.92
26/3/2014	3.40	5.06
27/3/2014	6.46	5.49
28/3/2014	3.83	5.10
29/3/2014	4.00	5.37
30/3/2014	6.89	5.46
31/3/2014	2.55	5.61
1/4/2014	5.95	5.49
2/4/2014	3.83	5.43

วันที่	มม./วัน	
	ETo (Epan)	ETo (PM)
3/4/2014	5.70	5.23
4/4/2014	1.96	4.34
5/4/2014	4.76	4.40
6/4/2014	5.53	5.01
7/4/2014	5.53	6.14
8/4/2014	5.36	5.93
9/4/2014	4.85	5.88
10/4/2014	3.06	5.44
11/4/2014	6.89	5.49
12/4/2014	3.49	5.07
13/4/2014	7.23	4.35
14/4/2014	4.59	4.86
15/4/2014	3.23	3.69
16/4/2014	3.15	5.24
17/4/2014	2.89	5.30
18/4/2014	7.99	5.41
19/4/2014	4.68	5.19
20/4/2014	4.93	5.42
21/4/2014	5.44	5.33
22/4/2014	4.51	6.24
23/4/2014	4.76	5.28
24/4/2014	2.72	5.13
25/4/2014	6.38	5.80
26/4/2014	6.55	6.05
27/4/2014	4.08	6.36
28/4/2014	4.59	5.71
29/4/2014	4.25	3.81
30/4/2014	0.77	5.12
1/5/2014	4.76	5.81
2/5/2014	5.70	3.22
3/5/2014	4.17	5.57
4/5/2014	6.12	3.81
5/5/2014	4.76	5.60
6/5/2014	-	5.30
7/5/2014	8.25	4.28
8/5/2014	3.83	5.30
ค่าเฉลี่ย	4.57	5.01

หมายเหตุ - คือข้อมูลที่มีความผิดปกติ ไม่สามารถนำค่ามาใช้ค่าได้ ETo (Epan) คือค่าการใช้น้ำอ้างอิงของพืชที่วัดได้จากถาดการระเหย ETo (PM) คือค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่มาจากสมการ Penman-Montieth

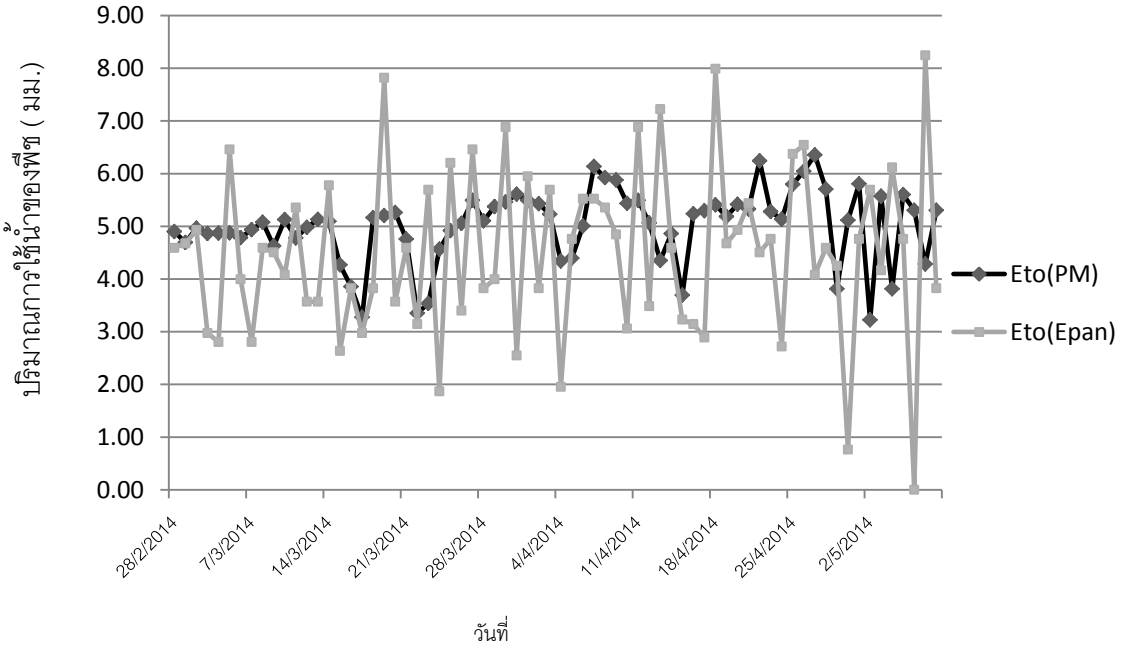
ตารางที่ 2 สรุปปริมาณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงรายสัปดาห์ ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึง 8 พฤษภาคม 2557

สัปดาห์	ETo (Epan)	ETo (PM)
1	3.58	4.07
2	3.35	4.17
3	3.58	3.80
4	3.69	3.70
5	3.85	4.36
6	4.80	4.75
7	4.50	4.90
8	4.12	4.51
9	3.69	4.34
10	4.40	3.89
ค่าเฉลี่ย	**4.50**	**5.01**

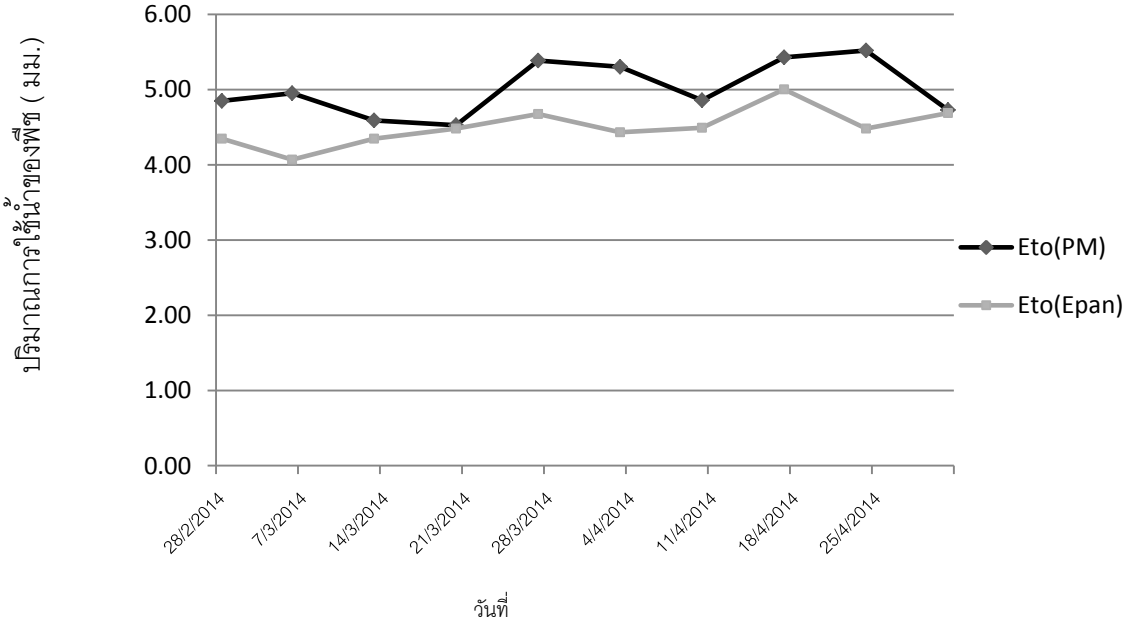
จากการศึกษาว่า ปริมาณการระเหยของถาดวัดการระเหย Class A-pan ETo (Epan) และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ETo (PM) จะเห็นว่าปริมาณการระเหยของถาดวัดการระเหย Class A-pan ETo (Epan) มีค่ามากกว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ETo (PM)

ปริมาณการระเหยของถาดวัดการระเหย Class A-pan ETo (Epan) ในสัปดาห์ที่ 2 มีค่าต่ำสุดคือ 3.35 มิลลิเมตรต่อวัน และสัปดาห์ที่ 6 มีค่าสูงสุด คือ 4.8 มิลลิเมตรต่อวัน

ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ETo (PM) ในสัปดาห์ที่ 10 มีค่าต่ำสุดคือ 3.89 มิลลิเมตรต่อวันและสัปดาห์ที่ 7 มีค่าสูงสุด คือ 4.90 มิลลิเมตรต่อวัน



ภาพที่ 22 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่วัดมาจากการระเหยของถาดวัดการระเหย Class A-pan และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) รายวัน ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึง 8 พฤษภาคม 2557



ภาพที่ 23 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่วัดมาจากการระเหยของถาดวัดการระเหย Class A-pan และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) รายสัปดาห์ ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึง 8 พฤษภาคม 2557

4.2 ปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว

การศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืช ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึง 8 พฤษภาคม 2557 ในที่นี้ใช้ถั่วเขียวในการทดลองซึ่งกล่าวถึงตารางสรุปปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว(ET) รายวันและรายสัปดาห์

จากการศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืชจะเห็นว่าปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4-5 มิลลิเมตรต่อวัน มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 8.0 มิลลิเมตรต่อวัน ถังวัดการใช้น้ำของพืชถังที่ 1 และ 2 มีค่าสูงสุดคือ 7.86 มิลลิเมตรต่อวัน ถังวัดการใช้น้ำของพืชถังที่ 3 มีค่าต่ำสุดคือ 1.47 มิลลิเมตรต่อวัน โดยถังวัดการใช้น้ำของพืชถังที่ 1 และถังที่ 2 มีค่าปริมาณการใช้น้ำใกล้เคียงกันที่สุดเนื่องจากเป็นถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบน้ำใต้ดินคงที่เหมือนกัน และถังที่ 3 และถังที่ 4 มีค่าปริมาณการใช้น้ำใกล้เคียงกันที่สุดเนื่องจากเป็นถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำเหมือนกัน

ถังวัดการใช้น้ำของพืชถังที่ 3 และ 4 ในช่วงแรกมีการผิดพลาดของข้อมูลหลายวันซึ่งอาจเกิดจากการที่ดินในยังไม่อิ่มตัวด้วยน้ำมีปริมาณน้ำฝนเข้ามาเกี่ยวข้อง และในช่วงท้ายการผิดพลาดของมูลอาจเกิดจากถังมีใบไม้หรือมีเศษวัสดุเข้าไปอุดตัน

