โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 21/2552

เรื่อง

อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารในระบบการปลูกพืชไร้ดิน ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง

Effects of Flow Rate of Hydroponics Nutrient Solution on growth of Lettuce *(Lactuca sativa)*

โดย

นายเฉลิมวุฒิ คำฟูบุตร

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2552

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เรื่อง อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารในระบบการปลูกพืชไร้ดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง

Effects of Flow Rate of Hydroponics Nutrient Solution on growth of Lettuce (*Lactuca sativa*)

นามผู้จัดทำโครงการ นายเฉลิมวุฒิ คำฟูบุตร 48242101

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ _____

(อาจารย์ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์)

___/___/___

หัวหน้าภาควิชา _____

(รศ.สันติ ทองพำนัก)

___/___/___

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารในระบบการปลูกพืชไร้ดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง

โดย : นายเฉลิมวุฒิ คำฟูบุตร 48242101

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ .....

(อาจารย์ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์)

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

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หรือ Hydroponics เป็นการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารพืชโดยให้รากพืชสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง การปลูกพืชแบบ Hydroponics มีอยู่หลายรูปแบบ สำหรับในโครงงานนี้ ได้เลือกใช้วิธีการปลูกพืชในระบบ DFT (Deep Flow Technique) โดยได้ทำการศึกษาอัตราการไหลที่เหมาะสมของสารละลายที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดงใน 4 กรณี แบ่งเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกทดลองอัตราการไหลที่ 2 lpm และ 4 lpm ตั้งแต่วันที่ 20 มีนาคม 2553 ถึงวันที่ 19 เมษายน 2553 และช่วงที่ 2 ทดลองอัตราการไหลที่ 6 lpm และ 8 lpm ตั้งแต่วันที่ 30 กรกฎาคม 2553 ถึงวันที่ 29 สิงหาคม 2553 โดยทั้ง 4 กรณีมีการควบคุมค่า EC และ pH ให้เหมาะสมกับพืชตลอดช่วงการปลูก

จากการทดลองพบว่า เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์น้ำหนักเฉลี่ยของพืช ที่อัตราการไหล 6 lpm จะได้น้ำหนักเฉลี่ยของพืชสูงที่สุด 43.6 กรัม/ต้น รองมาเป็นอัตราการไหลที่ 8 lpm, (37.4 กรัม/ต้น) 4 lpm (33.3 กรัม/ต้น) และ 2 lpm (26.3 กรัม/ต้น) ตามลำดับ และจากการทดสอบด้วยสถิติ F-Test พบว่าอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 อย่างไรก็ตามฤดูกาลอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย

นอกจากนี้ เมื่อทำการตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำของพืช พบว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชมีค่าสูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดงเป็นพืชที่ต้องการน้ำมาก ประกอบกับพืชที่ปลูกแบบไม่ใช้ดินมีรูปแบบการใช้น้ำที่แตกต่างจากพืชที่ปลูกในดิน อย่างไรก็ตามการจัดทำระบบหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มิดชิด อาจมีผลทำให้การตรวจวัดค่า ปริมาณการใช้น้ำของพืชคลาดเคลื่อนได้

Abstract

Title : Effects of Flow Rate of Hydroponics Nutrient Solution on growth of Lettuce (*Lactuca sativa*)

By : Mr.Chalermwut Khumfubut 48242101

Advisor .....

(Mr.Chuphan Chompuchan)

……/……/……

Soilless culture or hydroponics is water culture by plant roots directly exposed to nutrient solution. Although there are many type of hydroponics, Deep Flow Technique (DFT) was selected for this study. The objective of this study is to determine the appropriate flow rate of the nutrient solution that affects the growth of lettuce (*Lactuca sativa*). Four different flow rates were studied namely 2, 4, 6 and 8 lpm. The flow rate of 2 and 4 lpm were experimented during March 20 until April 19, 2010, and the flow rate of 6 lpm and 8 lpm were experimented during July 30 until August 29, 2010. The EC and pH were controlled during experiment.

The results showed that the flow rate of the nutrient solution at 6 lpm gave the maximum average weight of the plant; 43.6 g / plant, while the flow rate of the nutrient solution at 8, 4 and 2 lpm has 37.4, 33.3 and 26.3 g / plant, respectively. In addition, F-test showed that the different flow rate of the nutrient solution affected the growth rate at significant level of 0.05. However, the growing season could be also affect growth of the plant.

Furthermore, it was found that the crop water used was high, because of lettuce (*Lactuca sativa*) was a high water consumption crop and the crop water requirement under soilless culture was different from others. However, the uncovered of hydroponics nutrient solution system could be the cause of error for the crop water consumption measurement.

คำนิยม

โครงการวิศวกรรมสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์ ประธานกรรมการและที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไข และให้ข้อคิดเห็นต่างๆ จนโครงงานวิศวกรรมเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ สถานีอุตุนิยมวิทยา กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา และความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และบุคลากรภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตลอดช่วงที่ทำการทดลองโครงการแล้วเสร็จ

สุดท้ายนี้ประโยชน์และคุณความดีทั้งหลายอันพึงจะได้รับจากโครงงานวิศวกรรมเล่มนี้ ผู้จัดทำขอมอบให้แด่ บิดามารดา ผู้มีพระคุณทุกท่าน และท่านอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความสามารถต่างๆให้แก่ผู้จัดทำ

เฉลิมวุฒิ คำฟูบุตร

กันยายน 2553

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน	I
บทคัดย่อ	II
Abstract	III
คำนิยม	IV
สารบัญ	
คำนำ วัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา	
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	1
ขอบเขตการศึกษา	1
การตรวจเอกสาร	
ความหมายของ Hydroponics	2
ค่า EC และ pH และธาตุอาหารพืช	9
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
อุปกรณ์	14
วิธีการทดลอง	16
ผลการทดลอง	
ค่าการนำไฟฟ้า (Electric conductivity หรือ EC) และค่าความเป็นกรด-เบส (pH)	19
การใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration)	21
พัฒนาการการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต	23
สรุป วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ	
สรุป	25
วิจารณ์	25
ข้อเสนอแนะ	26
เอกสารอ้างอิง	27

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก	การติดตั้งระบบการปลูกพืช Hydroponics และการทดสอบอัตราการไหลของสารละลาย	29
ภาคผนวก ข	การเจริญเติบโตของพืช	33
ภาคผนวก ค	การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration, ETo) ด้วยวิธี FAO Penman-Montieth	36
ภาคผนวก ง	ความรู้เกี่ยวกับ Hydroponics	51
ภาคผนวก จ	การทดสอบข้อมูลทางสถิติโดยใช้ ANOVA	66

ประวัติผู้จัดทำ 74

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่	1	ข้อเปรียบเทียบการทำการเพาะปลูกแบบใช้ดินกับการเพาะปลูกแบบไร้ดิน	5
ตารางที่	2	เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตต่อไร่ระหว่างการเพาะปลูกแบบใช้ดินกับการเพาะปลูกแบบไร้ดิน ใน 1 ช่วงอายุปลูก	7
ตารางที่	3	เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการปลูกพืชของการปลูกพืชไร้ดิน	8
ตารางที่	4	ค่าการนำไฟฟ้า (Electric conductivity หรือ EC) และค่าความเป็นกรด-เบส (pH)	19
ตารางที่	5	แสดงจำนวนต้นพืช, ร้อยละการอยู่รอด, น้ำหนักรวม และน้ำหนักเฉลี่ยของพืช	24
ตารางผนวกที่	1	ตารางข้อมูลสภาพภูมิอากาศเดือนมีนาคม ปี พ.ศ.2553	41
ตารางผนวกที่	2	ตารางข้อมูลสภาพภูมิอากาศเดือนเมษายนปี พ.ศ.2553	43
ตารางผนวกที่	3	ตารางข้อมูลสภาพภูมิอากาศเดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ.2553	45
ตารางผนวกที่	4	ตารางข้อมูลสภาพภูมิอากาศเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ.2553	47
ตารางผนวกที่	5	สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชของ Enshi ดัดแปลงสำหรับผักกินใบและผักกินผล	49
ตารางผนวกที่	6	ปริมาณปุ๋ยเคมีสำหรับการเตรียมสารละลายสำหรับสูตร Enshi	50
ตารางผนวกที่	7	ข้อมูลธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและสูตรธาตุอาหารพืช	51
ตารางผนวกที่	8	ข้อมูลผลกระทบต่อร่างกายจากสารอาหารในปริมาณสูง	55
ตารางผนวกที่	9	ตัวอย่างการทดสอบข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง ในกรณีอัตราการไหลที่ 2 lpm และอัตราการไหลที่ 4 lpm	66
ตารางผนวกที่	10	ความแปรปรวนของน้ำหนักพืชในกรณีอัตราการไหลที่ 2 lpm และอัตราการไหลที่ 4 lpm	68
ตารางผนวกที่	11	การทดสอบข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง ในกรณีอัตราการไหลที่ 2 lpm และอัตราการไหลที่ 4 lpm	69
ตารางผนวกที่	12	การทดสอบข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง ในกรณีอัตราการไหลที่ 6 lpm และอัตราการไหลที่ 8 lpm	70
ตารางผนวกที่	13	การทดสอบข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง ในกรณีอัตราการไหลที่ 2 lpm, 4 lpm, 6 lpm, และ 8 lpm	70
ตารางผนวกที่	14	การแจกแจงแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	72

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่	1	ระบบการปลูกพืชไร้ดิน	3
ภาพที่	2	ฟองน้ำสำหรับเพาะเมล็ด (ก) และถ้วยเพาะปลูกสำเร็จรูป (ข)	14
ภาพที่	3	ระบบ Hydroponics ที่ทำด้วยท่อ PVC (ก) และเครื่องสูบน้ำ (ข)	15
ภาพที่	4	เครื่องตรวจวัด EC (ก) และชุดตรวจสอบ pH (ข)	15
ภาพที่	5	ต้นกล้าเพาะที่ฟองน้ำเป็นเวลา 14-15 วัน (ก) ต้นกล้าพร้อมกับฟองน้ำที่เพาะมา 17 วันใส่ในถ้วยเพาะสำเร็จรูป (ข)	17
ภาพที่	6	การตรวจวัดอัตราการไหลของสารละลาย 3 จุด ได้แก่ ท่อก่อนเข้าระบบหมุนเวียนสารละลาย (ก), ท่อในระบบหมุนเวียนสารละลาย (ข) และท่อที่ออกจากระบบหมุนเวียนสารละลาย (ค)	17
ภาพที่	7	การนำต้นกล้าของพืชนำมาใส่ในรูของท่อ PVC ที่เจาะไว้	17
ภาพที่	8	การตรวจวัดค่า EC โดยใช้เครื่อง EC meter (ก) และการตรวจวัดค่า pH โดยใช้ชุดตรวจสอบ pH Drop Test (ข)	18
ภาพที่	9	การชั่งน้ำหนักพืช	18
ภาพที่	10	การอ่านค่าสเกล เพื่อหาค่าปริมาณน้ำของระบบที่หายไปในแต่ละวัน(มีความละเอียดเท่ากับ 250 มิลลิลิตร)	18
ภาพที่	11	การใช้น้ำของพืชในช่วงวันที่ 20 มีนาคม 2553 ถึงวันที่ 19 เมษายน 2553	22
ภาพที่	12	การใช้น้ำของพืชในช่วงวันที่ 30 กรกฎาคม 2553 ถึง 29 สิงหาคม 2553	22
ภาพที่	13	น้ำหนักเฉลี่ยต้นพืชรายสัปดาห์ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต	24
ภาพผนวกที่	1	รูปแบบและลักษณะของการปลูกพืชในระบบ Hydroponics	29
ภาพผนวกที่	2	การเจาะรูเพื่อใส่ถ้วยเพาะปลูกที่ท่อ PVC (ก) และลักษณะของรูเมื่อเจาะด้วยเครื่องเจาะ (ข)	30
ภาพผนวกที่	3	การเจาะข้องอ 90 องศา (ก) และลักษณะของรูที่เจาะของข้องอ 90 องศา (ข)	30
ภาพผนวกที่	4	ลักษณะท่อที่ใช้เชื่อมระหว่างข้องอ 90 องศา กับ ท่อ PVC (ก) และการเชื่อมท่อเชื่อมและข้องอ 90 องศาด้วยใช้กาวซิลิโคน (ข)	30
ภาพผนวกที่	6	เครื่องสูบน้ำต่อเข้ากับท่อ PE	31

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพผนวกที่	7	การใช้สายรัดพลาสติกรัดท่อให้ยึดติดกับโครงเหล็กและปิดบริเวณข้องอ 90 องศา ด้วยเศษถุงดำ (ก) และการคลุมถุงดำให้ถังสารละลายธาตุอาหารและน้ำ (ข)	32
ภาพผนวกที่	8	วาล์วควบคุมอัตราการไหล	32
ภาพผนวกที่	9	นำต้นกล้ามาเพาะในระบบ Hydroponics	32
ภาพผนวกที่	10	การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 1	33
ภาพผนวกที่	11	การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 2	33
ภาพผนวกที่	12	การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่(ก)และการเจริญเติบโตของพืช ในสัปดาห์ที่4(ข)	34
ภาพผนวกที่	13	การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 5	35
ภาพผนวกที่	14	การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 6	35
ภาพผนวกที่	15	การใช้น้ำของพืชในช่วงวันที่ 20 มีนาคม 2553 ถึงวันที่ 19 เมษายน 2553	42
ภาพผนวกที่	16	การใช้น้ำของพืชในช่วงวันที่ 30 กรกฎาคม 2553 ถึงวันที่ 29 สิงหาคม 2553	42
ภาพผนวกที่	17	การปลูกพืชในระบบเอนเอฟทีที่ใช้รางรูปแบบต่างๆที่ทำเป็นการค้าและการปลูก พืชในระบบเอนเอฟทีที่เป็นการค้า	59
ภาพผนวกที่	18	การปลูกพืชในระบบเอนเอฟทีที่แบบประยุกต์โดยใช้รางที่ทำจากลอนกระเบื้องมุง หลังคาที่ใช้ ผลิตผักไฮโดรโพนิกส์ศูนย์วิจัยพืชผักโครงการหลวงหนองหอย	59
ภาพผนวกที่	19	การปลูกพืชในระบบเอนเอฟทีแบบเป็นร่องโดยไม่ยกพื้น	60
ภาพผนวกที่	20	การปลูกพืชในระบบเอนเอฟทีที่ใช้ท่อที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอย และอ่างขาง	60
ภาพผนวกที่	21	การปลูกพืชในระบบเอนเอฟทีที่ใช้ท่อพีวีซีขนาดเล็กใช้ปลูกหลังบ้าน	60
ภาพผนวกที่	22	ระบบดีเอฟที ปลูกผักในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงอินทนนท์ อ่างขาง และหนองหอย	61
ภาพผนวกที่	23	ระบบดีอาร์เอฟ (Dynamic Root Floating)	62
ภาพผนวกที่	24	การปลูกพืชในระบบเออาร์-ดีอาร์เอฟ	62
ภาพผนวกที่	25	การปลูกผักกินผล เช่น แตงเมลอน มะเขือเทศ แตงกวาในน้ำโดยตรงใน ระบบดีอาร์เอฟ	62

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพผนวกที่	26	การปลูกผักในวัสดุปลูกที่เป็นทราย โดยเป็นระบบที่สารละลายธาตุอาหารพืชไม่ไหลเวียนหนองหอย	63
ภาพผนวกที่	27	การปลูกพืชในวัสดุปลูกโดยใช้กรวดแบบสารละลายหมุนเวียนที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง	63
ภาพผนวกที่	28	การปลูกพริกหวาน(พริกยักษ์)และมะเขือเทศในกากมะพร้าวสับบริเวณพื้นที่ของเกษตรกรในพื้นที่ดูแลและแปลงทดลองพืชผักของ ของมูลนิธิโครงการหลวงที่ตำบลโป่งแยงนอก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ แบบสารละลายไม่หมุนเวียนย้อนกลับโดยใช้ระบบน้ำหยด	64
ภาพผนวกที่	29	การปลูกพืชในวัสดุปลูกอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก) ที่บรรจุลงในกระสอบ	64
ภาพผนวกที่	30	ระบบปลูกในรางโดยใช้วัสดุปลูกอินทรีย์ในไต้หวัน	65
ภาพผนวกที่	31	การปลูกพืชในระบบแอโรโพนิกส์ในยานอวกาศแบบ rotation drum	65

คำนำ

การปลูกพืชไร้ดิน หรือ Hydroponics เป็นวิวัฒนาการปลูกพืชสมัยใหม่ ซึ่งไม่ใช้ดิน โดยให้สารอาหารในรูปแบบของสารละลายตามความต้องการของพืชในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสมโดยตรง ทำให้พืชที่ปลูกเจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีคุณภาพ และ ปลอดสารพิษ สามารถปลูกพืชได้ทุกที่ และตลอดทั้งปี และสามารถทำในครัวเรือนได้ นอกจากนี้ยังปลูกพืชได้หลายชนิดและยังสามารถปรับใช้ในการปลูกพืชไร้ดินเป็นการค้า ซึ่งเป็นที่ต้องการของท้องตลาดอย่างมากในปัจจุบัน ผลที่ได้รับคือการพัฒนาทางด้านการเกษตรสมัยใหม่ การเพาะปลูกที่สามารถทำได้ทุกๆที่ตลอดทั้งปี พืชผักที่ได้ปลอดสารพิษซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งของสุขภาพคนไทย

โครงงานนี้จึงต้องการศึกษาการปลูกพืชไร้ดินโดยเลือกพืชที่ทดลองปลูกได้แก่ ผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง โดยได้เปรียบเทียบวิธีการปลูกพืชไร้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT) ที่อัตราการไหลของสารละลายต่างกัน ผลจากการศึกษาดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงค่าอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมในการปลูกพืชไร้ดิน

วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบวิธีการปลูกพืชไร้ดินที่อัตราการไหลของสารละลายต่างกัน

ขอบเขตการศึกษา

1. ชนิดพืช: ผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง
2. ระยะเวลา: การปลูกผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง ใช้เวลาทั้งสิ้น 45 วัน
3. สถานที่ทำการทดลอง: บริเวณภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
4. สูตรปุ๋ย: ใช้สูตรปุ๋ยที่ดัดแปลงจากสูตรสารละลายธาตุอาหารพืชของ Enshi

การตรวจเอกสาร

1. ความหมายของ Hydroponics

ดิเรก (2547) กล่าวว่า ความหมายของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน จากคำว่า ไฮโดรโพนิกส์ หรือ ไฮโดรพอนิกส์ มาจากภาษาอังกฤษคือ Hydroponics เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูก (Non-substrate หรือ Water culture) กล่าวคือจะทำการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารพืชโดยให้รากพืชสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง

คำว่า Hydroponics มาจากการรวมคำสองคำเข้าด้วยกันแล้วความหมายคือคำว่า Hudor หมายถึง น้ำ และ Ponos หมายถึง งาน เมื่อรวมคำสองคำเข้าด้วยกันแล้วความหมายคือ Water working หรือหมายถึงการทำงานของน้ำที่มีสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืช

กล่าวโดยสรุป คือ การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หมายถึง วิธีการปลูกพืชที่เลียนแบบการปลูกบนดิน โดยการปลูกพืชลงบนวัสดุปลูกหรือไม่มีวัสดุปลูกก็ได้ เพื่อให้พืชได้รับสารอาหารหรือสารละลายธาตุอาหารพืช(ที่มีน้ำผสมกับปุ๋ยที่มีธาตุอาหารที่พืชต้องการจากทางรากพืช)อันเป็นการปลูกพืชที่เกี่ยวข้องกับการจัดการใน การผลิตพืชในสภาพควบคุมสิ่งแวดล้อม(Controlled Environment Agricultural Production) ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช (Growth and Development) และสิ่งแวดล้อม (Environment)

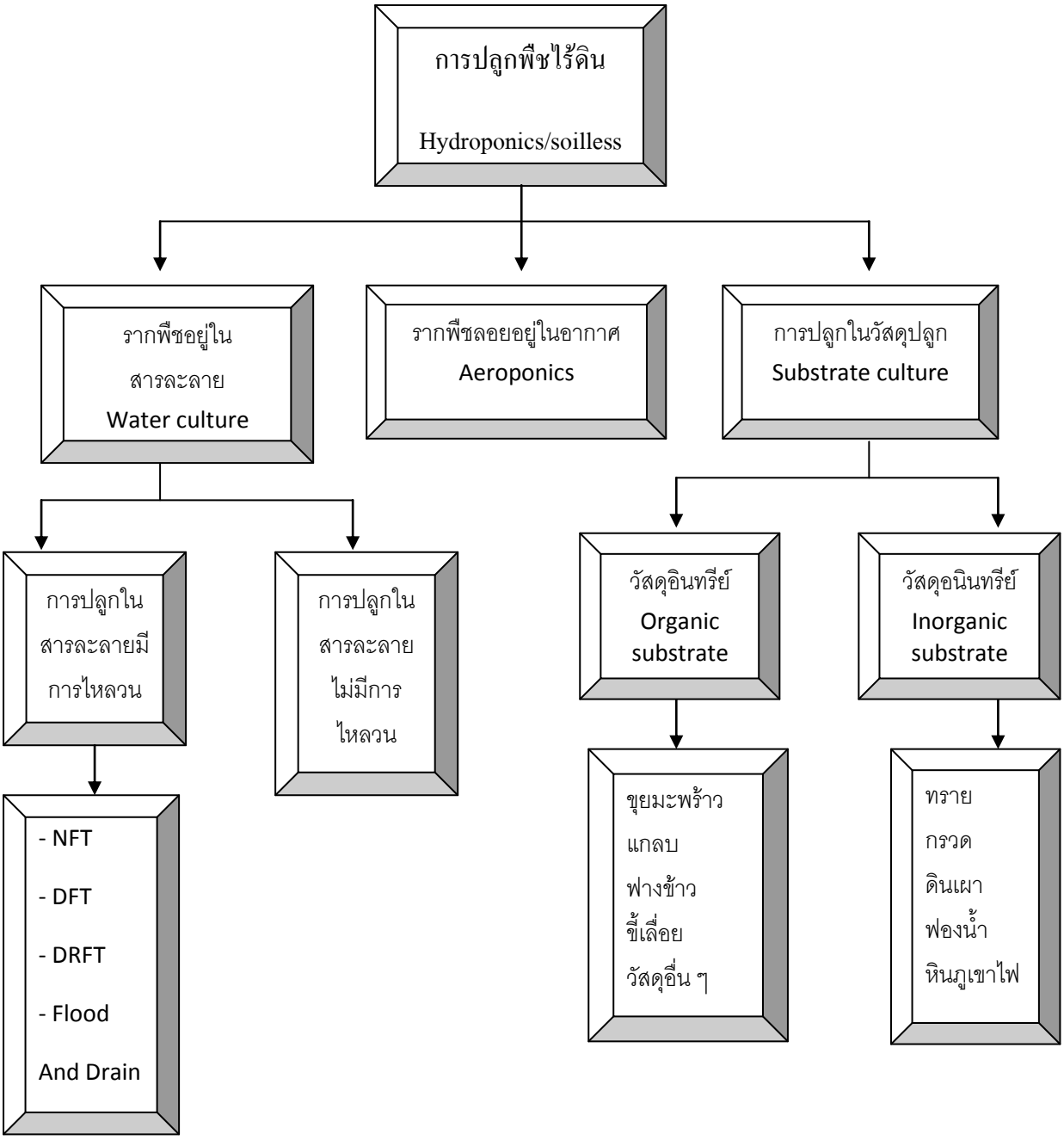
1.1 ประเภทของ Hydroponics

อภิรัฐ (2553) กล่าวว่า ระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินอาจจำแนกได้หลายแบบ อย่างไรก็ตามระบบการปลูกในแบบต่างๆก็มีการพัฒนาการจากระบบขั้นพื้นฐานมาจากระบบหลักๆตามลักษณะการให้สารละลายธาตุอาหารแก่บริเวณรอบๆรากพืช ซึ่งจำแนกออกเป็น3 ระบบดังนี้

