



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ปริญญา

พืชสวน

สาขา

พืชสวน

ภาควิชา

เรื่อง ผลของความยาวและความลาดเอียงของรางปลูก NFT และอัตราการไหลของสารละลายที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

Effect of Length and Slope of Gully and Flow Rate of Nutrient Solution on Growth of NFT Grown Lettuce (*Lactuca sativa* Linn.)

นามผู้วิจัย นายพงษ์พัฒน์ สุทธิบุญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลพ ภาณุตานนท์, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์นพดล เรียบเลิศหิรัญ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์จรัสแท้ ศิริพานิช, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๑๙ เดือน ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๔๙

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของความยาวและความลาดเอียงของรางปลูก NFT และอัตราการไหล
ของสารละลายที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

Effect of Length and Slope of Gully and Flow Rate of Nutrient Solution
on Growth of NFT Grown Lettuce (*Lactuca sativa* Linn.)

โดย

นายพงพิพัฒน์ สุทธิบุญ

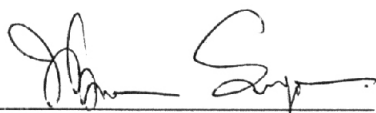
เสนอ

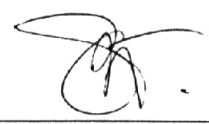
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
พ.ศ. 2549

ISBN 974-9844-99-8

พงษ์พัฒน์ สุทธิบุญ 2549: ผลของความยาวและความลาดเอียงของรางปลูก NFT และอัตราการไหลของสารละลายที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ปรินญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน ประธาน กรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, Ph.D. 129 หน้า ISBN 974-9844-99-8

ศึกษาอิทธิพลของความยาวและความลาดเอียงของรางปลูก NFT และอัตราการไหล สารละลายที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมกรีน ไอซ์ใน 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 ปลูก ผักกาดหอมในรางปลูก 6 12 และ 18 เมตร ความลาดเอียงรางปลูก 2 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการ ไหลสารละลาย 2 ลิตร/นาที่ อากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 24 – 31.8 องศาเซลเซียส พบว่า การปลูกในรางปลูกยาว 6 เมตร ให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมดีที่สุด โดยมีน้ำหนักสดและ น้ำหนักแห้งของส่วนยอดเฉลี่ยสูงสุดที่ 120.5 และ 5.74 กรัม/ต้น ตามลำดับ มีปริมาณออกซิเจน ในสารละลายบริเวณปลายรางสูงที่สุดคือ 6.0 มก./ลิตร และมีอุณหภูมิในสารละลายบริเวณปลาย รางต่ำที่สุดคือ 31.2 องศาเซลเซียส การทดลองที่ 2 ปลูกผักกาดหอมในระบบ NFT ที่มีความยาว รางปลูก 18 เมตร อัตราการไหลสารละลายที่ 2 ลิตร/นาที่ และใช้ความลาดเอียงรางปลูก 3 ระดับ คือ 2 2.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ อากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 32.0 – 39.6 องศาเซลเซียส พบว่า ที่ความลาดเอียง 3% ให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมดีที่สุด โดยมีน้ำหนักสดยอดและรากเฉลี่ย สูงสุดที่ 109.1 และ 13.9 กรัม/ต้น ตามลำดับ มีปริมาณออกซิเจนในสารละลายบริเวณปลายรางสูง ที่สุดคือ 5.52 มก./ลิตร และมีอุณหภูมิในสารละลายบริเวณปลายรางต่ำที่สุดคือ 33.3 องศา เซลเซียส และการทดลองที่ 3 ปลูกผักกาดหอมในระบบ NFT ที่มีความยาวรางปลูก 18 เมตร ความลาดเอียงรางปลูกที่ 3% ใช้อัตราการไหลสารละลาย 3 ระดับ คือ 2 3 และ 4 ลิตร/นาที่ อากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 31.2 – 36.4 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อัตราการไหลสารละลาย 4 ลิตร/นาที่ ให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมดีที่สุด โดยมีน้ำหนักสดยอดเฉลี่ยสูงสุดที่ 137.7 กรัม/ต้น มีปริมาณออกซิเจนในสารละลายบริเวณปลายรางสูงที่สุดคือ 6.42 มก./ลิตร และมี อุณหภูมิในสารละลายบริเวณปลายรางต่ำที่สุดคือ 29 องศาเซลเซียส

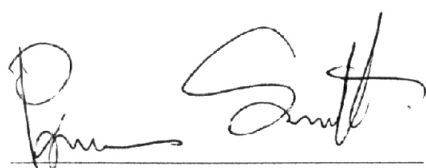

ลายมือชื่อนิสิต


ลายมือชื่อประธานกรรมการ

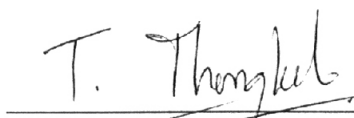
๒๒, มี.ค., ๔๙

Phongpipat Suttiboon 2006: Effect of Length and Slope of Gully and Flow Rate of Nutrient Solution on Growth of NFT Grown Lettuce (*Lactuca sativa* Linn.). Master of Science (Agriculture), Major Field: Horticulture, Department of Horticulture. Thesis Advisor: Assistant Professor Thammasak Thongket, Ph.D. 129 pages. ISBN 974-9844-99-8

Three experiments were conducted to study effects of length and slope of NFT gully and solution flow rates on growth of 'Green oak' lettuce. In the experiment I, lettuce was grown in NFT gullies with 3 lengths of 6, 12, and 18 m using common slope and flow rate of 2% and 2 l/min respectively. The average day temperature during the experiment ranged between 24.0-31.8 °C. It was found that NFT gully length of 6 m gave the greatest fresh and dry weight of shoot at 120.5 and 5.74 g/plant respectively, the highest dissolved oxygen of 6.0 mg/l and the lowest solution temperature of 31.2 °C at the lower-end zone of the gullies. In the experiment II, lettuce was grown in 18 m NFT gullies with 3 slopes of 2, 2.5 and 3% using common solution flow rate of 2 l/min. The average day temperature during the experiment ranged between 32.0-39.6 °C. It was found that the 3% gully slope gave the greatest shoot and root fresh weight of 109.1 and 13.9 g/plant respectively, the highest dissolved oxygen of 5.52 mg/l and the lowest solution temperature of 33.3 °C at the lower-end zone of gullies. In the experiment III, lettuce was grown in the 18 m NFT gullies with 3% slope using 3 solution flow rates of 2, 3, and 4 l/min. The average day temperature during the experiment ranged between 31.2-36.4 °C. It was found that flow rate of 4 l/min gave the greatest shoot fresh weight of 137.7 g/plant respectively, the highest dissolved oxygen of 6.42 mg/l and the lowest solution temperature of 29 °C at the lower-end zone of gullies.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

22, Mar, 06

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ ประธาน
กรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ลพ ภาณุตานนท์ กรรมการวิชาเอก รองศาสตราจารย์
ดร. นพดล เรียบเลิศหิรัญ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ ผู้แทนบัณฑิต
วิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์

ขอขอบคุณ พี่น้อง เพื่อน KU ทุก ๆ คน ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์
ครั้งนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ วรรณิ์ สุทธิบุญย์ พี่สาว พี่ชาย และครอบครัว ที่คอย
ให้การช่วยเหลือ สนับสนุน และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะพึงมีเพียงใด ขอมอบแด่ คุณแม่ และ
คณาจารย์ทุกท่าน ที่เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

พงพิพัฒน์ สุทธิบุญย์

มีนาคม 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	18
ผล	26
วิจารณ์	115
สรุป	121
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	123
ภาคผนวก	128

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่างๆ.....	17
2 ปริมาณออกซิเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่พบในสารละลาย ที่เวลาต่างๆ และตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมเป็นเวลา 1 ถึง 4 สัปดาห์	68
3 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ที่เวลาต่างๆ และตำแหน่งต่างๆ บน รางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน หลังการย้ายปลูก ผักกาดหอมเป็นเวลา 1 ถึง 4 สัปดาห์.....	77
4 ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย (มก./ลิตร) ที่เวลาต่างๆ และตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่อัตราการไหลของ สารละลายแตกต่างกัน หลังย้ายปลูก ผักกาดหอม นาน 1 ถึง 4 สัปดาห์	100
5 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ที่เวลาต่างๆ และตำแหน่งต่างๆ บนราง ปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลแตกต่างกัน หลังการย้ายปลูกผักกาดหอม นาน 1 ถึง 4 สัปดาห์.....	105
ตารางผนวกที่	
1 ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น (Stock Solution) สูตร Resh tropical dry summer คัดแปลง.....	129

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย (องศาเซลเซียส) ภายในโรงเรือนปลูกพืช ในระหว่างการทดลองปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีความยาวที่ แตกต่างกัน.....	27
2 ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) ภายในโรงเรือน ปลูกพืชในระหว่างการทดลองปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีความยาวที่ แตกต่างกัน.....	27
3 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจาก หัวราง ปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์หลัง ย้ายปลูก.....	30
4 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวราง ปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	30
5 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	31
6 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	33
7 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	33
8 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
9 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	36
10 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ จากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	36
11 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ จากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	37
12 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ จากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	39
13 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ จากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	39
14 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ จากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	40
15 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจาก หัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	43
16 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจาก หัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
17 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวราง ปลุก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์ หลังย้ายปลุก.....	44
18 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลุก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์ หลังย้ายปลุก.....	46
19 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลุก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์ หลังย้ายปลุก.....	46
20 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวราง ปลุก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์ หลังย้ายปลุก.....	47
21 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลุก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์ หลังย้ายปลุก.....	49
22 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลุก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์ หลังย้ายปลุก.....	49
23 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลุก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์ หลังย้ายปลุก.....	50
24 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลุก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลุก.....	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
25	อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....52
26	อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....53
27	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ของผักกาดหอม ที่อายุ 1-4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆ กัน.....55
28	น้ำหนักสดยอด (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่อายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกในโซนต่างๆบนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆกัน.....55
29	น้ำหนักสดราก (กรัม/ต้น) ที่อายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกของผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูกทั้ง 6 โซน บนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆ กัน.....57
30	น้ำหนักแห้งยอด (กรัม/ต้น) ที่อายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกของผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูกทั้ง 6 โซน บนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆ กัน.....57
31	น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่อายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกในโซนต่างๆบนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆ กัน.....58
32	ผลผลิต (กิโลกรัม/โซน) ของผักกาดหอมที่อายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกลงในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆ กัน.....60
33	อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และ อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส) ภายในโรงเรือนปลูกพืชในระหว่างการทดลองปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีความลาดชันที่แตกต่างกัน.....62
34	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) ภายในโรงเรือนปลูกพืชในระหว่างการทดลองปลูกผักกาดหอมบนรางปลูก NFT ที่มีความลาดชันที่แตกต่างกัน.....62
35	ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงแตกต่างกัน หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 1 สัปดาห์.....65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
36 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงแตกต่างกัน หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 2 สัปดาห์.....	65
37 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงแตกต่างกัน หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 3 สัปดาห์.....	66
38 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงแตกต่างกัน หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 4 สัปดาห์.....	66
39 ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย (มก./ลิตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 1 สัปดาห์.....	69
40 ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย (มก./ลิตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 2 สัปดาห์.....	71
41 ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย (มก./ลิตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 3 สัปดาห์.....	73
42 ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย (มก./ลิตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 4 สัปดาห์.....	75
43 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 1 สัปดาห์.....	78
44 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 2 สัปดาห์.....	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
45	อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูก ผักกาดหอมนาน 3 สัปดาห์.....82
46	อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูก ผักกาดหอมนาน 4 สัปดาห์.....84
47	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมที่อายุ 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน.....86
48	น้ำหนักสดส่วนยอด (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนโซนต่างๆ ของรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกันหลังการย้ายปลูกนาน 4 สัปดาห์.....86
49	น้ำหนักสดส่วนราก (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนโซนต่างๆ ของรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน หลังจากย้ายปลูกนาน 4 สัปดาห์.....89
50	น้ำหนักแห้งส่วนยอด (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนโซนต่างๆ กัน ของรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน หลังจากย้ายปลูก นาน 4 สัปดาห์.....89
51	น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนโซนต่างๆ กันของรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน หลังจากย้ายปลูกนาน 4 สัปดาห์.....90
52	ผลผลิตรวม (กิโลกรัม/ราง) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน 3 ระดับ หลังย้ายปลูกนาน 4 สัปดาห์.....92
53	อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย (องศาเซลเซียส) ภายในโรงเรือนปลูกพืช ในระหว่างการปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของ สารละลายที่แตกต่างกัน.....94
54	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) ภายในโรงเรือนปลูกพืช ในระหว่างการปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของ สารละลายที่แตกต่างกัน.....94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
55 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน ภายหลังการย้ายปลูก ผักกาดหอมนาน 1 สัปดาห์.....	96
56 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน ภายหลังการย้ายปลูก ผักกาดหอมนาน 2 สัปดาห์.....	96
57 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน ภายหลังการย้ายปลูก ผักกาดหอมนาน 3 สัปดาห์.....	98
58 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน ภายหลังการย้ายปลูก ผักกาดหอมนาน 4 สัปดาห์.....	98
59 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. ภายหลังการย้ายปลูกผักกาดหอม 1 สัปดาห์.....	101
60 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. ภายหลังการย้ายปลูกผักกาดหอม 2 สัปดาห์.....	101
61 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. ภายหลังการย้ายปลูกผักกาดหอม 3 สัปดาห์.....	103
62 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. ภายหลังการย้ายปลูกผักกาดหอม 4 สัปดาห์.....	103

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
63 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 1 สัปดาห์.....	106
64 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 2 สัปดาห์.....	106
65 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 3 สัปดาห์.....	108
66 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 4 สัปดาห์.....	108
67 ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน เป็นเวลานาน 1 2 3 และ 4 สัปดาห์หลังการย้ายปลูก.....	110
68 น้ำหนักสดส่วนยอด (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกันเป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก.....	110
69 น้ำหนักสดส่วนราก (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกันเป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก.....	112
70 น้ำหนักแห้งส่วนยอด (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกันเป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก.....	112

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
71 น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก.....	114
72 ผลผลิตรวม (กิโลกรัม/ราง) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลแตกต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก.....	114

ผลของความยาวและความลาดเอียงของรางปลูก NFT และอัตราการไหล ของสารละลายที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

Effect of Length and Slope of Gully and Flow Rate of Nutrient Solution on Growth of NFT Grown Lettuce (*Lactuca sativa* Linn.)