จะเห็นได้ว่าถังวัดการใช้น้ำของพืชถังที่ 3 และ 4 รายวันซึ่งเป็นแบบระบายน้ำมีข้อมูลที่ไม่แน่นอนและมีการผิดพลาดของข้อมูลค่อนข้างมากไม่ควรนำมาใช้วิเคราะห์ ควรนำไปเฉลี่ยเป็นรายสัปดาห์

ตารางที่ 3 สรุป ปริมาณการใช้น้ำถั่วเขียว (ET) ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 8 พฤษภาคม 2557

วันที่	มม./วัน			
	ET1	ET2	ET3	ET4
28/2/2014	0.54	0.18	8.42	9.58
1/3/2014	0.71	0.36	2.32	7.47
2/3/2014	0.36	0.36	5.26	8.00
3/3/2014	1.61	1.07	6.42	8.26
4/3/2014	2.14	1.79	7.26	8.53
5/3/2014	2.50	2.14	7.58	7.37
6/3/2014	2.14	1.79	6.00	7.05
7/3/2014	3.57	3.22	2.95	7.58
8/3/2014	2.50	2.86	3.90	7.47
9/3/2014	2.50	2.68	3.90	6.53
10/3/2014	2.68	2.68	1.47	6.95
11/3/2014	2.86	2.68	3.79	7.26
12/3/2014	2.14	2.50	4.95	7.47
13/3/2014	1.79	1.79	0.84	7.37
14/3/2014	1.43	1.61	~~0.74~~	7.58
15/3/2014	2.14	1.97	3.16	7.26
16/3/2014	1.79	2.14	7.26	7.26
17/3/2014	1.79	1.97	6.95	6.95
18/3/2014	1.79	1.79	4.53	6.11
19/3/2014	1.79	1.79	-	6.00
20/3/2014	1.79	2.14	-	6.32
21/3/2014	2.14	2.14	8.74	8.74
22/3/2014	0.36+5	0.36+5	2.11	6.63
23/3/2014	0.36+5	0.54+5	4.21	6.95
24/3/2014	0.18+5	0.18+5	5.37	6.63
25/3/2014	0.18+5	0.18+5	4.11	6.53
26/3/2014	0.18+5	0.18+5	5.37	6.84
27/3/2014	0.18+5	0.36+5	6.84	6.84
28/3/2014	0.18+5	0.36+5	7.58	7.58
29/3/2014	1.79	2.14	2.00	7.69
30/3/2014	3.57	3.57	2.11	7.69
31/3/2014	3.57	3.57	1.90	8.00

วันที่	มม./วัน			
	ET1	ET2	ET3	ET4
1/4/2014	5.00	5.36	4.95	8.21
2/4/2014	5.00	5.90	6.63	7.90
3/4/2014	5.72	5.72	7.16	8.42
4/4/2014	6.08	6.79	6.42	8.84
5/4/2014	6.08	6.43	6.95	9.05
6/4/2014	5.36	7.15	7.47	9.26
7/4/2014	7.86	7.86	7.79	9.26
8/4/2014	7.15	7.86	7.90	9.48
9/4/2014	7.51	7.86	8.32	9.69
10/4/2014	7.51	7.86	8.32	9.79
11/4/2014	7.15	7.15	8.63	9.90
12/4/2014	7.51	7.86	8.84	8.63
13/4/2014	7.15	7.51	9.05	8.84
14/4/2014	7.51	7.68	9.26	9.26
15/4/2014	7.51	7.51	9.26	9.26
16/4/2014	7.15	7.15	9.48	9.48
17/4/2014	7.51	7.86	9.69	9.69
18/4/2014	7.51	7.51	9.79	9.79
19/4/2014	7.51	7.68	9.90	9.69
20/4/2014	7.51	7.51	9.69	9.48
21/4/2014	7.15	7.51	9.69	8.95
22/4/2014	7.51	7.15	9.69	8.42
23/4/2014	7.15	7.15	6.74	7.69
24/4/2014	5.54	5.54	7.37	7.37
25/4/2014	6.25	6.08	7.79	3.37
26/4/2014	6.61	6.43	8.53	7.79
27/4/2014	6.79	6.79	9.05	8.53
28/4/2014	5.54	5.54	9.37	9.48
29/4/2014	6.25	6.08	9.79	9.79
30/4/2014	6.43	6.25	9.90	9.90
1/5/2014	6.43	6.43	9.48	9.05
2/5/2014	4.65	5.36	9.48	6.63
3/5/2014	5.00	5.90	9.26	7.16
4/5/2014	5.72	5.72	9.37	7.58
5/5/2014	6.08	6.79	7.37	8.00

วันที่	มม./วัน			
	ET1	ET2	ET3	ET4
6/5/2014	6.08	6.43	4.53	8.21
7/5/2014	6.08	6.25	6.11	7.90
8/5/2014	5.18	5.36	4.74	8.42
ค่าเฉลี่ย	4.67	4.74	6.92	8.07
ปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดิน				
9/5/2014	6.61	6.43	5.47	8.63
10/5/2014	6.61	6.08	5.47	8.84
11/5/2014	5.90	5.90	17.97	9.05
12/5/2014	5.72	5.90	7.05	9.16
13/5/2014	4.29	5.00	6.63	9.16
14/5/2014	5.72	5.90	7.37	9.16
15/5/2014	6.25	5.90	7.79	9.37
16/5/2014	7.15	6.79	8.63	9.48
17/5/2014	7.15	7.15	8.95	9.58
18/5/2014	7.51	7.15	9.37	9.79
19/5/2014	7.86	6.79	9.48	9.79
20/5/2014	7.51	7.15	9.69	2.11
21/5/2014	7.15	6.79	9.69	2.11
22/5/2014	6.79	6.97	9.79	2.00
23/5/2014	6.79	7.15	9.90	5.79
24/5/2014	6.08	7.15	9.16	7.37
25/5/2014	7.15	6.79	9.48	8.11
26/5/2014	6.08	6.43	9.48	8.74
27/5/2014	4.29	4.47	9.48	8.95
28/5/2014	4.65	4.47	9.37	9.37
29/5/2014	6.25	5.72	9.26	9.69
30/5/2014	5.36	5.36	9.16	9.79
31/5/2014	5.54	5.00	8.95	8.42
1/6/2014	4.82	4.65	8.11	8.32
2/6/2014	4.65	4.47	8.00	8.42
3/6/2014	3.75	3.75	8.21	8.53
4/6/2014	4.47	3.75	7.16	8.84
5/6/2014	3.04	3.75	6.95	8.74

วันที่	มม./วัน			
	ET1	ET2	ET3	ET4
6/6/2014	3.22	3.75	7.37	8.21
7/6/2014	4.47	4.29	7.90	8.42
8/6/2014	4.82	3.75	8.21	7.58
9/6/2014	3.04	4.11	7.79	7.26
10/6/2014	3.75	3.22	7.26	6.63
11/6/2014	2.50	2.32	6.63	6.74
12/6/2014	2.86	3.22	6.42	6.32

หมายเหตุ

- ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 1 (ET1) ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 2 (ET2) ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 3 (ET3) ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 4 (ET4)

- ในวันที่ 22-28 มีนาคม 2557 มีฝนตกจึงได้บวกปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่วันละ 5 มิลลิเมตร

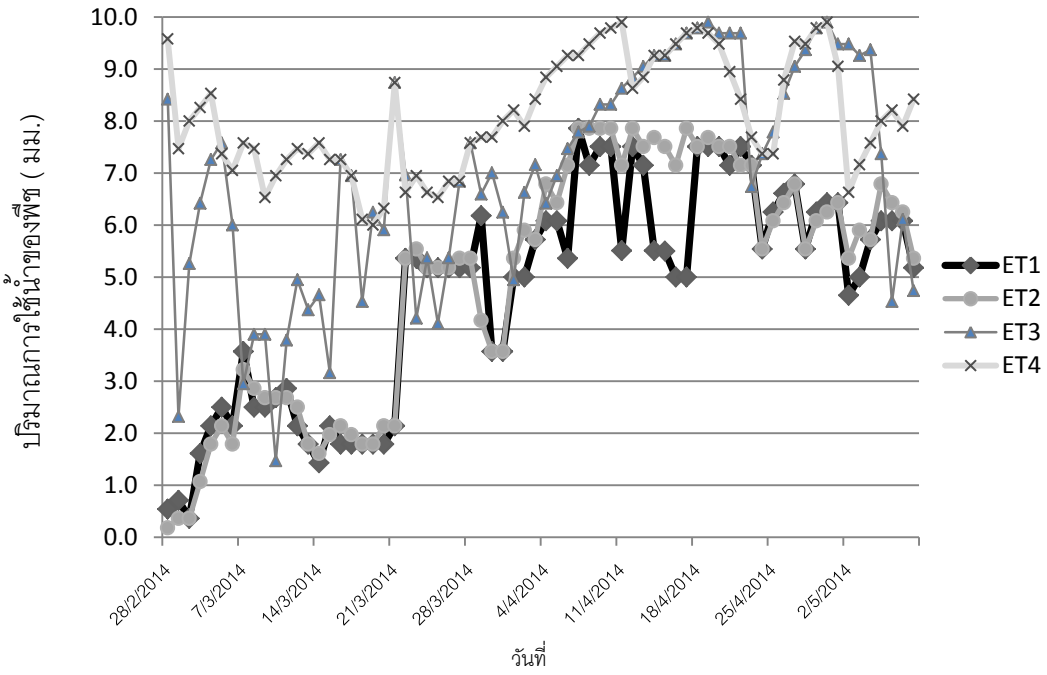
- ข้อมูลที่มีการขีดทับ คือข้อมูลที่ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ เนื่องจากเกิดความเสียหายกับข้อมูลและปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวนับถึง วันที่ 8 พฤษภาคม 2557 เท่านั้น โดยตั้งแต่วันที่ 9 พฤษภาคมเป็นต้นไป เป็นการให้น้ำที่เกินกว่าช่วงระยะการเติบโตของถั่วเขียวแล้ว

ตารางที่ 4 สรุป ปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว (ET) รายสัปดาห์ ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 8 พฤษภาคม 2557