1.1.1 รากพืชอยู่ในสารละลาย (Water culture)

1.1.2 รากพืชลอยอยู่ในอากาศ (Aeroponics)

1.1.3 การปลูกในวัสดุปลูก (Substrate culture)



ภาพที่ 1 ระบบการปลูกพืชไร้ดิน

สำหรับการปลูกแบบในสารละลายในสารละลายมีการไหลวนมี 4 แบบ

1) การปลูกพืชในระบบ NFT (Nutrient film technique) เป็นระบบที่รากพืชได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชโดยตรง สารละลายธาตุอาหารที่ให้จะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (หนาประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร) สารละลายธาตุอาหารจะไหลผ่านในราง ซึ่งมีลักษณะความกว้าง, ความยาว, ความสูง, ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการผลิตของผู้ผลิต ต้นพืชจะเติบโตขึ้นในถ้วยที่ใช้ปลูกจะวางอยู่ตรงกลางของราง รางจะช่วยป้องกันการระเหยน้ำจึงทำให้พืชดึงดูดใช้สารละลายธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่และเมื่อพืชเจริญเติบโตขึ้นรากจะงอกอยู่ในราง และเพื่อให้น้ำไหลได้บาง ตัวรางจึงต้องตั้งให้ลาดเอียงประมาณ 1-2% ทำให้รากพืชได้รับออกซิเจนได้มาก พืชจะเจริญเติบโตได้ดี อัตราการไหลอยู่ในช่วง 1 - 2 ลิตร/นาที แต่ทั้งนี้อัตราการไหลยังจะขึ้นอยู่กับความยาวของรางซึ่งจะต้องให้เพียงพอกับความต้องการในการเจริญเติบโตของพืชด้วย ในรางปลูกพืชกว้าง ตั้งแต่ 5-35 ซม. สูงประมาณ 5 - 10 ซม. ความกว้างรางขึ้นอยู่กับชนิดพืชที่ปลูก ความยาวของราง ตั้งแต่ 5 - 20 เมตร การไหลของสารละลายอาจเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบสลับก็ได้ โดยทั่วไปสารละลายจะไหลแบบต่อเนื่องรางอาจทำจากแผ่นพลาสติกสองหน้าขาวและดำ หนา 80 - 200 ไมครอน หรือจาก PVC ขึ้นรูปเป็นรางสำเร็จรูป, ทำจากโลหะ เช่น สังกะสี หรือ อะลูมิเนียม และบุภายในด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารละลาย โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรางและรากพืชและหมุนเวียนกลับมายังถังเก็บสารละลาย ในทางปฏิบัติจะยุ่งยากมากในการทำให้สารละลายธาตุอาหารแผ่นฟิล์มบางๆตลอดเวลา

2) การปลูกพืชในระบบ DFT (Deep Flow Technique) เป็นวิธีการปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารได้ลึกกว่าระบบ NFT โดยมีความลึกประมาณ 2-3 เซนติเมตร โดยอาจนำท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-4 นิ้ว ขึ้นอยู่กับการออกแบบของการปลูก ซึ่งอาจมีการออกแบบระบบในแนวราบหรือแบบซิกแซกก็ได้ เพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ระบบซิกแซกจะเหมาะกับพืชที่เจริญเติบโตช้า(ต้นสั้น) แต่ระบบแบบแนวราบจะเหมาะกับพืชทั้งแบบต้นสูงและต้นสั้น การวางของท่อจึงไม่จำเป็นต้องวางให้ลาดเอียงเหมือนกับระบบ NFT เพียงแต่ว่าการหมุนเวียนสารละลายต้องให้อัตราการไหลที่เหมาะสม

3) การปลูกพืชในระบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique) เป็นการปลูกพืชแบบให้สารละลายธาตุอาหารและอากาศไหลวนผ่านรากพืชในระดับลึกอย่างต่อเนื่องในถาดปลูก โดยที่สารละลายจะไหลผ่านรากพืชลึกกว่า NFT แต่จะลึกน้อยกว่าในระบบ DFT รางปลูกจะไม่ต้องลาดเอียงเหมือน NFT ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาน้ำแห้งรางเมื่อเกิดไฟฟ้าดับได้ นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการปลูกด้วยเทคนิคนี้ทำมาจากโฟมที่มีความหนาแน่นมาก เพื่อใช้เป็นฉนวนกันความร้อนให้ระบบรากพืช ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาในเรื่องอุณหภูมิของน้ำในระบบด้วย ระบบนี้ถูกพัฒนาเพิ่มเติมจากระบบ DFT แต่เพิ่มการไหลเวียนของอากาศและสารละลายธาตุอาหาร โดยรากพืชจะลอยอยู่ในอากาศและสารละลายธาตุอาหารของพืช โดยปั๊มน้ำช่วยในการหมุนเวียนสารละลาย

4) การปลูกในระบบ Flood and drain (น้ำขึ้นน้ำลง) การปลูกพืชในระบบนี้อาศัยหลักการ ในการให้สารละลายธาตุอาหารพืชในระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารและทำการระบายสารละลายกลับเข้าถังที่บรรจุสารละลายเพื่อให้พืชเกิดการแลกเปลี่ยนอากาศบริเวณรากพืช ต่อจากนั้นทำการให้สารละลายธาตุอาหารอีกโดยใช้ปั๊มเมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งแล้วทำการระบายน้ำออก ซึ่งจะทำเป็นวัฏจักรอย่างนี้ในการปลูกพืชโดยอาศัยตัวตั้งเวลาอัตโนมัติในการให้สารละลายและการระบายน้ำให้เหมาะสมเพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบออกไปอย่างกว้างขวาง ประยุกต์เอาข้อดี-เสียมาปรับปรุง ดังนั้นการเลือกใช้ระบบใด จึงขึ้นกับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้เป็นหลัก

สำหรับในโครงงานนี้ ได้เลือกใช้วิธีการปลูกพืชในระบบ DFT (Deep Flow Technique) โดยต้องการทำการศึกษาอัตราการไหลที่เหมาะสมของสารละลาย

1.2 ข้อเปรียบเทียบการทำการเพาะปลูกแบบใช้ดินกับการเพาะปลูกแบบไร้ดิน

นพพล (2550) กล่าวว่า การเพาะปลูกแบบไร้ดินช่วยให้เกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากกว่าการเพาะปลูกแบบใช้ดินทั้งนี้เพราะการเพาะปลูกแบบไร้ดินสามารถควบคุมการผลิตได้ง่ายกว่า มีปัจจัยหลายอย่างที่เอื้ออำนวยให้การเพาะปลูกแบบไร้ดินมีประสิทธิภาพดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อเปรียบเทียบการทำการเพาะปลูกแบบใช้ดินกับการเพาะปลูกแบบไร้ดิน

ข้อปฏิบัติ	การเพาะปลูกแบบใช้ดิน	การเพาะปลูกแบบไร้ดิน
1.การทำให้ปลอดเชื้อ	ทำได้ยาก สิ้นเปลืองสารเคมีที่จะใช้ในการอบดิน	ทำความสะอาดได้ง่าย ใช้เวลาน้อย ไม่สิ้นเปลือง
2.สารอาหารพืช	ไม่แน่นอน แปรปรวนตามลักษณะโครงสร้างของดิน ควบคุมสถานะทางเคมีและฟิสิกส์ได้ยาก	แน่นอนกว่า ควบคุมได้ปริมาณสารอาหารพอเพียงต่อพืชทุกต้นที่ปลูกได้ ตรวจสอบปริมาณสารอาหารได้ ควบคุมสถานะทางเคมีและฟิสิกส์ของสารละลายอาหารให้คงที่ได้ยาวนาน
3.ระยะปลูก	มีข้อจำกัดที่ปริมาณสารอาหารในดินและแสง ทำให้ต้องใช้ระยะปลูกห่าง	มีข้อจำกัดเฉพาะเรื่องแสงสามารถปลูกถี่ ทำให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง
4.การเตรียมการเพาะปลูก	ต้องไถพรวน	ไม่มีการไถพรวน
5.การกำจัดวัชพืช	ต้องกำจัดวัชพืชตลอดช่วงอายุปลูก	ไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายสำหรับกำจัดวัชพืช

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ข้อปฏิบัติ	การเพาะปลูกแบบใช้ดิน	การเพาะปลูกแบบไร้ดิน
6.โรคและแมลงศัตรูพืช	มีโรคและแมลงจากดิน เช่น ไส้เดือนฝอย ไข่แมลง เชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และสัตว์อื่น ๆ	ไม่มีดินซึ่งเป็นบ่อเกิดของเชื้อโรคและแมลงโดยตรง
7.ปริมาณธาตุอาหารที่ให้ในรูปของปุ๋ย	พืชใช้ได้น้อยกว่า เนื่องจากธาตุอาหารที่ได้ในรูปของปุ๋ยมีการซึมลึกลงในดินเลยชั้นรากของพืชที่ปลูกมากกว่า 50 % ของปริมาณที่ให้	สามารถให้ในปริมาณที่พืชต้องการ ไม่สูญเสียโดยการซึมลึก พืชที่ปลูกทุกต้นจะได้รับสารธาตุอาหารพืชสม่ำเสมอ
8.การปนเปื้อนของสารพิษ	มีโอกาสมาก	มีโอกาสน้อยมาก
9.การย้ายปลูก	กระทบกระเทือนมาก	กระทบกระเทือนน้อย
10.การสุกแก่ของพืช	ช้ากว่า	เร็วกว่า
11.คุณภาพของผลผลิต	วางตลาดในช่วงสั้น	วางตลาดได้นานกว่า
12.คุณภาพของวัสดุปลูก	ดินเสื่อมโทรมได้เร็ว	วัสดุปลูกเสื่อมช้ากว่า โดยเฉพาะวัสดุปลูกพวกทรายและดินเทียม
13.ผลผลิต	ปริมาณผลผลิตต่ำกว่าอย่างน้อย 50 %	เพิ่มปริมาณผลผลิตสูงกว่าปลูกบนดิน 1.5 – 2 เท่า
14.สถานที่ปลูก	ต้องมีดิน	ปลูกได้ทุกหนทุกแห่ง เช่น ปลูกในเรือดำน้ำ บนเรือรบและในอวกาศ
15.ปริมาณน้ำ	ปริมาณน้ำในดินมักจะไม่พอเพียง เนื่องจากดินยึดน้ำไว้ได้น้อย แต่น้ำส่วนใหญ่ซึมลึกเลยชั้นของราก พืชมักจะอยู่ในสภาพขาดน้ำเป็นเวลายาวนาน	ปริมาณพอเพียง ในกรณีที่พืชใช้จำนวนมาก มีเครื่องมือตรวจสอบ ถ้าพบว่าสารละลายอาหารเข้มข้นสามารถเติมน้ำได้ทันที ไม่มีปริมาณน้ำสูญเสียโดยการซึมลึกลงในดินและสูญเสียโดยการระเหยน้อยกว่าการปลูกบนดิน
16.การลงทุน	ต่ำกว่าในช่วงเริ่มต้น	สูงกว่าในช่วงเริ่มต้น

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตต่อไร่ระหว่างการเพาะปลูกแบบใช้ดินกับการเพาะปลูกแบบไร้ดิน ใน 1 ช่วงอายุปลูก

พืชปลูกใน 1 ช่วงอายุปลูก	**การเพาะปลูกแบบใช้ดิน (กก.)**	**การเพาะปลูกแบบไร้ดิน (กก.)**
ผักกาดหอม	4,040	10,000
ผักกาดขาว	5,900	8,500
แตงกวา	3,200	12,500
ถั่วเหลือง	270	700
ข้าว	460	2,300
มันฝรั่ง	8,000	70,000
มะเขือเทศ	5,000-10,000	60,000-300,000

1.3 ข้อดีข้อเสียของ Hydroponics

ดิเรก (2547) กล่าวว่าการปลูกพืชไร้ดินมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการปลูกพืชของการปลูกพืชไร้ดิน

ข้อดี	ข้อเสีย
1.สามารถปลูกพืชในบริเวณพื้นที่ที่ดินไม่ดีหรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก 2.ใช้พื้นที่เพาะปลูกน้อยและสามารถผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ 3.ประหยัดค่าขนส่งเพราะสามารถเลือกผลิตใกล้เขตชุมชนหรือแหล่งรับซื้อ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ทำให้มีศักยภาพในเชิงการค้าสูง 4.ประหยัดเวลา แรงงานและค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินและกำจัดวัชพืช 5.ใช้แรงงานน้อยแต่มีประสิทธิภาพสูง 6.สามารถปลูกพืชได้อย่างต่อเนื่องตลอดปีในพื้นที่เดียวกัน 7.พืชเจริญเติบโตได้เร็วและให้ผลผลิตเร็วกว่าการปลูกแบบธรรมดาอย่างน้อย 1 – 2 สัปดาห์ 8.ตัดปัญหาเกี่ยวกับศัตรูพืชที่เกิดจากดิน(โดยเฉพาะโรคทางดินและวัชพืช) ทำให้สามารถปลูกพืชในพื้นที่เดียวกันได้ตลอดปี ถึงแม้จะเป็นพืชชนิดเดียวกันก็ตาม 9.สามารถใช้น้ำและธาตุอาหารพืชอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ใช้น้ำลดลงไม่ต่ำกว่า 10 เท่าของการปลูกแบบธรรมดา 10.สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชได้อย่างถูกต้อง แน่นอนและรวดเร็ว โดยเฉพาะในระดับรากพืชได้แก่การควบคุมปริมาณธาตุอาหาร pH อุณหภูมิ ความเข้มข้นของออกซิเจน ฯลฯ ซึ่งการปลูกพืชแบบทั่วไปทำได้ยาก ทำให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่ได้สูงกว่าการปลูกแบบทั่ว ๆ ไปมาก	1.มีต้นทุนการผลิตเริ่มต้นค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆ มากมายและมีราคาแพง แต่มีศักยภาพในการคืนทุนเร็ว 2.ผู้ปลูกต้องมีความชำนาญและมีประสบการณ์มากพอในการควบคุมดูแล 3.ต้องการการควบคุมดูแลอย่างสม่ำเสมอ 4.ถ้าหากไม่มีความรู้และความสามารถในการจัดการที่ดีพออาจทำให้มีปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตพืชเช่นไนเตรตสูงจนเป็นอันตรายต่อการบริโภคได้ 5.วัสดุปลูกบางชนิดเน่าเปื่อยหรือสลายตัวยาก อาจเกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้หากไม่มีการควบคุมดูแลที่ดีพอ นอกจากนี้สารอาหารพืชที่ใช้แล้วหากไม่มีการจัดการที่ดีพอก็อาจสร้างปัญหาให้แก่น้ำได้ เช่น ไนเตรต เป็นต้น

2. ค่า EC และ pH และธาตุอาหารพืช

2.1 ค่าการนำไฟฟ้า หรือ Electric conductivity, (EC)

อภิรัฐ (2553) กล่าวว่า Electric Conductivity, (EC) มีหน่วยเป็น mS/cm หรือ ds/m ที่นิยมใช้ในการปลูกพืชไม่ใช้ดินเป็นเครื่องวัดเพื่อแสดงถึงความเข้มข้นของเกลือทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำโดยรวม โดยไม่สามารถแยกหรือบ่งบอกความเข้มข้นของเกลือแต่ละตัวได้

โดยทั่วไปน้ำบริสุทธิ์จะมีค่าความนำไฟฟ้าเป็นศูนย์ ดั้งนั้นเมื่อน้ำมีเกลือละลายอยู่เกลือเหล่านี้จะแตกตัวเป็นประจุบวก (Cation) และ ประจุลบ (Anion) ซึ่งประจุบวกและลบที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวนำไฟฟ้าทำให้สารละลายดังกล่าวมีค่าความนำไฟฟ้า (Electric conductivity) ซึ่งค่านำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำเพราะฉะนั้นเราจึงสามารถใช้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเป็นตัวบอกปริมาณเกลือที่ละลายในสารละลาย เนื่องจากปุ๋ยชนิดต่างๆที่ใช้ ส่วนใหญ่เป็นสารที่สามารถแตกตัวได้ สารที่มีประจุบวก (Cation) และ ประจุลบ (Anion) ทุกตัวจึงสามารถวัดความเข้มข้นโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ โดยใช้เครื่อง Electrical conductivity meter หรือ EC meter

2.2 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

อภิรัฐ (2553) กล่าวว่า ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) หมายถึง ค่าของแสดงความเป็นกรด-เบสของสารละลายโดยทั่วไป ถือว่าถ้า pH เท่ากับ 7 ถือว่า สารละลายมีสภาพเป็นกลาง ถ้า pH น้อยกว่า 7 ถือว่าสารละลายมีสภาพเป็นกรดและถ้า pH มากกว่า 7 ถือว่าสารละลายมีสภาพเป็นเบส ค่า pH มีความสำคัญต่อการเตรียมสารละลายของพืชมากเนื่องจากความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารของพืชในแต่ละธาตุขึ้นกับค่า pH โดยทั่วไปการปลูกพืชไม่ใช้ดินค่า pH จะอยู่ในช่วง 5.5-6.5 ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่เพาะปลูกด้วย

การตรวจสอบค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายธาตุอาหาร อาจทำให้โดยการใช้เครื่องวัดค่า pH หรือ pH meter มาทำการวัด ส่วนในกรณีที่ไม่มีเครื่องมือดังกล่าวอาจใช้ชุดตรวจสอบที่เรียกว่า pH-Kit ทำการตรวจสอบ (มีความถูกต้องน้อยกว่า pH meter)

2.3 ธาตุอาหารของพืช

อภิรัฐ (2553) กล่าวว่าธาตุอาหารพืชในการเพาะปลูกพืชโดยทั่วไปอาจพิจาณาจากปริมาณความต้องการของพืชโดยแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆ ได้แก่

2.3.1 มหธาตุ (Macronutrient elements)

ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ คาร์บอน(C), ไฮโดรเจน(H), ออกซิเจน(O), ไนโตรเจน(N), ฟอสฟอรัส(P), โปตัสเซียม(K), แคลเซียม(Ca), แมกนีเซียม(Mg), กำมะถัน(S) เป็นธาตุ

อาหารที่พืชต้องการมากความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยสูงกว่า500มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

โดยทั่วไปแล้วคาร์บอน(C), ไฮโดรเจน(H), ออกซิเจน(O), ไนโตรเจน(N), ฟอสฟอรัส(P), โปตัสเซียม(K), แคลเซียม(Ca), แมกนีเซียม(Mg), กำมะถัน(S) ซึ่งยังแบ่งต่อไปอีก2กลุ่มย่อย คือ ธาตุอาหารหลัก(Primary nutrient elements) และธาตุอาหารรอง(Secondary nutrient elements)

1) ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน(N), ฟอสฟอรัส(P), โปตัสเซียม(K)

2) ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม(Ca), แมกนีเซียม(Mg), กำมะถัน(S)

2.3.2 จุลธาตุ (Micronutrient elements)

ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ได้แก่ เหล็ก(Fe), แมงกานิส(Mn), สังกะสี(Zn), ทองแดง(Cu), โบรอน(B), โมลิบดินั่ม(Mo), คลอรีน(Cl) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยต่ำกว่า100มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในปัจจุบันได้มีการรวมธาตุนิกเกิล(Ni) มาอยู่ในจุลธาตุ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดิเรก (2547) กล่าวว่า นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาทดลองเรื่องต่างๆ เกี่ยวกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมาเป็นเวลานานแล้วและเมื่อมีการค้นพบในเรื่องของสารละลายธาตุอาหารพืชก็ได้มีการนำเอาวิธีการปลูกพืชวิธีนี้มาใช้ประโยชน์ทางการศึกษาในเรื่องเกี่ยวข้องกับพืชกันอย่างกว้างขวาง เช่น

1) การศึกษาทดลองทางด้านคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร เพื่อหาพืชที่มีโภชนาการสูง

2) การศึกษาทดลองทางด้านชีวภาพของพืช เพื่อการเรียนรู้ในเรื่องการเจริญเติบโตของพืชในระยะต่างๆการงอกของเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องของวิวัฒนาการและการเจริญเติบโตของพืชภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

3) การศึกษาทดลองทางด้านปุ๋ยหรือธาตุอาหารพืช เช่น อาการขาดธาตุอาหารของพืช ลักษณะการเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารภายในพืช หน้าที่ของธาตุอาหารต่างๆและอาการของพืชเมื่อได้รับธาตุอาหารเหล่านี้มากหรือน้อยเกินไป

4) การศึกษาทดลองทางด้านบทบาทของธาตุอาหารพืช เช่น ถ้าต้องการให้พืชมีปริมาณของธาตุอาหารใดธาตุอาหารหนึ่งในส่วนหรือผลผลิตของพืชที่ต้องการ เช่น ต้องการให้พืชมีวิตามินซีหรือธาตุเหล็กในใบ

5) การศึกษาทดลองทางด้านพันธุกรรมของพืช เพื่อปลูกพืชที่สมบูรณ์และแข็งแรงในห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการผสมเกสรของพืช

6) การศึกษาทดลองทางด้านโรคพืช เพื่อปลูกพืชในห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของโรคและพาหะของโรค

7) การศึกษาทดลองทางด้านการเลี้ยงต้นอ่อนของพืช โดยเฉพาะพืชที่ขยายพันธุ์ด้วยดินได้ยากเนื่องจากการเกิดโรคระบาดได้ง่าย เช่น ต้นกล้ามันฝรั่งที่ผ่านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

8) การศึกษาทดลองในลักษณะสหปัจจัย เช่น การศึกษาความอ่อนแอของพืชอันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารพืชต่อความต้านทานโรคและแมลงศัตรูพืช รวมทั้งการศึกษาปัญหาพิเศษต่างๆที่เกี่ยวข้อง

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Hydroponics อาทิ มิยดา และคณะ (2553) ได้ศึกษาเรื่อง การเจริญเติบโตของผักกาดหอมในวัสดุปลูก perlite และ vermiculite ชนิดต่างๆ ในระบบปลูก Nutrient Film Technique โดยการใช้แร่อุตสาหกรรม perlite และ vermiculite เพื่อปลูกผักกาดหอมแบบไม่ใช้ดินในระบบปลูกแบบให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นน้ำบางๆ (Nutrient Film Technique: NFT) โดย

ให้สารละลายธาตุอาหารสูตร Machlis and Torrey (1965) ที่ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) 1.2 mS/cm พบว่า ผักกาดหอมในวัสดุปลูก perlite ขนาด 4.75 มิลลิเมตร ให้เปอร์เซ็นต์การงอกดีสุด 78.85 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ วัสดุปลูกที่เป็นการผสมระหว่าง perlite ขนาด 3.00 มิลลิเมตร และ vermiculite แบบลูกเต๋า อัตราส่วน 2:1 และ 3:1 โดยปริมาตร ให้เปอร์เซ็นต์การงอกเท่ากับ 78.70 และ 69.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในด้านการเจริญเติบโตของผักกาดหอมสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 หลังย้ายปลูกลงรางในวัสดุปลูกชนิดต่างๆ ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติในสัปดาห์ที่ 4 ผักกาดหอมมีความแตกต่างกันในด้านน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และในสัปดาห์ที่ 5 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันเกือบทุกด้าน ยกเว้น การเจริญเติบโตทางด้านความราก โดยในวัสดุปลูก perlite ขนาด 3.00 มิลลิเมตร ผสม vermiculite แบบลูกเต๋า อัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตร ผักกาดหอมมีจำนวนใบ ความยาวต้น ขนาดทรงพุ่ม น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 23.8 ใบต่อต้น, 23.70เซนติเมตร, 25.25 เซนติเมตร, 62.10 กรัม และ 4.16 กรัม ตามลำดับ ดังนั้น การใช้ perlite ผสม vermiculite ในอัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตร ให้ผลดีในการนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบ NFT