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพทางการเกษตรในพื้นที่ 147.8 ล้านไร่ สามารถผลิตสินค้าเกษตรเพื่อการบริโภคภายในประเทศอย่างเพียงพอและเหลือส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศทำรายได้เข้าสู่ประเทศได้ไม่น้อย และในปี 2547 รัฐบาลได้กำหนดนโยบายที่จะให้ประเทศไทยเป็น “ศูนย์กลางอาหารที่ยิ่งใหญ่” หรือเป็น “ครัวของโลก” เป็นแหล่งผลิตอาหารที่มีความปลอดภัยต่อการบริโภค (ดิเรก, 2547) แต่ในการผลิตพืชผักของประเทศไทยซึ่งถือว่าเป็นอาหารสำคัญชนิดหนึ่งสำหรับการบริโภคในประเทศและการส่งออกยังประสบกับปัญหาหลายประการ เช่น การระบาดของโรค แมลง ซึ่งต้องทำให้มีการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช และเกิดพิษตกค้างในผลผลิต การที่ผลผลิตตกต่ำจากปัญหาในดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ ดินเค็ม ดินเป็นกรดจัด (นพดล, 2538) ทำให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตพืชผัก มีความไม่แน่นอน และยากต่อการควบคุมให้ปลอดสารพิษ ในปี 2512 - 2533 กองวัตถุมีพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ได้รายงานผลการวิเคราะห์วัตถุมีพิษตกค้างในผัก พบว่า วัตถุมีพิษในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine) และออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate) อยู่ในระดับร้อยละ 37-86 ของตัวอย่างทั้งหมดซึ่งเกินระดับค่าปลอดภัยขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และองค์การอนามัยโลก (WHO) (ดิเรก, 2547)

อย่างไรก็ตาม การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นเทคโนโลยีการผลิตที่เป็นที่ยอมรับว่า เป็นวิธีการผลิตพืชที่ปลอดภัยจากสารพิษ (Food Safety) จึงเป็นวิธีการผลิตที่ช่วยให้ประเทศไทยได้มีโอกาสเป็นครัวของโลกได้ ผลผลิตที่ได้มีความสะอาด ปลอดภัย เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ ดิเรก (2547) กล่าวว่าปัจจุบันการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (soilless culture) เป็นทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรจะใช้แก้ปัญหาต่างที่เกิดขึ้นกับการปลูกพืชในดินดังกล่าว แต่การปลูกพืช

โดยไม่ใช้ดินมีหลายแบบ เกษตรกรจะต้องเลือกใช้ระบบที่เหมาะสมกับชนิดพืช สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย และสถานะเศรษฐกิจของตนเอง

ปัจจุบันพืชผักที่นิยมปลูกโดยการปลูกโดยไม่ใช้ดิน ในประเทศไทย ได้แก่ ผักกาดหอม หรือ ผักสลัด ที่มีรสชาติดี ผู้บริโภคชอบรับประทานและมีราคาแพง พืชผักกินใบ ชนิดต่างๆ เช่น คะน้า กวางตุ้ง ผักบุ้งจีน ผักกาดขาว คื่นช่าย ที่ผู้บริโภคต้องการผักที่มีความปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง รวมทั้ง พืชผักที่จัดเป็นเครื่องเทศประกอบการปรุงรสอาหาร เช่น ผักชี ร็อกเก็ต มิทชูบะ มิทซึนา เป็นต้น

ผักกาดหอม (Lettuce) เป็นพืชผักอีกชนิดหนึ่งที่มีการบริโภคกันมาก เนื่องจากเป็นผักสำคัญที่ใช้ในการทำสลัดผัก อาหารที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย จนทำให้ผักกาดหอมถูกเรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า “ผักสลัด” สลัดผักนั้นนอกจากจะเป็นอาหารบริโภคภายในครัวเรือนแล้ว ยังเป็นอาหารประจำในเมนูอาหารฝรั่งที่เสิร์ฟอยู่ในภัตตาคาร โรงแรม และสายการบิน ทั่วประเทศ สถานบริการอาหารชั้นสูงเหล่านี้ต้องการใช้ผักกาดหอมที่มีคุณภาพดี ในอดีตทั้งหมดต้องมีการสั่งเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีรูปร่าง สีกลิ่นหลากหลาย และมีรสชาติดี แต่ปัจจุบันเริ่มมีการนำผักกาดหอมสายพันธุ์ต่างประเทศเหล่านี้เข้ามาปลูกภายในประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งนิยมปลูกโดยไม่ใช้ดิน และวางจำหน่ายในซูเปอร์มาร์เก็ตชั้นนำ ในราคาสูงถึง กก. ละ 80 -150 บาท (ศิริเรก, 2547)

ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่นิยมใช้กันมากในสภาพภูมิอากาศของประเทศเขตร้อน ได้แก่ ระบบการปลูกแบบรากแช่ในน้ำลึกที่ไหลอย่างต่อเนื่อง (Deep Flow Technique, DFT) และระบบที่ให้น้ำไหลผ่านรากพืชเป็นฟิล์มบางๆ (Nutrient Film Technique, NFT) ซึ่งออกแบบมาให้รากพืชได้รับปริมาณออกซิเจนมากกว่าระบบ DFT (Cooper, 1965) อย่างไรก็ตาม เมื่อนำระบบ NFT มาใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำมาใช้ในการปลูกผักสลัดจะประสบกับปัญหาในช่วงที่มีอากาศร้อนจัดในฤดูร้อน และหรือฤดูแล้ง ผักมีการชะงักการเจริญเติบโต และบางส่วนตายลง ทำให้ผลผลิตและคุณภาพลดลง จนขาดตลาด สาเหตุที่น่าจะเกี่ยวข้องกับภาวะรากขาดอากาศ เนื่องจากพบว่ารากมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จนถึงเน่าดำ (Grineva, 1961) Douglas (1976) และ Resh (1987) อธิบายว่า ในช่วงที่อุณหภูมิของอากาศเวลากลางวันร้อนจัด อุณหภูมิของน้ำในรางปลูก NFT สูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ลดลง จนกระทั่งเป็นอันตรายต่อรากพืช ทำให้รากพืชไม่เจริญเติบโต เซลล์รากพืช

ตาย และรากพืชตายลงในที่สุด อิทธิสุนทร (2542) กล่าวว่าปริมาณออกซิเจนในสารละลายในรางปลูกแบบ NFT ขึ้นกับความยาวรางปลูก ถ้ารางยิ่งยาวมากขึ้นเท่าใด โอกาสที่รากพืชปลายรางจะขาดออกซิเจนก็มีมากขึ้นเท่านั้น นอกจากนี้ อัตราการไหลของสารละลาย ซึ่งขึ้นกับอัตราการปล่อยน้ำต่อรางและความลาดเอียงของราง อาจมีผลต่อโอกาสที่พืชจะได้รับสัมผัสออกซิเจนที่อยู่ในสารละลาย (ดิเรก, 2547)

เนื่องจากการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทยเพิ่งเริ่มพัฒนาได้ไม่นาน จึงยังไม่มีรายงานถึงอิทธิพลและผลกระทบของความยาวราง และความลาดเอียง ของรางปลูก NFT และอัตราการไหล ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด ในสภาพแวดล้อมของประเทศไทยอย่างชัดเจน แต่ละฟาร์มปลูกจึงยังมีการใช้ความยาวราง ความลาดเอียงของราง และอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลถึงการวางระบบ การจัดการ การเลือกใช้ปั๊มน้ำ ต้นทุนการผลิตที่แตกต่างกัน ดังนั้น เนื่องจากระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน แบบ NFT เป็นระบบที่เป็นที่นิยมในการผลิตผักสลัดในประเทศไทย และเป็นระบบที่มีการลงทุนสูง จึงควรที่จะมีการศึกษาอย่างจริงจังถึงผลกระทบของความยาวรางปลูก ความลาดเอียง และอัตราการไหลของสารละลายต่อการเจริญเติบโต ในสภาพแวดล้อมของประเทศไทยที่มีอากาศค่อนข้างร้อนจัด เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาเทคนิคการปลูก และการจัดการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผักสลัดในสภาพอากาศร้อนจัดในประเทศไทยต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของความยาวรางปลูก NFT ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม อุณหภูมิ สารละลาย และปริมาณออกซิเจนในสารละลายบนรางปลูก
2. เพื่อศึกษาผลของความลาดเอียงของรางปลูก NFT ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม อุณหภูมิ สารละลาย และปริมาณออกซิเจนในสารละลายบนรางปลูก
3. เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายบนรางปลูก NFT ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม อุณหภูมิ สารละลาย และปริมาณออกซิเจนในสารละลายบนรางปลูก

การตรวจเอกสาร

ผักกาดหอมมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* Linn. เป็นพืชในวงศ์ Asteraceae มีถิ่นกำเนิดในยุโรปและเอเชีย และเป็นผักที่เจริญมาจากวัชพืช wild species ของอเมริกาเหนือ (Shoemaker, 1949) ภาคกลางของไทยเรียกว่า ผักสลัด (เมฆ, 2541) ส่วนภาคเหนือเรียกว่า ผักกาดยี่ คนจีนเรียกว่า ฟังฉ่าย (กองบรรณาธิการฐานเกษตรกรรม, 2541) ผักกาดหอมเป็นพืชฤดูเดียว เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศเย็น สำหรับพันธุ์ห่อหัวอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 15.5-21 °C ส่วนพันธุ์ใบอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 21-26 °C ประโยชน์ของผักกาดหอมนอกจากจะใช้บริโภคเป็นผักสดที่อุดมไปด้วยสารอาหารสูงเช่น เบตาแคโรทีน วิตามินซี วิตามินดี แคลเซียม ฟอสฟอรัส เป็นต้น (มนูญ, 2544) ยังสามารถนำมาตกแต่งอาหารให้มีสีสันสวยงามน่ารับประทานมากขึ้น ความต้องการผักกาดหอมจึงมีอยู่ตลอดปีและเป็นผักที่มีความสำคัญสำคัญทางเศรษฐกิจ (สุนทร, 2540) จนผักกาดหอมได้รับสมญาว่าเป็น “The King of Salad Plant”

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless culture) หมายถึงวิธีการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดินโดยปลูกพืชลงบนวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ใช่ดิน หรือปลูกลงบนสารละลายธาตุอาหารพืช การปลูกพืชวิธีนี้ทำกันมานานแล้ว

โดยเมื่อประมาณ 140 ปี นักวิทยาศาสตร์เริ่มใช้วิธีการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร เพื่อศึกษาว่าธาตุใดบ้างเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช ความสำเร็จของการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารเป็นข้อพิสูจน์อย่างชัดเจนที่สุดว่า หากพืชได้รับแสง น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และธาตุอาหารรูปอนินทรีย์สารครบ พืชอาจเจริญเติบโตได้จนครบวัฏจักรชีวิตเนื่องจากพืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารได้เอง และจากที่กล่าวมาข้างต้นพืชเจริญเติบโตโดยไม่ต้องใช้ดินหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่ามนุษย์สามารถจัดสิ่งแวดล้อมให้พืชเพื่อทดแทนดินได้อย่างสมบูรณ์จนพัฒนามาเป็นระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ระบบหรือเทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ “Substrate culture” เป็นการปลูกพืชลงวัสดุปลูกชนิดต่างๆ เช่น แผ่นฟองน้ำ ทราย กรวด ขี้เลื่อย แกลบ ขุยมะพร้าว แทนดิน โดยพืชสามารถเจริญเติบโตบนวัสดุปลูกจากการได้รับสารละลาย

ธาตุอาหารที่พืชต้องการผ่านทางรากพืช (อาร์คีย์, 2544) และการปลูกพืชไม่ใช้ดิน แบบ “Hydroponics” คำนี้เป็นภาษากรีก มาจาก “hydro” แปลว่า น้ำ และ “ponos” แปลว่า การทำงาน รวมหมายถึง การทำงานของน้ำ (นพดล, 2538) การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินประเภทนี้รากพืชจะสัมผัสกับ สารละลายธาตุอาหารโดยตรงและตลอดเวลา

ปัจจุบันระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาหลายรูปแบบเกิดเป็นระบบที่หลากหลายมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป สามารถแบ่งได้เป็นเทคนิคต่างๆ ดังนี้

Deep Water Culture

เทคนิคการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร แบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ ค.ศ.1665 โดย นักวิทยาศาสตร์ชาวไอริชชื่อ Robert Boyle เป็นการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินวิธีหนึ่งที่ปลูกใน สารละลายธาตุอาหารที่มีความลึกของสารละลาย 8-10 นิ้ว และต้องมีการเติมออกซิเจนโดยการใช้ บั๊มอากาศเพื่อให้อากาศแก่รากพืชเพราะวิธีการดังกล่าวไม่มีการหมุนเวียนของสารละลายธาตุอาหาร (Schwarz,1995)

Davtyan (1980) กล่าวว่าระบบนี้รากพืชจะต้องแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืช แต่ส่วน ต่อรากหรือโคน จะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช (inert material) และยกไว้ เหนือระดับน้ำมีทั้งแบบที่ใช้น้ำลึก (Deep Water Culture) ซึ่งมีระดับน้ำสูงประมาณ 4 ถึง 8 นิ้ว และ แบบน้ำตื้น (Semi-Deep Water Culture) ซึ่งมีระดับน้ำสูงประมาณ 2 ถึง 4 นิ้ว มีการให้อากาศโดย การพ่นเป็นฟอง ที่อยู่ในสารละลายโดยใช้เครื่องสูบลม (ชัยฤกษ์, 2529) ซึ่งสารละลายธาตุอาหารพืช จะหมุนเวียนอยู่ภายในภาชนะปลูก การที่สารละลายธาตุอาหารพืชไหลเวียนอย่างเหมาะสม จะช่วย เพิ่มออกซิเจนลงในสารละลายธาตุอาหารพืช (Douglas, 1985)

Nutrient Film Technique (NFT)

เป็น water culture อีกรูปแบบหนึ่งบางที่เรียก Trough Trench Gully หรือ Channel Culture เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ได้ได้รับความสนใจมาก ในปี ค.ศ. 1965 Allen Cooper ชาวอังกฤษ ได้พัฒนา เทคนิคนี้ขึ้น เทคนิคนี้มีหลักการอยู่ว่า มีสารละลายธาตุอาหารพืชหมุนเวียนไหลผ่านเป็นชั้นบางๆ (nutrient film) ความหนาของน้ำในรางไม่ควรเกิน 3 มิลลิเมตร (อิทธิสุนทร, 2542) รางมีความลาด

เอียง (slope) 1-3 % รากพืชจะแขงอยู่ในสารละลายธาตุอาหารเพื่อช่วยให้รากพืชได้รับออกซิเจนที่เพียงพอ (Noggle and Fritf, 1977)

การปลูกพืชโดยรากแขงอยู่ในสารละลายโดยตรง ในรางปลูกพืชกว้างตั้งแต่ 5-35 เซนติเมตร สูงประมาณ 5 เซนติเมตร ความกว้างรางขึ้นอยู่กับชนิดพืชที่ปลูก ความยาวของรางตั้งแต่ 5-20 เมตร การไหลของสารละลายอาจเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบสลับ โดยทั่วไปสารละลายจะไหลแบบต่อเนื่องอัตราการไหลอยู่ในช่วง 1-2 ลิตร/นาที่/ราง (Benoit, 1992) รางอาจทำจากแผ่นพลาสติกสองหน้าขาวและดำ หน้า 80-200 ไมครอน หรือจาก PVC ขึ้นรูปเป็นรางสำเร็จรูป หรือทำจากโลหะ เช่น สังกะสี หรือ อะลูมิเนียม และบุภายในด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารละลาย โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรางและรากพืชและไหลกลับมายังถังเก็บสารละลาย

ข้อดีของเทคนิคนี้คือ รากพืชมีโอกาสได้รับออกซิเจนอย่างเต็มที่ ความกว้างของรางขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูกและถึงรับสารละลาย แต่รางไม่ควรยาวเกิน 10 เมตร รางยาวกว่านี้จะเกิดความแตกต่างของปริมาณออกซิเจน (Oxygen gradient) ในตำแหน่งต่างๆ ภายในรางปลูก เนื่องจากพืชต้นรางจะดูดใช้ออกซิเจนออกจากสารละลาย ถ้าปลูกมะเขือเทศปลายรางจะมีออกซิเจนน้อยกว่าต้นราง 1 ppm แต่ถ้าปลูกแตงกวาจะมีน้อยกว่าถึง 3 ppm และรางที่ยาวจะมีการสะสมของอุณหภูมิที่ปลายราง เช่น รางยาว 20 เมตร (อิทธิสุนทร, 2542) ด้านปลายรางจะมีรางน้ำรองรับสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้แล้ว ไปรวมที่ถังเพื่อดูดกลับไปใช้ใหม่ การปลูกพืชเทคนิคนี้ต่อมาได้รับการพัฒนาให้มีวัสดุรองรับรากพืช เพื่อช่วยลดปัญหาการที่รากมีการเจริญเป็นแผ่นหนาทำให้เกิดการกีดขวางรางสารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านไม่สะดวกเป็นผลให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตของพืช (Hurd, 1978) ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแท่งปลูก เช่น ร็อควูล (rockwool) และมีการนำมาใช้ในการปลูกผักเป็นเชิงพาณิชย์ในหลายประเทศ (Savage, 1985)

ปัญหาที่สำคัญที่สุดของการปลูกพืชในระบบ NFT โดยเฉพาะในแถบร้อน คือ การสะสมอุณหภูมิของสารละลายในช่วงเวลากลางวันทำให้อุณหภูมิสูงเกินไปมีผลให้การละลายตัวของออกซิเจนในสารละลายลดลงจนไม่พอเพียงกับความต้องการของพืช เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมีผลให้การละลายตัวของออกซิเจนในสารละลายลดลง ขณะเดียวกันอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลให้ความต้องการออกซิเจนของรากพืชเพิ่มขึ้นด้วย

ปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมิจะพบมากที่สุดในช่วงหน้าร้อนเนื่องจากอุณหภูมิกลางวันอาจสูงถึง 38 °C ทำให้สารละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากมีผลให้การละลายตัวของออกซิเจนลดต่ำลงการหายใจของรากจะมีปัญหารากจะอ่อนแอ คุณค่าอาหารและน้ำได้น้อย และโรคพืชเข้าทำลายได้ง่าย โดยเฉพาะ Pythium ซึ่งอาการที่แสดงออกพืชจะเหี่ยว ถ้าอาการหนักรากจะเป็นสีน้ำตาลและถ้ามากขึ้นรากจะเป็นสีดำขาดออกจากต้นและมึกลื่น ถ้าเป็นถึงขั้นนี้แล้วพืชจะตายในที่สุดและจะมีการลุกลามไปต้นข้างเคียงอย่างรวดเร็วและจะลามไปหมดทั้งระบบปลูกซึ่งถือว่าเป็นอันตรายที่สุดในการปลูกในระบบ NFT

Aeroponics

การปลูกพืชแบบนี้จะเป็นการปลูกโดยมีการพ่นสารละลายธาตุอาหารพืช เป็นหมอกหรือละอองไปที่รากพืชที่ถูกแขวนในที่มืดอยู่ในอากาศ (Savage, 1985) ความถี่และความยาวนานในการพ่นแต่ละครั้ง แตกต่างกันตามสภาพบรรยากาศรอบรากพืชและชนิดของพืช เช่น อาจมีการตั้งเวลาการพ่นสารละลายธาตุอาหารพืช 3 นาที และหยุด 1-2 นาที เพื่อให้บริเวณรากพืชมีความชื้น 95-100 %RH การปลูกพืชระบบนี้มักใช้ศึกษา สรีรวิทยาของพืช ระบบนี้มีข้อดีคือ รากแพร่กระจายได้ดี เพราะไม่มีสิ่งกีดขวางและได้รับอากาศเต็มที่ (อิทธิสุนทร, 2538)