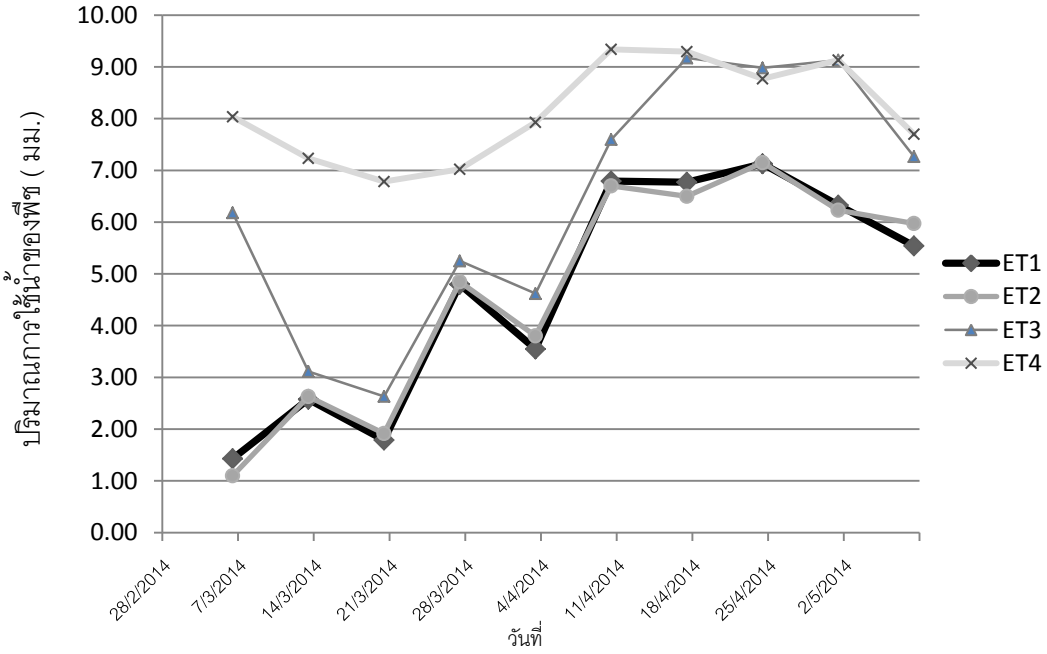
สัปดาห์	เฉลี่ย มม./วัน			
	ET1	ET2	ET3	ET4
1	1.43	1.10	6.18	8.04
2	2.58	2.63	3.11	7.23
3	1.79	1.92	2.63	6.78
4	~~0.51~~	~~0.56~~	5.25	7.02
5	3.55	3.80	4.62	7.93
6	6.79	7.40	7.60	9.34
7	7.36	7.53	9.17	9.29
8	7.13	7.15	8.98	8.77
9	6.33	6.23	9.13	9.13
10	5.54	5.97	7.27	7.70
ค่าเฉลี่ย	4.67	4.74	6.92	8.07

หมายเหตุ ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 1 (ET1)ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 2 (ET2) ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 3 (ET3) ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 4 (ET4), ค่าที่มีการขีดทับคือข้อมูลที่เสียหายไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้

จากการศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืช จะเห็นว่าปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวที่ได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืชทั้ง 4 ใบ ในแต่ละสัปดาห์มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ถังวัดการใช้น้ำของพืชถังที่ 1 และถังที่ 2 มีค่าปริมาณการใช้น้ำใกล้เคียงกันที่สุดเนื่องจากเป็นถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบน้ำใต้ดินดินคงที่เหมือนกัน และถังที่ 3 และถังที่ 4 มีค่าปริมาณการใช้น้ำใกล้เคียงกันที่สุดเนื่องจากเป็นถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำเหมือนกัน โดยมีปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวสูงสุดที่สัปดาห์ที่ 7 ที่ถังวัดการใช้น้ำของพืชถังที่ 4 คือ 9.29 มิลลิเมตรต่อวันและมีปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวต่ำสุดที่สัปดาห์ที่ 1 ที่ถังวัดการใช้น้ำของพืชถังที่ 2 คือ 1.10 มิลลิเมตรต่อวัน



ภาพที่ 24 ปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว (ET) รายวัน ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 8 พฤษภาคม 2557, เนื่องจากมีข้อมูลที่เสียหายจึงทำให้กราฟบางส่วนมีการขาดหาย



ภาพที่ 25 ปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว (ET) สัปดาห์ ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 8 พฤษภาคม 2557 จากภาพ จะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวที่ได้จากถังวัดการใช้น้ำทั้งสี่ 4 ในช่วงสัปดาห์ที่ 7 มีปริมาณการใช้น้ำสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 9.29 มิลลิเมตรต่อวัน และสัปดาห์ที่ 1 มีการใช้น้ำต่ำสุดที่ 1.10 มิลลิเมตรต่อวัน

4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ

สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียวตลอดการเพาะปลูกเป็นเวลา 70 วัน ณ แปลงทดลอง ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

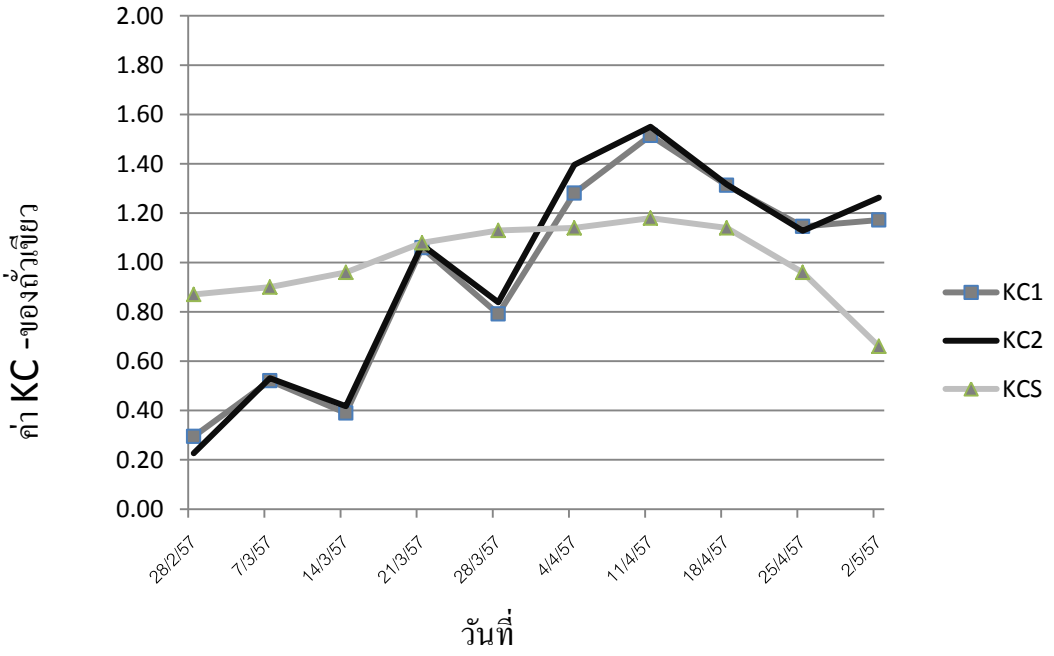
$$KC = \frac{ET}{ETo}$$

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว (Kc)

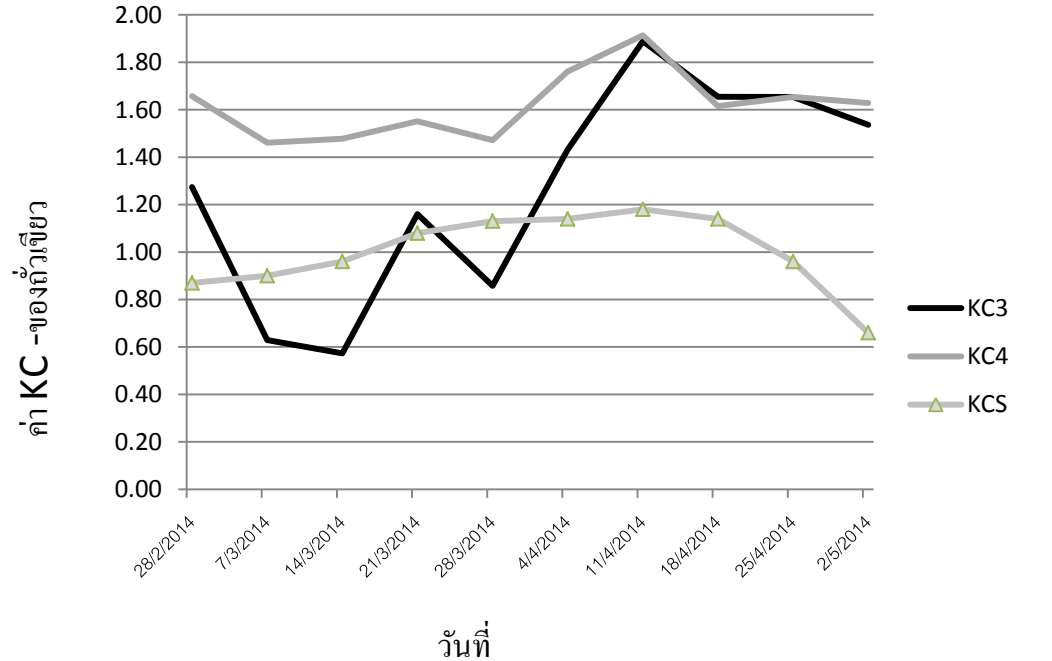
อายุ/วัน	เฉลี่ย มม./วัน					
	KC1	KC2	เฉลี่ย	KC3	KC4	เฉลี่ย KC3,4
7	0.29	0.23	0.26	1.27	1.66	1.47
14	0.52	0.53	0.53	0.63	1.46	1.04
21	0.39	0.42	0.40	0.57	1.48	1.03
28	~~0.14~~	~~0.15~~	~~0.15~~	1.16	1.55	1.36
35	0.66	0.71	0.68	0.86	1.47	1.16
42	1.28	1.26	1.27	1.43	1.76	1.60
49	1.28	1.23	1.25	1.73	1.75	1.74
56	1.31	1.32	1.31	1.65	1.62	1.63
63	1.15	1.13	1.14	1.65	1.65	1.65
70	1.17	1.26	1.22	1.54	1.63	1.58
ค่าเฉลี่ย	0.89	0.90	0.90	1.25	1.60	1.43

หมายเหตุ ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 1 (KC1), ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 2 (KC2), ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 3 (KC3), ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 4 (KC4)