กนกพร(2534) ได้ศึกษาเรื่อง การทดสอบพันธุ์แคนตาลูปในระบบปลูกพืชไร้ดิน โดยปลูกในส่วนผสมขุยมะพร้าวและแกลบดำและการเปรียบเทียบการปลูกในสารละลายธาตุอาหาร โดยศึกษาการปลูกพืชในสภาพไร้ดินแบบ Media culture ให้น้ำยาแบบหยดโดยมีขุยมะพร้าวผสมแกลบดำเป็นวัสดุปลูก เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของแตงแคนตาลูป จำนวน 4 พันธุ์ คือ Honey ball, Bunus, Prim และ Amur ซึ่งมี 4 วิธีการทดลอง แต่ละวิธีการทำการทดลอง 4 ซ้ำ วางแผนการทดลอง แบบ CRD พบว่าพันธุ์ Bonus ให้เปอร์เซ็นต์ความหวานของเนื้อผลเฉลี่ยสูงที่สุดรองลงมาได้แก่พันธุ์ Honey ball, Prim และ Amur ซึ่งแต่ละพันธุ์ให้เปอร์เซ็นต์ความหวาน 13.85, 12.70, 12.35, 12.15 deg Brix ตามลำดับ พันธุ์ Bonus ยังให้ผลแตงที่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลมากที่สุดอีกด้วย รองลงมาได้แก่ พันธุ์ Amur, Prim และ Honey ball ซึ่งแต่ละพันธุ์มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล 1265, 1205, 1148, 1095 กรัม ตามลำดับ โดยแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง พันธุ์ Bonus จึงเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการปลูกในสภาพไร้ดินแบบ Media culture ให้น้ำยาแบบหยด โดยมีขุยมะพร้าวผสมแกลบดำเป็นวัสดุปลูกแต่ควรมีการศึกษาถึงการลดปริมาณน้ำยาก่อนวันเก็บเกี่ยว เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความหวานและไม่ให้แตงเกิดอาการผลแตก นอกจากนี้พันธุ์ Amur ก็เป็นพันธุ์ที่น่าสนใจเพราะมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น แต่เปอร์เซ็นต์ความหวานของเนื้อผลเฉลี่ยต่ำจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเช่นเดียวกัน จากการเปรียบเทียบการปลูกแตงแคนตาลูป ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ Media culture ที่กล่าวมาข้างต้นกับแบบ water culture ซึ่งปลูกในน้ำยาและมีการเป่าอากาศเป็นระยะๆ พบว่าในพันธุ์เดียวกัน ต้นแตงที่ปลูกแบบ media culture มีการเจริญเติบโตดีกว่าให้ผลผลิตที่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลเปอร์เซ็นต์ความหวานสูงกว่าแบบ water culture ในทุกพันธุ์ที่ทดสอบ โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ทัศนีย์ (2534) ได้ศึกษาเรื่อง การทดสอบพันธุ์แคนตาลูปในระบบปลูกพืชไร้ดินในสารละลายธาตุอาหารและเปรียบเทียบกับการปลูกในส่วนผสมขุยมะพร้าวและแกลบดำ โดยการศึกษาการปลูกแตงแคนตาลูปในระบบไฮโดรโปนิกส์ ด้วยการใช้แตงแคนตาลูป 4 พันธุ์ ปลูกในระบบ Water culture และปลูกพร้อมกับระบบ Media culture สำหรับในระบบ Water culture จะเป่าอากาศ 4 นาที ไม่เป่าอากาศ 15 นาที สลับกันไปโดยเป่าอากาศเฉพาะเวลากลางวันใช้แตงแคนตาลูป 4 พันธุ์ คือพันธุ์ Honey ball, Bonus, Prim และ Amur การวางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 4 treatment (พันธุ์)ๆ ละ 4 ซ้ำ พบว่าพันธุ์ Bonus จะให้น้ำหนักผลเฉลี่ยสูงสุดคือ 910 กรัม และมีความแตกต่างทางสถิติกับทุกๆ พันธุ์ รองลงมาคือพันธุ์ Amur ด้วยค่าเฉลี่ย 830 กรัม Honey ball ด้วยค่าเฉลี่ย 810 และต่ำสุดคือ Prim ด้วยค่าเฉลี่ย 566.25 กรัม สำหรับเปอร์เซ็นต์น้ำตาลพบว่าพันธุ์ที่ให้เปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงสุดคือพันธุ์ Bonus ด้วยค่าเฉลี่ย 12.25 deg Brix และต่ำสุดคือพันธุ์ Honey ball ด้วยค่าเฉลี่ย 11.1 deg Brix สำหรับการปลูกในระบบ Media culture เปรียบเทียบกับระบบ Water culture ใช้แตงแคนตาลูป 4 พันธุ์คือพันธุ์ Honey ball, Bonus, Prim และ Amur พบว่าระบบ Media culture จะให้เปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงกว่าในระบบ water culture สำหรับพันธุ์เดียวกัน และยังพบว่าในน้ำหนักเฉลี่ยของผลที่ปลูกในระบบ Media culture จะมีค่าเฉลี่ยมากกว่าในระบบ water culture

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. อุปกรณ์

1. ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว
2. เครื่องสูบน้ำขนาดกลาง
3. ท่อ PE
4. ถ้วยเพาะปลูกสำเร็จรูป
5. โครงเหล็ก
6. วาล์วควบคุมอัตราการไหล
7. ฟองน้ำ
8. เครื่องวัดค่า EC และpH
9. ถังขนาด 25 ลิตร
10. ถุงดำใบใหญ่

(ก) (ข)

ภาพที่ 2 ฟองน้ำสำหรับเพาะเมล็ด (ก) และถ้วยเพาะปลูกสำเร็จรูป (ข)

(ก) (ข)

ภาพที่ 3 ระบบ Hydroponics ที่ทำด้วยท่อ PVC (ก) และเครื่องสูบน้ำ (ข)

(ก) (ข)

ภาพที่ 4 เครื่องตรวจวัด EC (ก) และชุดตรวจสอบ pH (ข)

2. วิธีการทดลอง

1. เพาะต้นกล้าผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดงโดยเพาะในฟองน้ำชิ้นเล็กๆขนาด 1 x 1 x 1 นิ้ว และกรีดตรงกลางฟองน้ำเพื่อใส่เมล็ด โดยฟองน้ำหนึ่งชิ้นใส่เมล็ดเพียง 1-2 เมล็ด แล้วนำมาเพาะในโรงเพาะต้นกล้า ที่มีแสงแดดและความชื้นที่เหมาะสม และให้น้ำทุกวันวันละ2 ครั้ง เช้า-เย็น ใช้เวลาเพาะต้นกล้า 14-15 วัน แล้วนำต้นกล้าพร้อมกับฟองน้ำที่เพาะมาใส่ในถ้วยเพาะสำเร็จรูป ดังแสดงในภาพที่ 5

2. จัดทำระบบการหมุนเวียนสารละลายเพื่อปลูกพืช Hydroponics แบบ Deep Flow Technique (DFT) โดยนำท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้วจำนวน 8 ท่อนความยาวท่อนละ 100 cm. มาเจาะรูเพื่อใส่ถ้วยเพาะปลูกโดยให้รูมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5.5 cm. ห่างกันประมาณ 10 cm. จะได้ทั้งหมด 4 รูต่อ 1 ท่อน แล้วนำมาติดตั้งกับโครงเหล็ก โดยใช้เครื่องสูบน้ำต่อกับท่อ PE สูบน้ำจากถังขนาด 25 ลิตรและมีวาล์วควบคุมอยู่ปลายท่ออีกด้านหนึ่งเพื่อกำหนดอัตราการไหล คลุมถังด้วยถุงดำ เพื่อรักษาความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารในถังให้เหมาะสม โดยแบ่งการทดลองอัตราการไหลของสารละลายเป็น 2 กรณีในการทดลองในครั้งเดียวกัน

3. ปรับตั้งค่าอัตราการไหลของสารละลายโดยใช้วาล์วควบคุม โดยวัดค่าอัตราการไหลของระบบจาก 3 ที่คือ อัตราการไหลที่จุดเริ่มต้นตรงหัววาวล์ก่อนเข้าระบบหมุนเวียนสารละลาย, อัตราการไหลในระบบหมุนเวียนสารละลาย และอัตราการไหลที่จุดสุดท้ายตรงปลายท่อที่ออกจากระบบหมุนเวียนสารละลาย ดังแสดงในภาพที่ 6 แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นปรับวาวล์เพื่อให้ได้อัตราการไหลตามที่ต้องการใช้ในการทดลอง

4. นำต้นกล้าของพืชพร้อมกับฟองน้ำที่เพาะมาใส่ในถ้วยเพาะปลูก นำมาใส่ในรูของท่อ PVC ที่เจาะไว้ ดังแสดงในภาพที่ 7

5. ตรวจวัดค่า EC และpH ทุกวัน วันละ 1 ครั้ง เพื่อควบคุมค่า EC และpH ให้เหมาะสมกับพืชโดยใช้เครื่อง Electrical conductivity meter หรือ EC meter และชุดตรวจสอบ pH Drop Test ดังแสดงในภาพที่ 8

6. ตรวจวัดน้ำหนักของพืชทุกๆ 7 วัน โดยชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ดังแสดงในภาพที่ 9 แล้วหาน้ำหนักของพืชโดยการนำน้ำหนักของพืชทั้งถ้วยที่ปลูกมาลบกับน้ำหนักถ้วยเพาะปลูกและน้ำหนักของน้ำในฟองน้ำ จะได้น้ำหนักของต้นและนำน้ำหนักรวมของต้นที่รอดมาหารด้วยจำนวนต้นที่รอด จะได้ค่าเป็นน้ำหนักเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์

7. การวัดหาค่าการใช้น้ำของพืช (ETc) หาจากปริมาณน้ำที่หายไปของระบบในแต่ละวัน ซึ่งทราบได้จากการอ่านค่าสเกล (มีความละเอียดเท่ากับ 250 มิลลิลิตร) ในถังขนาด 25 ลิตร ดังแสดงในภาพที่ 10 แล้วหารด้วยจำนวนต้น จากนั้นนำปริมาตรน้ำที่สูญเสียไปมาแปลงหน่วยจากมิลลิลิตรเป็นมิลลิเมตรโดยการหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของถ้วยเพาะปลูก (ซึ่งเท่ากับ 23.75 ตารางเซนติเมตร) ซึ่งจะได้ค่า ETc ของพืชในแต่ละวัน

(ก) (ข)

ภาพที่ 5 การเพาะต้นกล้าในฟองน้ำ (ก) ต้นกล้าพร้อมกับฟองน้ำที่เพาะเมื่อนำมาใส่ในถ้วยเพาะสำเร็จรูป (ข)

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 6 การตรวจวัดอัตราการไหลของสารละลาย 3 จุด ได้แก่ ท่อก่อนเข้าระบบหมุนเวียนสารละลาย (ก), ท่อในระบบหมุนเวียนสารละลาย (ข) และท่อที่ออกจากระบบหมุนเวียนสารละลาย (ค)

ภาพที่ 7 การนำต้นกล้าของพืชนำมาใส่ในรูของท่อ PVC ที่เจาะไว้

(ก) (ข)

ภาพที่ 8 การตรวจวัดค่า EC โดยใช้เครื่อง EC meter (ก) และการตรวจวัดค่า pH โดยใช้ชุดตรวจสอบ pH Drop Test (ข)

ภาพที่ 9 การชั่งน้ำหนักพืช

ภาพที่ 10 การอ่านค่าสเกล เพื่อหาค่าปริมาณน้ำของระบบที่หายไปในแต่ละวัน (มีความละเอียดเท่ากับ 250 มิลลิลิตร)

ผลการทดลอง

1. ค่าการนำไฟฟ้า (Electric conductivity หรือ EC) และค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

การปลูกผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดงในระบบ Hydroponics ควรมีการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตโดยเฉพาะค่าการนำไฟฟ้า (Electric conductivity หรือ EC) และค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ซึ่ง อภิรัฐ (2553) กล่าวว่าค่า EC ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ในช่วงระหว่าง 1.0-1.5 mS/cm และจากตารางที่ 4 พบว่าช่วงระหว่างการทดลองได้ควบคุมให้ค่า EC อยู่ในเกณฑ์นี้ตลอดทุกวัน ตั้งแต่หลังการเพาะต้นกล้าแล้วนำพืชมาลงในระบบ Hydroponics จนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งมีค่า EC ระหว่าง1.14-1.23 mS/cm (เฉลี่ย 1.22 mS/cm)

ส่วนค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอภิรัฐ (2553) อยู่ระหว่าง 5.2-7.0 ซึ่งตลอดช่วงการทดลองพบว่าค่าpH มีค่าระหว่าง 5.5-6.5 (เฉลี่ย 5.8) ซึ่งค่า pH มีผลต่อการดึงดูดสารละลายธาตุอาหารของพืชแต่ละชนิดในระบบการปลูกแบบ Hydroponics ดังนั้นจึงต้องควบคุมค่า pH ให้เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดและควบคุมค่า pH ให้เหมาะสมทุกวันตั้งแต่นำพืชมาลงระบบ Hydroponics จนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต

ตารางที่ 4 ค่าการนำไฟฟ้า (Electric conductivity หรือ EC) และค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

day	ค่าEC (mS/cm)				ค่าpH			
	Case A	Case B	Case C	Case D	Case A	Case B	Case C	Case D
1	1.16	1.20	1.21	1.22	6.5	6.5	5.5	5.5
2	1.16	1.20	1.21	1.21	6.5	6.5	5.5	5.5
3	1.17	1.17	1.22	1.23	5.5	5.5	5.5	5.5
4	1.14	1.19	1.22	1.23	6.5	6.5	5.5	5.5
5	1.18	1.23	1.23	1.23	5.5	5.5	5.5	5.5
6	1.2	1.22	1.22	1.23	5.5	6.5	5.5	5.5
7	1.21	1.19	1.20	1.22	6.5	6.5	5.5	5.5
8	1.23	1.18	1.22	1.20	6.5	6.5	5.5	5.5
9	1.21	1.20	1.21	1.20	6.5	5.5	5.5	5.5
10	1.23	1.23	1.22	1.21	6.5	5.5	5.5	5.5
11	1.20	1.20	1.23	1.23	5.5	5.5	5.5	5.5
12	1.21	1.21	1.22	1.23	6.5	6.5	5.5	5.5
13	1.21	1.20	1.21	1.23	5.5	6.5	5.5	5.5

ตารางที่ 4 (ต่อ)

day	ค่าEC (mS/cm)				ค่าpH			
	Case A	Case B	Case C	Case D	Case A	Case B	Case C	Case D
14	1.22	1.23	1.22	1.20	5.5	5.5	5.5	5.5
15	1.21	1.21	1.22	1.23	6.5	6.5	5.5	5.5
16	1.22	1.21	1.21	1.21	6.5	6.5	5.5	5.5
17	1.23	1.21	1.21	1.22	6.5	6.5	5.5	5.5
18	1.21	1.20	1.23	1.23	5.5	6.5	5.5	5.5
19	1.20	1.21	1.22	1.23	6.5	5.5	5.5	5.5
20	1.21	1.21	1.22	1.21	5.5	5.5	5.5	5.5
21	1.22	1.23	1.23	1.21	6.5	6.5	5.5	5.5
22	1.23	1.23	1.23	1.23	6.5	5.5	5.5	5.5
23	1.23	1.22	1.22	1.23	5.5	5.5	5.5	5.5
24	1.23	1.21	1.22	1.21	6.5	6.5	5.5	5.5
25	1.23	1.23	1.22	1.21	6.5	5.5	5.5	5.5
26	1.23	1.23	1.21	1.23	5.5	6.5	5.5	5.5
27	1.22	1.22	1.21	1.23	6.5	6.5	5.5	5.5
28	1.22	1.21	1.21	1.21	5.5	5.5	5.5	5.5
29	1.23	1.23	1.21	1.21	5.5	5.5	5.5	5.5
30	1.23	1.23	1.22	1.23	5.5	5.5	5.5	5.5
31	1.22	1.23	1.22	1.21	6.5	6.5	5.5	5.5
ค่าต่ำสุด	1.14	1.18	1.20	1.20	5.5	5.5	5.5	5.5
ค่าเฉลี่ย	1.21	1.21	1.22	1.22	6.1	6.1	5.5	5.5
ค่าสูงสุด	1.23	1.23	1.23	1.23	6.5	6.5	5.5	5.5

หมายเหตุ Case A หมายถึง กรณีอัตราการไหล 2 lpm

Case B หมายถึง กรณีอัตราการไหล 4 lpm

Case C หมายถึง กรณีอัตราการไหล 6 lpm

Case D หมายถึง กรณีอัตราการไหล 8 lpm

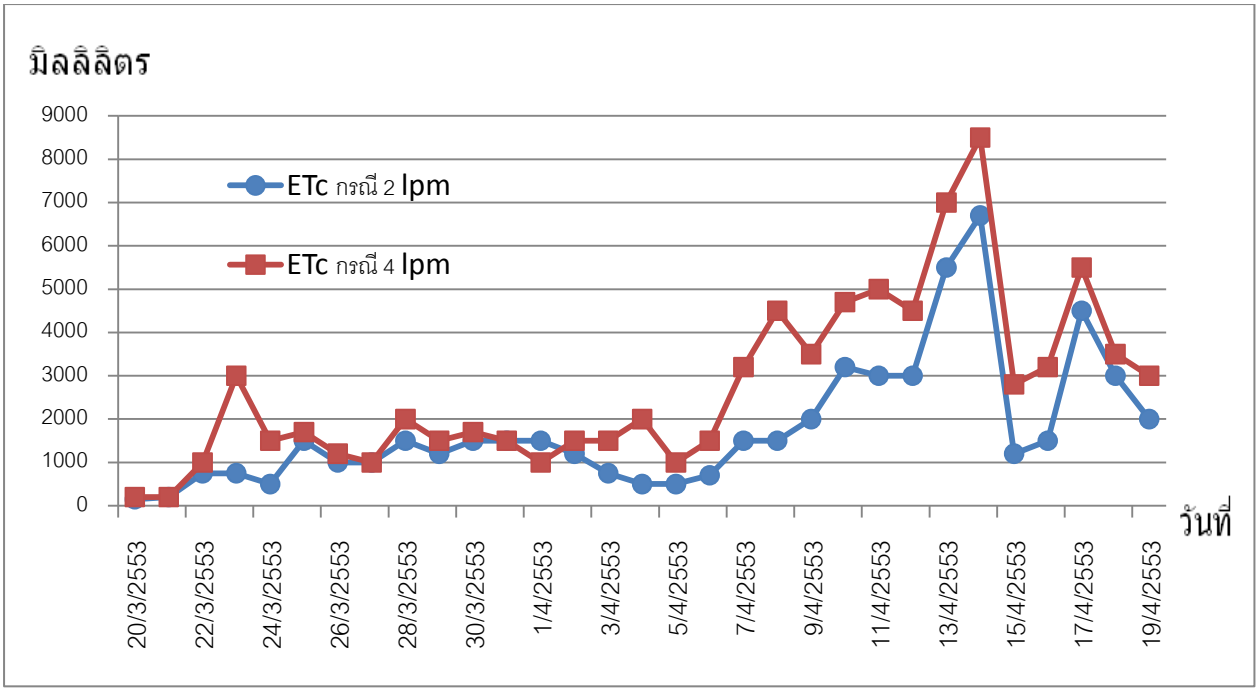
2. การใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration)

การทดลองได้แบ่งเป็น 2 ช่วงได้แก่ ช่วงที่ 1 ระหว่างวันที่ 20 มีนาคม 2553 ถึงวันที่ 19 เมษายน 2553 ทดสอบอัตราการไหล 2 lpm และอัตราการไหล 4 lpm และช่วงที่ 2 ระหว่างวันที่ 30 กรกฎาคม 2553 ถึงวันที่ 29 สิงหาคม 2553 ทดสอบอัตราการไหล 6 lpm และอัตราการไหล 8 lpm

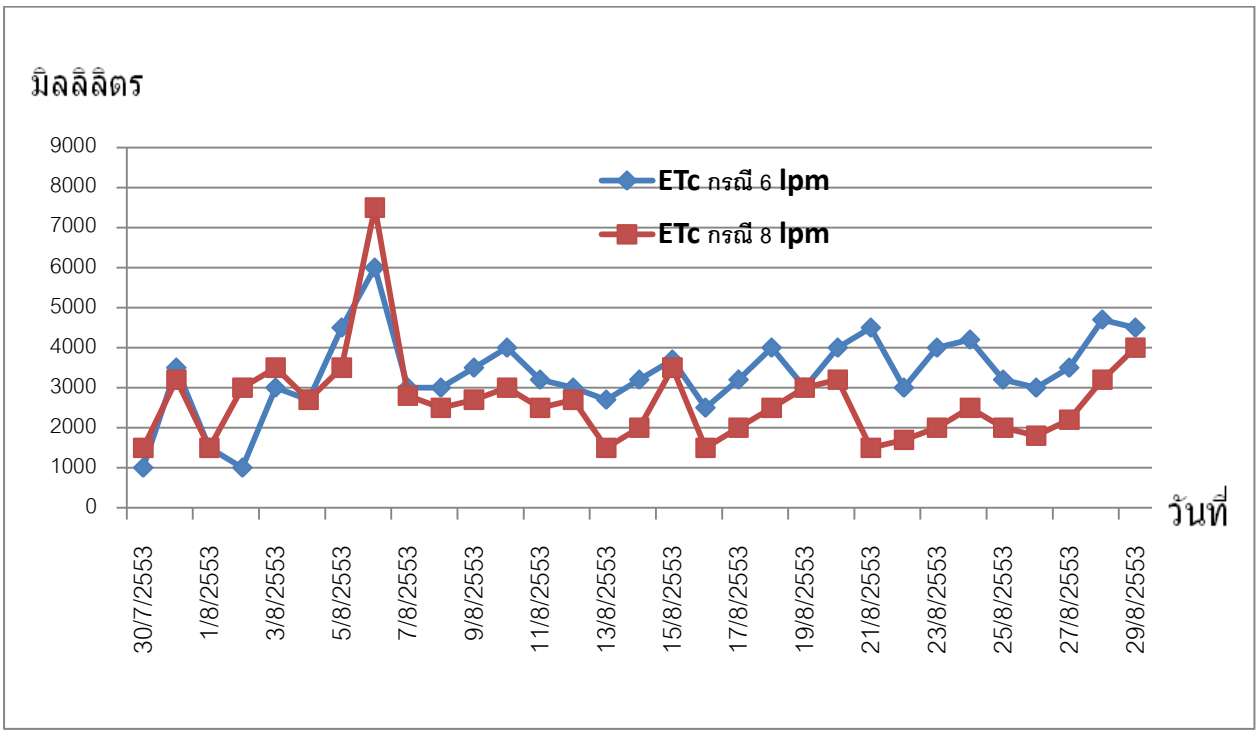
จากภาพที่ 11 และ 12 เมื่อพิจารณาค่าการใช้น้ำของพืช (ETc) ที่ปลูกในระบบ Hydroponics พบว่าช่วงที่ 1 ในกรณีอัตราการไหล 2 lpm มีค่าระหว่าง 150 ถึง 6,700 มล.ต่อวัน (เฉลี่ย 1,783.87 มล.ต่อวัน) และกรณีอัตราการไหล 4 lpm ค่า ETc มีค่าระหว่าง 200 ถึง 8500 มล.ต่อวัน (เฉลี่ย 2,706.45 มล.ต่อวัน) ส่วนช่วงที่ 2 ในกรณีอัตราการไหล 6 lpm ค่า ETc มีค่าระหว่าง 1,000 ถึง 6,000 มล.ต่อวัน (เฉลี่ย 3,348.39 มล.ต่อวัน) และกรณีอัตราการไหล 8 lpm ค่า ETc มีค่าระหว่าง 1,500 ถึง 7,500 มล.ต่อวัน (เฉลี่ย 2,667.74 มล.ต่อวัน)