Substrate Culture

วิทยา (2523) ให้ความหมายของวัสดุปลูกว่า หมายถึง วัตถุ (material) ต่างๆ ที่เลือกมาเพื่อใช้ปลูกพืชและทำให้ต้นพืชเจริญเติบโตเป็นปกติ วัสดุดังกล่าวอาจมีหลายชนิดผสมกันหรือมีเพียงชนิดเดียว ชนิดของวัสดุปลูกอาจเป็นอนินทรีย์วัตถุหรืออินทรีย์วัตถุก็ได้ การปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิคส์เทคนิค Substrate Culture วัสดุปลูกจะมีความสำคัญมาก อาจเป็นวัสดุอนินทรีย์ (inorganic media) เช่น กรวด ทราย หินภูเขาไฟ เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) เพอร์ไลต์ (perlite) และร็อกวูล (rockwool) เป็นต้น หรือวัสดุอินทรีย์ เช่น ขุยมะพร้าว จี้เลื่อย เป็นต้น วัสดุปลูกควรมีราคาถูก อนุภาคสม่ำเสมอ ปราศจากพิษและศัตรูพืช และเป็นวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่นนั้น (Douglas, 1985) บางทีระบบเดียวกันแต่ใช้วัสดุปลูกแตกต่างกันออกไปก็เรียกชื่อต่างกัน เช่น ถ้าใช้ทรายปลูกก็เรียก sand culture , ถ้าใช้กรวดปลูกก็เรียก gravel culture, ถ้าใช้ร็อกวูลปลูกก็เรียก rockwool culture เป็นต้น ใน media culture อาจแบ่งออกเป็น organic culture และ inorganic media

ในประเทศไทยวัสดุที่หาง่าย เช่น กรวด ทราย แกลบ จี้เลื่อย และขุยมะพร้าว เป็นต้น การใช้อาจนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่เหมาะสม (มนตรี, 2531) การให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชมีหลายวิธี เช่น ระบบน้ำหยด (drip irrigation) ดูดซึม (infiltration) แ่และระบาย (ebb and flow) เป็นต้น Resh (1978) พบว่าวัสดุปลูกประเภทจี้เลื่อยและทราย นิยมที่จะใช้ระบบน้ำหยดในการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหารพืช

ข้อดีและข้อเสียของการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

ข้อดี

1. สามารถปลูกพืชได้ทุกสถานที่ ไม่จำกัดขอบเขต แม้ในพื้นที่ที่ดินมีสภาพไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้ประโยชน์ เช่น ดินเค็ม ฯลฯ
2. ใช้น้ำและธาตุอาหารพืชอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ลดปริมาณน้ำที่ใช้ลงประมาณ 10 เท่า และลดการสูญเสียธาตุอาหารพืช (ปุ๋ยเคมี) ลงประมาณ 40 % ของการปลูกพืชในดิน (อารักษ์, 2544)
3. พืชเจริญเติบโตได้เร็วกว่าและให้ผลผลิตที่มากกว่าการปลูกในดิน เพราะสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมของการปลูก โดยเฉพาะส่วนรากพืชได้ดีกว่า และจัดเตรียมสัดส่วนและปริมาณธาตุอาหารได้สมดุลและพอเหมาะกับความต้องการของพืช
4. ประหยัดเวลา เนื่องจากสามารถย่นอายุการเก็บเกี่ยวให้สั้นลงกว่าการปลูกในดิน ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านแรงงานในการปลูกและบำรุงรักษา ประหยัดต้นทุนค่าขนส่งเนื่องจากเลือกพื้นที่ผลิตให้ใกล้กับตลาดได้ ทำให้มีศักยภาพในเชิงการค้าสูง
5. ใช้พื้นที่ปลูกอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ปลูกพืชชนิดเดิมในพื้นที่เดียวกันได้ตลอดปี และปลูกได้ต่อเนื่อง รวมทั้งปลูกพืชได้ปริมาณหนาแน่นกว่าการปลูกในดิน เพราะไม่ต้องแย่งอาหารและน้ำกัน

ข้อเสีย

1. เป็นระบบที่มีต้นทุนการผลิตเริ่มต้นค่อนข้างสูงกว่าการปลูกพืชในดิน เนื่องจากเครื่องมืออุปกรณ์มีราคาแพง
2. วัสดุปลูกบางชนิดเน่าเปื่อยหรือเน่าสลายด้วยยาก ทำให้อาจมีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ฟองน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้สารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้แล้วหากไม่มีการจัดการที่ดี ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาคูณภาพของน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ (คลอง แม่น้ำ บึง) เช่น ในตรรท เป็นต้น
3. ต้องการผู้มีความรู้และทักษะมากพอในการจัดการควบคุมดูแล ให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง และสม่ำเสมอ เช่น ถ้าเกลือสะสมมากในวัสดุปลูกหรือรากพืช จะทำให้รากพืชช้ดน้ำไม่ได้
4. มีข้อจำกัดชนิดของพืชปลูก เนื่องจากมีการลงทุนสูงกว่าการปลูกในดิน จึงต้องเลือกปลูกพืชที่มีราคา/หน่วยคุ้มค่าการลงทุน

สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

แสง

แสงมีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช ตามธรรมชาติพืชจะใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน เพื่อทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ที่ใบหรือส่วนที่มีสีเขียว โดยมีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) เป็นตัวรับแสงเพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) เป็นกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) และก๊าซออกซิเจน (O_2) (ไพบูลย์, 2538)

และแสงยังเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการสังเคราะห์แสง พืชจะมีระดับขีดความสามารถของการสังเคราะห์แสงเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับ ปริมาณความเข้มแสง และคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ซึ่งการปลูกพืชที่จะได้พืชคุณภาพดี ปริมาณแสงต้องควบคุมให้พอเหมาะ ถ้าพืชได้รับแสงน้อยเกินไปจะทำให้ไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร ขณะเดียวกันถ้าความเข้มแสงมากเกินไป จะมีผลไปลดอัตราการเจริญเติบโต สำหรับประเทศไทยมีที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงค่อนข้างได้เปรียบมีความเข้มของแสงมาก แม้วันที่มีเมฆปกคลุมหนาและมีฝนตก แต่ความเข้มแสงในประเทศเขตร้อนชื้นที่มี

มากจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดที่ปลูกด้วยระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ NFT ซึ่งจะส่งผลต่ออุณหภูมิของสารละลาย ทำให้มีอุณหภูมิสูงส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลง

นอกจากความเข้มของแสงแล้ว ช่วงระยะเวลาของแสงก็ต้องคำนึงถึง พืชวันสั้นต้องการแสง 10-13 ชั่วโมงในหนึ่งวัน พืชวันยาวต้องการแสง 14-18 ชั่วโมงในหนึ่งวัน (ถวัลย์, 2534) รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นผิวโลก เฉพาะช่วงแสงที่มองเห็น ความยาวช่วงคลื่น 400 - 760 นาโนเมตร เท่านั้นที่พืชนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้พบว่าแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินมีผลต่อกิจกรรมการสังเคราะห์แสง มากกว่าแสงในช่วงคลื่นอื่นๆ (สมบุญ, 2544)

อุณหภูมิอากาศ

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพืชชั้นสูงทั่วไป อยู่ระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงสว่างเพียงพอ และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °C อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า ในช่วงระหว่างอุณหภูมิเท่ากับ 5-25 °C อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน ขึ้นกับ ชนิด สายพันธุ์ อายุ และช่วงการเจริญเติบโตของพืช ผักกาดหอมจะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 8-24 °C (Morgan, 1999)

อุณหภูมิยังมีผลกระทบโดยตรงกับการสังเคราะห์แสง การหายใจ การดูดธาตุอาหาร การคายน้ำ และกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆ ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้จะมีผลรวมต่อการเจริญเติบโตของพืช ถ้าอุณหภูมิสูงมากจะมีผลทำให้ปากใบปิดอัตราการหายใจสูง และอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง ซึ่งจะทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต (สมบุญ, 2544)

ออกซิเจนในสารละลาย

ปัจจัยสำคัญของการปลูกผักในสารละลาย (Water culture) อีกปัจจัยหนึ่งก็คือออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) รากพืชต้องการออกซิเจน สำหรับการหายใจ และการดูดธาตุอาหารขึ้นไปใช้ ถ้าหากออกซิเจนไม่เพียงพอ รากจะชะงักการเจริญ อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรคและเน่าตาย

พืชแต่ละชนิดต้องการปริมาณออกซิเจนที่นำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและสภาพแวดล้อมที่พืชได้รับ ในสภาพที่ขาดอากาศในสารละลายธาตุอาหารจะทำให้รากพืชดูดแร่ธาตุอย่างไม่มีประสิทธิภาพ Shive (1941) พบว่าการดูดแอมโมเนียมจะลดลงและการดูดแคลเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัสจะถูกกระตุ้นให้มากขึ้น เมื่อมีปริมาณออกซิเจนในสารละลาย 16 ppm สำหรับถั่วเหลือง และ 8 ppm สำหรับมะเขือเทศ (Pepkowitz and Shive, 1944) การขาดอากาศเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของไนเตรทให้มีสูงขึ้นจนเป็นอันตรายต่อต้นส้ม และโอวกาโด (Curtis, 1949)

ในสภาพที่สารละลายธาตุอาหารขาดอากาศจะมีผลต่อการเจริญเติบโต การสร้างรากใหม่ และการดูดซึมอาหารของราก (Bird and Ruck, 1956) Grineva (1961) พบว่า เมื่อรากพืชอยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำเป็นเวลานาน ทำให้รากพืชขาดสารที่เป็นของเสียในรูปสารประกอบอินทรีย์ออกมาคือ กรดอะมิโน กรดคาร์บอกซิลิก และน้ำตาล รากพืชจะถูกทำลายเมื่ออยู่ในสภาพน้ำนิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำนั้นมีมากเกินไปและปริมาณของออกซิเจนมีน้อย ซึ่งจะสังเกตได้จากรากของต้นพืชที่อยู่ในสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Hewitt, 1966) และเมื่อมีการเติมออกซิเจนลงในสารละลายทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายเพิ่มขึ้น (Olsen, 1950) ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของรากพืช

อุณหภูมิสารละลาย

สำหรับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน อุณหภูมิในสารละลายมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชยังมีผลต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้จะลดลง เช่น เมื่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 25 °C ไปเป็น 30 °C จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงจาก 8.25 ส่วนในล้านส่วน เหลือเพียง 7.51 ส่วนในล้านส่วน (ppm) (อารักษ์, 2544)

อุณหภูมิของสารละลายมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของราก และความสามารถในการทำงานของรากที่ปลูกในสารละลายนั้น สารละลายที่มีอุณหภูมิ 28 °C ให้การเจริญเติบโตและการดูดสารละลายขึ้นไปใช้ได้สูงที่สุด รากพืชที่ปลูกในสารละลายอุณหภูมิ 14 °C จะมีรากแขนงที่สั้นและหนากว่าการปลูกในอุณหภูมิ 22 °C ซึ่งจะมีรากสีขาว และมีรากฝอยและรากขนอ่อน จำนวนมาก นอกจากนี้ การปลูกในอุณหภูมิ 14 °C จะทำให้พืชแสดงอาการขาด ธาตุเหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม การรักษาอุณหภูมิให้อยู่ระดับเฉลี่ย 20-25 °C

Chaimongkul, N. (n.d.a) อ้างอิงการทดลองของ Park et al. (1995) ซึ่งทำการปลูกพืชในสารละลาย โดยใช้ผักกาดกวางตุ้ง สลัดบัตเตอร์ และศึกษาความสามารถในการดูดน้ำ ธาตุอาหาร ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ในอุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 15 20 และ 25 °C พบว่าอัตราการดูดน้ำของพืชจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิส่วนอัตราการดูดธาตุอาหารขึ้นไปจะต่ำสุดในอุณหภูมิ 25 °C ในอุณหภูมิ 15 °C พืชไม่สามารถดูดน้ำขึ้นไปใช้ในปริมาณที่พอเพียงสำหรับการเจริญเติบโต สรุปผลการทดลอง พบว่าอุณหภูมิ 20 °C เหมาะสำหรับการปลูกพืชใบในสารละลาย

ความยาวของราก NFT

ความยาวของรากปลูกพืชขึ้นกับชนิดของพืชและปริมาณออกซิเจนในน้ำที่พืชต้องการ ปลูกพืชจะแสดงอาการขาดออกซิเจนถ้ารากยาวเกินกว่า 12 เมตร รากที่ยาวมากถึง 18 เมตร อาจใช้ปลูกพืชได้บางชนิดที่ต้องการออกซิเจนน้อยเช่นผักสลัด รากปลูกที่ยาวจะมีความแตกต่างของออกซิเจนในสารละลายระหว่างต้นรากและปลายรากมาก ความยาวของรากมากขึ้นเท่าใด ทำให้มีจำนวนต้นพืชที่ปลูกเพิ่มขึ้น เมื่อสารละลายธาตุอาหารไหลผ่านราก รากพืชที่อยู่ต้นรากจะดูดออกซิเจนไปใช้ก่อนเป็นลำดับแรก ปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่ในสารละลายธาตุอาหารเมื่อไหลไปถึงปลายรากก็จะยิ่งลดลง หากรากมีความยาวมากเกินไป ต้นพืชที่อยู่ปลายรากมีโอกาสขาดออกซิเจนมากขึ้นเท่านั้น และรากที่ยาวจะมีการสะสมของอุณหภูมิที่ปลายรากมากกว่ารากปลูกที่สั้น ดังนั้นการแนะนำโดยทั่วไปคือรากที่ใช้ปลูกพืชได้หลายชนิดควรมีความยาว 9 เมตร เพื่อให้ได้ออกซิเจนเพียงพอ โดยปกติระดับออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารที่ 8 ppm เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (ดิเรก, 2547)

ปวยเล้งเป็นพืชที่ต้องการออกซิเจนมาก ดังนั้นรากปลูก NFT สำหรับปวยเล้งไม่ควรยาวเกิน 10 เมตร ในขณะที่ผักสลัดซึ่งเป็นพืชที่ต้องการออกซิเจนน้อยกว่า รากปลูกสามารถมีความยาวได้ถึง 18 เมตร เป็นต้น และถ้าปลูกมะเขือเทศที่รากยาว 20 เมตร พบว่าปลายรากจะมีออกซิเจนน้อยกว่าต้นราก 1 ppm แต่ถ้าปลูกแตงกวาจะมีน้อยกว่าถึง 3 ppm (อิทธิสุนทร, 2538)

ความลาดเอียงของราง NFT

ในการติดตั้งระบบปลูกสำหรับระบบที่ให้สารอาหารแบบหมุนเวียนนั้น ความลาดเอียงของรางปลูก (Slope) จะมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหาร (Flow rate) ดังนั้นในการติดตั้งระบบปลูกที่จะทำให้พืชได้รับสารอาหารและอากาศบริเวณรากพืชที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วย ควรติดตั้งรางปลูกให้มีความลาดเอียงเพื่อให้การไหลของสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืชจากรางปลูกไปสู่ถังเก็บสารละลายธาตุอาหารเป็นไปได้ดี (ศิริก, 2547)

รางมีความลาดเอียงมากขึ้นอัตราการไหลสูงขึ้น ทำให้ความหนาของสารละลายธาตุอาหารก็จะลดลง มีผลต่อการละลายตัวของออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปนิยมใช้ความลาดเอียงประมาณ 2-3 %

อัตราการไหลของสารละลายในราง NFT

การปลูกพืชในสารละลายที่มีอัตราการไหลของสารละลายต่ำ จะทำให้รากพืชขาดออกซิเจน ออกซิเจนที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในรูปของ micro-nutrient และอัตราการเคลื่อนย้ายในพืชจะเร็วกว่าธาตุอื่นๆ การปลูกพืชในระบบ NFT หรือการให้สารละลายไหลผ่านรากบางๆ จะช่วยเพิ่มออกซิเจนในสารละลายได้ โดยทั่วไปจะมีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 1 – 2 ลิตร/นาที่/ราง แต่ในกรณีที่มีอัตราการหมุนเวียนของน้ำต่ำ และรากมีขนาดใหญ่จะทำให้รากพืชขาดออกซิเจนได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้อัตราการหายใจของรากลดลง ลดความสามารถในการดูดแร่ธาตุอาหาร และรากอ่อนแอต่อโรค

Douglas (1976) และ Resh (1987) รายงานว่าปริมาณออกซิเจนในน้ำ จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้อัตราการหายใจของรากลดลง

Chaimongkul, N. (n.d.a) อ้างถึงการทดลองของ Kao (1988) กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำสามารถกระทำได้โดยการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการหมุนเวียนของน้ำหรือนำน้ำหมุนเวียนตลอดเวลา แต่จะมีปัญหาในด้านต้นทุนการผลิตเนื่องจากจำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้า

ความหนาของสารละลายในราง NFT

ถ้าสารละลายมีความหนาธาตุอาหารมีความหนาเพิ่มขึ้น การละลายตัวของออกซิเจนจะลดลง ดังนั้นในการปลูกพืชแบบ NFT จะใช้อัตราการไหลของสารละลายที่ 2 – 4 ลิตร/นาที่ มีผลให้ความหนาของสารละลายธาตุอาหารในรางอยู่ที่ประมาณ 2 มม. (ธรรมศักดิ์, 2546)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สภาพความเป็นกรดด่างของสารละลาย มีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายของธาตุอาหารและความสามารถที่พืชจะนำขึ้นไปใช้ประโยชน์ ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและควบคุมระดับ pH ให้เหมาะสมตลอดเวลา (นิพนธ์, ม.ป.ป.)