* ค่าที่มีการขีดทับ คือค่าข้อมูลที่เกิดจากการผิดพลาดของข้อมูล ไม่นำไปวิเคราะห์ อาจเกิดจาความผิดปกติของถังไม่นำมาวิเคราะห์



ภาพที่ 26 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว (Kc) ของถังที่ 1, 2 และของกรมชลประทาน(KCS)



ภาพที่ 27 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว (Kc) ของถังที่ 3, 4 และของกรมชลประทาน (KCS)

จากภาพที่ 23 และ 24 แสดงให้เห็นถึงค่า สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว (Kc) ว่า ค่าที่ได้จากถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่ คือค่าของ ถังที่ 1และ 2 มีความใกล้เคียงกับ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว (Kc) มาตรฐานของกรมชลประทานมากกว่า ถังที่ 3และ 4

- ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว

ค่า Kc ini ของถั่วเขียวในช่วงตั้งต้น เท่ากับ 0.86

ค่า Kc mid ของถั่วเขียวในช่วงการเพาะปลูก เท่ากับ 1.77

จะเห็นว่าค่า KC ในช่วงสุดท้ายมีค่าค่อนข้างสูงกว่าปกติซึ่งเกิดจากการหาปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวสิ้นสุดแล้วยังมีการให้น้ำต่อจนถึงถั่วมีอายุ 105 วัน จึงทำให้ไม่สามารถหาค่า KC ในช่วง end ได้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เนื่องด้วยได้ทำการติดตั้งถังวัดปริมาณการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) แบบระบายน้ำที่บริเวณแปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน พืชที่ใช้ในการศึกษาคือถั่วเขียว เพื่อต้องการทราบค่าปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวจึงได้ทำการศึกษาและได้เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว (ET) ที่ได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำกับปริมาณการใช้น้ำจากถาดวัดการระเหย Class A-pan (Epan) และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) คำนวณโดยใช้สูตร Penman-Monteith ที่ใช้ข้อมูลจากเครื่องมือตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาแบบอัตโนมัติ

5.1.1 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) คำนวณโดยใช้สูตร Penman-Monteith ตลอดช่วงการเพาะปลูก มีค่าใช้น้ำเฉลี่ยเท่ากับ 5.01 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ส่วนปริมาณการใช้น้ำจากถาดวัดการระเหย Class A-pan (Epan) มีค่าใช้น้ำเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์

5.1.2 ปริมาณความต้องการน้ำของถั่วเขียวตลอดฤดูเพาะปลูก(10 สัปดาห์) ที่ได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืชทั้ง 4 ใบ ในแต่ละสัปดาห์มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ถังวัดการใช้น้ำของพืชถังที่ 1 และถังที่ 2 มีค่าปริมาณการใช้น้ำใกล้เคียงกันที่สุดเนื่องจากเป็นถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบน้ำใต้ดินดินคงที่เหมือนกัน และถังที่ 3 และถังที่ 4 มีค่าปริมารการใช้น้ำใกล้เคียงกันที่สุดเนื่องจากเป็นถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำเหมือนกัน โดยมีปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวสูงสุดที่สัปดาห์ที่ 6 ที่ถังวัดการใช้น้ำของพืชถังที่ 4 คือ 9.34 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์และมีปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียวต่ำสุดที่สัปดาห์ที่ 1 ที่ถังวัดการใช้น้ำของพืชถังที่ 2คือ 0.18 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์

5.1.3 ผลการเปรียบระหว่างการสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว (Kc) ที่ได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่ มีค่าใกล้เคียงกัน ในถังที่ 1,2 และค่าที่เป็นแนวโน้วเดียวกับสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว (Kc)ของกรมชลประทานระบุไว้ แต่สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่วเขียว (Kc)ของถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำในถังที่ 3 และ4 มีค่าค่อนข้างสูงโดยค่าในถังที่ 4 มีค่าที่สูงเกินความเป็นจริง จึงสามารถสรุปได้ว่าถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ผิวดินคงที่มีความน่าเชื่อถือกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 4 มีความผิดปกติเนื่องจากมีค่ามากกว่าถังอื่นไปมากควรมีการตรวจสอบ

5.2.2 เนื่องจากดินในแปลงทดลองเพาะปลูกขาดความสมดุลในความสมบูรณ์ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชสม่ำเสมอกันทั้งแปลง ควรมีการบำรุงดินก่อนการเพาะปลูก

5.2.3 ควรระวังอย่าให้มีวัชพืชในแปลงการทดลองเนื่องจากทำให้ค่าปริมาณการใช้น้ำเกิดผิดปกติได้

เอกสารอ้างอิง

กมล เลิศรัตน์. 2536. **การผลิตเมล็ดพันธุ์ผัก.** ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

กีรติ ลีวัจนกุล. 2537. **อุทกวิทยา.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2527. **ถั่วเขียว**, น. 71-74. *ใน* พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ เล่ม 1. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จานุลักษณ์ ขนบดี. 2541. **การผลิตเมล็ดพันธุ์ผัก.** สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ลำปาง.

รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ. 2541. **ถั่วเขียว**, น. 79-83. *ใน* พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2526**. หลักการชลประทาน**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สวิง นาถไตรภพ และ อาวุธ ณ ลำปาง. 2516. **การปลูกถั่วเขียว**. คำแนะนำที่39 กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2552. **การใช้น้ำของพืชทฤษฎีและการประยุกต์**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

ภาคผนวก ก.

ภาพแสดงการเจริญเติบโตของถั่วเขียว

ณ แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

ภาพการเจริญเติบโตของถั่วเขียว

ภาพที่ 22 วันที่ 9 มีนาคม 2557 อายุ 16 วัน

ภาพที่ 23 วันที่ 3 เมษายน 2557 อายุ 41 วัน

ภาพที่ 24 วันที่ 5 เมษายน 2557 อายุ 43 วัน

ภาพที่ 25 วันที่ 15 พฤษภาคม 2557 อายุ 83 วัน

ภาพที่ 26 วันที่ 15 พฤษภาคม 2557 อายุ 83 วัน

ภาพที่ 27 วันที่ 22 พฤษภาคม 2557 อายุ 90 วัน

ภาคผนวก ข.

สรุป ปริมาณการใช้น้ำถั่วเขียว (ET) รายวัน

ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2557

ณ แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

ตารางผนวกที่ 1 สรุป ปริมาณการใช้น้ำถั่วเขียว (ET) รายวัน ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2557

วันที่	มม./วัน			
	ET1	ET2	ET3	ET4
28/2/2014	0.54	0.18	8.42	9.58
1/3/2014	0.71	0.36	2.32	7.47
2/3/2014	0.36	0.36	5.26	8.00
3/3/2014	1.61	1.07	6.42	8.26
4/3/2014	2.14	1.79	7.26	8.53
5/3/2014	2.50	2.14	7.58	7.37
6/3/2014	2.14	1.79	6.00	7.05
7/3/2014	3.57	3.22	2.95	7.58
8/3/2014	2.50	2.86	3.90	7.47
9/3/2014	2.50	2.68	3.90	6.53
10/3/2014	2.68	2.68	1.47	6.95
11/3/2014	2.86	2.68	3.79	7.26
12/3/2014	2.14	2.50	4.95	7.47
13/3/2014	1.79	1.79	0.84	7.37
14/3/2014	1.43	1.61	-	7.58
15/3/2014	2.14	1.97	3.16	7.26
16/3/2014	1.79	2.14	7.26	7.26
17/3/2014	1.79	1.97	6.95	6.95
18/3/2014	1.79	1.79	4.53	6.11
19/3/2014	1.79	1.79	-	6.00
20/3/2014	1.79	2.14	-	6.32
21/3/2014	2.14	2.14	8.74	8.74
22/3/2014	0.36	0.36	2.11	6.63
23/3/2014	0.36	0.54	4.21	6.95
24/3/2014	0.18	0.18	5.37	6.63
25/3/2014	0.18	0.18	4.11	6.53
26/3/2014	0.18	0.18	5.37	6.84
27/3/2014	0.18	0.36	6.84	6.84
28/3/2014	0.18	0.36	7.58	7.58

ตารางผนวกที่ 1(ต่อ)

วันที่	มม./วัน			
	ET1	ET2	ET3	ET4
29/3/2014	1.79	2.14	2.00	7.69
30/3/2014	3.57	3.57	2.11	7.69
31/3/2014	3.57	3.57	1.90	8.00
1/4/2014	5.00	5.36	4.95	8.21
2/4/2014	5.00	5.90	6.63	7.90
3/4/2014	5.72	5.72	7.16	8.42
4/4/2014	6.08	6.79	6.42	8.84
5/4/2014	6.08	6.43	6.95	9.05
6/4/2014	5.36	7.15	7.47	9.26
7/4/2014	7.86	7.86	7.79	9.26
8/4/2014	7.15	7.86	7.90	9.48
9/4/2014	7.51	7.86	8.32	9.69
10/4/2014	7.51	7.86	8.32	9.79
11/4/2014	7.15	7.15	8.63	9.90
12/4/2014	7.51	7.86	8.84	8.63
13/4/2014	7.15	7.51	9.05	8.84
14/4/2014	7.51	7.68	9.26	9.26
15/4/2014	7.51	7.51	9.26	9.26
16/4/2014	7.15	7.15	9.48	9.48
17/4/2014	7.51	7.86	9.69	9.69
18/4/2014	7.51	7.51	9.79	9.79
19/4/2014	7.51	7.68	9.90	9.69
20/4/2014	7.51	7.51	9.69	9.48
21/4/2014	7.15	7.51	9.69	8.95
22/4/2014	7.51	7.15	9.69	8.42
23/4/2014	7.15	7.15	6.74	7.69
24/4/2014	5.54	5.54	7.37	7.37
25/4/2014	6.25	6.08	7.79	3.37
26/4/2014	6.61	6.43	8.53	7.79
27/4/2014	6.79	6.79	9.05	8.53
28/4/2014	5.54	5.54	9.37	9.48

ตารางผนวกที่ 1(ต่อ)