โดยภาพรวมแล้ว ลักษณะกราฟทั้งสองช่วงมีค่าการใช้น้ำของพืช (ETc) สูงมากอาจเนื่องมาจากผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดงเป็นพืชที่ต้องการน้ำมากในแต่ละวันเมื่ออยู่ในช่วงที่ pH เหมาะสม อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าในช่วงที่ 1 ค่าการใช้น้ำของพืช (ETc) มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆตามการเจริญเติบโตของพืช มีบางช่วงที่ค่าการใช้น้ำที่ไม่เป็นตามแนวโน้มตามปกติที่ควรจะเป็น อาจจะเนื่องมาจากมาจากค่า pH ที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้พืชดึงดูดน้ำและสารละลายธาตุอาหารได้น้อยลง แต่โดยทั่วไปแล้วในช่วงที่ 1 ได้ทำการทดลองในช่วงฤดูร้อนซึ่งมีสภาพอากาศที่ร้อนจัด อุณหภูมิอากาศสูง เกิดการระเหยของน้ำของระบบเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจเกิดจากการจัดทำระบบหมุนเวียนสารละลายที่ไม่มิดชิดจึงอาจทำให้ระบบสูญเสียน้ำจากการระเหยเป็นจำนวนมาก ทำให้ค่าการใช้น้ำของพืช (ETc) อาจจะได้ค่าที่มากกว่าการใช้น้ำจริงของพืชตามปกติ

และในการทดลองช่วงที่ 2 ได้ใช้ค่า pH ให้เหมาะสมกว่าช่วงที่ 1 โดยมีค่า pH คงที่เท่ากับ 5.5 ตลอดช่วงการทดลองจึงน่าจะทำให้พืชดึงดูดน้ำและสารละลายธาตุอาหารได้ดีกว่า แต่ทั้งนี้ในช่วงการทดลองเป็นช่วงฤดูฝน อาจจะมีผลกระทบต่อการวัดค่าการใช้น้ำของพืชเนื่องจากระบบไม่มิดชิด ไม่มีที่บังน้ำฝน ทำให้น้ำฝนปะปนกับน้ำและสารละลายธาตุอาหารในระบบ จึงทำให้ค่าการใช้น้ำของพืช (ETc) มีค่าน้อยกว่าการใช้น้ำของพืชตามปกติที่ควรจะเป็น



ภาพที่ 11 การใช้น้ำของพืชในช่วงวันที่ 20 มีนาคม 2553 ถึงวันที่ 19 เมษายน 2553



ภาพที่ 12 การใช้น้ำของพืชในช่วงวันที่ 30 กรกฎาคม 2553 ถึงวันที่ 29 สิงหาคม 2553

3. พัฒนาการการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต

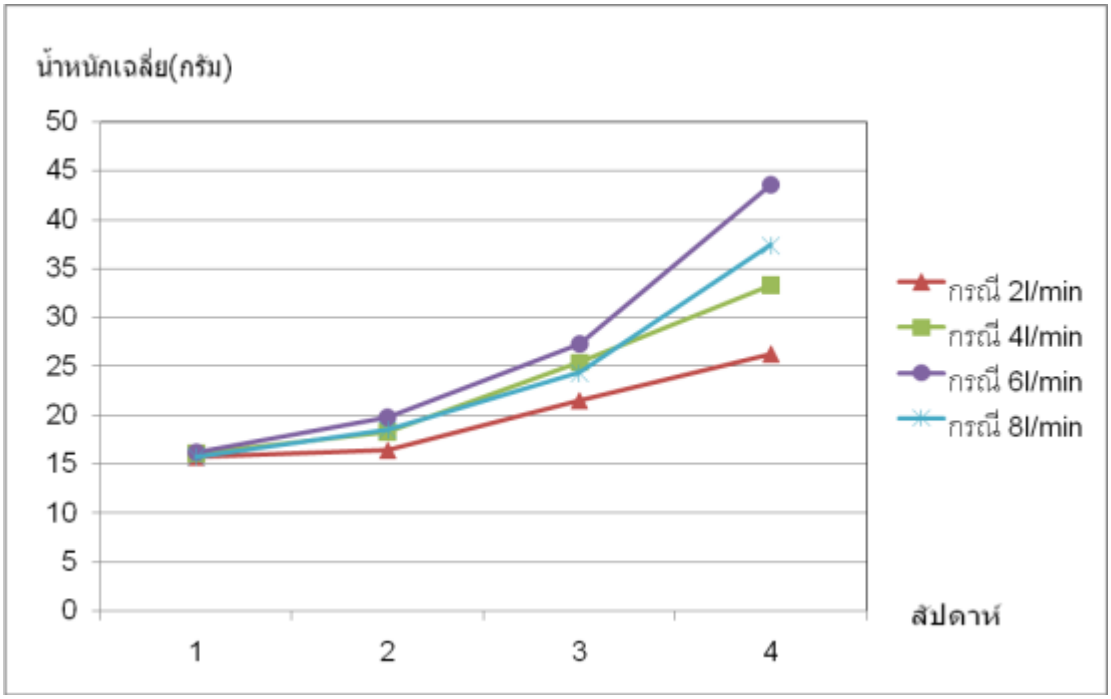
จากภาพที่13 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ยของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดงที่อัตราการไหลทั้ง 4 กรณีคืออัตราการไหลที่ 2 lpm, 4 lpm, 6 lpm และ8 lpm ซึ่งในปลูกพืชในระบบ Hydroponics ต้นกล้ามีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 15.7, 16.1, 16.2 และ15.7 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ทั้ง4 กรณีมีการเจริญเติบโตของพืชที่เพิ่มขึ้นซึ่งดูแนวโน้มจากน้ำหนักเฉลี่ยของพืชเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

และในช่วงการเก็บเกี่ยวจากตารางที่ 5 ในกรณีอัตราการไหล 4 lpm มีน้ำหนักรวมมากที่สุดเท่ากับ 666 กรัมรองลงมาเป็นกรณีอัตราการไหล 6 lpm มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 566.8 กรัม แต่เมื่อนำมาหาน้ำหนักเฉลี่ยพบว่าที่อัตราการไหล 6 lpm จะมีน้ำหนักเฉลี่ยของพืชมากที่สุดเท่ากับ 43.6 กรัมต่อต้น (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.88) และมีการใช้น้ำของพืชโดยเฉลี่ยมากที่สุด และอัตราการไหลที่ 8 lpm, 4 lpm และ2 lpm จะมีน้ำหนักเฉลี่ยของพืชรองลงมาคือ 37.4, 33.3 และ26.3 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.78, 1.48 และ1.32 ตามลำดับ แสดงว่ากรณีอัตราการไหล 6 lpm มีการเจริญเติบโตของพืชที่ดีที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักเฉลี่ยของพืชทั้ง 4 กรณี โดยการทดสอบความแตกต่างโดยใช้สถิติ F-Test (ดังแสดงในภาคผนวกที่ จ) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 อย่างไรก็ตาม กรณีอัตราการไหล 2 lpm และ4 lpm ทำการเพาะปลูกในช่วงฤดูร้อน ส่วนอัตราการไหล 6 lpm และ8 lpm ทำการเพาะปลูกในฤดูฝน ซึ่งความแตกต่างทางฤดูกาลอาจจะมีผลต่อความแตกต่างของการเจริญเติบโตของพืช เมื่อทดสอบความแตกต่างกรณีอัตราการไหล 2 lpm เปรียบเทียบกับกรณีอัตราการไหล 4 lpm และกรณีอัตราการไหล 6 lpm เปรียบเทียบกับกรณีอัตราการไหล 8 lpm พบว่า อัตราการไหลที่ต่างกันก็ทำให้พืชเจริญเติบโตแตกต่างกันด้วย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

จากการทดลองพบว่าที่อัตราการไหล 6 lpm มีน้ำหนักเฉลี่ยของพืชสูงสุด เมื่อเทียบกับอัตราการไหลที่ 8 lpm ซึ่งอัตราการไหลที่น่าจะสูงเกินไป อาจทำให้พืชไม่สามารถดึงดูดสารละลายธาตุอาหาร น้ำและออกซิเจนได้อย่างเต็มที่ จึงมีขนาดและน้ำหนักที่น้อยกว่า ส่วนอัตราการไหลที่ 2 lpm และ4 lpm ทดลองในสภาพอากาศที่ร้อนจัด อุณหภูมิสูง อาจจะไม่เหมาะสมกับการเพาะปลูกผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง ทั้งนี้เนื่องจากสภาพที่ร้อนทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้น้อยกว่าปกติจึงทำให้พืชมีน้ำหนักเฉลี่ยที่ค่อนข้างน้อย

เมื่อพิจารณาร้อยละการอยู่รอดของพืชจนถึงการเก็บเกี่ยว พบว่าในกรณีอัตราการไหลที่ 2 lpm และอัตราการไหลที่ 4 lpm มีร้อยละการรอดของพืชเท่ากับ 100 แต่ในกรณีอัตราการไหลที่ 6 lpm และอัตราการไหลที่ 8 lpm มีร้อยละการรอดของพืชเท่ากับ 93.33 และ86.67 ตามลำดับ ทั้งนี้น่าจะมาจากการเพาะปลูกในช่วงฤดูฝน ทำให้พืชได้รับผลกระทบจากแรงลม พายุฝน แมลงและศัตรูพืชทำให้บางต้นล้มตาย จึงส่งผลต่อร้อยละการรอดของพืชทั้งสองกรณีให้ลดลง



ภาพที่ 13 น้ำหนักเฉลี่ยต้นพืชรายสัปดาห์ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนต้นพืช, ร้อยละการอยู่รอด, น้ำหนักรวม และน้ำหนักเฉลี่ยของพืช

	Case A	Case B	Case C	Case D
จำนวนต้นที่เริ่มปลูก(ต้น)	20	20	14	15
จำนวนต้นที่รอด(ต้น)	20	20	13	13
ร้อยละการอยู่รอด	100.00	100.00	93.33	86.67
น้ำหนักรวม(กรัม)	526.0	666.0	566.8	486.2
น้ำหนักเฉลี่ย(กรัม/ต้น)	26.3	33.3	43.6	37.4
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.32	1.48	1.88	1.78

หมายเหตุ Case A หมายถึง กรณีอัตราการไหล 2 lpm

Case B หมายถึง กรณีอัตราการไหล 4 lpm

Case C หมายถึง กรณีอัตราการไหล 6 lpm

Case D หมายถึง กรณีอัตราการไหล 8 lpm

สรุปผลการทดลอง

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ค่า EC ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ในช่วงระหว่าง 1.0-1.5 mS/cm และค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ระหว่าง 5.2-7.0 โดยต้องควบคุมให้ค่า EC และpH อยู่ในเกณฑ์นี้ตลอดทุกวัน ตั้งแต่หลังการเพาะต้นกล้าแล้วนำพืชมาลงในระบบ Hydroponics จนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต

2. เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์น้ำหนักผลผลิตพบว่า อัตราการไหลของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดงในระบบHydroponics ควรจะมีค่าอัตราการไหลไม่น้อยหรือไม่มากจนเกินไป ซึ่งจากการทดลองพบว่าอัตราการไหลที่ 8 lpm อาจจะเป็นอัตราการไหลที่มากเกินไปเพราะมีการเจริญเติบโตของผลผลิตน้อยกว่า อัตราการไหลที่ 6 lpm และอัตราการไหลที่ 2 lpm อาจจะเป็นอัตราการไหลที่น้อยเกินไปสำหรับการปลูก อย่างไรก็ตามการปลูกในระบบ Hydroponics นั้น ความแตกต่างทางฤดูกาลอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตโดยเฉพาะการปลูกในช่วงที่มีอากาศร้อนจะทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้น้อยลง ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้

3. อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Nagano Yuga (2001) ซึ่งพบว่า อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำ (Dissolved Oxygen หรือ DO) ต่างกัน และอัตราการถ่ายโอนประจุของออกซิเจนใกล้กับพื้นผิวรากซึ่งส่งผลที่สำคัญต่อการแพร่ของสารละลาย อย่างไรก็ตาม กรณีอัตราการไหล 2 lpm และ4 lpm ทำการเพาะปลูกในช่วงฤดูร้อน ส่วนกรณีอัตราการไหล 6 lpm และ8 lpm ทำการเพาะปลูกในฤดูฝน ดั้งนั้นฤดูกาลอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย

4. เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดงที่ปลูกในระบบ Hydroponics กับผลการวิจัยของมิยดาและคณะ (2553) พบว่า มีน้ำหนักอยู่ที่ 62.10 กรัมแต่จากการทดลองนี้พบว่ามีน้ำหนักเฉลี่ยน้อยกว่าอาจจะเนื่องจากปัจจัยในการทดลองมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ซึ่งเกิดจากปัจจัยต่างๆ เช่น อัตราการไหลของสารละลาย, สภาพอากาศ, การติดตั้งระบบไหลเวียนสารละลาย และสถานที่ปลูกยังไม่มิดชิดเหมาะสมเท่าที่ควร

5. ถ้าจะทดลองปลูกพืชในระบบ Hydroponics ที่มีระบบใหญ่ โดยสมมุติว่าปลูกพืช 1,000 ต้นที่อัตราการไหล 6 lpm ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า มีค่าการใช้น้ำของพืช (ETc) อยู่ระหว่าง 30.06 ถึง 180.39 มม.ต่อวัน (เฉลี่ย 104.77 มม.ต่อวัน) ดังนั้นตลอดช่วงการเพาะปลูก 30 วันควรมีน้ำต้นทุนอย่างน้อย 1.25 ลูกบาศก์เมตรต่อ1ฤดูเพาะปลูก

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อควรระวังในการปลูกระบบ Hydroponics
    1) ดูแลและเก็บรักษาสารละลายธาตุอาหารในที่ที่เหมาะสมอยู่เสมอ โดยเก็บไว้ในที่ทึบแสงเพื่อหลีกเลี่ยงจากแสงแดดซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร
    2) ควรทำที่ป้องกันแมลงและศัตรูพืชให้กับระบบ Hydroponics ที่เพาะปลูก
    3) ตรวจตราและเติมสารละลายธาตุอาหารและน้ำในระหว่างการเพาะปลูกพืชในระบบ Hydroponics อยู่เสมอ
    4) ควรติดตั้งระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชระบบ Hydroponics ให้ปลอดภัยในขณะที่ทำการเพาะปลูก
    5) ควรทำระบบ Hydroponics ในแต่ละแบบที่ต้องการให้ถูกต้องและเหมาะสม ไม่มีการรั่วซึมและระเหยของสารละลายธาตุอาหารและน้ำ
    6) ควรมีการทดลองหลายซ้ำ เพื่อนำค่ามาทดสอบความแตกต่างทางสถิติ

2. สิ่งที่ควรปรับปรุงในการทดลองครั้งต่อๆ ไป คือ การจัดทำระบบ Hydroponics ในโรงเรือนให้มิดชิด มีที่บังแดดและบังน้ำฝนและอยู่ในสถานที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชในระบบ Hydroponics ซึ่งจะช่วยในการควบคุมตัวแปรด้านสภาพอากาศได้รวมถึงการปลูกพืชในสภาพอากาศที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด

3. สิ่งที่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม คือ อัตราการไหลของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตต่อพืชชนิดอื่นๆ ที่ปลูกในระบบ Hydroponics

4. ในการค่าลงทุนในการปลูกพืชระบบ Hydroponics จะมีค่าลงทุนที่มากในส่วนของโครงสร้างและการทำระบบ ได้แก่ โครงเหล็ก, ท่อ PVC, ปั๊มน้ำ และถังน้ำ ซึ่งเป็นต้นทุนคงที่ (Fix cost) มีการลงทุนเพียงครั้งเดียวแต่ใช้ประโยชน์ได้นาน นอกจากนี้ต้นทุนผันแปร (Variable cost) บางอย่างสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายชุดเช่น เมล็ดพันธุ์ของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง 1 ชุดสามารถใช้ปลูกได้ 4 ครั้งและถ้วยเพาะปลูก 1 ชุด สามารถใช้ปลูกได้ 2 ครั้ง เป็นต้น สำหรับโครงงานนี้มีค่าการลงทุนรวมทั้งหมดเท่ากับ 1,820 บาท ในขณะที่ผลตอบแทน เมื่อเปรียบเทียบราคาของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดงในการปลูกแบบ Hydroponics จากการสำรวจราคาตลาดในห้างสรรพสินค้า พบว่าอยู่ในช่วง 32 ถึง 49 บาท ต่อ 100 กรัม (เฉลี่ย 41 บาทต่อ100 กรัม) ซึ่งจากการทดลองปลูก จำนวน 2 ครั้งได้ผลผลิตรวมทั้งสิ้น 2,245 กรัม คิดเป็นมูลค่า 920 บาท ดังนั้นผลตอบแทนในการลงทุนในการปลูกพืชระบบ Hydroponics จะทำให้ไม่คุ้มทุนถ้าทำการเพาะปลูกเพียง 2 ครั้ง ดังนั้นถ้าจะให้ได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนจะควรทำการเพาะปลูกมากกว่า 4 ครั้งขึ้นไป

เอกสารอ้างอิง

กนกพร สมพรไพลิน, 2534, **การทดสอบพันธุ์แคนตาลูปในระบบปลูกพืชไร้ดินโดยปลูกในส่วนผสมขุยมะพร้าวและแกลบดำและการเปรียบเทียบการปลูกในสารละลายธาตุอาหาร**, น. 130 ***ใน*** บทคัดย่องานวิจัย ของนักศึกษาปริญญาตรี ปีการศึกษา 2534, กรุงเทพฯ**.**

โครงการหลวง, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยแม่โจ้. ม.ป.ป.. **ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.** (แหล่งที่มา) http://maejohydroponics.org/pdf/hydro003.pdf/ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน, 23 กันยายน 2553

ดิเรก ทองอร่าม. 2547. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. สำนักพิมพ์ธรรมรักษ์การพิมพ์, ราชบุรี.

ทัศนีย์ มณีธรรม, 2534. **การทดสอบพันธุ์แคนตาลูปในระบบปลูกพืชไร้ดินในสารละลายธาตุอาหาร และเปรียบเทียบกับการปลูกในส่วนผสมขุยมะพร้าวและแกลบดำ**, น. 134 ***ใน*** บทคัดย่องานวิจัยของนักศึกษาปริญญาตรี ปีการศึกษา 2534, กรุงเทพฯ.

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2547. **เอกสารประกอบการอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินระหว่างวันที่ 20-22 ตุลาคม 2547**, ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตรกำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

นภดล เรียบเลิศหิรัญ. 2550. **การปลูกพืชไร้ดิน**. สุวีริยสาส์น, กรุงเทพฯ.

พนมพร ถนอมทรัพย์. 2545. **ความปลอดภัยของผักไร้ดิน.** (แหล่งที่มา) http://www.moph.go.th/ops/doctor/DrApril45/world1101.doc, 23 กันยายน 2553

มิยดา นาเอก, สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, นิรันดร์ จันทร์วงศ์ และพรสวาท วัฒนกูล, 2553, **การเจริญเติบโตของผักกาดหอมในวัสดุปลูก perlite และ vermiculite ชนิดต่างๆ ในระบบปลูก Nutrient Film Technique**, น.288-296 ***ใน*** เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ**.**

อภิรัฐ ปิ่นทอง. 2553. **เอกสารอบรมการปลูกพืชไร้ดิน**, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

Nagano Yuga, Watanabe Shinichi, Okano Kunio and Tatsumi Jiro. 2001. Effects of Flow Rate of Hydroponic Nutrient Solution on Growth and Ion Uptake by Tomato Seedlings. **Environment Control in Biology**, 39(3):199-204.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การติดตั้งระบบการปลูกพืช Hydroponics และการทดสอบอัตราการไหลของสารสะลายธาตุอาหาร

การปลูกพืชระบบ Hydroponics แบบ DFT เพื่อทดลองอัตราการไหลที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง สามารถทดลองปรับอัตราการไหลได้ 2 กรณีในการทดลองในครั้งเดียว โดยแบ่งเป็นระบบด้านซ้ายและขวา ดังแสดงในภาพผนวกที่ 1

ภาพผนวกที่ 1 รูปแบบและลักษณะของการปลูกพืชในระบบ Hydroponics

เจาะรูเพื่อใส่ถ้วยเพาะปลูก ที่ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ด้วยเครื่องเจาะสว่านใช้หัวแบนเจาะให้รูมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5.5 เซนติเมตร และให้ห่างกันประมาณ 10 เซนติเมตร จะได้ทั้งหมด 5 รูต่อหนึ่งท่อน (ความยาว 100 เซนติเมตร) ดังแสดงในภาพผนวกที่ 2 จากนั้น เจาะข้องอ 90 องศาให้เป็นรูด้วยเครื่องเจาะสว่านหัวแหลมทั้งหมดรวม 6 ตัว (ในการทดลองทั้ง 2 กรณี) ดังแสดงในภาพผนวกที่ 3

นำชิ้นส่วนท่อเล็กที่ตัดมาประกอบกันเพื่อทำเป็นท่อเชื่อมระหว่างข้องอ 90 องศา กับ ท่อ PVC เป็นการเชื่อมการหมุนเวียนของระบบและเป็นการกำหนดระดับความสูงของน้ำ ทำท่อเชื่อมทั้งหมดรวม 6 ชุด (ในการทดลองทั้ง 2 กรณี) ทำการเชื่อมท่อเชื่อมและข้องอ 90 องศาด้วยกาวซิลิโคน โดยให้ความสูงของตัวกำหนดระดับความสูงของน้ำเท่ากันทุกชุด ดังแสดงในภาพผนวกที่ 4

(ก)

(ข)

ภาพผนวกที่ 2 การเจาะรูเพื่อใส่ถ้วยเพาะปลูกที่ท่อ PVC (ก) และลักษณะของรูเมื่อเจาะด้วยเครื่องเจาะ (ข)

(ก)

(ข)

ภาพผนวกที่ 3 การเจาะข้องอ 90 องศา (ก) และลักษณะของรูที่เจาะของข้องอ 90 องศา (ข)

(ก)

(ข)

ภาพผนวกที่ 4 ลักษณะท่อที่ใช้เชื่อมระหว่างข้องอ 90 องศา กับ ท่อ PVC (ก) และการเชื่อมท่อเชื่อมและข้องอ 90 องศาด้วยใช้กาวซิลิโคน (ข)

วัดความสูงของตัวกำหนดระดับความสูงของน้ำให้เท่ากันหมด (6 ชุด) เพื่อให้ระดับน้ำในแต่ละท่อเท่ากัน โดยให้ตัวกำหนดระดับความสูงของน้ำมีความสูงประมาณ 3 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพผนวกที่ 5 จากนั้น นำเครื่องสูบน้ำหรือปั๊มขนาดกลางต่อเข้ากับท่อ PE แล้วนำมาไว้ในถังสารละลายธาตุอาหารขนาดและน้ำ 25 ลิตร เพื่อหมุนเวียนสารละลายดังแสดงในภาพผนวกที่ 6

(ก) (ข)

ภาพผนวกที่ 5 การตรวจวัดความสูงของตัวกำหนดระดับน้ำ (ก) และการตรวจสอบความสูงระดับน้ำในท่อ (ข)

ภาพผนวกที่ 6 เครื่องสูบน้ำต่อเข้ากับท่อ PE

ใช้สายรัดพลาสติกรัดท่อ PVC ให้ยึดติดกับโครงเหล็กเพื่อไม่ให้ท่อ PVC ตกลงมาจากโครงเหล็ก และปิดบริเวณข้องอ 90 องศาด้วยเศษถุงดำแล้วใช้สายรัดพลาสติกรัดไว้ รวมทั้งคลุมถุงดำขนาดใหญ่ให้ถังสารละลายธาตุอาหารและน้ำขนาด 25 ลิตร เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและผลกระทบจากแสงแดดที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ดังแสดงในภาพผนวกที่ 7 จากนั้นนำปลายข้างหนึ่งของท่อ PE มาต่อกับเครื่องสูบน้ำแล้ว จึงนำปลายอีกข้างมาต่อกับวาล์วควบคุมอัตราการไหล เพื่อกำหนดอัตราการไหลของสารละลายที่ต้องการ ดังแสดงในภาพผนวกที่ 8