ค่า pH ของสารละลายที่เหมาะสมของพืชต่างๆ ไปควรอยู่ในช่วง 5.5 - 6.2 เมื่อ pH สารละลายต่ำกว่า 4 จะเป็นอันตรายแก่รากพืช ในทางกลับกันถ้า pH สูงกว่า 7 เป็นเวลาติดต่อกัน 2 - 3 วัน จะทำให้การดูดใช้ ฟอสฟอรัส เหล็ก และ แมงกานีส ไม่เป็นปกติ ในการปลูกพืชผัก pH สารละลายจะสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงของการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น (vegetative growth) พืชจะมีการดูดใช้ NO_3^- เป็นส่วนใหญ่ (ดูดใช้ Anion มากกว่า Cation) ดังนั้นก็จะปลดปล่อย HCO_3^- ออกมาจำนวนเท่ากันมีผลให้ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไป การปรับค่า pH ให้ลดลงทำได้โดยใช้กรดไนตริก หรือกรดฟอสฟอริก (อิทธิสุนทร, 2542)

ค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical conductivity)

ค่า EC ของสารละลายเป็นการบอกค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณความเข้มข้นธาตุอาหารที่อยู่ในสารละลาย ปุ๋ยที่ละลายในน้ำจะมีค่าของไอออน (ion) ที่สามารถให้กระแสไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นโมห์ (Mho) แต่ค่าการนำไฟฟ้านี้ค่อนข้างน้อยมากจึงมีการวัดเป็นค่าที่มีหน่วยเป็น Millimho หรือ Millisiemen/cm (mS/cm) เป็นค่าที่ได้จากการวัดการนำกระแสไฟฟ้าจากพื้นที่หนึ่งคิวบิกเซนติเมตรของสารอาหาร ค่า EC เป็นค่ารวมของการนำไฟฟ้าระหว่างน้ำกับธาตุอาหารทั้งหมดในถังเท่านั้น แต่บอกถึงค่าของสัดส่วนของธาตุอาหารในถังที่อาจเปลี่ยนไปจากการที่พืชนำไปใช้หรือการตกตะกอน (ดิเรก, 2542) สารละลายธาตุอาหารที่เตรียมใหม่มีปริมาณธาตุอาหารสมดุล แต่เมื่อใช้สารละลายนี้ปลูกพืชในระบบ NFT ไประยะหนึ่งพืชมีการดูด

ใช้ธาตุอาหารออกไปจากสารละลาย แต่บางครั้งค่า EC ของสารละลายยังคงมีค่าเท่าเดิม แต่เมื่อวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าปริมาณ Na ในสารละลายเพิ่มขึ้นและสูงมาก แสดงให้เห็นว่าค่า EC ที่เท่าเดิมนั้นเป็นผลของปริมาณ Na ที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารในถังใหม่เป็นระยะๆ

ตารางที่ 1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่างๆ (Vestergaard, 1984)

$^{\circ}\text{C}$	mgO_2/l	$^{\circ}\text{C}$	mgO_2/l	$^{\circ}\text{C}$	mgO_2/l
11	10.67	20	8.84	29	7.64
12	10.43	21	8.68	30	7.53
13	10.20	22	8.53	31	7.42
14	9.98	23	8.38	32	7.32
15	9.76	24	8.25	33	7.22
16	9.56	25	8.11	34	7.13
17	9.37	26	7.99	35	7.04
18	9.18	27	7.86		
19	9.01	28	7.75		

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของความยาวรางปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินในระบบ NFT

ทำการศึกษาอิทธิพลของความยาวของรางปลูกโดยไม่ใช้ดินระบบ NFT ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูก โดยการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 6 ทริทเมนต์ คือ โซน (Zone) หรือ บริเวณ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างกัน โซนละ 6 ซ้ำ ดังนี้

ทริทเมนต์ที่ 1 โซน 1 บริเวณ 0-6 เมตร บนรางปลูกยาว 6 เมตร

ทริทเมนต์ที่ 2 โซน 2 บริเวณ 0-6 เมตร บนรางปลูกยาว 12 เมตร

ทริทเมนต์ที่ 3 โซน 3 บริเวณ 6-12 เมตร บนรางปลูกยาว 12 เมตร

ทริทเมนต์ที่ 4 โซน 4 บริเวณ 0-6 เมตร บนรางปลูกยาว 18 เมตร

ทริทเมนต์ที่ 5 โซน 5 บริเวณ 6-12 เมตร บนรางปลูกยาว 18 เมตร

ทริทเมนต์ที่ 6 โซน 6 บริเวณ 12-18 เมตร บนรางปลูกยาว 18 เมตร

สำหรับการปลูก และดูแลรักษา มีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

1.1 การเตรียมโต๊ะปลูกระบบ NFT

สร้างโต๊ะปลูกพืช NFT จำนวน 3 โต๊ะ ขนาดกว้าง 1.20 เมตร ยาว 6 12 และ 18 เมตร ตามลำดับ ขาและโครงทำจากเหล็กฉากเพื่อวางราง ปลูก NFT ทำจากพลาสติก กว้าง 10 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ยาวท่อนละ 6 เมตร ด้านบนรางเจาะเป็นช่องปลูกมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2.5 เซนติเมตร ระยะระหว่างช่องปลูกห่างกัน 2.5 เซนติเมตร โดยวางโต๊ะละ 6 แถว (ราง) ปรับรางปลูกให้มีความลาดเอียง 2 เปอร์เซ็นต์ โต๊ะปลูกความยาว 6 เมตร ใช้รางปลูกยาว 6 เมตร จำนวน 1 ท่อนต่อแถว โต๊ะปลูกความยาว 12 และ 18 เมตร ใช้การต่อรางปลูก NFT เป็น 2 และ 3 ท่อนต่อแถว ตามลำดับ เชื่อมรอยต่อด้วยกาวซิลิโคน นำถังสารละลายธาตุอาหารขนาด 100 ลิตร 3 ถัง มาติดตั้งที่ปลายด้านต่ำของโต๊ะปลูกทั้ง 3 ความยาว โต๊ะละ 1 ถัง ทำการติดตั้งปั้มน้ำ ขนาด 150 วัตต์ ลงในถัง

สารละลายพร้อมต่อเข้ากับท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว เดินท่อยาว ไปยังหัวโตะของแต่ละความยาวของโตะ เพื่อปั๊มสารละลายธาตุอาหารจากถังไปยังหัวโตะปลูก ที่หัวโตะปลูกเจาะรูตรงท่อ PVC จำนวน 12 รู ใส่สายอ่อน PE ขนาด 7 มิลลิเมตร เชื่อมระหว่างท่อ PVC กับหัวรางๆ ละ 2 สาย เพื่อจ่ายสารละลายลงรางปลูก ให้ไหลผ่านรางปลูกไปยังปลายราง และตกลงสู่ถังสารละลาย ทำการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในถังสารละลายใช้ปั๊มน้ำต่อเข้ากับสาย PE ขนาด 16 มิลลิเมตร เป็นรูปตัวแอล หัวกลับ และเจาะรูเป็นระยะให้พ่นน้ำกลับออกมาตกบนผิวน้ำทำให้เกิดฟองอากาศในถังสารละลาย

โตะปลูกทั้ง 3 โตะ วางอยู่ในโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ขนาด 200 ตารางเมตร ที่มีหลังคาพลาสติก และด้านข้างโรงเรือนเปิดโล่ง ณ ศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม

1.2 การเตรียมต้นกล้า ขยายกล้า และการปลูก

1.2.1 การเตรียมต้นกล้า

เพาะเมล็ดผักกาดหอมกรีนโอ๊ค พันธุ์ Kristine จากบริษัทเมล็ดพันธุ์ Rijzwaan ลงใน ถ้วยปลูกขนาด 3.8 X 3.8 X 5.5 เซนติเมตร โดยใช้ perlite : vermiculite ในอัตราส่วน 1 : 1 เป็นวัสดุเพาะ ฝังเมล็ดลงในวัสดุเพาะประมาณ 0.5 เซนติเมตร ถ้วยปลูกละ 1 เมล็ด รดน้ำเช้าเย็น ทุกวันประมาณ 3 วัน ต้นกล้าจึงเริ่มงอก เมื่อต้นกล้าเริ่มมีใบจริงจึงทำการให้สารละลายธาตุอาหารสูตร Resh Tropical Dry Summer ดัดแปลง (ตารางภาคผนวกที่ 1) ที่ความเข้มข้น 0.6 mS/cm

1.2.2 การขยายกล้าและการปลูก

เมื่อต้นกล้าผักกาดหอมมีอายุได้ 14 วัน ทำการคัดเลือกเอาต้นกล้าที่แข็งแรงและมีขนาดเท่าๆ กันใส่ลงในหลุมบนรางปลูก NFT หลุมละ 1 ต้น เตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตร Resh tropical dry summer ดัดแปลง ในถังสารละลาย โดยละลายสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น ลงในถังสารละลายธาตุอาหารปรับความเข้มข้นให้ได้ 1.2 mS/cm และค่า pH 6.3 เปิดปั๊มน้ำให้ดูดสารละลายจากในถังไปยังหัวราง ปรับอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 2.0 ลิตรต่อนาที ทุกรางโดยการใช้อวาล์วขนาด 7 มิลลิเมตร ในการควบคุม และทำการให้ออกซิเจนในถังสารละลายตลอดเวลา

1.2.3 การจัดการสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูก

วัดการเปลี่ยนแปลงค่า Electrical Conductivity (EC) ในถังสารละลายโดยใช้เครื่องมือ EC meter วัดทุกวันในตอนเช้า ควบคุมค่า EC ให้อยู่ในช่วง 1.2 ± 0.2 mS/cm โดยการเติมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้นหรือเติมน้ำประปา ทำการตรวจวัดค่า pH ในถังสารละลายโดยใช้เครื่องมือ pH meter วัดทุกวันในตอนเช้า เพื่อควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วง 5.5-6.3 โดยใช้สารละลายกรดไนตริกปรับเมื่อค่า pH สูงกว่า 6.3 และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับเมื่อค่า pH ต่ำกว่า 5.5

เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 7 วัน โดยทำการปิดปั๊มเพื่อที่จะให้น้ำในระบบไหลกลับลงในถังสารละลายจนหมดจากราง แล้วปล่อยสารละลายทิ้งจนหมดจึงนำถังสารละลายและปั๊มมาทำสะอาด แล้วจึงทำการเตรียมสารละลายธาตุอาหารในถังใหม่อีกครั้งโดยวิธีดังกล่าวข้างต้น

1.3 การบันทึกข้อมูล

1.3.1 บันทึกสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน

1.3.1.1 อุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนในระหว่างการทดลอง บันทึก ด้วยเครื่องมือ Data logger ยี่ห้อ ESPEC THERMORECORDER RS-11 ติดตั้งเครื่องมือที่ระดับเดียวกับทรงพุ่มผักบริเวณตรงกลางของโต๊ะปลูก ตั้งค่าเครื่องมือให้บันทึกข้อมูล ทุก 2 ชั่วโมง ที่เวลา 8.00 10.00 12.00 14.00 และ 16.00 น.

1.3.1.2 บันทึกค่าปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) และอุณหภูมิสารละลายในรางปลูก ในวันสุดท้ายของสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 หลังจากย้ายลงปลูกในรางปลูก ที่เวลา 9.00 12.00 และ 15.00 น.

1.3.2 บันทึกการเจริญเติบโต

1.3.2.1 ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ทุก 7 วัน หลังการย้ายปลูกโดยวัดสองด้านที่ตั้งฉากกันแล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย

1.3.2.2 นำนักสดส่วนยอด (Shoot) และราก (Root) ตัดต้นผักตั้งแต่ส่วนเหนือวัสดุปลูกขึ้นไปจนถึงปลายยอด และส่วนราก ตั้งแต่ส่วนที่โผล่จากกันด้วยลงไปจนถึงปลายรากของต้นผักกาดหอม นำไปชั่ง

1.3.2.3 นำนักแห้งส่วนยอดและรากของต้นผักกาดหอม (กรัม) หลังการย้ายปลูก 2 และ 4 สัปดาห์ โดยนำส่วนของต้นพืชที่ผ่านการบันทึกน้ำหนักสดแล้วมาอบในตู้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่ง

1.3.2.4 นำนักสดรวมของต้นผักกาดหอมทุกต้น (กรัม) ในสัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก โดยนำต้นพืชทุกต้นใน 1 ราง มาชั่งน้ำหนักทุกรางต่อโซน

1.4 ระยะเวลาและสถานที่ทำการทดลอง

ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม 2547 ณ โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ของศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของความลาดเอียงของรางปลูก NFT ที่มีต่อการเจริญของผักกาดหอม

ทำการศึกษาอิทธิพลของความลาดเอียงของรางปลูก NFT ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูกโดยการวางแผนการทดลองแบบ Split plot in RCBD กัน Block ในแนวทิศตะวันออก-ตก ตามความกว้างของโรงเรือนที่ได้รับแสงในแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากันเป็น 4 Blocks

Main plot คือ ความลาดเอียงของรางปลูก 3 ระดับ ที่ 2 2.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์

Sub plot

- กรณีศึกษาการเจริญเติบโต โซนของรางปลูก 3 โซน

โซนที่ 1 บริเวณตั้งแต่ 0-6 เมตร

โซนที่ 2 บริเวณตั้งแต่ 6-12 เมตร

โซนที่ 3 บริเวณตั้งแต่ 12-18 เมตร

- กรณีศึกษาออกซิเจน อุณหภูมิ และความหนาของน้ำในราง ที่ตำแหน่ง 4 ตำแหน่งบนรางปลูก คือ ตำแหน่งที่ 0 6 12 18 เมตร นับจากหัวราง

2.1 การเตรียมระบบการปลูกพืชแบบ NFT

ประกอบโต๊ะปลูกพืชในระบบ NFT ที่มีความกว้าง 1.2 เมตร ยาว 18 เมตร จำนวน 2 โต๊ะ โดยการนำรางปลูก NFT ที่มีความยาวท่อนละ 6 เมตร มาเรียงต่อเชื่อมกันด้วยซิลิโคนตามความยาวจำนวน 3 ท่อน รวมยาว 18 เมตร โต๊ะละ 6 ราง จำนวน 2 โต๊ะ รวมเป็น 12 ราง เรียงตามความยาวของโรงเรือนในแนวเหนือใต้ กั้น Block ในแนวตามความกว้างของโรงเรือน จำนวน 4 Blocks แต่ละ Block มีรางปลูก 3 ราง ปลายรางยกสูงจากพื้นดิน 60 เซนติเมตร ทำการสูมความลาดเอียง 3 ระดับ คือ 2 2.5 และ 3 เปอร์เซนต์ให้แก่รางปลูกในแต่ละ Block สร้างความลาดเอียงให้กับรางปลูกโดยการยกหัวรางให้สูงจากพื้นดิน 96 104.4 และ 112.2 เซนติเมตร สำหรับรางปลูกที่ได้รับความลาดเอียง 2 2.5 และ 3 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

2.2 การเตรียมต้นกล้า ย้ายกล้า และการปลูก

เหมือนกับการทดลองที่ 1

2.3 การบันทึกข้อมูล

2.3.1 ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ทำการวัดความกว้างทรงพุ่มด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.3.2 น้ำหนักสดส่วนยอด (Shoot) และน้ำหนักสดส่วนราก (Root) ที่อายุครบ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก โดยการชั่งด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.3.3 น้ำหนักแห้งส่วนยอดและรากของต้นผักกาดหอม (กรัม) หลังการย้ายปลูก 4 สัปดาห์ โดยการชั่งด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.3.4 น้ำหนักสดรวมของต้นผักกาดหอมทุกต้น (กิโลกรัม) ในสัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก โดยการชั่งด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.3.5 ความหนาของน้ำในรางปลูก (มิลลิเมตร) โดยใช้กระดาษแข็งที่ไม่ซึมน้ำจุ่มลงในรางในแนวตั้งจากจนถึงพื้นล่างของรางปลูกให้เกิดรอยเปียกแล้วนำไปทาบนไม้บรรทัด หากความสูงของรอยเปียก วัดที่ตำแหน่งต้น กลางและปลายของแต่ละโซนปลูกทุก 7 วัน