วันที่	มม./วัน			
	ET1	ET2	ET3	ET4
29/4/2014	6.25	6.08	9.79	9.79
30/4/2014	6.43	6.25	9.90	9.90
1/5/2014	6.43	6.43	9.48	9.05
2/5/2014	4.65	5.36	9.48	6.63
3/5/2014	5.00	5.90	9.26	7.16
4/5/2014	5.72	5.72	9.37	7.58
5/5/2014	6.08	6.79	7.37	8.00
6/5/2014	6.08	6.43	4.53	8.21
7/5/2014	6.08	6.25	6.11	7.90
8/5/2014	5.18	5.36	4.74	8.42
9/5/2014	6.61	6.43	5.47	8.63
10/5/2014	6.61	6.08	5.47	8.84
11/5/2014	5.90	5.90	-	9.05
12/5/2014	5.72	5.90	7.05	9.16
13/5/2014	4.29	5.00	6.63	9.16
14/5/2014	5.72	5.90	7.37	9.16
15/5/2014	6.25	5.90	7.79	9.37
16/5/2014	7.15	6.79	8.63	9.48
17/5/2014	7.15	7.15	8.95	9.58
18/5/2014	7.51	7.15	9.37	9.79
19/5/2014	7.86	6.79	9.48	9.79
20/5/2014	7.51	7.15	9.69	2.11
21/5/2014	7.15	6.79	9.69	2.11
22/5/2014	6.79	6.97	9.79	2.00
23/5/2014	6.79	7.15	9.90	5.79
24/5/2014	6.08	7.15	9.16	7.37
25/5/2014	7.15	6.79	9.48	8.11
26/5/2014	6.08	6.43	9.48	8.74
27/5/2014	4.29	4.47	9.48	8.95
28/5/2014	4.65	4.47	9.37	9.37

ตารางผนวกที่ 1(ต่อ)

วันที่	มม./วัน			
	ET1	ET2	ET3	ET4
30/5/2014	5.36	5.36	9.16	9.79
31/5/2014	5.54	5.00	8.95	8.42
1/6/2014	4.82	4.65	8.11	8.32
2/6/2014	4.65	4.47	8.00	8.42
3/6/2014	3.75	3.75	8.21	8.53
4/6/2014	4.47	3.75	7.16	8.84
5/6/2014	3.04	3.75	6.95	8.74
6/6/2014	3.22	3.75	7.37	8.21
7/6/2014	4.47	4.29	7.90	8.42
8/6/2014	4.82	3.75	8.21	7.58
9/6/2014	3.04	4.11	7.79	7.26
10/6/2014	3.75	3.22	7.26	6.63
11/6/2014	2.50	2.32	6.63	6.74
12/6/2014	2.86	3.22	6.42	6.32
ค่าเฉลี่ย	4.56	4.61	7.10	8.01

หมายเหตุ ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 1 (ET1), ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 2 (ET2), ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 3 (ET3), ถังวัดการใช้น้ำถังที่ 4 (ET4)

* สัญลักษณ์ (-) คือค่าข้อมูลที่เกิดจากการผิดพลาดของข้อมูลไม่นำไปวิเคราะห์ อาจเกิดจากความผิดปกติของถังหรือฝนตกไม่นำมาวิเคราะห์

\

ภาคผนวก ค.

สรุปการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว

จากถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) แบบน้ำใต้ผิวดินคงที่ถังที่ 1 และ 2

และแบบระบายน้ำ ถังที่ 3 และ 4

ณ แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

ตารางผนวกที่ 2 สรุปการคำนวณปริมาณการใช้น้ำถั่วเขียว จากถังวัดการใช้น้ำของพืช(Lysimeter) แบบน้ำใต้ผิวดินคงที่ถัง ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2557

วันที่	อายุพืช	ปริมาณน้ำที่พืชใช้จากถังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 46.5 cm (mm)		ปริมาณน้ำที่พืชใช้(ลิตร)		ปริมาณน้ำที่พืชใช้(mm)	
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2
28 ก.พ. 57	1	3	1	0.51	0.17	0.54	0.18
1 มี.ค. 57	2	4	2	0.68	0.34	0.71	0.36
2 มี.ค. 57	3	2	2	0.34	0.34	0.36	0.36
3 มี.ค. 57	4	9	6	1.53	1.02	1.61	1.07
4 มี.ค. 57	5	12	10	2.04	1.70	2.14	1.79
5 มี.ค. 57	6	14	12	2.38	2.04	2.50	2.14
6 มี.ค. 57	7	12	10	2.04	1.70	2.14	1.79
7 มี.ค. 57	8	20	18	3.39	3.06	3.57	3.22
8 มี.ค. 57	9	14	16	2.38	2.72	2.50	2.86
9 มี.ค. 57	10	14	15	2.38	2.55	2.50	2.68
10 มี.ค. 57	11	15	15	2.55	2.55	2.68	2.68
11 มี.ค. 57	12	16	15	2.72	2.55	2.86	2.68
12 มี.ค. 57	13	12	14	2.04	2.38	2.14	2.50
13 มี.ค. 57	14	10	10	1.70	1.70	1.79	1.79
14 มี.ค. 57	15	8	9	1.36	1.53	1.43	1.61
15 มี.ค. 57	16	12	11	2.04	1.87	2.14	1.97
16 มี.ค. 57	17	10	12	1.70	2.04	1.79	2.14
17 มี.ค. 57	18	10	11	1.70	1.87	1.79	1.97
18 มี.ค. 57	19	10	10	1.70	1.70	1.79	1.79
19 มี.ค. 57	20	10	10	1.70	1.70	1.79	1.79
20 มี.ค. 57	21	10	12	1.70	2.04	1.79	2.14
21 มี.ค. 57	22	12	12	2.04	2.04	2.14	2.14

ตารางผนวกที่ 2(ต่อ)

วันที่	อายุพืช	ปริมาณน้ำที่พืชใช้จากถัง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 46.5 cm (mm)		ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (ลิตร)		ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (mm)	
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2
22 มี.ค. 57	23	2	2	0.34	0.34	0.36	0.36
23 มี.ค. 57	24	2	3	0.34	0.51	0.36	0.54
24 มี.ค. 57	25	1	1	0.17	0.17	0.18	0.18
25 มี.ค. 57	26	1	1	0.17	0.17	0.18	0.18
26 มี.ค. 57	27	1	1	0.17	0.17	0.18	0.18
27 มี.ค. 57	28	1	2	0.17	0.34	0.18	0.36
28 มี.ค. 57	29	1	2	0.17	0.34	0.18	0.36
29 มี.ค. 57	30	10	12	1.70	2.04	1.79	2.14
30 มี.ค. 57	31	20	20	3.39	3.39	3.57	3.57
31 มี.ค. 57	32	20	20	3.39	3.39	3.57	3.57
1 เม.ย. 57	33	28	30	4.75	5.09	5.00	5.36
2 เม.ย. 57	34	28	33	4.75	5.60	5.00	5.90
3 เม.ย. 57	35	32	32	5.43	5.43	5.72	5.72
4 เม.ย. 57	36	34	38	5.77	6.45	6.08	6.79
5 เม.ย. 57	37	34	36	5.77	6.11	6.08	6.43
6 เม.ย. 57	38	30	40	5.09	6.79	5.36	7.15
7 เม.ย. 57	39	44	44	7.47	7.47	7.86	7.86
8 เม.ย. 57	40	40	44	6.79	7.47	7.15	7.86
9 เม.ย. 57	41	42	44	7.13	7.47	7.51	7.86
10 เม.ย. 57	42	42	44	7.13	7.47	7.51	7.86
11 เม.ย. 57	43	40	40	6.79	6.79	7.15	7.15
12 เม.ย. 57	44	42	44	7.13	7.47	7.51	7.86

ตารางผนวกที่ 2(ต่อ)

วันที่	อายุพืช	ปริมาณน้ำที่พืชใช้จากถัง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 46.5 cm (mm)		ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (ลิตร)		ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (mm)	
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2
13 เม.ย. 57	45	40	42	6.79	7.13	7.15	7.51
14 เม.ย. 57	46	42	43	7.13	7.30	7.51	7.68
15 เม.ย. 57	47	42	42	7.13	7.13	7.51	7.51
16 เม.ย. 57	48	40	40	6.79	6.79	7.15	7.15
17 เม.ย. 57	49	42	44	7.13	7.47	7.51	7.86
18 เม.ย. 57	50	42	42	7.13	7.13	7.51	7.51
19 เม.ย. 57	51	42	43	7.13	7.30	7.51	7.68
20 เม.ย. 57	52	42	42	7.13	7.13	7.51	7.51
21 เม.ย. 57	53	40	42	6.79	7.13	7.15	7.51
22 เม.ย. 57	54	42	40	7.13	6.79	7.51	7.15
23 เม.ย. 57	55	40	40	6.79	6.79	7.15	7.15
24 เม.ย. 57	56	31	31	5.26	5.26	5.54	5.54
25 เม.ย. 57	57	35	34	5.94	5.77	6.25	6.08
26 เม.ย. 57	58	37	36	6.28	6.11	6.61	6.43
27 เม.ย. 57	59	38	38	6.45	6.45	6.79	6.79
28 เม.ย. 57	60	31	31	5.26	5.26	5.54	5.54
29 เม.ย. 57	61	35	34	5.94	5.77	6.25	6.08
30 เม.ย. 57	62	36	35	6.11	5.94	6.43	6.25
1 พ.ค. 57	63	36	36	6.11	6.11	6.43	6.43
2 พ.ค. 57	64	26	30	4.41	5.09	4.65	5.36
3 พ.ค. 57	65	34	35	5.77	5.94	6.08	6.25
4 พ.ค. 57	66	29	30	4.92	5.09	5.18	5.36

ตารางผนวกที่ 2(ต่อ)