นำต้นกล้าที่เพาะในฟองน้ำมาใส่ถ้วยเพาะปลูก แล้วนำถ้วยเพาะปลูกมาใส่ในรูที่เจาะไว้ แล้วต่อไฟให้ปั๊มทำงาน ซึ่งถือว่าการติดตั้งระบบสำเร็จเรียบร้อย พร้อมใช้งาน ดังแสดงในภาพผนวกที่ 9

(ก)

(ข)

ภาพผนวกที่ 7 การใช้สายรัดพลาสติกรัดท่อให้ยึดติดกับโครงเหล็กและปิดบริเวณข้องอ 90 องศา ด้วยเศษถุงดำ (ก) และการคลุมถุงดำให้ถังสารละลายธาตุอาหารและน้ำ (ข)

ภาพผนวกที่ 8 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

ภาพผนวกที่ 9 นำต้นกล้ามาเพาะในระบบ Hydroponics

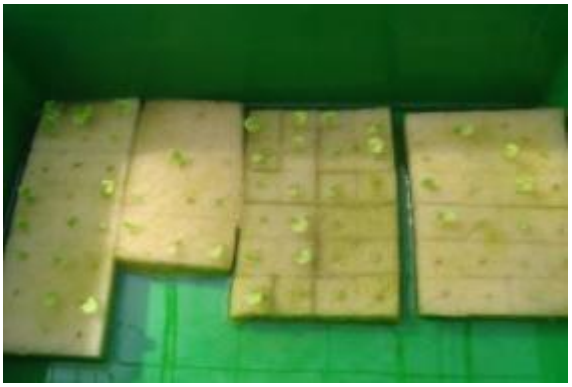
ภาคผนวก ข

การเจริญเติบโตของพืช

การเจริญเติบโตของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดงในสัปดาห์แรก ต้นกล้าจะมีขนาดเล็กมาก บางต้นเริ่มแตกใบเล็กๆประมาณ 1-2 ใบ และใบจะมีสีเขียว ดังแสดงในภาพผนวกที่ 10

ภาพผนวกที่ 10 การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 1

การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 2 ต้นกล้าจะโตกว่าสัปดาห์แรกมาก เพราะต้นกล้าเริ่มที่จะมีรากจึงสามารถดึงดูดน้ำได้มาก จะมีขนาดของใบที่ใหญ่ขึ้น และจำนวนใบมีเพิ่มมากขึ้น โดยมีจำนวนใบประมาณ 2-3 ใบ ภาคผนวกที่ 11 (ก) ดังนั้นจึงนำต้นกล้าของพืชพร้อมกับฟองน้ำมาใส่ในถ้วยเพาะปลูกเพื่อนำมาเพาะปลูกในระบบ Hydroponics ได้ภาคผนวกที่ 11 (ข)



(ก)

(ข)

ภาพผนวกที่ 11 การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 2

การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 3 หลังจากการนำต้นกล้ามาเพาะปลูกในระบบ Hydroponics ได้ 1 สัปดาห์แล้ว พืชในระบบจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เพราะได้รับสารสะสายธาตุอาหารและน้ำที่ต้องการในการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ ซึ่งรากของพืชจะแตกแขนงและยาวมากขึ้น และทำให้พืชดึงดูดสารละลายได้มากขึ้น จำนวนใบมากขึ้น และมีขนาดของใบที่ใหญ่ขึ้นภาคผนวกที่ 12 (ก)

การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 4 รากของพืชจะแตกแขนงและยาวมากขึ้น จำนวนใบมากขึ้น และมีขนาดของใบที่ใหญ่กว่าสัปดาห์ที่ 3 แต่ใบของพืชจะเริ่มมีจุดสีแดงเล็กๆ ซึ่งเป็นไปตามพันธุ์ของพืช ภาคผนวกที่ 12 (ข)

(ก)

(ข)

ภาพผนวกที่ 12 การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 3 (ก) และการเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 4 (ข)

การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 5 พืชเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆรากของพืชจะแตกแขนงและยาวมากขึ้น จำนวนใบมากขึ้น มีขนาดของใบที่ใหญ่กว่าสัปดาห์ที่ 4 และจุดสีแดงมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น จึงเริ่มที่จะเป็นไปตามพันธุ์ของพืชแล้วดังแสดงในภาพผนวกที่ 13

การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 6 เป็นสัปดาห์ของการเก็บเกี่ยวพืช พืชจะโตเต็มที่และมีลักษณะเป็นทรงพุ่ม มีจำนวนใบมากและมีใบที่ใหญ่ ใบจะมีสีเขียวปนม่วง ซึ่งจะแสดงออกถึงพันธุ์ของพืชได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพผนวกที่ 14

ภาพผนวกที่ 13 การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 5

ภาพผนวกที่ 14 การเจริญเติบโตของพืชในสัปดาห์ที่ 6

ภาคผนวก ค

การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration, ETo) ด้วยวิธี FAO Penman-Montieth

จากสมการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงด้วยวิธี FAO Penman-Montieth

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

ยกตัวอย่างการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ในวันที่ 15 เมษายน 2553

กำหนดพารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยากำแพงแสน

T_{max} = 38.1 °C

T_{min} = 26.5 °C

Wind Speed 4 km/hr

Sunshine 7 hr

Altitude 7 รทก.

Latitude $14^{\circ}01'$ N

Wind Vane 11 m.

หาพารามิเตอร์อากาศ

$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P$

$\gamma = 0.665 \times 10^{-3}(101.2173)$

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

$P = 101.3\left(\frac{293-0.0065(7)}{293}\right)^{5.26}$

P = 101.2173 kpa

$\therefore \gamma = 0.0673$

หาความเร็วลม U_2

$$U_2 = U_Z \text{ x } \frac{4.78}{\ln(67.8(Z)-5.42)}$$

$$U_Z = \frac{4x1000}{3600} \text{ m/s}$$

U_Z = 1.11 m/s

$$U_2 = 1.11 \text{ x } \frac{4.78}{\ln(67.8(11)-5.42)}$$

U_2 = 0.8190 m/s

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

เมื่อ Δ = ความชันโค้งไอน้ำอิ่มตัว

$$T = T_{mean} = \frac{Tmax+Tmin}{2} = \frac{33.8+22.6}{2} = 32.3\ ^{\circ}C$$

$$\Delta = 2503 \text{ x } \frac{2503\ x\ e^{(\frac{17.27(32.3)}{32.3+237.3})}}{(32.3+237.3)^2} = 0.2727$$

หาความดันไอน้ำในอากาศที่ขาด $(e_s - e_a)$

$$e_s = \frac{e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})}{2}$$

$$E^0(T_{max}) = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27(Tmax)}{Tmax+237.3}\right) = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27(38.1)}{38.1+237.3}\right) = 6.6607 \text{ kPa}$$

$$E^0(T_{min}) = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27(Tmin)}{Tmin+237.3}\right) = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27(26.5)}{26.5+237.3}\right) = 3.4621 \text{ kPa}$$

$$\therefore e_s = \frac{6.6607+3.46}{2} = 5.0614$$

จาก e_a = RH x e_s

$$RH = \frac{(\frac{RHmax+RHmin}{2})}{100} = \frac{(\frac{97+45}{2})}{100} = 0.71$$

$\therefore$ e_a = 0.71 x 5.0614 = 3.5936 kPa

$(e_s - e_a)$ = 5.0614 - 3.5936 = 1.4678 kPa

พลังงานรังสีสุทธิ$(R_n - G)$

J = Julian day วันที่ 15 เมษายน 2553 (J = 105)

$\emptyset$ (ละติจูด) $14^{\circ}01'$ N = $14+\frac{01}{60}$ = 14.01667 degree = $(14+\frac{01}{60})$ x $\frac{\pi}{180}$ = 0.2446 Rad

$R_n = R_{ns} - R_{nl}$

$R_{ns} = (1-\alpha)R_s$

เมื่อ $R_s = (0.25+0.5\frac{n}{N})R_a$

โดยที่ n = sunshine duration, hr

N = ได้จากการเปิดตารางหรือ $\frac{24}{\pi}\omega_s$

dr = ส่วนกลับระยะทางโลก-ดวงอาทิตย์สัมพัทธ์

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

$dr = 1+0.033\cos(\frac{2\pi}{365}(105)) = 0.992$

δ = มุมเบนดวงอาทิตย์ตามฤดูกาล

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

$= 0.409\ (\sin\frac{2\pi}{365}(105)-1.39) = 0.1658$

ω_s = มุมของดวงอาทิตย์ตามเวลา

$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\emptyset.\tan\delta)$

$= \cos^{-1}(-\tan(0.2446).\tan(0.1658) = 1.613$ rad.

$R_a = \frac{G_{sc}\ x\ dr}{\pi}\ [(\omega_s.\sin\emptyset.\sin\delta)+(\cos\emptyset.\cos\delta.\sin\omega_s)]$

G_{sc} = ค่าคงที่ = 118.11

$R_a = \frac{(118.11\ x\ 0.992)}{\pi}\ [(1.613\ x\ \sin(0.2446).\sin(0.1658))+(\cos(0.2446).\cos(0.1658).\sin(1.613)]$

$\therefore\ R_a = 38.07\ MJ/m^2.day$

$N = \frac{24}{\pi}\omega_s = \frac{24}{\pi}(1.613) = 12.322$ hr

$R_s = (0.25+0.5\frac{n}{N})R_a = (0.25+0.5\frac{10.6}{12.322})\ 38.07 = 25.896\ MJ/m^2.day$

เมื่อ Albedo พืชอ้างอิง $\approx$ 0.23

R_{ns} = (1- α)R_s = = (1- 0.23) *x* 25.896 = 19.9397 MJ/m^2.day

เมื่อ R_{nl} = $\sigma[\frac{T^4 max,k + T^4 min,k}{2}]$ x (0.34-0.14$\sqrt{e_a}$) x (1.35$\frac{R_S}{R_{SO}}$ - 0.35)

$\sigma[\frac{T^4 max,k + T^4 min,k}{2}]$ = 4.903 x 10^{-9} x $[\frac{(38.1+273.16)^4 + (26.5+273.16)^4}{2}]$ = 42.7777

(0.34-0.14$\sqrt{e_a}$) = (0.34-0.14$\sqrt{3.5936}$ = 0.0746

R_{so} = [0.75+2 x 10^{-5}(Z)] R_a = [0.75+ 2 x 10^{-5} (7)] (38.07) = 28.5589

(1.35$\frac{R_S}{R_{SO}}$ - 0.35) = (1.35$\frac{25.896}{28.5589}$ - 0.35) = 0.8741

R_{nl} = (42.7777) x (0.075) x (0.8741)

R_{nl} = 2.7897 MJ/m^2.day

$\therefore$ R_n = R_{ns} - R_{nl}

R_n = 19.9397 – 2.7897

R_n = 17.15 MJ/m^2.day

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

ค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมด Δ = 0.2727, R_n = 17.15 MJ/m^2.day, γ = 0.0673, T = 32.3 ℃, U_2 = 0.8190 m/s, $(e_s - e_a)$ = 1.4678 kPa

เมื่อ ค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายลงดิน (G)

รายวัน $G_{daily} \approx 0$

รายเดือน $G_{month,i}$ = 0.07 (อุณหภูมิเฉลี่ยเดือนถัดไป – อุณหภูมิเฉลี่ยเดือนก่อน)

= 0.14 (อุณหภูมิปัจจุบัน – อุณหภูมิเฉลี่ยเดือนก่อน)

ในกรณีนี้ใช้ค่ารายวัน $G_{daily} \approx 0$

$0.408\,\Delta\,(R_n - G)$ = 0 .408 x 0.2727 x (17.15-0)

= 1.9078

$\gamma \frac{900}{T+273}\ u_2(e_s - e_a)$ = (0.0673) ($\frac{900}{32.3+273}$) (0.819) (1.4678)

= 0.2385

$\Delta + \gamma\,(1 + 0.34u_2)$ = 0.2727 + (0.0673 x (1+ (0.34 x 0.819))

= 0.3587

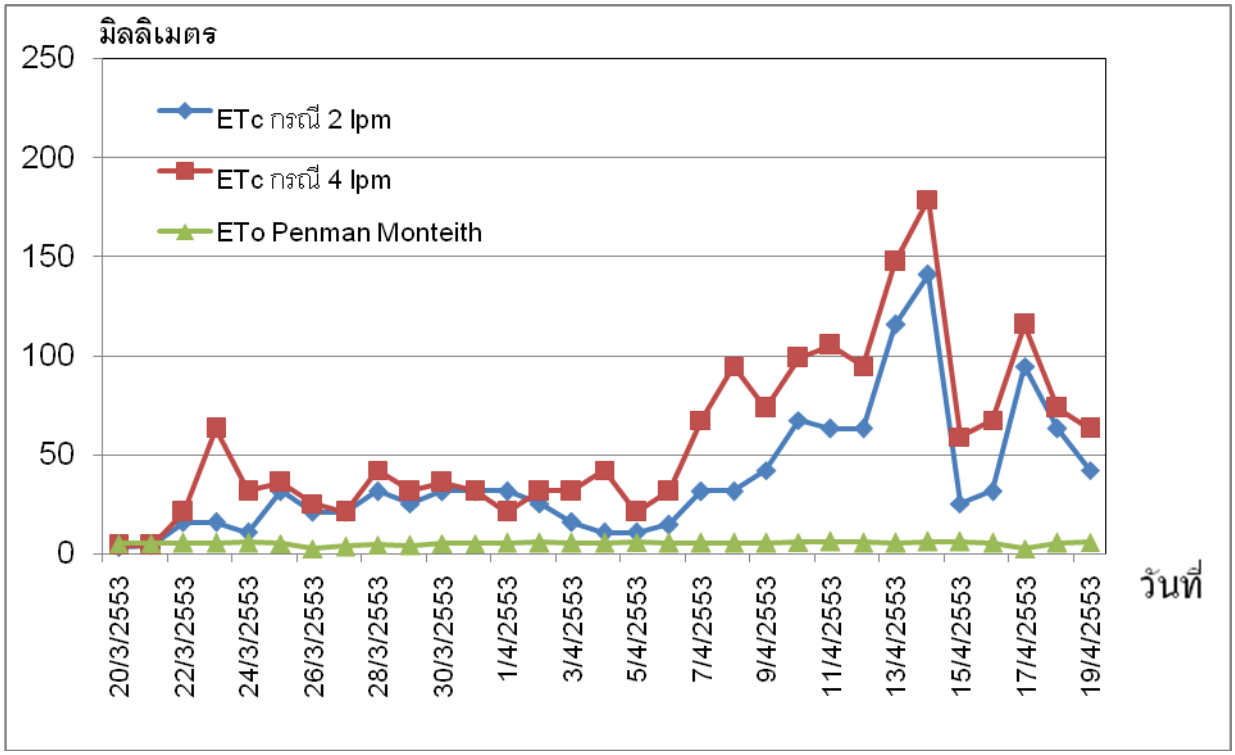
$\therefore$ ETo = $\frac{1.9078 + 0.2385}{0.3587}$ = 5.9836 mm/day

การทดลองได้แบ่งเป็น 2 ช่วงได้แก่ ช่วงที่ 1 ระหว่างวันที่ 20 มีนาคม 2553 ถึงวันที่ 19 เมษายน 2553 ทดสอบอัตราการไหล 2 lpm และอัตราการไหล 4 lpm และช่วงที่ 2 ระหว่างวันที่ 30 กรกฎาคม 2553 ถึง 29 สิงหาคม 2553 ทดสอบอัตราการไหล 6 lpm และอัตราการไหล 8 lpm

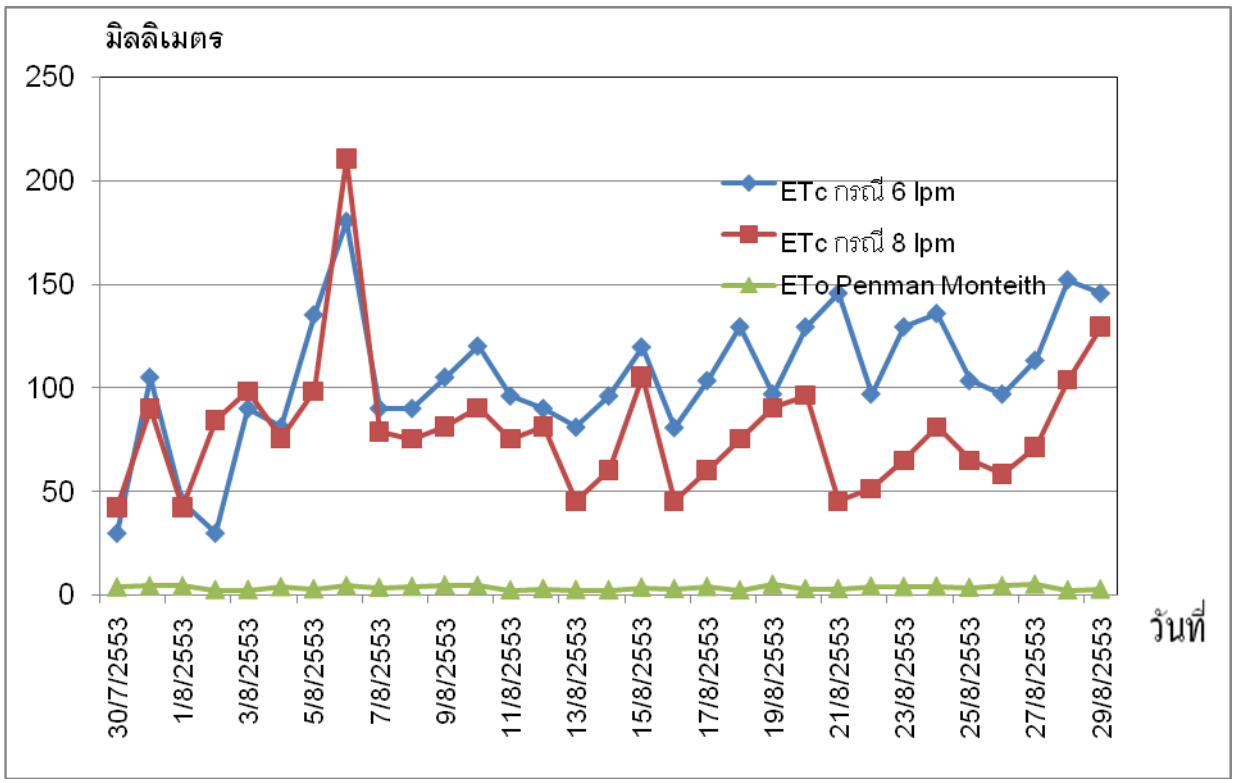
จากภาพผนวกที่ 15 และ 16 เมื่อคำนวณค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Penman Monteith (ETo) โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐม พบว่าช่วงที่ 1 ค่า ETo มีค่าระหว่าง 2.55 ถึง 6.05 มม.ต่อวัน (เฉลี่ย 5.19 มม.ต่อวัน) และช่วงที่ 2 ค่า ETo มีค่าระหว่าง 2.32 ถึง 5.16 มม.ต่อวัน (เฉลี่ย 3.59 มม.ต่อวัน) ซึ่งลักษณะกราฟค่อนข้างสม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการใช้น้ำของพืช (ETc) ที่ปลูกในระบบ Hydroponics พบว่า ช่วงที่ 1 ในกรณีอัตราการไหล 2 lpm มีค่าระหว่าง 3.16 ถึง 141.00 มม.ต่อวัน (เฉลี่ย 37.54 มม.ต่อวัน) และกรณีอัตราการไหล 4 lpm ค่า ETc มีค่าระหว่าง 4.21 ถึง 178.88 มม.ต่อวัน (เฉลี่ย 56.96 มม.ต่อวัน) ส่วนช่วงที่ 2 ในกรณีอัตราการไหล 6 lpm ค่า ETc มีค่าระหว่าง 30.06 ถึง 180.39 มม.ต่อวัน (เฉลี่ย 104.77 มม.ต่อวัน) และกรณีอัตราการไหล 8 lpm ค่า ETc มีค่าระหว่าง 42.09 ถึง 210.45 มม.ต่อวัน (เฉลี่ย 79.64 มม.ต่อวัน)

โดยภาพรวมแล้ว ลักษณะกราฟทั้งสองช่วงมีค่าการใช้น้ำของพืช (ETc) สูงกว่าค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Penman Monteith (ETo) มาก อาจเนื่องมาจากผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดงเป็นพืชที่ต้องการน้ำมากในการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละวันเมื่ออยู่ในช่วงที่ pH เหมาะสม อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าในช่วงที่ 1 มีบางช่วงที่ค่าการใช้น้ำของพืช(ETc) ใกล้เคียงหรือน้อยกว่าค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Penman Monteith (ETo) ทั้งนี้อาจจะมาจากค่า pH ที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้พืชดึงดูดน้ำและสารละลายธาตุอาหารได้น้อยลง แต่โดยทั่วไปแล้วในช่วงที่ 1 ได้ทำการทดลองในช่วงฤดูร้อนซึ่งมีสภาพอากาศที่ร้อนจัด อุณหภูมิอากาศสูง เกิดการระเหยของน้ำของระบบเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจเกิดจากการจัดทำระบบหมุนเวียนสารละลายที่ไม่มิดชิดจึงอาจทำให้ระบบสูญเสียน้ำจากการระเหยเป็นจำนวนมาก ทำให้ค่าการใช้น้ำของพืช (ETc) อาจจะได้ค่าที่มากกว่าการใช้น้ำจริงของพืชตามปกติ

และในการทดลองช่วงที่ 2 ได้ใช้ค่า pH ให้เหมาะสมกว่าช่วงที่ 1 โดยมีค่า pH คงที่เท่ากับ 5.5 ตลอดช่วงการทดลองจึงน่าจะทำให้พืชดึงดูดน้ำและสารละลายธาตุอาหารได้ดีกว่า แต่ทั้งนี้ในช่วงการทดลองเป็นช่วงฤดูฝน อาจจะมีผลกระทบต่อการวัดค่าการใช้น้ำของพืชเนื่องจากระบบไม่มิดชิด ไม่มีที่บังน้ำฝน ทำให้น้ำฝนปะปนกับน้ำและสารละลายธาตุอาหารในระบบ จึงทำให้ค่าการใช้น้ำของพืชมีค่าน้อยกว่าการใช้น้ำของพืชตามปกติที่ควรจะเป็น



ภาพผนวกที่ 15 การใช้น้ำของพืชในช่วงวันที่ 20 มีนาคม 2553 ถึงวันที่ 19 เมษายน 2553



ภาพผนวกที่ 16 การใช้น้ำของพืชในช่วงวันที่ 30 กรกฎาคม 2553 ถึงวันที่ 29 สิงหาคม 2553