2.4 ระยะเวลาและสถานที่ทำการทดลอง

ระหว่าง เดือน กรกฎาคม – สิงหาคม 2547 ณ โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ของ ศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม

การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายที่มีต่อการเจริญของผักกาดหอม ที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินในระบบ NFT

ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของรางปลูก NFT ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูก โดยการวางแผนการทดลองแบบ Split plot in RCBD กัน Block ในแนวทิศตะวันออก-ตก ตามความกว้างของโรงเรือน เป็น 4 Blocks

Main plot คือ อัตราการไหลของรางปลูกที่ 2 3 และ 4 ลิตร/นาทีก

Sub plot

- กรณีศึกษาการเจริญเติบโต โซนของรางปลูก 3 โซน คือ

โซนที่ 1 (บริเวณตั้งแต่ 0-6 เมตร)

โซนที่ 2 (บริเวณตั้งแต่ 6-12 เมตร)

โซนที่ 3 (บริเวณตั้งแต่ 12-18 เมตร)

- กรณีศึกษาออกซิเจน อุณหภูมิ และความหนาของน้ำในราง ตำแหน่ง 4 ตำแหน่งบนรางปลูก คือ ตำแหน่งที่ 0 6 12 18 เมตร นับจากหัวราง

3.1 การเตรียมระบบการปลูกพืช

ประกอบโต๊ะปลูกพืชในระบบ NFT ที่มีความกว้าง 1.2 เมตร ยาว 18 เมตร จำนวน 2 โต๊ะ โดยการนำรางปลูก NFT ที่มีความยาวท่อนละ 6 เมตร มาเรียงต่อกันตามความยาว และเชื่อมกันด้วยซิลิโคนจำนวน 3 ท่อน รวมยาว 18 เมตร โต๊ะละ 6 ราง จำนวน 2 โต๊ะ รวมเป็น 12 ราง เรียงตัวตามความยาวของโรงเรือนในแนวเหนือ-ใต้ กัน Block ในตามความกว้างของโรงเรือน จำนวน 4 Blocks แต่ละ Block มีรางปลูก 3 ราง จัดวางให้มีความลาดเอียงเท่ากันที่ 3 เปอร์เซนต์ โดยการยกหัวรางให้สูงจากพื้นดิน เท่ากับ 112.2 เซนติเมตร สุ่มอัตราการไหลของสารละลาย 3 อัตราที่ 2 3 และ 4 ลิตรต่อนาที/ราง ให้รางปลูกภายในแต่ละ Block ควบคุมอัตราการไหลให้ได้ตามที่กำหนด โดยการปรับวาล์วจ่ายสารละลายขนาด 7 มิลลิเมตร ที่หัวรางปลูก

3.2 การเตรียมต้นกล้า ข้ายกล้า และการปลูก

เหมือนกับาทดลองที่ 1

3.3 การบันทึกข้อมูล

3.3.1 ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.3.2 น้ำหนักสดส่วนยอดและรากของต้นผักกาดหอม (กรัม) ที่อายุ 4 สัปดาห์ โดยการชั่งด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.3.3 น้ำหนักแห้งส่วนยอดและรากของต้นผักกาดหอม (กรัม) ที่อายุ 4 สัปดาห์ โดยการชั่งด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.3.4 น้ำหนักสดรวมของต้นผักกาดหอมทุกต้น (กิโลกรัม) ที่อายุ 4 สัปดาห์ ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.3.5 ความหนาของน้ำในรางปลูก (มิลลิเมตร) โดยใช้กระดาษแข็งที่ไม่ซึมน้ำจุ่มลงในรางในแนวตั้งฉากให้เกิดรอยเปียกแล้วนำไปทาบบกับไม้บรรทัด หาความสูงของรอยเปียกที่ตำแหน่งต้น กลางและปลายของแต่ละโซนปลูกทุก 7 วัน

3.4 ระยะเวลาและสถานที่ทำการทดลอง

ระหว่าง เดือน กันยายน – ตุลาคม 2547 ณ โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินของศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม

ผล

การทดลองที่ 1 ผลของความยาวรางปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินในระบบ NFT

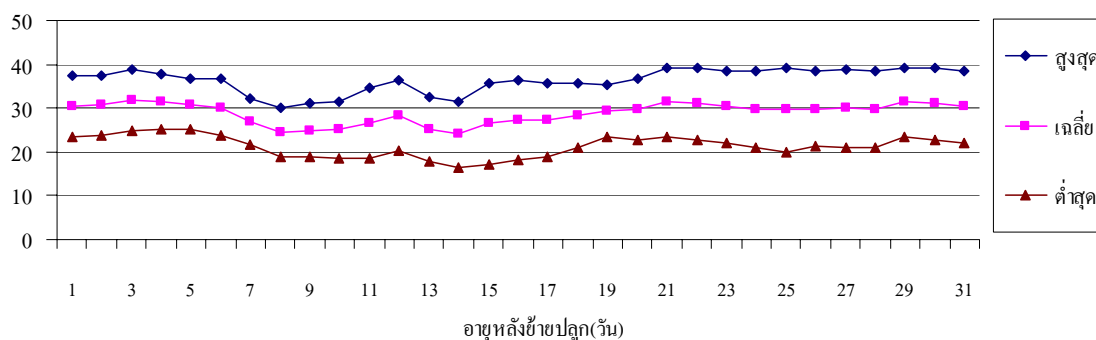
ในการศึกษาผลของความยาวรางปลูก NFT ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมโดยทำการปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันที่ 6 12 และ 18 เมตร ใช้อัตราการไหลของสารละลายครั้งที่ 2 ลิตร/นาที่ ความลาดเอียง 2 เปอร์เซ็นต์ และทำการศึกษาสภาพแวดล้อมในโรงเรือนระหว่างการปลูก การเจริญเติบโตของต้นผักกาดหอมที่โซน (zone) ต่างๆ กันบนรางปลูก พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนของสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในเดือนมีนาคม 2547 มีผลการศึกษาดังนี้

1.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนปลูก

อุณหภูมิสูงสุดของอากาศในโรงเรือนเวลากลางวันของแต่ละวันในระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 30 ถึง 39.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 16.4 ถึง 25.2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 24 ถึง 31.8 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศในแต่ละสัปดาห์ พบว่า อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยมีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันตลอดอายุการปลูก (ภาพที่ 1)

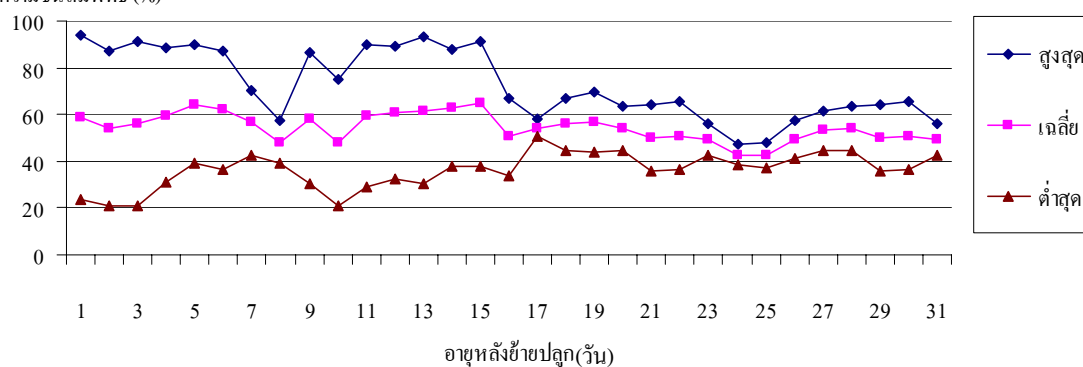
ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดของอากาศในโรงเรือนของแต่ละวันในระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 47.4 ถึง 93.9 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 20.7 ถึง 50.7 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 42.6 ถึง 64.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยมีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันตลอดอายุการปลูก (ภาพที่ 2)

อุณหภูมิ (°C)



ภาพที่ 1 อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย (องศาเซลเซียส) ภายในโรงเรือนปลูกพืชในระหว่าง
การทดลองปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีความยาวที่แตกต่างกัน

ความชื้นสัมพัทธ์ (%)



ภาพที่ 2 ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) ภายในโรงเรือนปลูกพืชใน
ระหว่างการทดลองปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีความยาวที่แตกต่างกัน

1.2 ปริมาณออกซิเจนในสารละลายบนรางปลูก

ในการศึกษาปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆ กัน ในช่วงเวลากลางวันที่เวลาต่างๆ กัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก พบว่าปริมาณออกซิเจนในสารละลายที่ไหลผ่านรางมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันขึ้นกับความยาวของราง เวลาที่วัด และอายุของต้นพืช ดังนี้

1.2.1 สัปดาห์ที่ 1

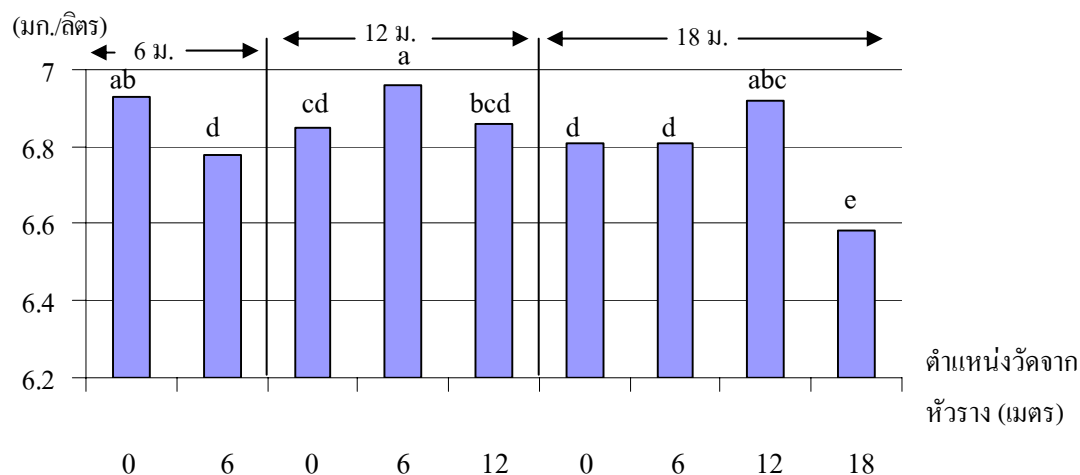
เมื่อเวลา 9.00 น. ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกความยาวราง คือ ที่รางปลูกยาว 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจน ที่ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวรางมีค่าเท่ากับ 6.9 และ 6.8 มก./ลิตร ตามลำดับ รางปลูก 12 เมตร พบปริมาณออกซิเจน ที่ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตรนับจากหัวราง มีค่าเท่ากับ 6.9 7.0 และ 6.9 มก./ลิตร ตามลำดับ และรางปลูก 18 เมตร พบปริมาณออกซิเจน ที่ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 นับจากหัวราง มีค่าเท่ากับ 6.8 6.8 6.9 และ 6.6 มก./ลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 3)

เมื่อเวลา 12.00 น. ที่รางปลูกยาว 6 และ 12 เมตร ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากหัวรางไปยังปลายรางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยรางปลูก 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.0 และ 6.1 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตรนับจากหัวรางตามลำดับ และรางปลูก 12 เมตร พบ 6.4 6.5 และ 6.5 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวรางตามลำดับ ส่วนที่ความยาวราง 18 เมตร ปริมาณออกซิเจนที่ตำแหน่งปลายรางมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่า 6.6 6.6 6.6 และ 6.4 มก./ลิตร ที่ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 4)

เมื่อเวลา 15.00 น. ที่รางปลูกยาว 6 และ 12 เมตร ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่รางปลูก 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.4 และ 6.2 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตรนับจากหัวรางตามลำดับ และที่รางปลูก 12 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.2 6.3 และ 6.1 มก./ลิตร ที่ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวรางตามลำดับ สำหรับรางปลูก 18 เมตร พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ตำแหน่งกลางรางมีค่า

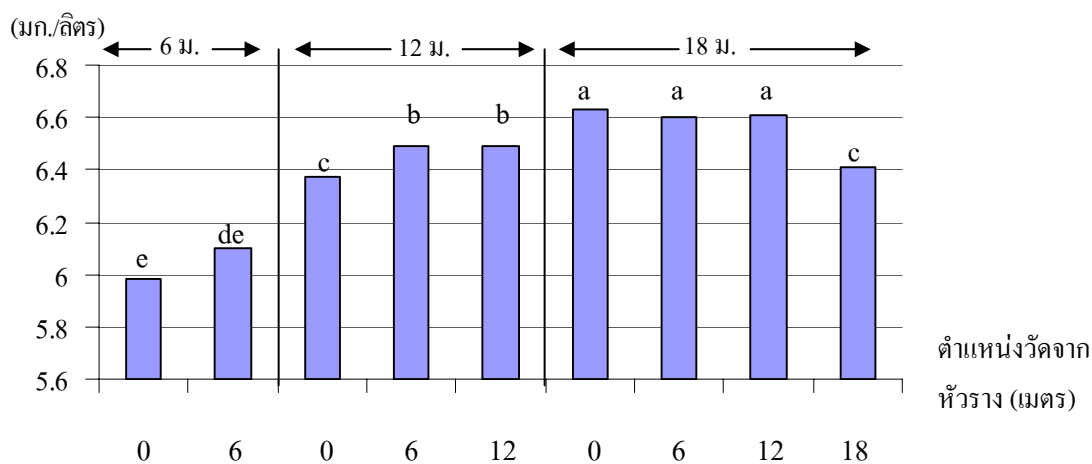
สูงกว่าตำแหน่งหัวและปลายราง โดยมีค่าเท่ากับ 6.3 6.5 6.5 และ 6.3 มก./ลิตร ที่ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 5)

ปริมาณออกซิเจน



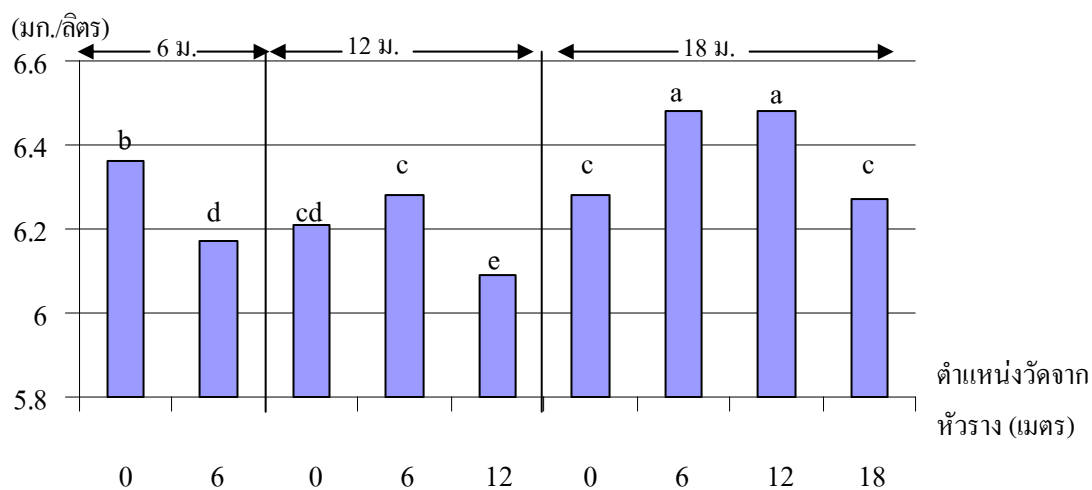
ภาพที่ 3 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวราง ปลูกร NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อพักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายปลูกร

ปริมาณออกซิเจน



ภาพที่ 4 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวราง ปลูกร NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อพักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายปลูกร

ปริมาณออกซิเจน



ภาพที่ 5 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

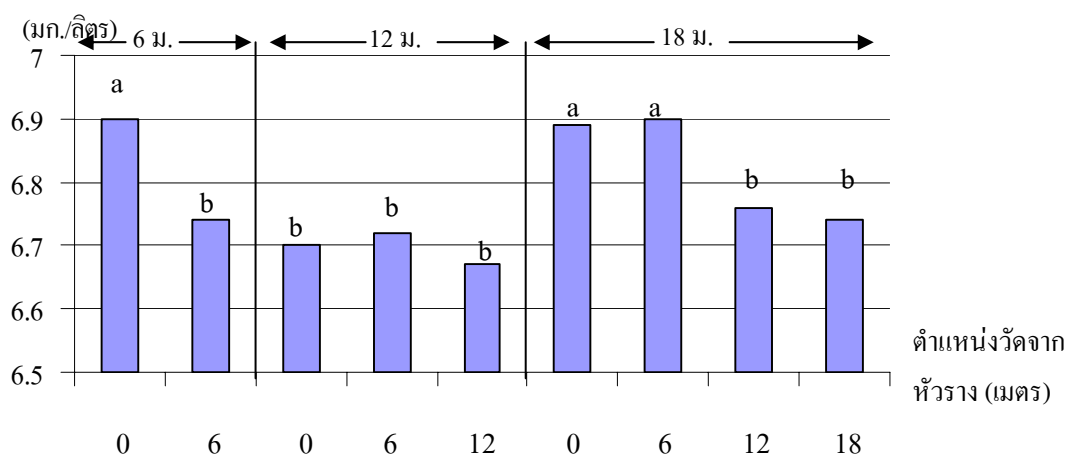
1.2.2 สัปดาห์ที่ 2

เมื่อเวลา 9.00 น. ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ รางปลูก 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.9 และ 6.7 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตรนับจากหัวรางตามลำดับ รางปลูก 12 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.7 6.7 และ 6.7 มก./ลิตร ที่ตำแหน่ง 0 6 และ 12 นับจากหัวรางตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.9 6.9 6.8 และ 6.7 มก./ลิตร ที่ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวรางตามลำดับ (ภาพที่ 6)

เมื่อเวลา 12.00 น. ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ รางปลูก 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.4 และ 6.2 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวรางตามลำดับ รางปลูก 12 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.4 6.3 และ 6.3 มก./ลิตร ที่ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวรางตามลำดับ และรางปลูก 18 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.4 6.4 6.4 และ 6.3 มก./ลิตร ที่ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวรางตามลำดับ (ภาพที่ 7)

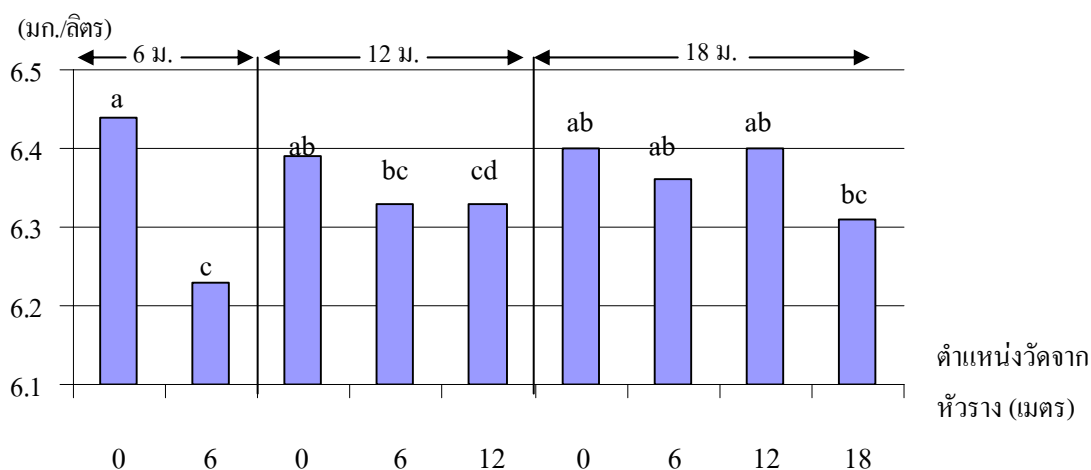
เมื่อเวลา 15.00 น. ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ รางปลูก 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.4 และ 6.3 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตรนับจากหัวรางตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.5 6.4 และ 6.4 มก./ลิตร ที่ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวรางตามลำดับ และรางปลูก 18 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.5 6.5 6.5 และ 6.4 มก./ลิตร ที่ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 8)

ปริมาณออกซิเจน



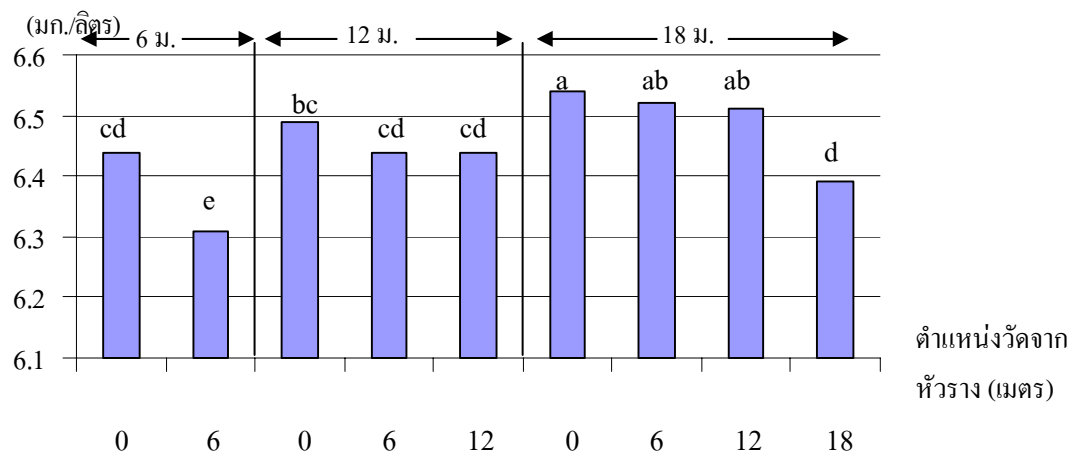
ภาพที่ 6 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

ปริมาณออกซิเจน



ภาพที่ 7 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

ปริมาณออกซิเจน



ภาพที่ 8 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

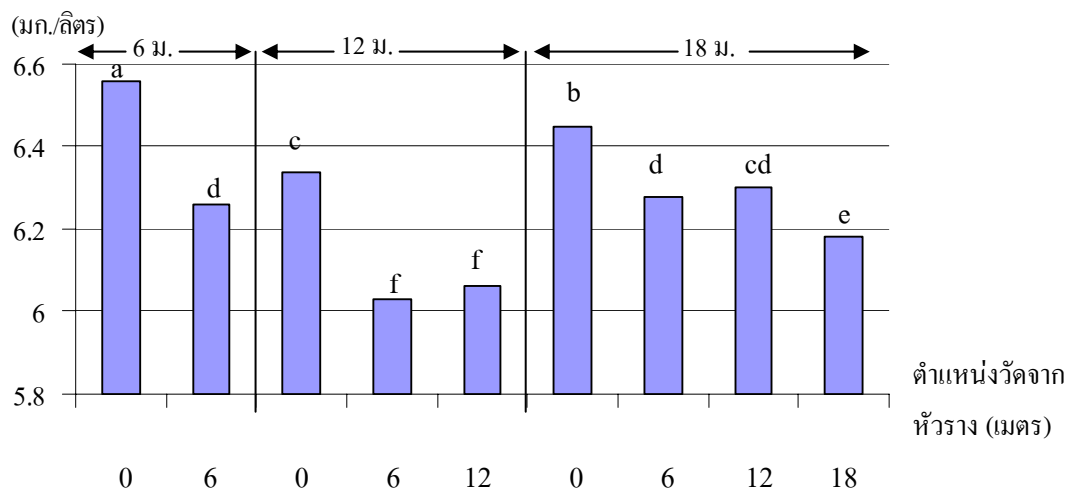
1.2.3 สัปดาห์ที่ 3

เมื่อเวลา 9.00 น. ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ รางปลูก 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.4 และ 6.3 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.3 6.0 และ 6.1 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.5 6.3 6.3 และ 6.2 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 9)

เมื่อเวลา 12.00 น. ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ รางปลูก 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.0 และ 5.7 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.0 5.7 และ 5.7 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และรางปลูก 18 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.1 5.8 5.8 และ 5.6 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 10)

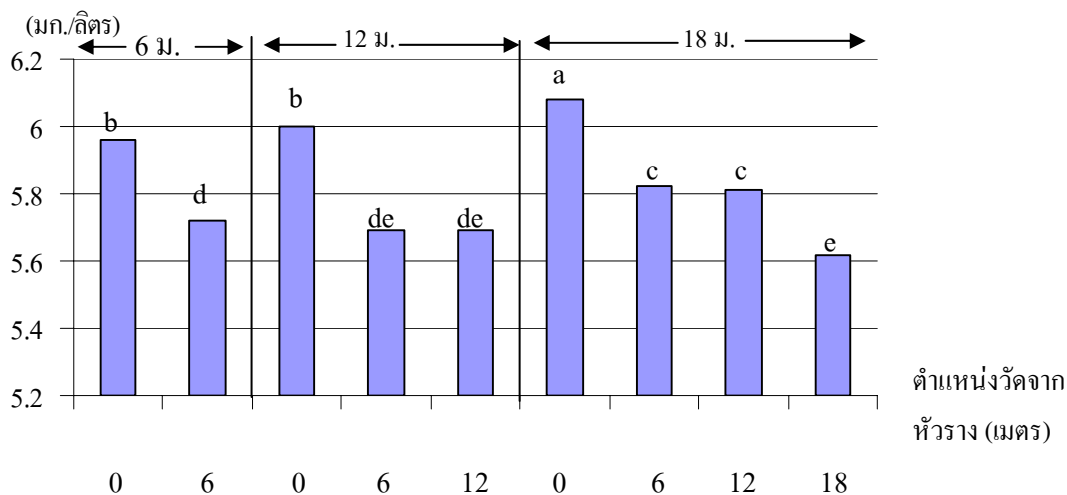
เมื่อเวลา 15.00 น. ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ รางปลูก 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.0 และ 5.9 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.0 5.7 และ 5.8 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.2 5.9 5.8 และ 5.8 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 11)

ปริมาณออกซิเจน



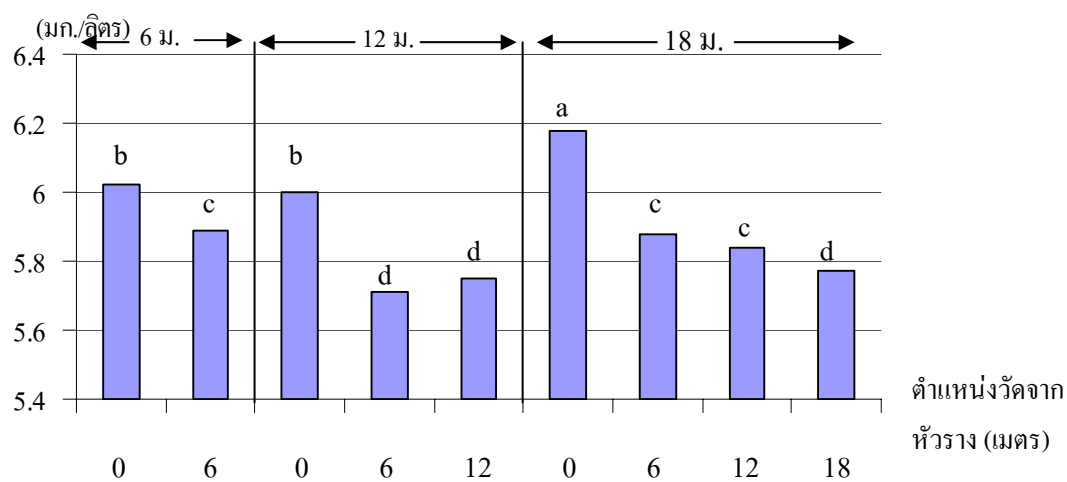
ภาพที่ 9 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

ปริมาณออกซิเจน



ภาพที่ 10 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ จากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

ปริมาณออกซิเจน



ภาพที่ 11 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ จากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

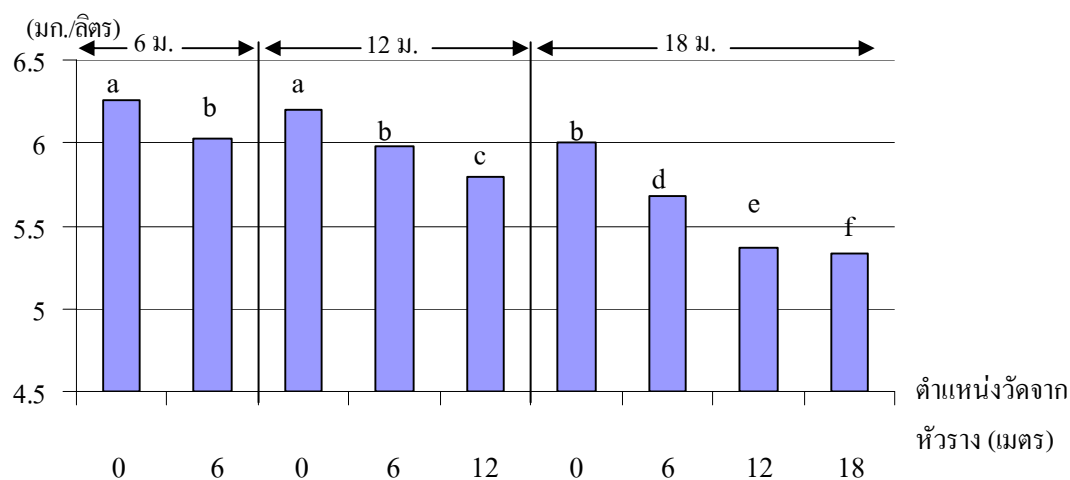
1.2.4 สัปดาห์ที่ 4

เมื่อเวลา 9.00 น. ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ รางปลูก 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.3 และ 6.0 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.2 6.0 และ 5.8 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร พบปริมาณออกซิเจนที่ 6.0 5.7 5.4 และ 5.3 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 12)

เมื่อเวลา 12.00 น. ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ รางปลูก 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 5.9 และ 5.7 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.0 5.7 และ 5.6 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.1 5.6 5.3 และ 5.2 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 13)

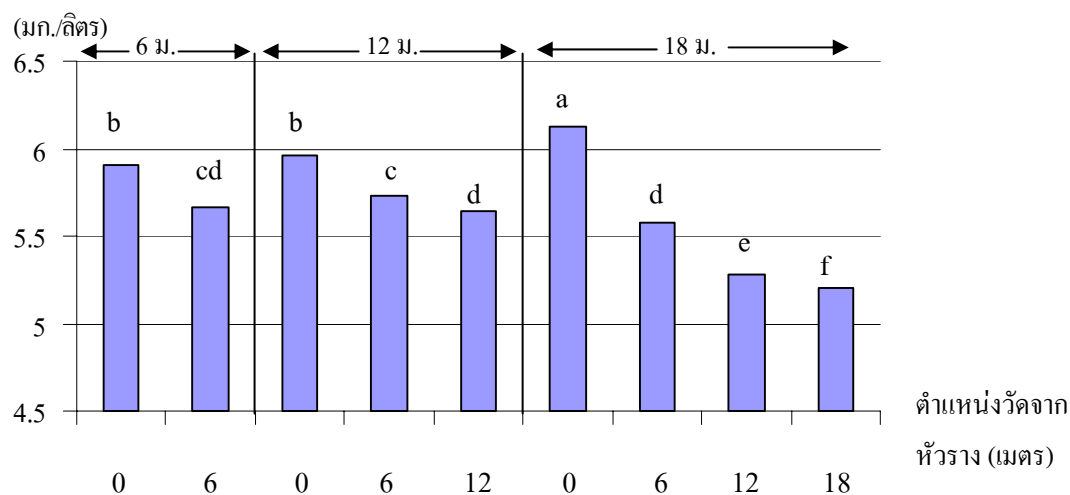
เมื่อเวลา 15.00 น. ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ รางปลูก 6 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 5.8 และ 5.7 มก./ลิตร ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 6.1 5.8 และ 5.6 มก./ลิตร ที่ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร พบปริมาณออกซิเจน 5.8 5.4 5.2 และ 5.1 มก./ลิตร ที่ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 14)

ปริมาณออกซิเจน



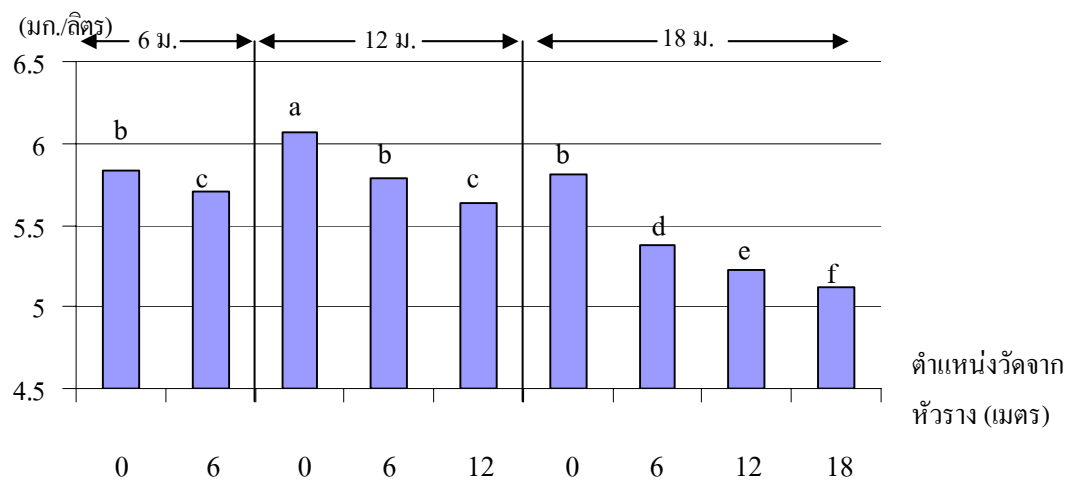
ภาพที่ 12 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ จากห้วรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