วันที่	อายุพืช	ปริมาณน้ำที่พืชใช้จากถัง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 46.5 cm (mm)		ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (ลิตร)		ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (mm)	
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2
5 พ.ค. 57	67	37	36	6.28	6.11	6.61	6.43
6 พ.ค. 57	68	37	34	6.28	5.77	6.61	6.08
7 พ.ค. 57	69	33	33	5.60	5.60	5.90	5.90
8 พ.ค. 57	70	32	33	5.43	5.60	5.72	5.90
9 พ.ค. 57	71	24	28	4.07	4.75	4.29	5.00
10 พ.ค. 57	72	32	33	5.43	5.60	5.72	5.90
11 พ.ค. 57	73	35	33	5.94	5.60	6.25	5.90
12 พ.ค. 57	74	40	38	6.79	6.45	7.15	6.79
13 พ.ค. 57	75	40	40	6.79	6.79	7.15	7.15
14 พ.ค. 57	76	42	40	7.13	6.79	7.51	7.15
15 พ.ค. 57	77	44	38	7.47	6.45	7.86	6.79
16 พ.ค. 57	78	42	40	7.13	6.79	7.51	7.15
17 พ.ค. 57	79	40	38	6.79	6.45	7.15	6.79
18 พ.ค. 57	80	38	39	6.45	6.62	6.79	6.97
19 พ.ค. 57	81	38	40	6.45	6.79	6.79	7.15
20 พ.ค. 57	82	34	40	5.77	6.79	6.08	7.15
21 พ.ค. 57	83	40	38	6.79	6.45	7.15	6.79
22 พ.ค. 57	84	34	36	5.77	6.11	6.08	6.43
23 พ.ค. 57	85	24	25	4.07	4.24	4.29	4.47
24 พ.ค. 57	86	26	25	4.41	4.24	4.65	4.47
25 พ.ค. 57	87	35	32	5.94	5.43	6.25	5.72
26 พ.ค. 57	88	30	30	5.09	5.09	5.36	5.36

ตารางผนวกที่ 2(ต่อ)

วันที่	อายุพืช	ปริมาณน้ำที่พืชใช้จากถังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 46.5 cm (mm)		ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (ลิตร)		ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (mm)	
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2
27 พ.ค. 57	89	31	28	5.26	4.75	5.54	5.00
28 พ.ค. 57	90	27	26	4.58	4.41	4.82	4.65
29 พ.ค. 57	91	26	25	4.41	4.24	4.65	4.47
30 พ.ค. 57	92	21	21	3.56	3.56	3.75	3.75
31 พ.ค. 57	93	25	21	4.24	3.56	4.47	3.75
1 มิ.ย. 57	94	17	21	2.89	3.56	3.04	3.75
2 มิ.ย. 57	95	18	21	3.06	3.56	3.22	3.75
3 มิ.ย. 57	96	25	24	4.24	4.07	4.47	4.29
4 มิ.ย. 57	97	27	21	4.58	3.56	4.82	3.75
5 มิ.ย. 57	98	17	23	2.89	3.90	3.04	4.11
6 มิ.ย. 57	99	21	18	3.56	3.06	3.75	3.22
7 มิ.ย. 57	100	20	14	3.39	2.38	3.57	2.50
8 มิ.ย. 57	101	10	15	1.70	2.55	1.79	2.68
9 มิ.ย. 57	102	13	16	2.21	2.72	2.32	2.86
10 มิ.ย. 57	103	16	16	2.72	2.72	2.86	2.86
11 มิ.ย. 57	104	14	13	2.38	2.21	2.50	2.32
12 มิ.ย. 57	105	16	18	2.72	3.06	2.86	3.22

ตารางผนวกที่ 3 สรุปการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว จากถาดวัดการใช้น้ำของพืช(Lysimeter) แบบระบายน้ำถังที่ 3 ตั้งแต่วันที่ วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2557

ว/ด/ป	น้ำ (ลิตร)	น้ำที่ระบายออกจาก (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (มม)
28/2/201	10	2.00	8.00	8.42
1/3/2014	10	7.80	2.20	2.32
2/3/2014	10	5.00	5.00	5.26
3/3/2014	10	3.90	6.10	6.42
4/3/2014	10	3.10	6.90	7.26
5/3/2014	10	2.80	7.20	7.58
6/3/2014	10	4.30	5.70	6.00
7/3/2014	10	7.20	2.80	2.95
8/3/2014	10	6.30	3.70	3.90
9/3/2014	10	6.30	3.70	3.90
10/3/201	10	8.60	1.40	1.47
11/3/201	10	6.40	3.60	3.79
12/3/201	10	5.30	4.70	4.95
13/3/201	10	9.20	0.80	0.84
14/3/201	10	9.30	0.70	0.74
15/3/201	10	7.00	3.00	3.16
16/3/201	10	3.10	6.90	7.26
17/3/201	10	3.40	6.60	6.95
18/3/201	10	5.70	4.30	4.53
19/3/201	10	12.00	-2.00	-2.11
20/3/201	10	12.00	-2.00	-2.11
21/3/201	10	1.70	8.30	8.74
22/3/201	10	8.00	2.00	2.11
23/3/201	10	6.00	4.00	4.21
24/3/201	10	4.90	5.10	5.37
25/3/201	10	6.10	3.90	4.11
26/3/201	10	4.90	5.10	5.37
27/3/201	10	3.50	6.50	6.84
28/3/201	10	2.80	7.20	7.58

ตารางผนวกที่ 3(ต่อ)

ว/ด/ป	น้ำ (ลิตร)	น้ำที่ระบายออกจาก (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (มม)
29/3/201	10	8.10	1.90	2.00
30/3/201	10	8.00	2.00	2.11
31/3/201	10	8.20	1.80	1.90
1/4/2014	10	5.30	4.70	4.95
2/4/2014	10	3.70	6.30	6.63
3/4/2014	10	3.20	6.80	7.16
4/4/2014	10	3.90	6.10	6.42
5/4/2014	10	3.40	6.60	6.95
6/4/2014	10	2.90	7.10	7.47
7/4/2014	10	2.60	7.40	7.79
8/4/2014	10	2.50	7.50	7.90
9/4/2014	10	2.10	7.90	8.32
10/4/201	10	2.10	7.90	8.32
11/4/201	10	1.80	8.20	8.63
12/4/201	10	1.60	8.40	8.84
13/4/201	10	1.40	8.60	9.05
14/4/201	10	1.20	8.80	9.26
15/4/201	10	1.20	8.80	9.26
16/4/201	10	1.00	9.00	9.48
17/4/201	10	0.80	9.20	9.69
18/4/201	10	0.70	9.30	9.79
19/4/201	10	0.60	9.40	9.90
20/4/201	10	0.80	9.20	9.69
21/4/201	10	0.80	9.20	9.69
22/4/201	10	0.80	9.20	9.69
23/4/201	10	3.60	6.40	6.74
24/4/201	10	3.00	7.00	7.37
25/4/201	10	2.60	7.40	7.79
26/4/201	10	1.90	8.10	8.53
27/4/201	10	1.40	8.60	9.05
28/4/201	10	1.10	8.90	9.37

ตารางผนวกที่ 3(ต่อ)

ว/ด/ป	น้ำ (ลิตร)	น้ำที่ระบายออกจาก (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (มม)
29/4/201	10	0.70	9.30	9.79
30/4/201	10	0.60	9.40	9.90
1/5/2014	10	1.00	9.00	9.48
2/5/2014	10	1.00	9.00	9.48
3/5/2014	10	1.20	8.80	9.26
4/5/2014	10	1.10	8.90	9.37
5/5/2014	10	3.00	7.00	7.37
6/5/2014	10	5.70	4.30	4.53
7/5/2014	10	4.20	5.80	6.11
8/5/2014	10	5.50	4.50	4.74
9/5/2014	10	4.80	5.20	5.47
10/5/201	10	4.80	5.20	5.47
11/5/201	10	-	-	-
12/5/201	10	3.30	6.70	7.05
13/5/201	10	3.70	6.30	6.63
14/5/201	10	3.00	7.00	7.37
15/5/201	10	2.60	7.40	7.79
16/5/201	10	1.80	8.20	8.63
17/5/201	10	1.50	8.50	8.95
18/5/201	10	1.10	8.90	9.37
19/5/201	10	1.00	9.00	9.48
20/5/201	10	0.80	9.20	9.69
21/5/201	10	0.80	9.20	9.69
22/5/201	10	0.70	9.30	9.79
23/5/201	10	0.60	9.40	9.90
24/5/201	10	1.30	8.70	9.16
25/5/201	10	1.00	9.00	9.48
26/5/201	10	1.00	9.00	9.48
27/5/201	10	1.00	9.00	9.48
28/5/201	10	1.10	8.90	9.37
29/5/201	10	1.20	8.80	9.26

ตารางผนวกที่ 3(ต่อ)

ว/ด/ป	น้ำ (ลิตร)	น้ำที่ระบายออกจาก (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (มม)
30/5/201	10	1.30	8.70	9.16
31/5/201	10	1.50	8.50	8.95
1/6/2014	10	2.30	7.70	8.11
2/6/2014	10	2.40	7.60	8.00
3/6/2014	10	2.20	7.80	8.21
4/6/2014	10	3.20	6.80	7.16
5/6/2014	10	3.40	6.60	6.95
6/6/2014	10	3.00	7.00	7.37
7/6/2014	10	2.50	7.50	7.90
8/6/2014	10	2.20	7.80	8.21
9/6/2014	10	2.60	7.40	7.79
10/6/201	10	3.10	6.90	7.26
11/6/201	10	3.70	6.30	6.63
12/6/201	10	3.90	6.10	6.42

ตารางผนวกที่ 4 สรุปการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของถั่วเขียว จากถาดวัดการใช้น้ำของพืช(Lysimeter) แบบระบายน้ำถังที่ 4 ตั้งแต่วันที่ วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2557

ว/ด/ป	น้ำ (ลิตร)	น้ำที่ระบายออกจาก (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (มม)
28/2/201	10	0.90	9.10	9.58
1/3/2014	10	2.90	7.10	7.47
2/3/2014	10	2.40	7.60	8.00
3/3/2014	10	2.15	7.85	8.26
4/3/2014	10	1.90	8.10	8.53
5/3/2014	10	3.00	7.00	7.37
6/3/2014	10	3.30	6.70	7.05
7/3/2014	10	2.80	7.20	7.58
8/3/2014	10	2.90	7.10	7.47
9/3/2014	10	3.80	6.20	6.53
10/3/201	10	3.40	6.60	6.95
11/3/201	10	3.10	6.90	7.26
12/3/201	10	2.90	7.10	7.47
13/3/201	10	3.00	7.00	7.37
14/3/201	10	2.80	7.20	7.58
15/3/201	10	3.10	6.90	7.26
16/3/201	10	3.10	6.90	7.26
17/3/201	10	3.40	6.60	6.95
18/3/201	10	4.20	5.80	6.11
19/3/201	10	4.30	5.70	6.00
20/3/201	10	4.00	6.00	6.32
21/3/201	10	1.70	8.30	8.74
22/3/201	10	3.70	6.30	6.63
23/3/201	10	3.40	6.60	6.95
24/3/201	10	3.70	6.30	6.63
25/3/201	10	3.80	6.20	6.53
26/3/201	10	3.50	6.50	6.84
27/3/201	10	3.50	6.50	6.84
28/3/201	10	2.80	7.20	7.58