ตารางผนวกที่ 1 ตารางข้อมูลสภาพภูมิอากาศเดือนมีนาคม ปี พ.ศ.2553

AGROMETEOROLOGICAL DATA FOR MARCH 2010

NAKHONPATHOM METEOROLOGICAL STATION

Date	Air Temperature(°C)			Humidity (%)		Rain	Evap.	Cloud	Sun.	Wind km./hrs.		Soil Temperature (°C)					
	Max.	Min.	G.min.	Max.	Min.	(mm.)	(mm.)	(%)	(hrs.)	Spd.	Dir.	0 cm.	5 cm.	10 cm.	20 cm.	50 cm.	100cm.
1	35.5	24.5	21.8	99	49	0.0	5.7	36	8.8	5.8	S	33.7	33.8	33.2	32.9	31.9	31.1
2	36.4	23.9	20.7	98	34	0.0	4.9	28	9.3	2.2	S	34.2	34.1	33.6	33.3	32.1	31.1
3	36.3	24.7	21.6	96	39	0.0	6.1	3	9.3	4.7	ESE	34.4	34.4	33.9	33.4	32.3	31.2
4	37.1	23.2	19.1	99	17	0.0	5.2	6	9.2	3.2	S	34.1	34.0	33.7	33.4	32.3	31.2
5	37.7	22.2	17.4	100	12	0.0	6.5	0	9.8	6.5	W	33.6	33.7	33.3	33.1	32.4	31.4
6	37.6	20.5	15.7	94	16	0.0	5.3	1	9.8	2.9	S	33.1	33.2	32.8	32.8	32.2	31.4
7	36.7	22.7	20.2	99	40	0.0	3.2	0	9.2	1.4	WSW	32.9	32.8	32.6	32.6	32.1	31.4
8	36.6	24.0	21.5	95	42	0.0	6.1	1	9.3	3.6	ESE	33.2	33.4	33.0	32.7	31.9	31.3
9	35.7	24.9	22.8	96	49	0.0	3.9	10	9.5	2.2	SE	34.0	33.9	33.5	33.0	32.0	31.3
10	28.5	22.6	23.0	92	57	0.0	5.9	86	1.4	5.8	N	31.7	32.3	32.4	32.7	32.2	31.3
11	31.5	19.6	17.8	85	49	0.0	4.4	16	8.7	5.0	N	31.4	31.7	31.5	31.7	31.7	31.3
12	36.5	22.0	19.1	98	38	0.0	4.6	25	9.2	1.4	SE	32.5	32.5	32.2	31.9	31.5	31.2
13	36.6	24.1	20.8	92	47	0.0	6.0	9	9.2	4.0	SE	33.5	33.7	33.0	32.5	31.7	31.2
14	36.0	23.9	20.7	97	50	0.0	5.1	3	9.8	2.9	SE	34.0	33.9	33.4	33.0	31.9	31.2
15	36.9	24.2	20.6	96	42	0.0	4.3	0	9.7	1.8	SE	34.1	34.0	33.6	33.2	32.1	31.2
16	36.7	23.5	20.3	97	49	0.0	5.6	11	9.7	3.6	SW	34.4	34.4	33.9	33.4	32.2	31.3
17	34.1	23.9	22.2	97	56	0.0	5.2	63	7.1	2.9	E	34.3	34.4	34.0	33.6	32.5	31.4
18	35.2	22.8	20.5	97	44	0.0	4.0	16	8.7	2.9	E	33.9	34.0	33.6	33.3	32.4	31.5
19	36.3	22.5	19.8	97	51	0.0	5.0	20	6.2	1.4	ESE	33.6	33.8	33.3	33.2	32.4	31.5

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date	Air Temperature(°C)			Humidity (%)		Rain	Evap.	Cloud	Sun.	Wind km./hrs.		Soil Temperature (°C)					
	Max.	Min.	G.min.	Max.	Min.	(mm.)	(mm.)	(%)	(hrs.)	Spd.	Dir.	0 cm.	5 cm.	10 cm.	20 cm.	50 cm.	100cm.
20	36.3	24.5	20.2	95	45	0.0	5.5	23	9.2	2.9	SSE	33.6	33.8	33.4	33.1	32.3	31.6
21	36.7	24.1	21.0	97	40	0.0	4.8	25	9.3	2.9	S	34.2	34.1	33.8	33.4	32.4	31.6
22	36.2	25.9	23.1	90	51	0.0	6.0	18	9.2	5.0	S	34.5	34.5	34.2	33.7	32.6	31.6
23	36.0	25.0	23.5	93	51	0.0	5.2	5	9.8	5.0	S	34.8	34.8	34.4	33.8	32.6	31.6
24	36.9	25.5	22.7	95	44	0.0	5.7	0	9.8	5.8	SE	35.0	35.0	34.6	34.1	32.8	31.7
25	37.4	25.0	22.0	95	50	T	4.9	10	9.3	1.8	SE	35.0	35.1	34.6	34.1	32.9	31.7
26	29.1	22.6	22.5	92	64	0.0	3.5	74	1.0	3.6	E	33.1	33.6	33.6	33.6	33.0	31.8
27	32.3	22.7	21.7	87	53	0.0	3.9	76	4.7	3.6	N	32.6	32.9	32.6	32.7	32.5	31.9
28	35.5	23.5	20.9	92	45	0.0	6.0	48	8.2	1.4	E	33.5	33.7	33.3	33.1	32.3	31.8
29	35.9	21.0	21.0	99	48	21.0	FULL	55	6.3	4.0	NNE	33.9	34.3	33.9	33.6	32.5	31.7
30	36.3	23.2	21.5	96	48	0.0	3.5	44	8.9	3.2	SSE	31.8	32.4	32.4	32.6	32.4	31.7
31	37.0	25.0	23.4	96	40	0.0	5.9	30	8.8	4.0	SW	32.0	32.5	32.4	32.4	32.1	31.7
Total	1103.5	727.7	649.1	2951	1360	21.0	151.9	742	258.4	107.4		1040.6	1044.7	1034	1026	1000	974.9
Mean	35.6	23.5	20.9	95	44	0.7	5.1	24	8.3	3.5	SE	33.6	33.7	33.3	33.1	32.3	31.4

ตารางผนวกที่ 2 ตารางข้อมูลสภาพภูมิอากาศเดือนเมษายนปี พ.ศ.2553

AGROMETEOROLOGICAL DATA FOR APRIL 2010

NAKHONPATHOM METEOROLOGICAL STATION

Date	Air Temperature(°C)			Humidity (%)		Rain	Evap.	Cloud	Sun.	Wind km./hrs.		Soil Temperature (°C)					
	Max.	Min.	G.min.	Max.	Min.	(mm.)	(mm.)	(%)	(hrs.)	Spd.	Dir.	0 cm.	5 cm.	10 cm.	20 cm.	50 cm.	100cm.
1	37.8	25.6	24.1	96	43	0.0	6.0	9	9.2	4.7	SSE	32.7	33.0	32.7	32.7	32.0	31.6
2	36.8	25.6	23.6	96	47	0.0	5.0	9	10.1	4.0	E	33.6	33.9	33.5	33.2	32.2	31.6
3	37.2	26.1	24.0	97	46	0.0	5.0	10	10.0	2.2	SE	34.4	34.5	34.1	33.8	32.5	31.6
4	37.2	26.4	23.8	97	46	0.0	6.0	19	9.8	2.2	SSE	35.0	35.1	34.7	34.2	32.7	31.7
5	37.9	25.8	23.9	94	47	0.0	7.2	8	10.6	2.2	SE	35.4	35.6	35.1	34.6	33.0	31.7
6	37.5	25.7	22.7	96	49	0.0	6.2	18	10.0	2.2	SSE	35.5	35.9	35.1	34.9	33.2	31.9
7	37.5	25.6	23.0	97	50	0.0	5.8	26	10.2	2.2	SSE	35.6	36.0	35.6	35.1	33.4	32.0
8	37.5	24.8	21.1	97	49	0.0	4.1	36	9.5	2.2	SSE	35.5	35.8	35.4	35.1	33.6	32.2
9	38.3	26.0	23.5	96	37	0.0	5.0	33	9.5	3.6	S	35.9	36.0	35.6	35.1	33.6	32.2
10	38.6	25.6	22.7	96	32	0.0	6.0	24	9.2	5.8	S	35.6	35.8	35.3	35.0	33.7	32.4
11	39.3	25.7	22.8	98	29	0.0	4.7	9	10.3	4.7	SSE	36.1	36.1	35.6	35.1	33.7	32.4
12	39.3	26.0	24.2	96	24	0.0	6.4	0	10.3	1.8	S	36.0	36.2	35.8	35.4	33.9	32.5
13	39.0	24.3	21.8	96	25	0.0	6.2	5	9.2	2.2	SE	36.0	36.2	35.9	35.4	34.0	32.6
14	37.8	25.2	21.4	96	47	0.0	5.6	4	10.6	5.0	S	36.0	36.2	35.7	35.3	34.0	32.7
15	38.1	26.5	23.6	97	45	0.0	5.4	11	10.6	4.0	SSE	36.4	36.4	36.1	35.4	34.1	32.7
16	37.1	26.9	24.6	95	52	5.2	7.5	43	8.2	5.8	SSE	36.4	36.5	36.1	35.6	34.2	32.8
17	32.4	25.1	25.8	98	66	0.3	3.1	89	0.5	3.6	ESE	33.2	34.0	34.2	34.6	34.1	32.9

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date	Air Temperature(°C)			Humidity (%)		Rain	Evap.	Cloud	Sun.	Wind km./hrs.		Soil Temperature (°C)					
	Max.	Min.	G.min.	Max.	Min.	(mm.)	(mm.)	(%)	(hrs.)	Spd.	Dir.	0 cm.	5 cm.	10 cm.	20 cm.	50 cm.	100cm.
18	36.1	25.2	23.0	96	52	0.0	6.6	31	9.9	4.0	SSE	33.4	33.7	33.6	33.5	33.1	32.8
19	37.5	24.8	22.8	95	44	0.0	6.4	33	10.4	4.0	S	34.9	35.0	34.6	34.3	33.4	32.7
20	38.4	24.4	20.8	89	29	0.0	4.2	3	10.8	5.0	S	35.1	35.2	34.9	34.6	33.6	32.6
21	39.0	25.2	23.1	96	31	0.0	5.2	0	10.6	4.7	S	35.8	35.4	35.2	34.9	33.7	32.6
22	39.1	26.4	24.5	93	36	0.0	6.5	4	10.8	6.8	S	36.2	36.1	35.6	35.3	33.9	32.7
23	38.3	26.6	24.2	97	46	0.0	4.1	15	10.0	5.4	S	36.6	36.4	36.0	35.5	34.1	32.8
24	31.9	23.5	24.7	99	72	14.1	3.8	78	1.6	1.8	E	33.4	34.2	34.3	34.7	34.2	32.8
25	36.2	25.5	23.5	97	49	0.0	6.2	21	10.8	4.0	E	32.9	33.4	33.3	33.5	33.5	32.8
26	37.1	25.7	24.0	97	43	0.0	6.1	41	10.7	1.1	SE	34.0	33.9	33.8	33.8	33.3	32.7
27	36.4	24.6	23.6	97	52	0.0	5.1	70	8.0	4.0	S	34.5	34.4	34.2	34.2	33.4	32.6
28	36.7	25.0	24.2	98	49	0.0	5.7	69	6.0	3.2	W	34.7	34.6	34.4	34.3	33.5	32.7
29	37.3	25.7	23.1	97	48	0.0	5.9	38	10.5	3.6	S	35.0	35.0	34.6	34.5	33.6	32.7
30	36.8	24.8	23.0	96	48	0.0	6.1	50	10.6	2.9	SE	35.4	35.3	34.9	34.7	33.6	32.6
Total	1120.1	764.3	701.1	2885	1333	19.6	167.1	806	278.5	108.9		1051.2	1055.8	1045.9	1038.3	1004.8	972.6
Mean	37.3	25.5	23.4	96	44	0.7	5.6	27	9.3	3.6	S	35.0	35.2	34.9	34.6	33.5	32.4

ตารางผนวกที่ 3 ตารางข้อมูลสภาพภูมิอากาศเดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ.2553

AGROMETEOROLOGICAL DATA FOR JULY 2010

NAKHONPATHOM METEOROLOGICAL STATION

Date	Air Temperature(°C)			Humidity (%)		Rain	Evap.	Cloud	Sun.	Wind km./hrs.		Soil Temperature (°C)					
	Max.	Min.	G.min.	Max.	Min.	(mm.)	(mm.)	(%)	(hrs.)	Spd.	Dir.	0 cm.	5 cm.	10 cm.	20 cm.	50 cm.	100cm.
1	34.0	26.0	25.5	97	62	T	4.9	94	4.7	2.2	ESE	31.9	32.4	32.3	32.3	32.1	32.3
2	30.6	26.9	25.9	98	79	18.5	2.7	95	0.1	2.2	E	30.8	31.6	31.8	32.1	32.2	32.3
3	31.2	23.8	23.8	98	73	2.3	2.3	93	0.6	1.8	E	30.6	31.2	31.3	31.6	31.8	32.2
4	31.9	24.6	24.5	98	73	4.0	2.1	96	2.6	1.4	SE	30.4	31.2	31.2	31.5	31.7	32.2
5	34.9	24.2	24.1	98	62	0.0	4.9	76	8.5	1.4	E	31.9	32.2	32.0	31.8	31.6	32.0
6	34.8	25.0	24.0	98	59	0.0	3.0	66	8.8	1.4	E	31.8	32.4	32.4	32.4	31.8	31.9
7	36.2	24.0	23.6	98	53	0.0	6.5	40	10.7	1.8	W	32.4	32.8	32.6	32.5	32.0	31.9
8	36.0	25.5	23.5	97	55	0.0	6.0	33	8.8	5.4	W	33.1	33.6	33.2	33.0	32.2	32.0
9	36.2	26.1	23.2	95	55	T	5.6	46	10.6	4.7	W	33.4	33.8	33.6	33.2	32.4	32.1
10	36.5	25.0	23.0	99	54	19.5	7.3	63	9.8	4.0	W	33.6	34.2	33.7	33.4	32.6	32.1
11	35.4	25.0	23.5	98	56	7.0	5.6	66	8.6	3.2	W	32.3	33.0	33.0	33.1	32.8	32.2
12	36.2	25.3	23.9	96	52	T	6.1	60	9.6	3.2	ESE	32.5	32.9	32.8	32.9	32.6	32.3
13	35.4	25.4	24.3	97	57	0.8	5.4	81	5.0	5.0	W	32.2	32.7	32.7	32.8	32.5	32.3
14	34.3	25.0	24.1	98	62	31.1	6.2	93	4.7	0.4	WNW	31.9	32.6	32.6	32.7	32.4	32.3
15	34.4	25.0	23.6	98	64	0.6	6.8	84	6.5	0.0	C	31.6	32.4	32.3	32.3	32.4	32.3
16	35.4	25.7	23.7	98	58	0.0	5.9	85	8.0	2.9	W	32.3	32.9	32.8	31.4	32.3	32.2
17	35.0	25.5	24.5	98	60	T	4.1	96	3.8	2.2	SE	32.2	32.7	32.7	32.8	32.4	32.2

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Date	Air Temperature(°C)			Humidity (%)		Rain	Evap.	Cloud	Sun.	Wind km./hrs.		Soil Temperature (°C)				
	Max.	Min.	G.min.	Max.	Min.	(mm.)	(mm.)	(%)	(hrs.)	Spd.	Dir.	0 cm.	5 cm.	10 cm.	20 cm.	50 cm.	100cm.
18	32.3	25.0	25.3	98	67	13.5	3.5	100	0.3	5.0	S	31.6	32.3	32.4	32.6	32.4	32.2
19	32.7	25.2	24.0	98	68	0.0	5.3	81	4.0	0.4	SE	31.6	32.1	32.1	32.2	32.2	32.2
20	35.0	25.1	24.5	98	53	0.0	5.2	71	10.7	1.8	SSW	32.4	32.9	32.7	32.5	32.2	32.2
21	35.7	25.1	23.0	98	53	0.0	4.9	73	9.1	2.9	W	32.9	33.4	33.2	32.9	32.3	32.2
22	34.8	25.6	23.1	98	62	T	5.1	88	5.2	6.5	W	32.1	32.8	32.8	32.7	32.5	32.2
23	33.6	25.0	23.5	96	61	0.0	4.7	96	3.0	4.7	W	31.6	32.2	32.2	32.4	32.4	32.2
24	33.5	24.9	23.1	96	56	T	4.7	94	5.2	5.8	W	31.5	32.2	32.1	32.2	32.2	32.2
25	32.7	24.6	22.7	97	60	0.0	4.7	98	2.0	6.8	W	31.1	31.7	31.8	32.1	32.2	32.2
26	34.6	24.7	22.0	98	61	0.9	3.9	96	3.5	5.0	W	31.1	31.8	31.8	31.9	32.0	32.1
27	33.0	24.8	24.2	98	66	1.0	2.6	96	2.5	1.4	S	31.3	31.9	31.8	32.0	31.9	32.1
28	34.2	25.7	22.9	98	61	10.2	5.1	84	7.4	0.4	S	31.8	32.4	32.3	32.2	31.9	32.1
29	32.9	25.4	24.0	98	66	0.2	3.5	99	2.9	1.1	SSW	31.6	32.3	32.2	32.1	32.0	32.1
30	34.0	23.7	24.0	99	63	3.8	4.6	88	4.8	4.0	SE	31.7	32.2	32.2	32.2	32.0	32.0
31	33.7	25.0	22.7	99	61	0.0	2.7	81	6.3	6.8	W	31.5	31.9	31.9	32.1	31.9	32.0
Total	1061.1	777.8	737.7	3028	1892	113.4	145.9	2512	178.3	95.8		988.7	1006.7	1004.5	1003.9	997.9	996.8
Mean	34.2	25.1	23.8	98	61	3.7	4.7	81	5.8	3.1	W	31.9	32.5	32.4	32.4	32.2	32.2

ตารางผนวกที่ 4 ตารางข้อมูลสภาพภูมิอากาศเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ.2553

AGROMETEOROLOGICAL DATA FOR AUGUST 2010

NAKHONPATHOM METEOROLOGICAL STATION

Date	Air Temperature(°C)			Humidity (%)		Rain	Evap.	Cloud	Sun.	Wind km./hrs.		Soil Temperature (°C)					
	Max.	Min.	G.min.	Max.	Min.	(mm.)	(mm.)	(%)	(hrs.)	Spd.	Dir.	0 cm.	5 cm.	10 cm.	20 cm.	50 cm.	100cm.
1	35.7	25.0	22.9	95	47	T	4.5	85	5.6	4.7	SW	31.6	32.1	32.0	32.0	31.9	32.0
2	33.6	24.5	22.8	99	64	14.2	3.0	99	0.9	1.1	SSE	31.2	31.8	31.8	32.1	31.9	32.0
3	32.6	24.6	23.5	98	68	6.6	3.5	100	1.1	1.4	SE	30.7	31.4	31.5	31.6	31.8	32.0
4	33.5	24.5	23.3	98	63	T	3.4	98	5.1	5.4	W	30.8	31.4	31.4	31.6	31.7	31.9
5	33.2	23.5	23.0	98	65	5.0	5.3	100	1.7	4.7	W	30.6	30.9	31.0	31.2	31.5	31.7
6	33.4	23.9	22.6	98	62	T	4.0	93	6.8	7.2	W	30.6	30.9	30.9	31.2	31.3	31.7
7	32.7	24.6	23.5	94	66	0.0	5.9	90	3.7	6.5	W	30.1	30.7	30.8	31.2	31.2	31.6
8	33.8	24.8	23.0	100	64	0.2	6.1	86	5.3	8.3	W	30.7	31.1	31.3	31.1	31.1	31.5
9	33.9	24.6	22.2	100	63	6.0	4.8	83	8.1	6.5	W	31.3	31.8	31.6	31.6	31.2	31.5
10	34.7	23.8	22.9	100	58	18.7	6.5	84	7.3	3.2	W	31.2	31.6	31.7	31.8	31.4	31.5
11	31.6	24.9	24.7	94	70	T	2.6	99	0	3.2	S	30.4	31.1	31.1	31.4	31.4	31.6
12	32.6	24.9	23.7	93	60	6.0	2.3	95	2.4	2.9	S	30.4	31.1	31.1	31.2	31.2	31.6
13	32.2	25.1	25.0	93	69	3.2	2.1	100	0.8	1.1	SSW	30.4	31.1	31.1	31.2	31.2	31.5
14	31.9	24.8	24.7	94	66	3.8	3.6	100	0.9	0.4	S	30.6	31.2	31.2	31.4	31.1	31.4
15	34.6	24.9	23.0	93	53	0.4	5.2	94	4.9	1.1	S	31.4	31.9	31.7	31.6	31.1	31.4
16	33.7	25.0	24.5	92	59	0.0	3.1	95	2.5	1.1	W	31.3	31.8	31.7	31.8	31.3	31.4
17	35.0	25.3	24.0	93	52	40.1	FULL	85	5.8	1.4	W	31.7	32.4	32.3	32.0	31.4	31.4

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Date	Air Temperature(°C)			Humidity (%)		Rain	Evap.	Cloud	Sun.	Wind km./hrs.		Soil Temperature (°C)					
	Max.	Min.	G.min.	Max.	Min.	(mm.)	(mm.)	(%)	(hrs.)	Spd.	Dir.	0 cm.	5 cm.	10 cm.	20 cm.	50 cm.	100cm.
18	32.2	23.3	22.7	95	72	14.4	3.2	99	0.5	0.4	SSE	30.6	31.4	31.8	31.8	31.6	31.5
19	33.4	23.2	22.6	94	57	0.0	8.2	83	10.1	2.2	NNE	31.5	31.8	31.6	31.5	31.3	31.5
20	32.5	24.3	23.0	94	66	0.9	3.3	89	2.5	1.8	N	31.2	31.8	31.7	31.9	31.5	31.5
21	32.7	23.9	22.9	94	60	23.2	FULL	100	2	3.2	WSW	30.4	31.0	31.0	31.3	31.4	31.5
22	34.1	23.7	22.9	93	56	0.0	4.7	96	6.3	4.0	WSW	30.8	31.4	31.1	31.3	31.3	31.5
23	33.9	24.2	22.6	95	57	0.2	6.3	93	5.8	1.8	WNW	31.7	32.1	31.8	31.8	31.3	31.5
24	34.4	24.2	23.1	94	54	7.2	2.2	96	5.5	4.7	S	31.6	32.2	32.1	32.1	31.5	31.5
25	33.0	24	23.6	94	58	11.2	4.1	100	5.0	1.4	W	31.4	32.0	31.8	31.9	31.6	31.5
26	34.7	22.6	23.8	95	54	19.6	FULL	88	7.2	3.2	NE	31.5	32.1	31.9	31.9	31.6	31.5
27	35.5	23.4	22.0	94	52	2.4	6.0	75	9.6	2.9	W	31.8	32.3	32.0	32.0	31.6	31.5
28	31.0	25.4	25.0	94	69	2.5	3.8	100	0.2	2.2	SW	31.3	32.2	32.1	32.2	31.8	31.6
29	31.6	23.5	23.1	94	62	0.0	3.0	99	1.5	3.2	S	30.7	31.3	31.3	31.7	31.7	31.6
30		24.2	24.0	94													
31																	
Total	967.7	728.6	700.6	2856	1766	185.8	110.7	2704	119	91.2		899.5	915.9	914.4	917.4	911.9	915.9
Mean	33.4	24.3	23.4	95	61	6.6	4.3	93	4.1	3.1	W	31.0	31.6	31.5	31.6	31.4	31.6

ภาคผนวก ง

ความรู้เกี่ยวกับ Hydroponics

1. สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ใช้

ตารางผนวกที่ 5 สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชของ Enshi ดัดแปลงสำหรับผักกินใบและผักกินผล

	ความเข้มข้น (ppm)	
ธาตุอาหาร	สำหรับกินใบ	สำหรับกินผล
ไนโตรเจน (N)		
-NO_3 -N	112	224
-NH_4-N	9	18
ฟอสฟอรัส	20.6	41.2
โปแตสเซียม	156	312
แคลเซียม	80	160
แมกนีเซียม	24	48
ซัลเฟอร์	32	64
เหล็ก	3	3
โบรอน	0.5	0.5
แมงกานีส	0.5	0.5
สังกะสี	0.05	0.05
คอบเปอร์	0.02	0.02
โมลิบดินั่ม	0.01	0.01
ค่า EC (มิลลิซีเมน/ซม.)	1.2	2.4

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณปุ๋ยเคมีสำหรับการเตรียมสารละลายสำหรับสูตร Enshi

ชนิดของปุ๋ยเคมี	น้ำหนัก (มก./ลิตร) สำหรับกินใบ	สำหรับกินผล
$Ca(No_3)_2$	475	950
KNO_3	405	810
$NH_4H_2PO_4$	77.5	155
$MgSO_4$	250	500
Fe-EDTA	23.6	23.6
$H_3 BO_3$	2.86	2.86
$MnSO_4$ $4H_2O$	2.11	2.11
$ZnSO_4$ $7H_2O$	0.22	0.22
$CuSO_4$ $5H_2O$	0.08	0.08
Na_2MoO_4 $2H_2O$	0.025	0.025