ปริมาณออกซิเจน



ภาพที่ 13 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ จากห้วรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

ปริมาณออกซิเจน



ภาพที่ 14 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลายเมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ จากห้วงวางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

1.3. อุณหภูมิสารละลายในรางปลูก

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในสารละลายในรางปลูกที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูกที่มีความยาวต่างๆ กัน ณ เวลาต่างๆ กันในเวลากลางวัน ที่อายุ 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่า ที่เวลา 9.00 น. ปริมาณออกซิเจนเริ่มต้นที่หัวรางปลูกมีค่าต่ำกว่าของเวลา 12.00 และ 15.00 น. ในทุกความยาวราง และเมื่อสารละลายไหลผ่านรางอุณหภูมิในรางมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันขึ้นกับความยาวของรางและเวลาที่วัดดังนี้

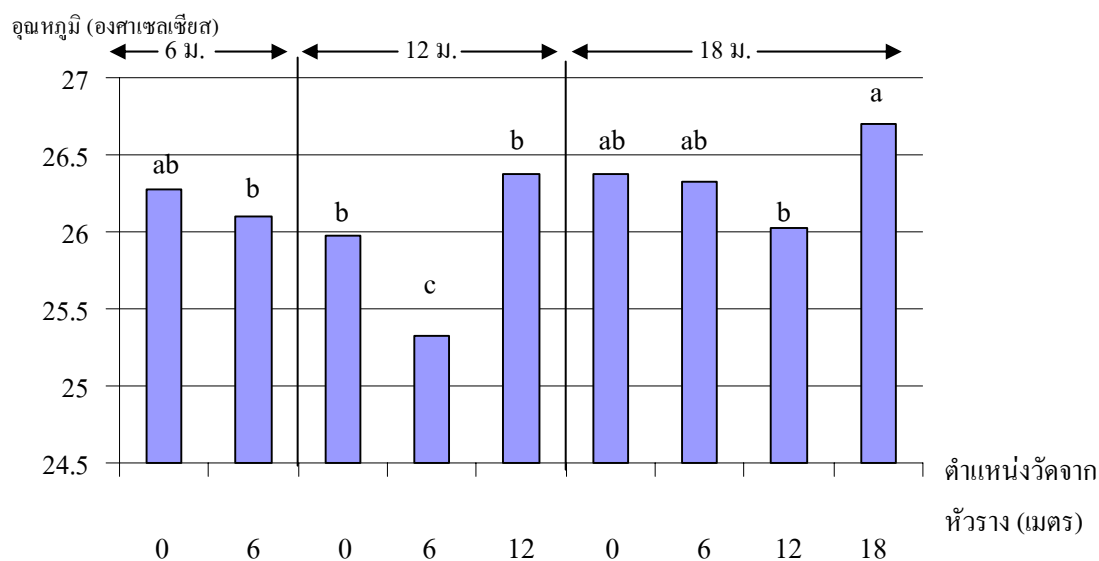
1.3.1 อุณหภูมิสัปดาห์ที่ 1

เมื่อเวลา 9.00 น. ที่รางปลูก 6 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก โดยพบอุณหภูมิ 26.3 และ 26.1 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 26.25.3 และ 26.4 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 26.4 26.3 26 และ 26.7 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 15)

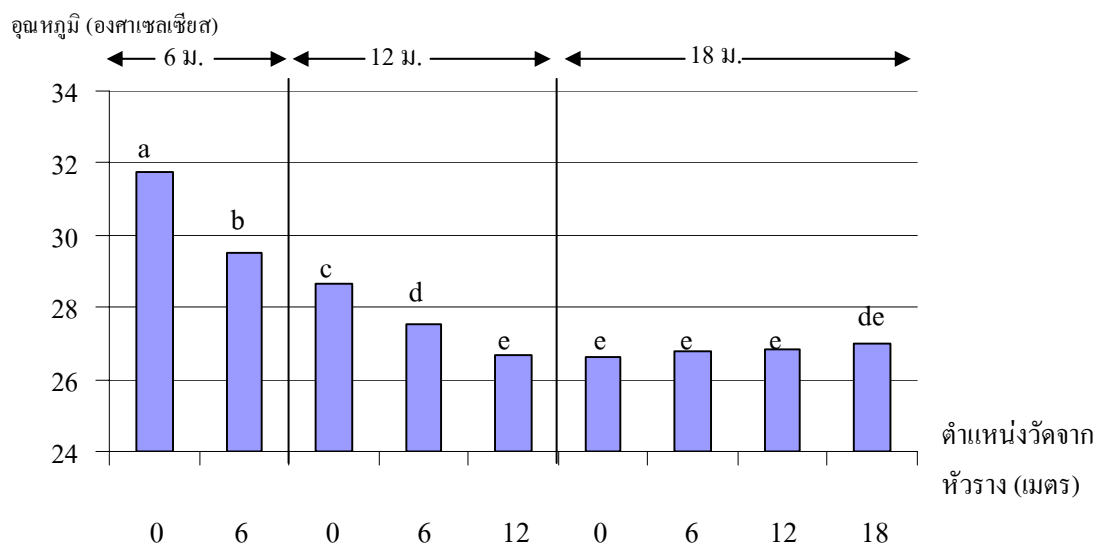
เมื่อเวลา 12.00 น. ที่รางปลูกคือ 6 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 31.8 และ 29.5 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 28.6 27.5 และ 26.7 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูกพบอุณหภูมิ 26.6 26.8 26.8 และ 26.9 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 16)

เมื่อเวลา 15.00 น. อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ รางปลูก 6 เมตร พบอุณหภูมิที่ 30.2

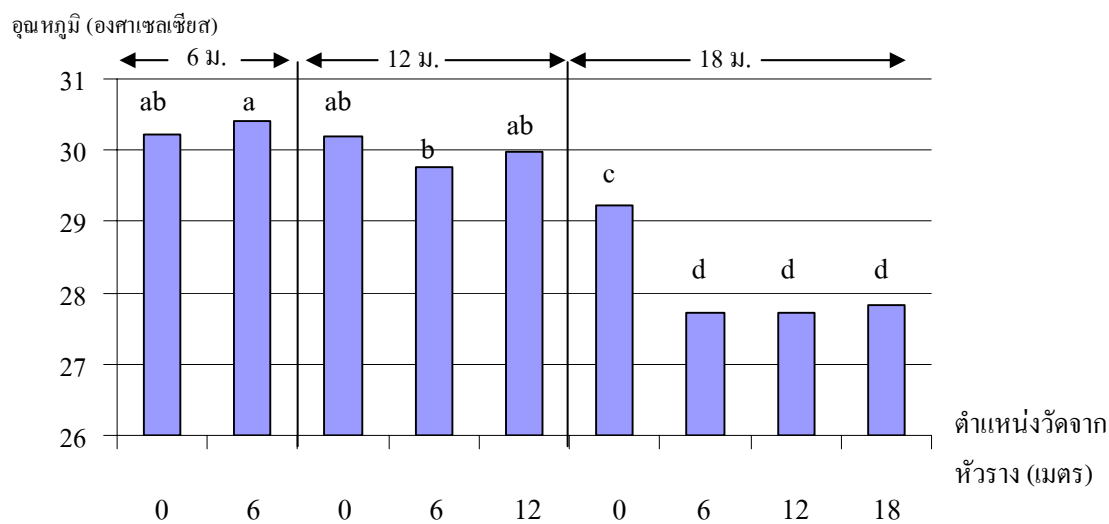
และ 30.4 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร
พบอุณหภูมิที่ 30.2 29.8 และ 30 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง
ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร พบอุณหภูมิที่ 29.2 27.7 27.7 และ 27.8 องศาเซลเซียส ณ
ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 15 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากห้วงวางปลูกร NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายปลูกร



ภาพที่ 16 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากห้วงวางปลูกร NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายปลูกร



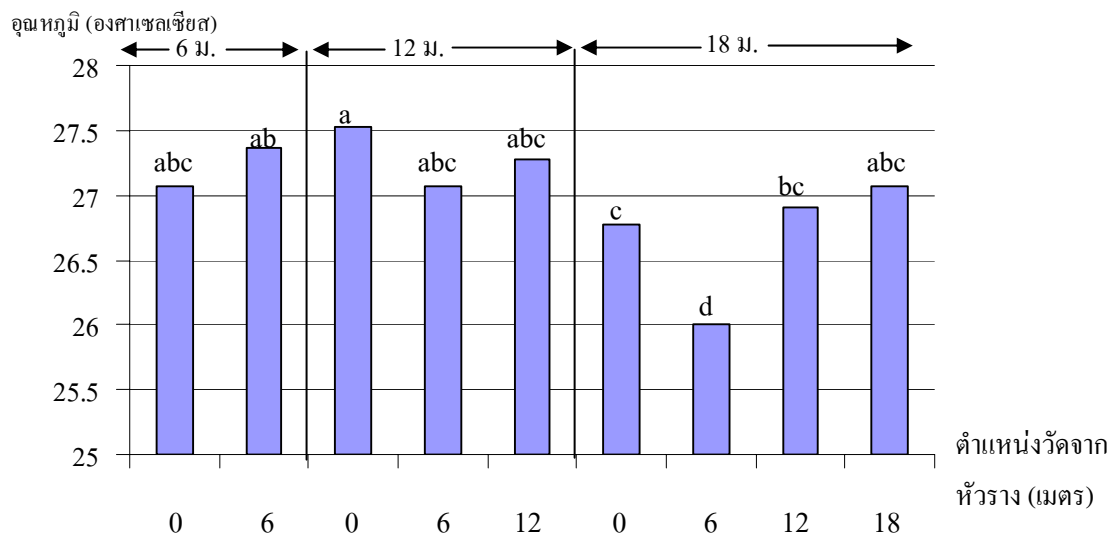
ภาพที่ 17 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากห้วงวาง
ปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

1.3.2 อุณหภูมิสัปดาห์ที่ 2

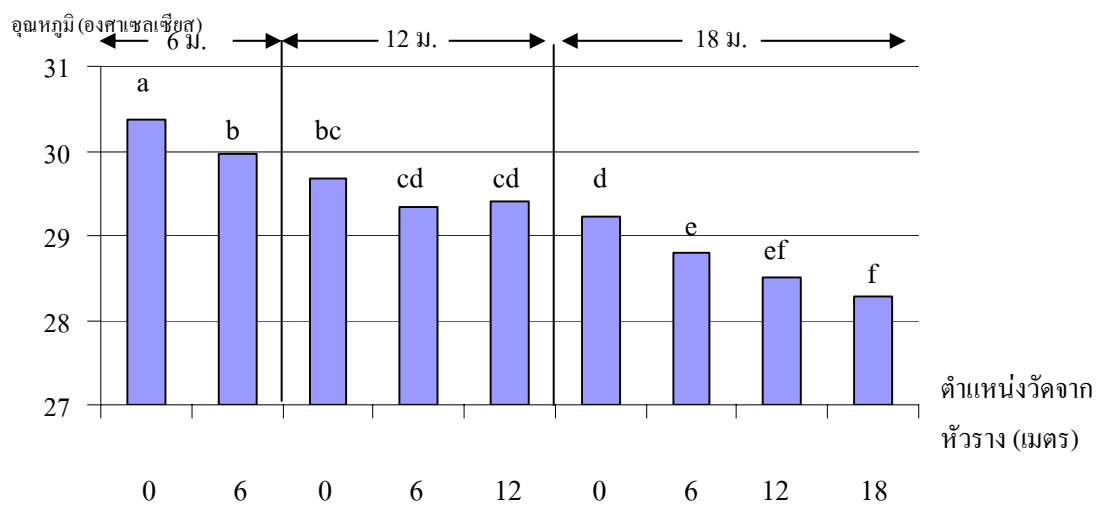
เมื่อเวลา 9.00 น. ที่รางปลูก 6 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก โดยพบอุณหภูมิ 27.1 และ 27.4 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวรางตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 27.5 27.1 และ 27.3 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวรางตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 26.8 26 26.9 และ 27.1 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 18)

เมื่อเวลา 12.00 น. อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ ที่รางปลูก 6 เมตร พบอุณหภูมิ 30.4 และ 29.9 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร พบอุณหภูมิ 29.7 29.3 และ 29.4 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร พบอุณหภูมิ 29.2 28.8 28.5 และ 28.3 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 19)

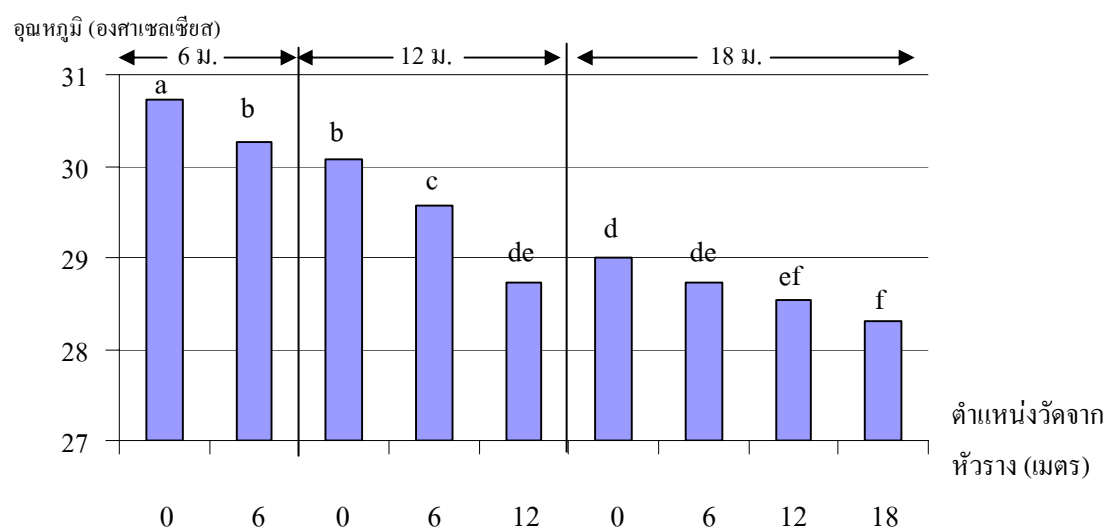
เมื่อเวลา 15.00 น. อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ รางปลูก 6 เมตร พบอุณหภูมิ 30.7 และ 30.3 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร พบอุณหภูมิ 30.1 29.6 และ 28.7 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และรางปลูก 18 เมตร พบอุณหภูมิ 29 28.7 28.5 และ 28.3 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 18 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก



ภาพที่ 19 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก



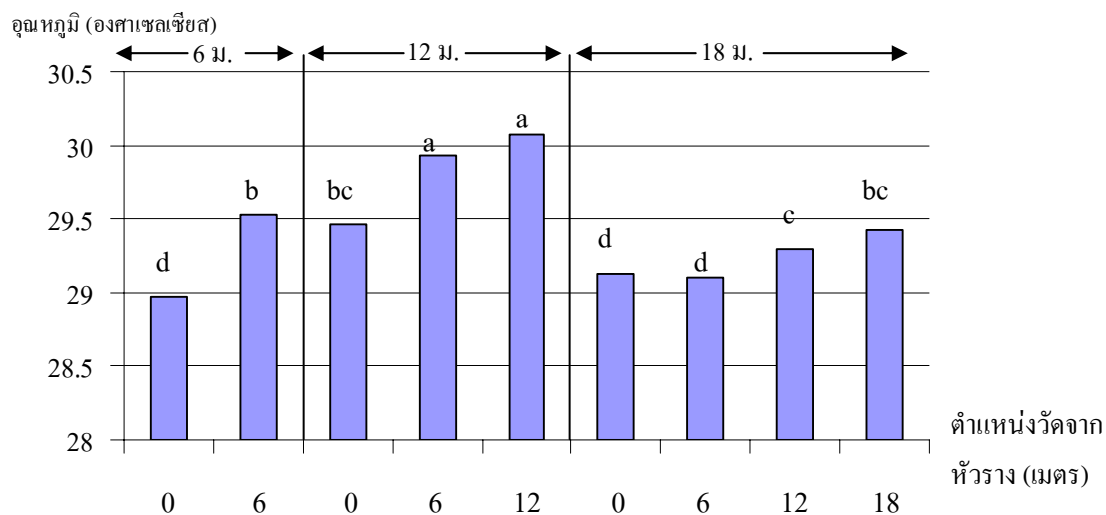
ภาพที่ 20 อุนอกุมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