ตารางผนวกที่ 4(ต่อ)

ว/ด/ป	น้ำ (ลิตร)	น้ำที่ระบายออกจาก (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (มม)
29/3/201	10	2.70	7.30	7.69
30/3/201	10	2.70	7.30	7.69
31/3/201	10	2.40	7.60	8.00
1/4/2014	10	2.20	7.80	8.21
2/4/2014	10	2.50	7.50	7.90
3/4/2014	10	2.00	8.00	8.42
4/4/2014	10	1.60	8.40	8.84
5/4/2014	10	1.40	8.60	9.05
6/4/2014	10	1.20	8.80	9.26
7/4/2014	10	1.20	8.80	9.26
8/4/2014	10	1.00	9.00	9.48
9/4/2014	10	0.80	9.20	9.69
10/4/201	10	0.70	9.30	9.79
11/4/201	10	0.60	9.40	9.90
12/4/201	10	1.80	8.20	8.63
13/4/201	10	1.60	8.40	8.84
14/4/201	10	1.20	8.80	9.26
15/4/201	10	1.20	8.80	9.26
16/4/201	10	1.00	9.00	9.48
17/4/201	10	0.80	9.20	9.69
18/4/201	10	0.70	9.30	9.79
19/4/201	10	0.80	9.20	9.69
20/4/201	10	1.00	9.00	9.48
21/4/201	10	1.50	8.50	8.95
22/4/201	10	2.00	8.00	8.42
23/4/201	10	2.70	7.30	7.69
24/4/201	10	3.00	7.00	7.37
25/4/201	10	6.80	3.20	3.37
26/4/201	10	2.60	7.40	7.79
27/4/201	10	1.90	8.10	8.53
28/4/201	10	1.00	9.00	9.48

ตารางผนวกที่ 4(ต่อ)

ว/ด/ป	น้ำ (ลิตร)	น้ำที่ระบายออกจาก (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (มม)
29/4/201	10	0.70	9.30	9.79
30/4/201	10	0.60	9.40	9.90
1/5/2014	10	1.40	8.60	9.05
2/5/2014	10	3.70	6.30	6.63
3/5/2014	10	3.20	6.80	7.16
4/5/2014	10	2.80	7.20	7.58
5/5/2014	10	2.40	7.60	8.00
6/5/2014	10	2.20	7.80	8.21
7/5/2014	10	2.50	7.50	7.90
8/5/2014	10	2.00	8.00	8.42
9/5/2014	10	1.80	8.20	8.63
10/5/201	10	1.60	8.40	8.84
11/5/201	10	1.40	8.60	9.05
12/5/201	10	1.30	8.70	9.16
13/5/201	10	1.30	8.70	9.16
14/5/201	10	1.30	8.70	9.16
15/5/201	10	1.10	8.90	9.37
16/5/201	10	1.00	9.00	9.48
17/5/201	10	0.90	9.10	9.58
18/5/201	10	0.70	9.30	9.79
19/5/201	10	0.70	9.30	9.79
20/5/201	10	8.00	2.00	2.11
21/5/201	10	8.00	2.00	2.11
22/5/201	10	8.10	1.90	2.00
23/5/201	10	4.50	5.50	5.79
24/5/201	10	3.00	7.00	7.37
25/5/201	10	2.30	7.70	8.11
26/5/201	10	1.70	8.30	8.74
27/5/201	10	1.50	8.50	8.95
28/5/201	10	1.10	8.90	9.37
29/5/201	10	0.80	9.20	9.69

ตารางผนวกที่ 4(ต่อ)

ว/ด/ป	น้ำ (ลิตร)	น้ำที่ระบายออกจาก (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (ลิตร)	ปริมาณการใช้น้ำของ (มม)
29/5/201	10	0.80	9.20	9.69
30/5/201	10	0.70	9.30	9.79
31/5/201	10	2.00	8.00	8.42
1/6/2014	10	2.10	7.90	8.32
2/6/2014	10	2.00	8.00	8.42
3/6/2014	10	1.90	8.10	8.53
4/6/2014	10	1.60	8.40	8.84
5/6/2014	10	1.70	8.30	8.74
6/6/2014	10	2.20	7.80	8.21
7/6/2014	10	2.00	8.00	8.42
8/6/2014	10	2.80	7.20	7.58
9/6/2014	10	3.10	6.90	7.26
10/6/201	10	3.70	6.30	6.63
11/6/201	10	3.60	6.40	6.74
12/6/201	10	4.00	6.00	6.32

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลปริมาณการระเหยของถาดวัดการระเหยและการคำนวณ

ณ แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

ตารางแผนวกที่ 5 ข้อมูลปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหย Class-A-pan ตั้งแต่ วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2557

	มม./วัน	
Date	Epan	Eto(Epan)
28/2/2014	5.40	4.59
1/3/2014	5.50	4.68
2/3/2014	5.80	4.93
3/3/2014	3.50	2.98
4/3/2014	3.30	2.81
5/3/2014	7.60	6.46
6/3/2014	4.70	4.00
7/3/2014	3.30	2.81
8/3/2014	5.40	4.59
9/3/2014	5.30	4.51
10/3/2014	4.80	4.08
11/3/2014	6.30	5.36
12/3/2014	4.20	3.57
13/3/2014	4.20	3.57
14/3/2014	6.80	5.78
15/3/2014	3.10	2.64
16/3/2014	4.50	3.83
17/3/2014	3.50	2.98
18/3/2014	4.50	3.83
19/3/2014	9.20	7.82
20/3/2014	4.20	3.57
21/3/2014	5.40	4.59
22/3/2014	3.70	3.15

ตารางแผนวกที่ 5(ต่อ)

Date	Epan	Eto(Epan)
23/3/2014	6.70	5.70
24/3/2014	2.20	1.87
25/3/2014	7.30	6.21
26/3/2014	4.00	3.40
27/3/2014	7.60	6.46
28/3/2014	4.50	3.83
29/3/2014	4.70	4.00
30/3/2014	8.10	6.89
31/3/2014	3.00	2.55
1/4/2014	7.00	5.95
2/4/2014	4.50	3.83
3/4/2014	6.70	5.70
4/4/2014	2.30	1.96
5/4/2014	5.60	4.76
6/4/2014	6.50	5.53
7/4/2014	6.50	5.53
8/4/2014	6.30	5.36
9/4/2014	5.70	4.85
10/4/2014	3.60	3.06
11/4/2014	8.10	6.89
12/4/2014	4.10	3.49
13/4/2014	8.50	7.23
14/4/2014	5.40	4.59

ตารางแผนวกที่ 5(ต่อ)

Date	Epan	Eto(Epan)
15/4/2014	3.80	3.23
16/4/2014	3.70	3.15
17/4/2014	3.40	2.89
18/4/2014	9.40	7.99
19/4/2014	5.50	4.68
20/4/2014	5.80	4.93
21/4/2014	6.40	5.44
22/4/2014	5.30	4.51
23/4/2014	5.60	4.76
24/4/2014	3.20	2.72
25/4/2014	7.50	6.38
26/4/2014	7.70	6.55
27/4/2014	4.80	4.08
28/4/2014	5.40	4.59
29/4/2014	5.00	4.25
30/4/2014	0.90	0.77
1/5/2014	5.60	4.76
2/5/2014	6.70	5.70
3/5/2014	4.90	4.17
4/5/2014	7.20	6.12
5/5/2014	5.60	4.76
6/5/2014	-	-
7/5/2014	9.70	8.25
8/5/2014	5.63	4.79

***หมายเหตุ** การคำนวณค่า ETo ของ Epan คือการนำค่า Epan x KP โดย Kp ตัวที่ใช้คือ 0.85

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลจากเครื่องมือตรวจวัดและสื่อสารข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแบบอัตโนมัติ

เดือนกุมภาพันธ์ 2557 ถึง เดือนมิถุนายน 2557

ตารางผนวกที่ 6 เครื่องมือตรวจวัดและสื่อสารข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแบบอัตโนมัติ เดือนกุมภาพันธ์ 2557 ถึง เดือนมิถุนายน 2557

	°C			m/s
Day	Tmean	**Δ**	**γ**	**u2**
28/2/2014	28.1	0.221198	0.067291	1.305846
1/3/2014	28.75	0.228582	0.067291	0.611247
2/3/2014	29.25	0.234401	0.067291	0.805735
3/3/2014	29.05	0.232058	0.067291	0.889086
4/3/2014	29.2	0.233813	0.067291	0.889086
5/3/2014	29.4	0.236171	0.067291	1.000222
6/3/2014	29.05	0.232058	0.067291	1.000222
7/3/2014	28.85	0.229736	0.067291	1.111358
8/3/2014	28.95	0.230895	0.067291	0.889086
9/3/2014	28.4	0.224581	0.067291	0.305623
10/3/2014	28.2	0.222321	0.067291	1.500333
11/3/2014	29	0.231476	0.067291	0.500111
12/3/2014	29.35	0.235579	0.067291	0.500111
13/3/2014	29.5	0.237357	0.067291	0.805735
14/3/2014	28.85	0.229736	0.067291	0.805735
15/3/2014	29.15	0.233227	0.067291	0.805735
16/3/2014	29.3	0.23499	0.067291	0.611247
17/3/2014	30.2	0.2458	0.067291	0
18/3/2014	30.75	0.25261	0.067291	0.805735
19/3/2014	30	0.243363	0.067291	0.805735
20/3/2014	31.1	0.257025	0.067291	0.611247
21/3/2014	30.5	0.249495	0.067291	0.305623
22/3/2014	28.2	0.222321	0.067291	1.111358
23/3/2014	27.5	0.214562	0.067291	0.305623
24/3/2014	28.7	0.228006	0.067291	0.500111