ปริมาณของสารเคมีแต่ละชนิดตามสูตรข้างต้น สำหรับเตรียมสารละลายเพียง 1 ลิตร ถ้าต้องการเตรียมสารละลาย 1,000 ลิตร ให้เพิ่มจำนวนสารเคมีแต่ละชนิดไปอีก 1,000 เท่า เป็นต้น

ในทางปฏิบัติไม่นิยมนำสารเคมีมาเตรียมสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นที่ต้องการใช้โดยตรง เพราะเมื่อต้องการใช้เพิ่ม ต้องเสียเวลาเตรียมใหม่อีก ดังนั้นจึงนิยมที่จะทำสารละลายอาหารเข้มข้น (Stock solution) ไว้จำนวนหนึ่ง แล้วแบ่งมาละลายน้ำเจือจางเท่ากับความเข้มข้นที่ต้องการซึ่งจะสะดวกกว่ามากในการปลูกพืชที่ต้องมีการทะยอยใช้สารละลายจำนวนมาก ตลอดฤดูกาล

2. สูตรสารละลายธาตุอาหารที่มีในท้องตลาด

ตารางผนวกที่ 7 ข้อมูลธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและสูตรธาตุอาหารพืช

ชนิดธาตุ	ปริมาณความต้องการ ppm (ส่วนในล้านส่วน)	ชื่อสารเคมี (สูตร knop เบอร์ 1)	กรัมต่อน้ำ 100 ลิตร
ไนโตรเจน	90-200	โปตัสเซียมไนเตรด (KNO_3)	20 (125 PPM)
ฟอสฟอรัส	30-90	โมโนโปตัสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4)	20 (45 PPM)
โปตัสเซียม	200-400	-	- (136 PPM)
แคลเซียม	120-240	แคลเซียมไนเตรต($Ca(No_3)_2\ 4H_2O$)	80 (136 PPM)
แมกนีเซียม	40-60	แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4\ 7H_2O$) (20 PPM)	20 (20 PPM)
เหล็ก	2.20-5.0	เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4\ 7H_2O$)	20 กรัม/น้ำ 1 ลิตร
แมงกานีส	0.1-1.0	แมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4\ 4H_2O$)	2.0 กรัม/น้ำ 1 ลิตร
ทองแดง	0.01-0.1	คอบเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4\ 5H_2O$)	0.2 กรัม/น้ำ 1 ลิตร
โบรอน	0.1-0.1	ซิ้งก์ซัลเฟต ($ZnSO_4\ 7H_2O$)	0.45 กรัม/น้ำ 1 ลิตร
สังกะสี	0.02-0.2	กรดบอริก (H_3BO_3)	2.9 กรัม/น้ำ 1 ลิตร
โมลิบดินั่ม	0.01-0.1	โซเดียมโมลิบเดต ($Na_2MoO_4\ 2H_2O$)	0.05 กรัม/น้ำ 1 ลิตร

สูตรปุ๋ยน้ำที่นำมาใช้ ผักจะได้รับธาตุอาหารอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะมีผลทำให้พืชผักเติบโตเร็วกว่าการปลูกในดิน 1 เท่าตัว ซึ่งจะช่วยตัดวงจรการเกิดของแมลงศัตรูพืชไปพร้อมกัน ประเด็นนี้ต้องยอมรับว่าปลอดสารกำจัดศัตรูพืช

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารกระทำได้โดยละลายธาตุอาหารทั้งหลายเหล่านี้ลงในน้ำบริสุทธิ์ ในปริมาณที่กำหนดไว้ในสูตรสารละลายธาตุอาหารที่มีผู้ทดสอบแล้วว่ามีปริมาณธาตุอาหารเพียงพอและไม่เป็นพิษกับพืช สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชมีมากมายหลายสูตร มีทั้งสูตร สำหรับเฉพาะพืชและสูตร

สำหรับพืชทั่วไป ผู้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทยปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้หรือดัดแปลงสูตรสารละลายอาหารของประเทศต่างๆมาใช้ อาทิ ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ เนเธอร์แลนด์ เยอรมัน สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น เป็นต้น สูตรต่างๆนั้นโดยมากจะไม่ค่อยแตกต่างกันมากนักหรืออาจแตกต่างกันในเรื่องของปริมาณมหธาตุบ้าง แต่ปริมาณจุลภาคนั้นมักไม่แตกต่างกัน (ธรรมศักดิ์, 2547)

3. เรื่องของ Hydroponics ที่ควรรู้

ธรรมศักดิ์ (2547) กล่าวว่าหากย้อนหลังจากวันนี้ไปเมื่อประมาณ 10 ปีก่อนหน้านี้ หลายคนอาจไม่เคยทราบหรือได้ยินคำว่า “ไฮโดรโพนิกส์” มาก่อนเลยว่ามันคืออะไร แต่ไม่ว่าคุณจะทราบหรือไม่ก็ตาม ขณะนี้ธุรกิจการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ หรือ การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทยกำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว จากปี 2541 ซึ่งเป็นปีแรกๆที่มีผักไฮโดรโพนิกส์ออกจำหน่ายในท้องตลาดและมีฟาร์มปลูกผักไฮโดรโพนิกส์เพียงไม่ถึง 30 แห่ง จนถึงปัจจุบันมีฟาร์มปลูกผลิตผักในระบบไฮโดรโพนิกส์นี้ถึงมากกว่า. 150 แห่ง ทั่วประเทศ คิดเป็นพื้นที่ปลูกประมาณ 800 ไร่ ในแต่ละวันมีผักสดและผลิตภัณฑ์ผักจากการปลูกแบบไฮโดรโพนิกส์วางจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานครประมาณ 10,000-20,000 กก.ต่อวัน และทั่วประเทศประมาณ 50,000 กก ต่อวัน. ซึ่งหมายความว่าผักประเภทนี้กำลังเป็นที่นิยมของผู้บริโภคคนไทย เราสามารถพบเห็นผลิตภัณฑ์จากไฮโดรโพนิกส์ส่วนหนึ่งวางจำหน่ายอยู่ในซุปเปอร์มาร์เก็ตชั้นนำทั่วไปในโซนขายผักปลอดสารพิษ บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่สวยงามในราคาที่สูงกว่าผักทั่วไป อีกส่วนหนึ่งถูกจำหน่ายโดยตรงให้กับภัตตาคาร สายการบิน และโรงแรมที่ต้องการใช้แต่ผักที่มีคุณภาพดี และยังมีบางส่วนที่ส่งออกไปยังต่างประเทศอีกด้วย จากการตอบรับจากผู้บริโภคและการตลาดที่ค่อนข้างดีเช่นนี้ ธุรกิจปลูกผักแบบไฮโดรโพนิกส์จึงกลายเป็นที่สนใจของคนจากหลากหลายอาชีพ ทั้งคนในวงการหรือนอกวงการเกษตรที่ต้องการหาอาชีพใหม่หรือหาอาชีพเสริม จึงทำให้มักมีคำถามต่างๆมากมายเกี่ยวกับ ”ไฮโดรโพนิกส์” ไม่ว่าจะเป็นเรื่องวิธีการปลูก การเลือกเทคนิคการปลูก ต้นทุนการผลิต การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร การแก้ไขปัญหาต่างๆ ฯลฯ ในขณะเดียวกันก็มีประชาชนอีกลุ่มหนึ่งที่มีคำถามเกี่ยวกับความปลอดภัยของผลิตผลจากไฮโดรโพนิกส์หรือไม่เห็นด้วยกับกรรมวิธีการผลิตที่คิดว่าไม่เป็นไปตามธรรมชาติ ดังนั้น ข้อมูลต่อไปนี้จึงน่าจะเป็นประโยชน์ไม่มากก็น้อยแก่ทุกๆคนกำลังสนใจเกี่ยวกับไฮโดรโพนิกส์

3.1 ชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทย

ณ วันนี้ ในประเทศไทยได้มีการจัดตั้งชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแห่งประเทศไทยขึ้นแล้วได้ประมาณ 2 ปี ภายใต้การสนับสนุนและถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของสมาคมพืชสวนแห่งประเทศไทย โดยมีท่านรองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิสุนทร นันทกิจ แห่งภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นประธานชมรมคนปัจจุบัน ร่วมกับคณะกรรมการบริหารงานและที่ปรึกษาของชมรมอีก 14 ท่านจากทั้งหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องกับ

การเกษตรและธุรกิจเกษตร ปัจจุบัน (ถึงวันที่ 9 ส.ค.49) ชมรมฯมีสมาชิกอยู่จำนวน 142 ราย วัตถุประสงค์ของการก่อตั้งชมรมฯ ก็คือ เพื่อเป็นศูนย์กลางข้อมูลด้านวิชาการของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินของประเทศไทย และ เป็นสื่อกลางระหว่างภาครัฐ กับนักวิจัย เอกชน และประชาชนทั่วไปที่สนใจเกี่ยวกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ชมรมฯยังได้จัดทำเว็บไซต์ (website) ของชมรมปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขึ้นมา ที่ www.kmitl.ac.th/hydro เพื่อให้ผู้สนใจได้เข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินได้โดยสะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลทางวิชาการ ข่าวสารบริการและกิจกรรมของชมรม (สัมมนา อบรมและดูงาน) และกระดานถาม-ตอบปัญหา ท่านที่ผู้สนใจสามารถเข้าไปศึกษาข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินได้ และฝากคำถามหรือขอสงสัยไว้บนกระดานถาม-ตอบ นักวิชาการของชมรมฯและสมาชิกผู้มีประสบการณ์จะพยายามตอบคำถามและเสนอความคิดเห็นให้ท่านเท่าที่จะให้ได้ครับ นอกจากนี้ท่านยังสามารถสมัครเป็นสมาชิกของชมรมฯ ผ่านทางเว็บไซต์นี้ได้ด้วย สมาชิกของชมรมฯ จะได้รับสิทธิพิเศษในการเข้าร่วมสัมมนา ฝึกอบรม และดูงานของชมรมฯ ที่จัดขึ้นอยู่เป็นประจำ

3.2 พืชเจริญเติบโตได้อย่างไรหากปราศจากดิน ?

เพื่อที่จะตอบคำถามนี้ ต้องย้อนกลับไปดูว่าเมื่อพืชขึ้นอยู่บนดินนั้น พืชได้อาศัยพึ่งพาสิ่งใดบ้างจากดิน เราก็จะพบว่าสิ่งที่พืชต้องจากดินมีอยู่ 4 ประการ คือ 1) ที่ค้ำจุนลำต้น 2) น้ำ 3) อากาศ และ 4) ธาตุอาหาร ดังนั้น หากเราสามารถจัดหาสิ่งทั้ง 4 ประการนี้ ให้กับ (ราก) พืชได้เองในปริมาณและคุณภาพที่พืชต้องการ เราก็ไม่จำเป็นต้องพึ่งดินอีกต่อไป ซึ่งปรากฏว่าเทคโนโลยีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินช่วยให้เราสามารถจัดหาสิ่งที่พืชต้องการทั้ง 4 ประการนี้ได้ จึงทำให้เราไม่จำเป็นต้องพึ่งดินในการปลูกพืชอีกต่อไป ยิ่งไปกว่านั้นคือในการจัดหาปัจจัยทั้ง 4 ให้กับพืชนี้ ผู้ปลูกเป็นผู้ควบคุมทุกอย่างโดยสมบูรณ์ หากปฏิบัติและจัดการได้ดีและถูกต้องแล้ว พืชจะได้รับสิ่งที่ต้องการในชนิด ปริมาณที่ไม่มากหรือน้อยไป และในเวลาที่เหมาะสม ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี ให้ผลผลิตสูง มีคุณภาพดี ในเวลาที่รวดเร็วและประหยัดกว่าการปลูกในดินซึ่งยังไม่สามารถควบคุมปัจจัยได้ทุกอย่าง

3.3 ความนิยมในผักไฮโดรโปนิกส์

พนมพร (2545) กล่าวว่าการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์หรือเทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช่ดิน ถูกนำเข้ามาเผยแพร่ในประเทศไทยมาเป็นระยะเวลาพอสมควรทว่า การตอบรับของตลาดยังอยู่ในวงแคบ เพราะมีราคาจำหน่ายที่ค่อนข้างแพงแถมไม่มีใครตระหนักถึงความปลอดภัยในการบริโภคพืชผักหรือผลไม้มากนัก

กระทั่ง 2-3 ปี ที่ผ่านมาเมื่อกระแสโลกเริ่มมีการตอบรับในเรื่องสุขภาพมากขึ้น ได้ส่งผลให้ธุรกิจผักไฮโดรโปนิกส์เจริญเติบโตตามไปด้วย โดยเฉพาะตลาดในต่างประเทศ เช่น ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ อเมริกา อังกฤษ เยอรมัน ยอดสั่งซื้อในแต่ละปีสูงมาก ถึงขนาดมีต่างชาติเข้ามาใช้ไทยเป็นฐานการผลิตเพื่อส่งออก

สำหรับประเทศไทยผักไฮโดรโปนิกส์ยังจำกัดอยู่ในกลุ่มคนรักสุขภาพหรือผู้สนใจปลูกผักเป็นงานอดิเรก เพราะแค่การปลูกทดลองเล่น ๆ บริโภคภายในครอบครัว จำนวน 1 โต๊ะ ก็ต้องใช้จ่ายเงินลงทุนประมาณ 2,000-3,000 บาท แต่ปรากฏการณ์ที่น่าสนใจคือ ขณะนี้โรงพยาบาลเซ็นต์หลุยส์ ได้ตัดสินใจทดลองปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ปรุงอาหารให้กับผู้ป่วย เกิดขึ้นภายใต้แนวความคิดที่ว่า อาหารถือเป็นปัจจัยสำคัญในการบำบัดรักษา ซึ่งได้รับการตอบรับอย่างดีและมีผู้อุดหนุนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

3.4 ผักไฮโดรโพนิกส์ปลอดภัยต่อการบริโภคจริงหรือ ?

เรื่องความปลอดภัยของการบริโภคผักที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร เป็นสิ่งที่ถูกถามกันมากคำถามหนึ่ง ด้วยความกังวลที่ว่าผักที่ปลูกแบบไฮโดรโพนิกส์นี้ต้องแช่หรือสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารซึ่งจัดเป็นสารเคมีอย่างหนึ่งอาจดูดเคมีนั้นขึ้นไปสะสม เมื่อผู้บริโภค

รับประทานเข้าไปอาจทำให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บได้หรือไม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมักจะนำไปเปรียบเทียบกับการปลูกพืชในดินแบบให้ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือปุ๋ยคอก) แต่ในความเป็นจริงแล้ว พืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่ดูดกินอาหารผ่านทางรากในรูปของแร่ธาตุที่อยู่ในรูปของไอออน หรือ ประจุ (ion) เท่านั้น ซึ่งมีทั้งธาตุประจุบวก ได้แก่ NH_4^+, K^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Fe^{+2} เป็นต้น และธาตุประจุลบ ได้แก่ NO_3^-, SO_4^{-2}, $H_2PO_4^-$, BO_3^{-3} ดังนั้น แม้ว่าเราจะปลูกพืชลงในดินแล้วทำการให้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยนั้นจะยังไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชจนกว่าจะถูกการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นแร่ธาตุต่างๆที่แตกตัวเป็นไอออนละลายอยู่ในน้ำในดิน หรือจนกว่าปุ๋ยเคมีเม็ด นั้นจะแตกตัวละลายกลายเป็นแร่ธาตุอยู่ในสารละลายดินเช่นกัน รากพืชจึงดูดไปใช้ได้ สรุปก็คือ ไม่ว่าเราจะปลูกพืชในดินหรือในสารละลาย พืชก็ดูดใช้อาหารในรูปของประจุของแร่ธาตุ (ซึ่งบางคนเรียกว่าเป็นเคมี) เหมือนๆกัน ก่อนที่แร่ธาตุเหล่านั้นจะถูกพืชนำไปใช้สร้างสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลใหญ่อื่นๆ ได้แก่ เป็นแป้ง โปรตีน ไขมัน วิตามิน ต่างๆ ให้มนุษย์นำมารับประทานอีกที ดังนั้น หากเราไม่กังวลที่จะรับประทานผักที่ปลูกจากดินและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เราก็ไม่ควรที่จะกังวลกับการบริโภคผักที่ปลูกในสารละลาย เช่นกัน ส่วนเรื่องการสะสมของไนเตรทที่เป็นอนุมูลของไนโตรเจนที่มีอยู่มากในสารละลาย ก็เป็นอีกเรื่องหนึ่งที่มักมีผู้สงสัย ไนเตรทเป็นอนุมูลไนโตเจนที่พืชต้องการและดูดใช้มากในช่วงพัฒนาด้านลำต้น กิ่งใบ หากเราเก็บเกี่ยวพืชที่ยังอยู่ในช่วงกำลังพัฒนาทางด้านลำต้นอยู่ ไม่ว่าจะปลูกแบบไฮโดรโพนิกส์ หรือปลูกในดิน ก็จะต้องพบว่ามีไนเตรทอยู่บ้างไม่มากก็น้อย แต่หากมีไม่เกิน 2500-3000 มก.ต่อ 1 กก น้ำหนักสดของผัก ก็ยังถือว่าปลอดภัยครับ ดังนั้นปริมาณการสะสมไนเตรทจึงไม่ได้ขึ้นกับว่าปลูกในอะไร แต่น่าจะขึ้นกับว่าปลูกอย่างไร กรณีปลูกในสารละลาย

ปริมาณการสะสมไนเตรทในต้นพืชขึ้นกับความเข้มข้นของอนุมูลไนเตรทที่อยู่ในสารละลายที่ใช้ปลูกพืช และอัตราการใช้อนุมูลไนเตรทของพืชที่นำไปเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนกลูตามินซึ่งต้องใช้โมเลกุลของน้ำตาลที่มาจากการสังเคราะห์แสงร่วมด้วย ข้อดีประการหนึ่งของประเทศไทยคือที่มีแสงแดดจัด พืชจึงอัตราการสังเคราะห์แสงจึงค่อนข้างสูง ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงไนเตรทเป็นกรดอะมิโนกลูตาเมทเกิดขึ้นค่อนข้างเร็ว และในการปลูกแบบไฮโดรโพนิกส์ ในการปลูกที่ดีต้องมีการควบคุมระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมทุกๆ วัน ถ้าพืชมีการเจริญเติบโตและสังเคราะห์แสงที่เป็นปกติโอกาสที่จะเกิดการสะสมไนเตรทจนถึงระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคจึงไม่น่าเกิดขึ้น และยังสามารถลดไนเตรทก่อนเก็บเกี่ยวได้ง่ายๆ โดยการงดให้ธาตุอาหาร 1 -2 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว ในทางกลับกันการปลูกในดินกลับควบคุมได้ยากกว่า

ถึงตรงนี้ เชื่ออย่างยิ่งว่า คำถามสำคัญซึ่งเป็นบทสรุปของเรื่องทั้งหมดก็คือ มีหลักประกันความปลอดภัยของพืชผักในระบบไฮโดรโปนิกส์หรือไม่ เพราะปฏิสัมพันธ์โดยตรงระหว่างสารเคมีกับพืช จะเหมือนกับ ไก่เร่งฮอร์โมน หมูมีสารเร่งเนื้อแดง หรือไม่ แม้สารเคมีที่ให้จะเป็นสารปกติที่พืชสมควรได้รับอยู่แล้ว ไม่ได้เป็นสารเคมีแปลกปลอมไปกว่าปกติแต่อย่างใด ความเป็นจริงคือ การที่ผักไฮโดรโปรนิกส์ได้รับสารอาหารสมบูรณ์เกินขนาดเช่นนี้ ทำให้มีการสะสมจนอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้

ตารางผนวกที่ 8 ข้อมูลผลกระทบต่อร่างกายจากสารอาหารในปริมาณสูง

ธาตุอาหาร	ผลกระทบของสารอาหารต่อร่างกาย
ไนโตเจน	เกลือไนเตรท และเกลือไนไตรท์ จะเป็นสารตั้งต้นของ ไนโตรซามีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในตับ ในระบบทางเดินอาหาร
ฟอสฟอรัส	ทำให้เกิด hyperparathyroidism และ resorption ของกระดูก
แคลเซียม	ทำให้ท้องผูก อัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคนิ่วสูงขึ้น
แมกนีเซียม	ถ้าไตไม่ดีจะพบ hypermagnesemia
เหล็ก	เกิดภาวะ hemochomatosis เกิดการทำลายเนื้อเยื่อที่เก็บสะสมเหล็ก เช่น ตับ
สังกะสี	เกิดภาวะขาดทองแดง เนื่องจากสังกะสีจะไปกระตุ้นเซลล์ลำไส้สร้าง intestinal binding จับกับทองแดง

สารที่ควรจะต้องให้ความสำคัญคือ เกลือไนเตรทและเกลือไนไตรท์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของปุ๋ยอนินทรีย์ โปรตัสเซียมไนเตรท และแคลเซียมไนเตรท ในพืชผักต่าง ๆ ยิ่งมีการใช้ปุ๋ยพวกไนเตรทเพิ่มขึ้น ก็

จะมีผลทำให้มีสารไนเตรทและไนไตรท์เพิ่มมากขึ้น พืชที่พบว่ามีสารเหล่านี้มากจะเป็นพวกกินใบและกินหัว โดยเฉพาะระยะที่พืชผักถูกเก็บไว้เพื่อรอการบริโภคสารไนเตรทจะเปลี่ยนเป็นสารไนไตรท์ โดยแบคทีเรีย ซึ่งผักบางชนิดอาจมีไนไตรท์สูงถึง 3.6 กรัมต่อผักแห้ง 1 กิโลกรัม

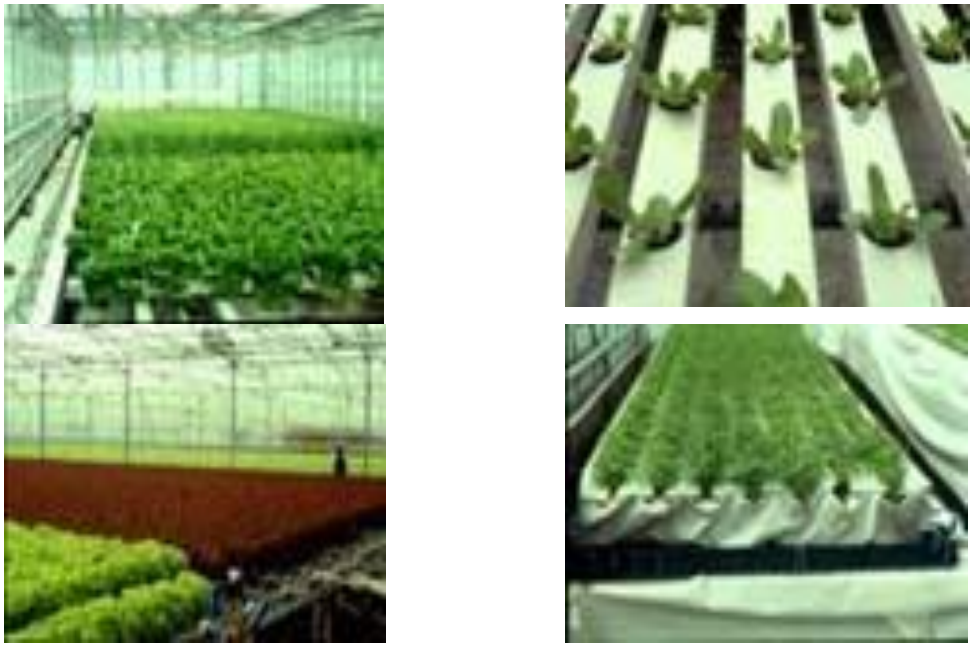
ความเป็นพิษของไนเตรทและไนไตรท์ในเด็ก เนื่องจากเม็ดเลือดแดงของเด็กไม่มีเอ็นไซม์ ชื่อ เอ็นเอดีเอช เมธฮีโมโกลบินรีดักเตส (NADH-methemoglobin reductase) เปลี่ยนเมธฮีโมโกบิน ซึ่งถูกออกซิไดซ์ด้วยไนไตรท์ได้ดีและง่ายกว่า ฉะนั้นการสะสมของเมธฮีโมโกบินจึงทำให้เด็กมีอาการขาดออกซิเจน ปวดศีรษะ หายใจหอบ หัวใจเต้นแรง และเร็วกว่าปกติ ความเป็นพิษของสารไนโตรซามีน สารนี้เกิดจากเกลือไนไตรท์รวมตัวกับสารอามีน (amines) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาได้ดีในสภาพความเป็นกรดสูงในกระเพาะอาหาร สารพิษไนโตซามีนสามารถถูกดูดซึมไปทั่วร่างกาย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า เกลือไนเตรทเป็นสารตั้งต้นของสารก่อมะเร็ง สารไนโตซามีนมี 4 ชนิดที่ได้รับการพิสูจน์ว่า เป็นสารก่อมะเร็งคือ ไดเมธิลไนโตซามีน (dimethylnitrosamine) ทำให้เกิดมะเร็งตับ ไดเอธิลไนโตรซามีน (diethylnitrosamine) ทำให้เกิดมะเร็งในหลอดอาหาร เมธิลและตับ เบนซิลไนโตรซามีน (methylbenzylnitrosamine) และเมธิลเฟนิลไนโตรซามีน (methyphenylnitrosamine) ทำให้เกิดมะเร็งหลอดอาหาร ทั้งหมดนี้น่าจะเป็นสมมติฐาน ของการรับประกันถึงความปลอดภัยของผักไฮโดรโปนิกส์ เท่าที่ตรวจสอบได้

4. ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

โครงการหลวง และคณะ (ม.ป.ป.) กล่าวว่า

4.1 การปลูกพืชในสารละลาย (Water Culture)

4.1.1 ระบบเอนเอฟที : การให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ (Nutrient Film Technique, NFT)เป็นเทคนิคที่ได้รับความสนใจอย่างมากเป็นการปลูกพืชโดยให้รากแช่อยู่ในสาร ละลายโดยตรงสารละลายจะไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (โดยทั่วไปมักกำหนดให้น้ำที่ไหลผ่านมีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) สารละลายจะไหลหมุนเวียนผ่านรากตลอดเวลา ระบบเอนเอฟทีสามารถแบ่งได้เป็นการปลูกในราง ปลูกในร่อง ปลูกในท่อ

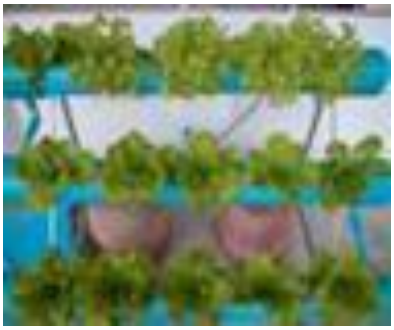


ภาพผนวกที่ 17 การปลูกพืชในระบบเอนเอฟทีที่ใช้รางรูปแบบต่างๆ ที่ทำเป็นการค้า และการปลูกพืชในระบบเอนเอฟทีที่เป็นการค้า

ภาพผนวกที่ 18 การปลูกพืชในระบบเอนเอฟทีที่แบบประยุกต์โดยใช้รางที่ทำจากลอนกระเบื้องมุงหลังคาที่ใช้ ผลิตผักไฮโดรโพนิกส์ศูนย์วิจัยพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

ภาพผนวกที่ 19 การปลูกพืชในระบบเอนเอฟทีแบบเป็นร่องโดยไม่ยกพื้น

ภาพผนวกที่ 20 การปลูกพืชในระบบเอนเอฟทีที่ใช้ท่อที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอย และอ่างขาง



ภาพผนวกที่ 21 การปลูกพืชในระบบเอนเอฟทีที่ใช้ท่อพีวีซีขนาดเล็กใช้ปลูกหลังบ้าน

4.1.2 ระบบดีเอฟที (Deep Floating Technique, DFT) เป็นระบบที่ปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายลึกประมาณ 15- 20 เซนติเมตร โดยจะมีการปลูกพืชบนแผ่นโฟมหรือวัสดุที่ลอยน้ำ ได้เพื่อยึดลำต้นแต่จะปล่อยให้รากเป็นอิสระในนำ ระบบนี้ไม่มีความลาดเอียง เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลายโดยการใช้ปั้มดูดสารละลายจากถังพักขึ้นมาใช้ใหม่ในระบบ เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับระบบน้ำที่ใช้ในการผลิตผัก ระบบนี้อาจมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบไฮโดรโพนิคส์ลอยน้ำ (Floating Hydroponic Systems)

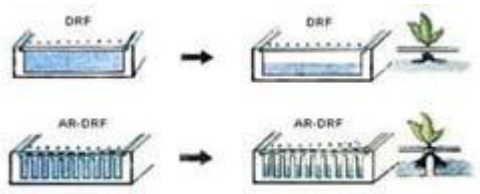
ภาพผนวกที่ 22 ระบบดีเอฟที ปลูกผักในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง
อินทนนท์ อ่างขางและหนองหอย

4.1.3 ระบบดีอาร์เอฟ (Dynamic Root Floating) เป็นระบบการปลูกพืชที่พัฒนามาจากระบบของ ดร.เกอริค (Prof. Dr.William F.Gericke) ที่เน้นการปลูกพืชให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำส่วน หนึ่งและอีกส่วนหนึ่งสร้างรากอากาศ เพื่อช่วยในการหายใจ โดยจะทำให้พืชที่ปลูกในระบบนี้ สามารถเจริญได้ในอุณหภูมิของสารละลายที่สูงมากกว่าระบบอื่นๆ ได้ดี ดร.เกา (Kao Te Chen) นักวิจัยและพัฒนาระบบไฮโดรโพนิกส์ ชาวไต้หวัน ได้พัฒนาระบบของ ดร.เกอริค โดยเพิ่มระบบท่อรับน้ำในกระบะ ที่ช่วยให้ระดับน้ำสูงขึ้นหรือลดลงได้ตามความต้องการของพืช โดย ดร.เกา ได้กำหนดให้ระดับน้ำควรสูงเพียงพอที่จะทำให้ รากพืชแช่อยู่ในน้ำได้ ประมาณ 4 เซนติเมตร โดยรากส่วนนี้ จะเป็นรากที่ดูดอาหาร (Nutrient root) และรากส่วนเหนือจากนี้จะเป็นรากที่หายใจ และดูดออกซิเจนเข้าสู่ราก จึงเรียกรากส่วนนี้ว่า รากอากาศ (Aero root)

ดังนั้นระบบดีอาร์เอฟก็คือระบบที่สามารถปรับความสูงต่ำของน้ำในกระบะปลูกได้ตามความต้องการ ของรากพืชแต่ละ ชนิดและเพื่อให้รากพืชลอยอยู่ในน้ำในระดับเพียง 4 เซนติเมตร ระบบดีอาร์เอฟได้มีการพัฒนาหลายครั้ง และปัจจุบันได้จดสิทธิบัตรในไต้หวัน โดยระบบดังกล่าวได้ แบ่งเป็น 2 ระบบย่อยๆ ได้แก่

1.3.1 ระบบปรับลดระดับสารละลาย เป็นแบบที่ปล่อยให้รากจมอยู่ในน้ำลึกในระยะแรก แล้วค่อยลดระดับน้ำลงจากระดับแรกที่สูงประมาณ 8 ซม. เหลือ 4 ซม.

1.3.2 ระบบเออาร์-ดีอาร์เอฟ เป็นการปลูกพืชโดยให้รากพืชคร่อมบนสันของถาดปลูกที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ แล้วปล่อยสารละลายไปตามแนวด้านข้าง



ภาพผนวกที่ 23 ระบบดีอาร์เอฟ (Dynamic Root Floating)

ข้อดีของระบบ ดีอาร์เอฟ (DRF)

ผลผลิตของผักที่ปลูกในระบบดีอาร์เอฟ (DRF) จะมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ในทุกสภาพอากาศไม่ว่าจะเป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำ ซึ่งในสภาพอากาศที่ร้อน เช่น ประเทศไทยการปลูกพืชในสารละลายมักมีปัญหาปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีน้อย แต่เนื่องจากระบบดีอาร์เอฟพืชที่ปลูกจะมีการพัฒนาของรากบางส่วนไปเป็นรากอากาศ ทำให้พืชที่ ปลูกสามารถได้รับออกซิเจนที่เพียงพอ ทำให้ได้ผลผลิตสูง ซึ่งเป็นระบบที่เหมาะสมในเขตอบอุ่นและเขตร้อน ซึ่งได้แสดงไว้ในภาพผนวกที่ 24 และ 25

ภาพผนวกที่ 24 การปลูกพืชในระบบเออาร์-ดีอาร์เอฟ

ภาพผนวกที่ 25 การปลูกผักกินผล เช่น แตงเมลอน มะเขือเทศ แตงกวาในน้ำโดยตรงในระบบดีอาร์เอฟ

4.2 การปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate Culture)

เป็นวิธีการปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกชนิดต่างๆ ทั้งที่เป็นอินทรีย์และอนินทรีย์ต่างๆ ได้แก่ ทราย กรวด ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว ร๊อควูลล์ พีท ฯลฯ การปลูกพืชระบบนี้นิยมกันอย่างแพร่หลาย วิธีหนึ่ง การปลูกพืชในวัสดุปลูกส่วนใหญ่จะแตกต่างกันทางด้านของเทคนิคการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหาพืช (ความถี่และปริมาณสารละลายที่ให้แต่ละครั้งและองค์ประกอบของสารละลาย) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุปลูกที่ใช้ ซึ่งจะต้องมีการทดลองเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งรูปแบบของการให้สารละลายกับวัสดุปลูกจะมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. แบบสารละลายไม่หมุนเวียน (Non Circulation Substrate Culture)
2. แบบสารละลายหมุนเวียน (Circulation Substrate Culture)

ในปัจจุบันรูปแบบการปลูกพืชไร้ดินด้วยวิธีปลูกในวัสดุปลูกชนิดต่างๆ เช่น กากมะพร้าวสับ กำลังเป็นที่นิยมอย่างมากในพื้นที่ดูแลของมูลนิธิโครงการหลวงในการปลูกพริกหวาน มะเขือเทศ และแตงเมลอน

ภาพผนวกที่ 26 การปลูกผักในวัสดุปลูกที่เป็นทราย โดยเป็นระบบที่สารละลายธาตุอาหารพืชไม่ไหลเวียน

ภาพผนวกที่ 27 การปลูกพืชในวัสดุปลูกโดยใช้กรวดแบบสารละลายหมุนเวียนที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอย

การปลูกพืชที่ใช้วัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดิน จะมีวัสดุปลูกชนิดต่างๆ มากมายที่เป็นอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งปัจจุบันก็ได้มีความพยายามที่จะใช้วัสดุปลูกที่เป็นสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อลดหรือหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีที่เริ่มไม่เป็นที่ต้องการของตลาด การปลูกแบบใช้วัสดุปลูกต้องมีภาชนะปลูกอาจเป็น ถุง กระถาง ใช้ซีเมนต์ ราง ภาชนะ กะบะ ถัง โดยสิ่งสำคัญก็คือ ต้องเป็นสิ่งที่หาได้ง่ายในพื้นที่

ระบบการให้สารละลายจะสามารถใช้ระบบหยดหรือสปริงเกอร์ หรือให้น้ำไหลเป็นทาง และสารที่ให้ไปกับน้ำอาจให้เป็นสารละลายอินทรีย์ หรือสารละลายอนินทรีย์ก็แล้วแต่จะเลือกใช้

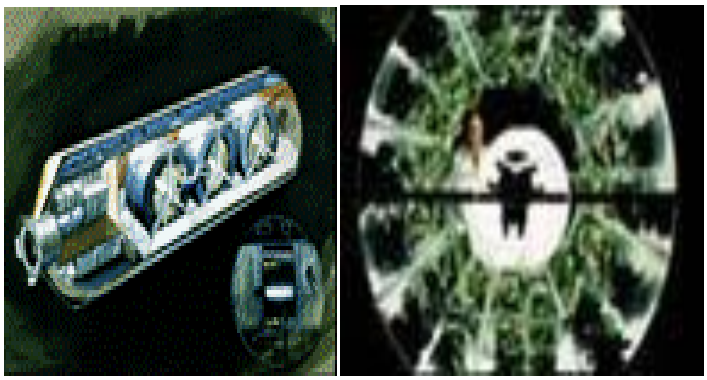
ภาพผนวกที่ 28 การปลูกพริกหวาน(พริกยักษ์)และมะเขือเทศในกากมะพร้าวสับบริเวณพื้นที่ของเกษตรกรในพื้นที่ดูแลและแปลงทดลองพืชผักของ ของมูลนิธิโครงการหลวงที่ตำบลโป่งแยงนอก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ แบบสารละลายไม่หมุนเวียนย้อนกลับโดยใช้ระบบน้ำหยด

ภาพผนวกที่ 29 การปลูกพืชในวัสดุปลูกอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก) ที่บรรจุลงในกระสอบ

ภาพผนวกที่ 30 ระบบปลูกในรางโดยใช้วัสดุปลูกอินทรีย์ในไต้หวัน

4.3 ระบบปลูกให้รากลอยอยู่กลางอากาศ (แอโรโพนิกส์ ; Aeroponics)

เป็นระบบที่ทำให้รากพืชอิ่มตัวอย่างต่อเนื่องด้วยการพ่นสารละลายที่มีธาตุอาหารพืชเป็นระยะ ในรูปคล้ายๆ แปลงพ่นหมอก ระบบนี้รากพืชไม่ได้จุ่มอยู่ในน้ำ ซึ่งเป็นสารละลายธาตุ อาหารพืช แต่จะมีความชื้นอิ่มตัวอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้รากคงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับ 95-100% โดยวิธีการนี้พืชได้อาหารครบถ้วนและพอเพียง ระบบนี้รากจะลอยอยู่ในอากาศในระบบปิด ที่กันแสง แต่การปลูกด้วยระบบแอโรโพนิกส์ ต้องใช้ระบบควบคุมการฉีดพ่นธาตุอาหารแบบอัตโนมัติ วิธีการนี้ใช้น้ำน้อยมาก การปลูกพืชในระบบแอโรโพนิกส์นี้ ความชื้นจากการฉีดพ่นสาร ละลายธาตุอาหารจะไปกระตุ้นให้รากพืชเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ภายใน 10 วัน และต้นพืชโดยเฉพาะพืชผักสามารถเจริญเติบโตเก็บเกี่ยวได้ภายในระยะเวลาเพียง 30 วันเท่านั้น โดยรูปแบบ การปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศนี้ จะนิยมสำหรับพืชหัวที่ไม่สามารถแช่อยู่ในน้ำหรืออยู่ในดินที่จะเสี่ยงต่อโรคทางดิน เมื่อมีระยะการปลูกนานเกิน 2 เดือน



ภาพผนวกที่ 31 การปลูกพืชในระบบแอโรโพนิกส์ในยานอวกาศแบบ Rotation drum

ภาคผนวก จ

การทดสอบข้อมูลทางสถิติโดยใช้ ANOVA

ตารางผนวกที่ 9 ตัวอย่างการทดสอบข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง ในกรณีอัตราการไหลที่ 2 lpm และอัตราการไหลที่ 4 lpm โดยมีข้อมูลดังนี้

ถ้วยเพาะปลูกที่	กรณีอัตราการไหลที่ 2 lpm	กรณีอัตราการไหลที่ 4 lpm
1	26.7	34.2
2	28.3	33.7
3	29.3	35.1
4	28.2	34.2
5	27.3	32.3
6	25.1	32.8
7	26.4	35.5
8	26.8	33.8
9	27.5	33.3
10	25.8	34.2
11	26.4	33.5
12	25.2	35.5
13	26.2	34.2
14	24.8	33.6
15	25.7	32.2
16	25.5	30.9
17	24.5	31.5
18	25.7	30.2
19	24.4	33.9
20	26.2	31.4
Sum	526.0	666.0

ให้

H_0 : น้ำหนักของพืชทั้ง 2 กรณีอัตราการไหลเท่ากัน

H_1 : น้ำหนักของพืชทั้ง 2 กรณีอัตราการไหลไม่เท่ากัน

วิธีการทำ

ขั้นที่ 1 กำหนดสมมติฐาน (H_0, H_1)

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

คู่กับ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญ $\propto = 0.05$

ขั้นที่ 3 เลือกตัวสถิติที่เหมาะสมและคำนวณค่าสถิติ ตัวสถิติที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลและสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$F = \frac{Ms_B}{Ms_W}$; T = 26.7 + … + 31.4 = 1,192

$SS_T = \sum_{i=l}^{k} \sum_{j=l}^{n_j} X^2_{ij} - \frac{T^2}{n}$; n = 40

$= \sum_{i=l}^{3} \sum_{j=l}^{11} X^2_{ij} - \frac{(1,192)^2}{40}$

$= (26.7^2 + \ldots + 31.4^2) - \frac{(1,192)^2}{40}$

= 36,086.20 - 35,521.6

= 564.6

$SS_B = \sum_{i=l}^{k} (\frac{T^2_i}{n_i}) - \frac{T^2}{n}$

$= \sum_{i=l}^{k} (\frac{T^2_i}{n_i}) - \frac{(1,192)^2}{40}$

$= \frac{(526)^2}{20} + \frac{(666)^2}{20} - \frac{(1,192)^2}{40}$

= 36,011.6 – 35,521

= 490.6

$SS_W = SS_T - SS_B$

= 564.6 – 490.6

= 74.0

$MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$

$= \frac{490.6}{2-1}$

MS_B = 490.6

$$MS_W = \frac{SS_W}{n-k}$$

$$= \frac{74}{40-2}$$

$MS_W = 1.95$

ตารางผนวกที่ 10 ความแปรปรวนของน้ำหนักพืชในกรณีอัตราการไหลที่ 2 lpm และอัตราการไหลที่ 4 lpm

สาเหตุความแปรปรวน	df	SS	MS	F
ระหว่างชุด	1	490.6	490.6	251.59
ภายในชุด	38	74.0	1.95	
รวมทั้งหมด	39	564.6		

ขั้นที่ 4 กำหนดบริเวณวิกฤตคือ $F > F \propto$, (k-1,n-k)

บริเวณวิกฤตคือ $F > F\ 0.05$, (1,38) = 4.08 (ได้จากการเปิดตารางผนวกที่ 14 การแจกแจงแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

ขั้นที่ 5 สรุปผลการทดสอบ

สรุปผล เนื่องจาก F ที่คำนวณได้เท่ากับ 251.59 $>$ 4.08 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าอัตราการไหลทั้ง 2 กรณี มีการเจริญเติบโตของพืชที่ไม่เท่ากัน ในสภาพอากาศเดียวกัน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักพืช

กำหนดให้

H_0 : น้ำหนักของพืชทั้ง 2 กรณีอัตราการไหลเท่ากัน

H_1 : น้ำหนักของพืชทั้ง 2 กรณีอัตราการไหลไม่เท่ากัน

กำหนดสมมติฐาน (H_0, H_1)

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

คู่กับ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

กำหนดระดับนัยสำคัญ $\propto = 0.05$

ตารางผนวกที่ 11 การทดสอบข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง ในกรณีอัตราการไหลที่ 2 lpm และอัตราการไหลที่ 4 lpm

สาเหตุความแปรปรวน	df	SS	MS	F
ระหว่างชุด	1	490.6	490.6	251.59
ภายในชุด	38	74.00	1.95	
รวมทั้งหมด	39	564.6		

บริเวณวิกฤตคือ $F > F\ 0.05$, (1,38) = 4.08 (ได้จากการเปิดตารางผนวกที่ 14 การแจกแจงแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

สรุปผลการทดสอบ

สรุปผล เนื่องจาก F ที่คำนวณได้เท่ากับ 251.59 $>$ 4.08 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าอัตราการไหลที่ 2 lpm และอัตราการไหลที่ 4 lpm มีการเจริญเติบโตของพืชที่ไม่เท่ากัน ในสภาพอากาศเดียวกัน

ตารางผนวกที่ 12 การทดสอบข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง ในกรณีอัตราการไหลที่ 6 lpm และอัตราการไหลที่ 8 lpm

สาเหตุความแปรปรวน	df	SS	MS	F
ระหว่างชุด	1	249.86	249.86	74.81
ภายในชุด	24	80.22	3.34	
รวมทั้งหมด	25	330.8		

บริเวณวิกฤตคือ $F > F\ 0.05$, (1,24) = 4.26 (ได้จากการเปิดตารางผนวกที่ 14 การแจกแจงแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

สรุปผลการทดสอบ

สรุปผล เนื่องจาก F ที่คำนวณได้เท่ากับ 74.81 $>$ 4.26 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าอัตราการไหลที่ 6 lpm และอัตราการไหลที่ 8 lpm มีการเจริญเติบโตของพืชที่ไม่เท่ากัน ในสภาพอากาศเดียวกัน

ตารางผนวกที่ 13 การทดสอบข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง ในกรณีอัตราการไหลที่ 2 lpm, 4 lpm, 6 lpm, และ 8 lpm

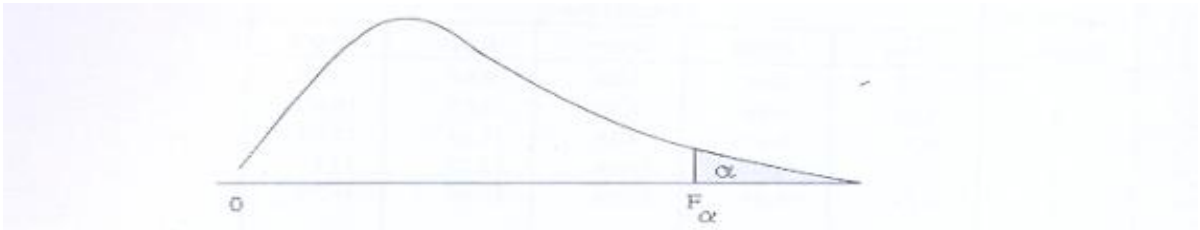
สาเหตุความแปรปรวน	df	SS	MS	F
ระหว่างชุด	3	2,543.94	847.98	339.19
ภายในชุด	62	154.82	2.50	
รวมทั้งหมด	65	2,698.76		

บริเวณวิกฤตคือ $F > F\ 0.05$, (3,62) = 2.76 (ได้จากการเปิดตารางผนวกที่ 14 การแจกแจงแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05)

สรุปผลการทดสอบ

สรุปผล เนื่องจาก F ที่คำนวณได้เท่ากับ 339.19 $>$ 2.76 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าอัตราการไหลทั้ง 4 กรณี มีการเจริญเติบโตของพืชที่ไม่เท่ากัน ในสภาพอากาศที่ต่างกันโดยอัตราการไหลที่ 2 lpm และ 4 lpm ทำการทดลองในฤดูร้อน ส่วนอัตราการไหลที่ 6 lpm และ 8 lpm ทำการทดลองในฤดูฝน

ตารางผนวกที่ 14 การแจกแจงแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



v_2	v_1									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242
2	18.50	19.00	19.20	19.20	19.30	19.30	19.40	19.40	19.40	19.40
3	10.10	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49
17	3.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83

ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

v_2	v_1								
	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	244	246	248	249	250	251	252	253	254
2	19.40	19.40	19.40	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50
3	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.38	2.38	2.30	2.30
13	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.93
19	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ : นายเฉลิมวุฒิ

นามสกุล : คำฟูบุตร

รหัสนิสิต : 48242101

ที่อยู่ : บ้านเลขที่ 256/2 หมู่ 13 ถนนลำปาง - งาว

ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง รหัสไปรษณีย์ 52000

การศึกษา : ปีพุทธศักราช 2542 จบการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลลำปาง

เขลางค์รัตน์อนุสรณ์ จังหวัดลำปาง

ปีพุทธศักราช 2548 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย

จังหวัดลำปาง