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

Day	°C Tmean	Δ	γ	m/s u2
25/3/2014	29.6	0.238548	0.067291	0
26/3/2014	29.95	0.242756	0.067291	0.889086
27/3/2014	31	0.255757	0.067291	0.889086
28/3/2014	30.95	0.255125	0.067291	0.388975
29/3/2014	30	0.243363	0.067291	1.611469
30/3/2014	30.25	0.246413	0.067291	0.805735
31/3/2014	30.95	0.255125	0.067291	1.305846
1/4/2014	31.5	0.26215	0.067291	0.805735
2/4/2014	30.75	0.25261	0.067291	1.305846
3/4/2014	31.6	0.263445	0.067291	0.111136
4/4/2014	28.85	0.229736	0.067291	0.805735
5/4/2014	28.75	0.228582	0.067291	0.305623
6/4/2014	29.95	0.242756	0.067291	0.388975
7/4/2014	31.15	0.257661	0.067291	1.500333
8/4/2014	30.2	0.2458	0.067291	1.389198
9/4/2014	30.3	0.247027	0.067291	1.305846
10/4/2014	30.85	0.253865	0.067291	0.111136
11/4/2014	31.25	0.258937	0.067291	0.889086
12/4/2014	30.25	0.246413	0.067291	0.500111
13/4/2014	29.75	0.240344	0.067291	0
14/4/2014	30.75	0.25261	0.067291	0.611247
15/4/2014	30.05	0.24397	0.067291	0.889086
16/4/2014	30.5	0.249495	0.067291	0.889086
17/4/2014	31	0.255757	0.067291	0.305623
18/4/2014	31.25	0.258937	0.067291	0
19/4/2014	31.5	0.26215	0.067291	0
20/4/2014	31.35	0.260218	0.067291	0.305623

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

Day	°C Tmean	Δ	γ	m/s u2
21/4/2014	31.25	0.258937	0.067291	0
22/4/2014	30.8	0.253237	0.067291	1.305846
23/4/2014	32.75	0.27872	0.067291	0.500111
24/4/2014	31.35	0.260218	0.067291	1.305846
25/4/2014	30.75	0.25261	0.067291	0.305623
26/4/2014	31.45	0.261505	0.067291	0.805735
27/4/2014	31.75	0.265396	0.067291	0.500111
28/4/2014	31.75	0.265396	0.067291	0.500111
29/4/2014	31	0.255757	0.067291	0.500111
30/4/2014	31.5	0.26215	0.067291	0.611247
1/5/2014	31	0.255757	0.067291	0.305623
2/5/2014	30.35	0.247642	0.067291	0
3/5/2014	31	0.255757	0.067291	1.111358
4/5/2014	29.05	0.232058	0.067291	0.388975
5/5/2014	30.15	0.245189	0.067291	0.805735
6/5/2014	30	0.243363	0.067291	1.305846
7/5/2014	28.9	0.230314	0.067291	0.388975
8/5/2014	30.25	0.246413	0.067291	0

ภาคผนวก ฉ.

ตารางสรุปการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

โดย Penman-monteith

$$ETo = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\, u_2)}$$

จากสมาการ Penman-monteith

การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

Altitude	7.457 ม.รทก.
Latitude	14°01'N
Wind vane	7 ม.

วันที่ 8 พฤษภาคม 2557

Tmin	37.2°C
Tmax	23.3°C
%RH	76%
Windspeed	0 km/hrs
Sunshine	10.4 hr
Tmean	30.25°C

พารามิเตอร์อากาศ

γ = 0.665 × 10^{-3} P

$$P = \frac{101.3(293 - (0.0065Z)5.26}{293}$$

$$= \frac{101.3(293 - (0.0065 \times 7.457))5.26}{293}$$

= 101.212 KPa

γ = 0.665 × 10^{-3} (101.212)

= 0.067

ความเร็วลม (U_2)

$$U_2 = \frac{UZ \times 4.87}{\ln(67.8(Z) - 5.42)}$$

$$U_2 = \frac{(0 \times 0.278) \times 4.87}{\ln(67.8(7) - 5.42)}$$

= 0

$\Delta = \frac{2503\exp(\frac{17.27T}{T+237.3})}{(T+237.3)^2}$

$\Delta = \frac{2503\exp(\frac{17.27\times28.55}{28.55+237.3})}{(28.55+237.3)^2}$

= 0.226

$e^\circ(T_{max}) = 0.6180 \exp\left(\frac{17.27(T_{max})}{T_{max}+237.3}\right)$

$= 0.6180 \exp\left(\frac{17.27(34.1)}{34.1+237.3}\right)$

= 5.412 KPa

$e^\circ(T_{min}) = 0.6180 \exp\left(\frac{17.27(T_{min})}{T_{min}+237.3}\right)$

$= 0.6180 \exp\left(\frac{17.27(23)}{23+237.3}\right)$

= 2.843 KPa

$e_s = \frac{(5.412+2.843)}{2}$

= 4.127 KPa

จาก RH $= \frac{e_a}{e_s}$

$e_a = RH \times e_s$

$e_a = \frac{76}{100} \times 4.127$

e_a = 3.136 KPa

(e_s-e_a) = 4.127 – 3.136

= 0.991 KPa

พลังงานรังสีสุทธิ (Rn – G)

J = Julian Day

Ø(ละติจูด)14°01'N $= 14 + \frac{01}{60}$

= 14.01667 Degree

$(14 + \frac{01}{60}) \times \frac{\pi}{180}$ = 0.245 Rad

dr = ส่วนกลับระยะทางโลก – ดวงอาทิตย์สัมพัทธ์

dr = 1 + 0.033cos($\frac{2\pi}{365}J$)

dr = 1 + 0.033cos($\frac{2\pi}{365} \times 339$)

dr = 1.0295

δ = มุมเบนดวงอาทิตย์ตามฤดูกาล

δ = 0.409sin($\frac{2\pi}{365}J - 1.39$)

δ = 0.409sin($\frac{2\pi}{365} \times 339 - 1.39$)

= -0.3928 Rad

ω_s = มุมดวงอาทิตย์ตามเวลา

ω_s = ArsCos[-tanø×tanδ]

ω_s = $\cos^{-1}$[-tan(0.245)×tan(0.3928)]

ω_s = 1.4672 Rad

ค่าคงที่ Gsc = 118.11

Ra = $\frac{Gsc \times dr}{\pi}$[($\omega_s$×sinø×sin$\delta$)+(cosø×cos$\delta$×sin$\omega_s$)]

Ra = $\frac{118.11 \times 1.0295}{\pi}$[(1.4672×sin(0.245)×sin(-0.3928)+
(cos(0.245)×cos(-0.3928)×sin(1.4672)]

Ra = 29.243 $\frac{MJ}{m^2.day}$

N = $\frac{24}{\pi}$(ω_s)

N = $\frac{24}{\pi}$(1.4672)

N = 11.2085

Rs = (0.25 + 0.5$\frac{n}{N}$)Ra

Rs = (0.25 + 0.5$\frac{7.1}{11.2085}$)×29.243

Rs = 16.5727 $\frac{MJ}{m^2.day}$

Rns = (1-α)Rs ; α= 0.23 Albedo พืชอ้างอิง

Rns = (1-0.23)×16.5727

Rns = 12.761 $\frac{MJ}{m^2.day}$

T_{max} = 34.1 + 273.16

= 307.26 K

T_{min} = 23 + 273.16

= 296.16 K

$\sigma\frac{[(T_{max},K)^4+(T_{min},K)^4]}{2}$ = $4.903\times10^{-9}\frac{[(307.26)^4+(296.16)^4]}{2}$

= 40.71

$0.34 - 0.14\sqrt{ea}$ = $0.34 - 0.14\sqrt{3.136}$

= 0.092

Rso = $[0.75 + 2\times10^{-5}(Z)]\times Ra$

= $[0.75 + 2\times10^{-5}(7.457)]\times29.243$

= 21.937

$1.35\frac{Rs}{Rso} - 0.35$ = $1.35\frac{16.5727}{21.937} - 0.35$

= 0.4353

Rnl = $\sigma\frac{[(T_{max},K)^4+(T_{min},K)^4]}{2} \times 0.34 - 0.14\sqrt{ea} \times 1.35\frac{Rs}{Rso} - 0.35$

= 40.71 × 0.092 × 0.4353

= 1.6313 $\frac{MJ}{m^2.day}$

Rn = Rns – Rnl

= 12.761 - 1.6313

= 11.13 $\frac{MJ}{m^2.day}$

ETo = $\frac{0.408\Delta(Rn-G)+\gamma\frac{900}{T+273}\times U_2(es-ea)}{\Delta+\gamma(1+0.34U_2)}$

$0.408\Delta(\mathrm{Rn}-\mathrm{G})$ = 0.408 × 0.226 × (11.13 – 0)

= 1.028

$\gamma\frac{900}{T+273}\times U_2(es-ea)$ = $0.067\times\frac{900}{28.55+273}$ × 0 × 0.991

= 0

$\Delta+\gamma(1+0.34U_2)$ = 0.226 + 0.067(1+0.34(0))

= 0.294

ETo = $\frac{1.028+0}{0.294}$

= 5.30 mm/day

ภาคผนวก ฉ.

การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ปริมาณการระเหยของถาดวัดการระเหย Class A-pan และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช

คำนวณจากการสมดุลน้ำถังวัดปริมาณการใช้น้ำของพืช

$$ET = Ir + P - DP$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณการใช้ของพืช วันที่ 10มีนาคม 2557 ถังที่ 3

- น้ำชลประทาน 10 ลิตร
- ปริมาณน้ำฝน (P) เท่ากับ 0.00 มิลลิเมตร
- ปริมาณน้ำที่ระบายออก3.90 ลิตร
- เส้นผ่าศูนย์กลางถัง Lysimeterเท่ากับ 1.1เมตร
- พื้นที่ถัง Lysimeter=$(\pi \times 1.1^2)/4$ = 0.950331777ลูกบาศก์เมตร

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET1) = 10 + 0.00 – 3.9

= 6.1 ลิตร

= (6.1/1000)/(0.950331777/1000)

= 6.41มิลลิเมตร

การคำนวณปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหย Class A-pan

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหย Class A-pan วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557

- ปริมาณน้ำเดิมเท่ากับ 0.00 นิ้ว
- ปริมาณน้ำที่เติมเข้าเท่ากับ 2.698นิ้ว
- ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่เท่ากับ 2.550นิ้ว
- ปริมาณฝนเท่ากับ 0.00 นิ้ว

ปริมาณการระเหย = ปริมาณน้ำที่เติมเข้า + ปริมาณน้ำเดิม + ปริมาณฝน – ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่

= 2.698 + 0.00 + 0.00 – 2.550

= 0.นิ้ว

= 0.148 × 25.4

= 3.78 มิลลิเมตร