1.3.3 อุณหภูมิสัปดาห์ที่ 3

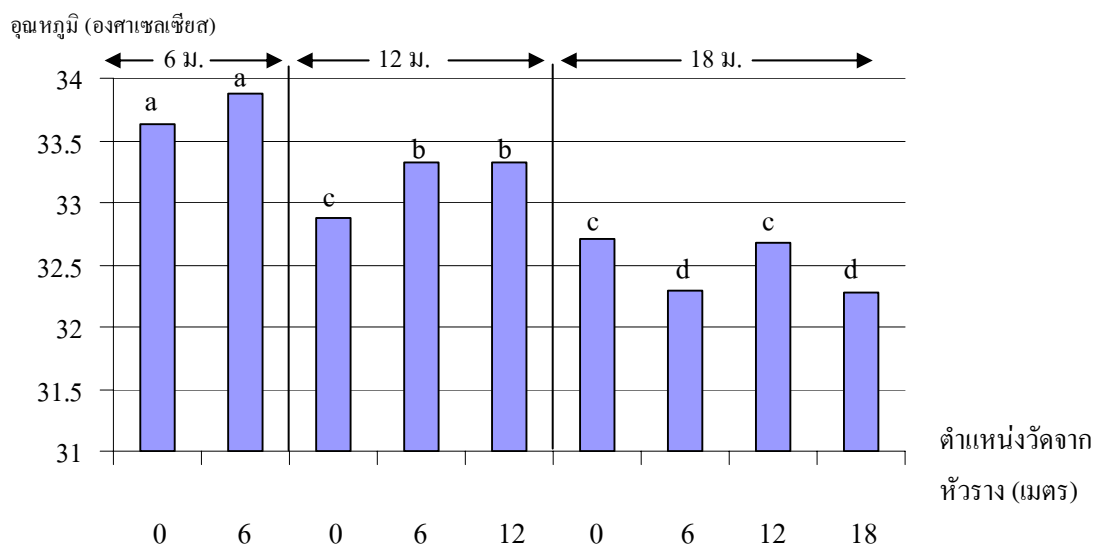
เมื่อเวลา 9.00 น. อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ ที่รางปลูก 6 เมตร พบอุณหภูมิ 29 และ 29.5 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ รางปลูก 12 เมตร พบอุณหภูมิ 29.5 29.9 และ 30.1 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และรางปลูก 18 เมตร พบอุณหภูมิ 29.1 29.1 29.3 และ 29.4 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 21)

เมื่อเวลา 12.00 น. ที่รางปลูก 6 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 33.6 และ 33.9 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 32.9 33.3 และ 33.3 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 32.7 32.3 32.7 และ 32.3 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 22)

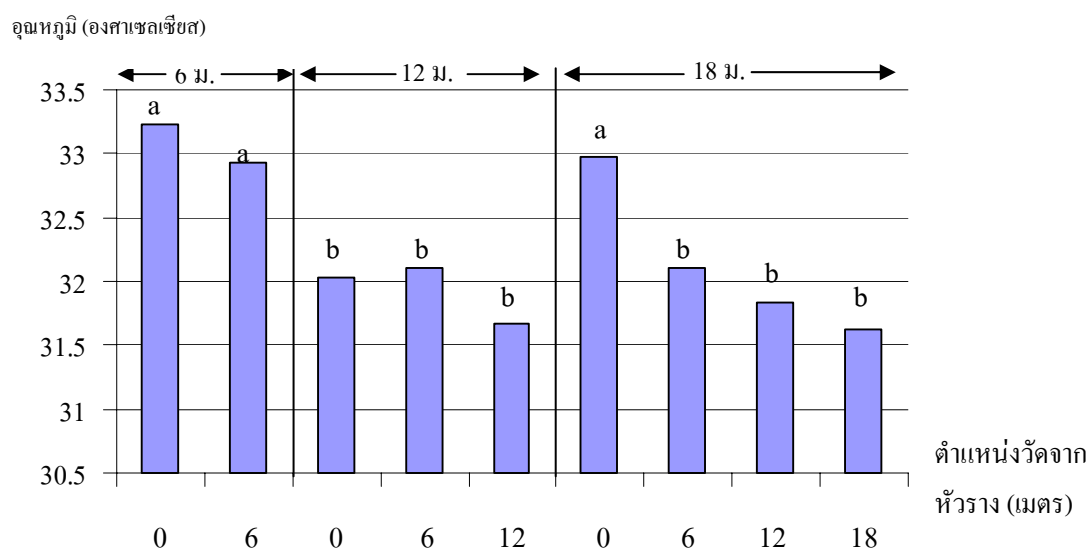
เมื่อเวลา 15.00 น. อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ ที่รางปลูก 6 เมตร พบอุณหภูมิ 33.2 และ 32.9 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร พบอุณหภูมิ 32 32.1 และ 31.7 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร พบอุณหภูมิ 33 32.1 31.8 และ 31.6 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 23)



ภาพที่ 21 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์หลังย้ายปลูก



ภาพที่ 22 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์หลังย้ายปลูก



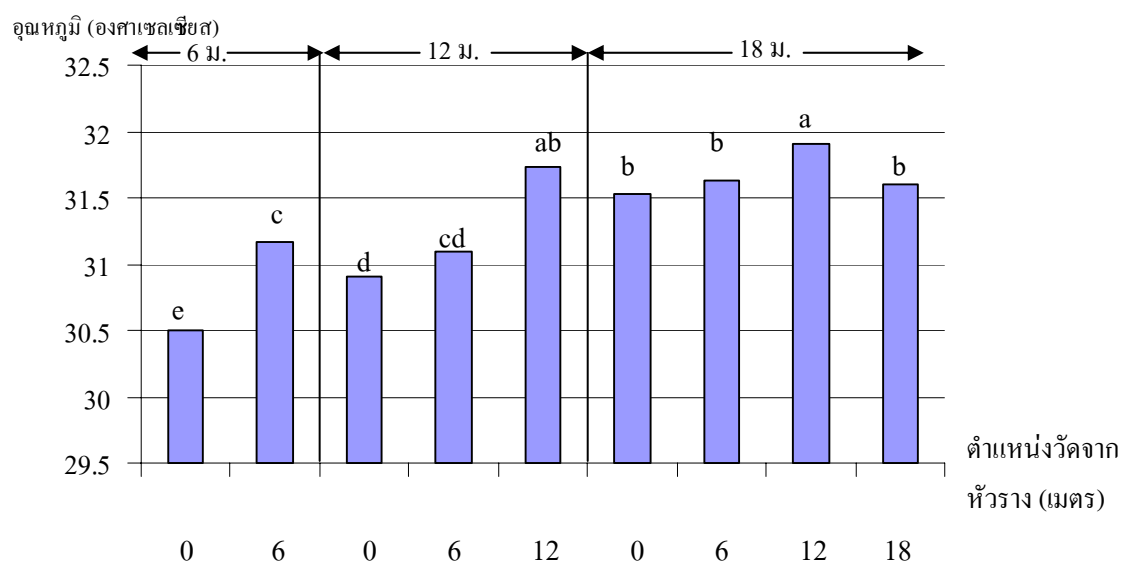
ภาพที่ 23 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากผิวน้ำ
ปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 3 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

1.3.4 อุณหภูมิสัปดาห์ที่ 4

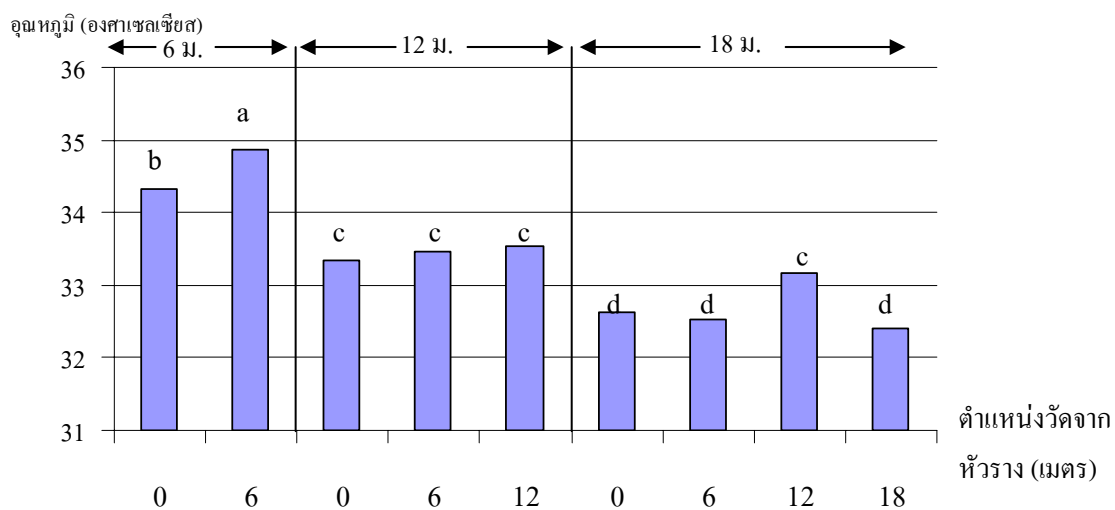
เมื่อเวลา 9.00 น. อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นจากบริเวณหัวรางมายังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้ง 3 ความยาวราง คือ ที่รางปลูก 6 เมตร พบอุณหภูมิ 30.5 และ 31.2 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร พบอุณหภูมิ 30.9 31.1 และ 31.7 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร พบอุณหภูมิ 31.5 31.6 31.9 และ 31.6 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 24)

เมื่อเวลา 12.00 น. ที่รางปลูก 6 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิที่ 34.3 และ 34.8 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ รางปลูก 12 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิที่ 33.3 33.5 และ 33.5 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 32.6 32.5 33.2 และ 32.4 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 25)

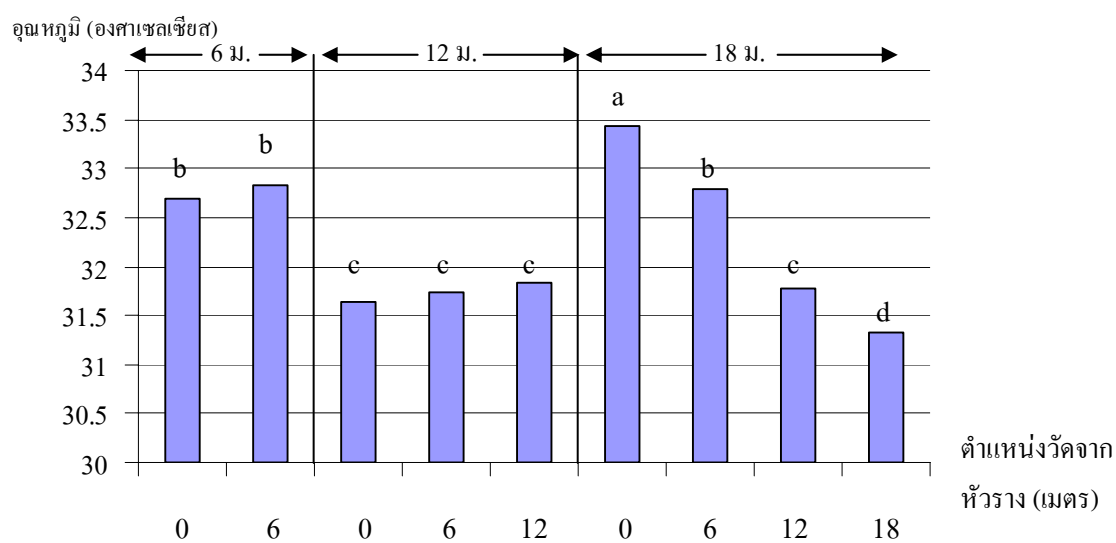
เมื่อเวลา 15.00 น. ที่รางปลูก 6 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 32.7 และ 32.8 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ ที่รางปลูก 12 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มสูงขึ้นจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 31.6 31.7 และ 31.8 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร ตามลำดับ และที่รางปลูก 18 เมตร อุณหภูมิสารละลายมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก พบอุณหภูมิ 33.4 32.8 31.8 และ 31.3 องศาเซลเซียส ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง ตามลำดับ (ภาพที่ 26)



ภาพที่ 24 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 9.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก



ภาพที่ 25 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 12.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากหัวรางปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก



ภาพที่ 26 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) เมื่อเวลา 15.00 น. ที่ตำแหน่งต่างๆ นับจากห้วงวาง
ปลูก NFT ที่มีความยาวแตกต่างกัน เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

1.4. การเจริญเติบโต

1.4.1 ความกว้างทรงพุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ ทั้ง 6 โซน ซึ่งกระจายอยู่บนรางปลูก NFT ที่มีความยาว 6 12 และ 18 เมตร ตามลำดับ พบว่า

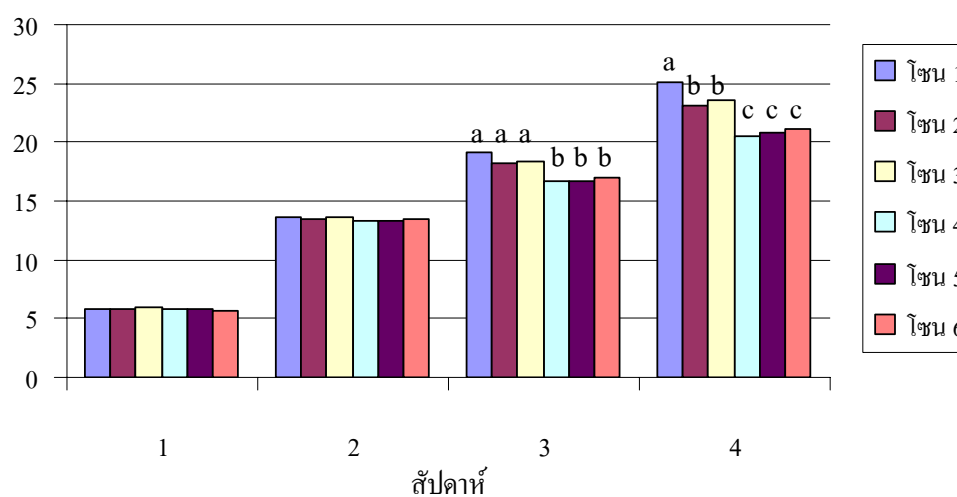
ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 หลังการย้ายปลูก พบว่าต้นผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูกทั้ง 6 โซน มีความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 หลังย้ายปลูกพบว่าต้นผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ มีการเจริญเติบโตในด้านความกว้างทรงพุ่มที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในสัปดาห์ที่ 3 พบว่า ต้นผักกาดหอมที่ปลูกในโซนที่ 1 ซึ่งอยู่บนรางปลูกยาว 6 เมตร และ ในโซน 2 และ 3 ที่อยู่บนรางปลูกความยาว 12 เมตร มีขนาดทรงพุ่มที่กว้างกว่าต้นผักกาดหอมที่ปลูกในโซนที่ 4 5 และ 6 บนรางปลูกยาว 18 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าผักกาดหอมที่ปลูกในโซนที่ 1 ซึ่งอยู่บนรางปลูกยาว 6 เมตร มีความกว้างทรงพุ่มที่สูงที่สุดที่ 25 เซนติเมตร แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากทุกโซนที่เหลือ รองลงมาได้แก่โซนที่ 2 และ 3 บนรางปลูก 12 เมตร และ โซน 4 5 และ 6 ที่อยู่บนรางปลูกยาว 18 เมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 27)

1.4.2 น้ำหนักสดส่วนยอด

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดส่วนยอดของผักกาดหอม อายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกลงในโซนต่างๆ ทั้ง 6 โซน บนรางปลูก NFT ที่ความยาวราง 6 12 และ 18 เมตร ตามลำดับ พบว่า

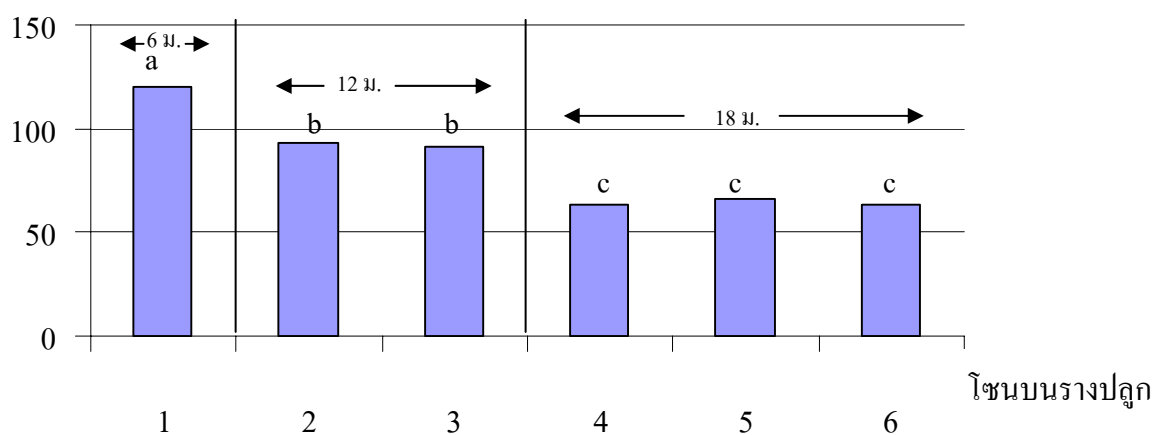
น้ำหนักสดส่วนยอดของผักกาดหอมอายุ 4 สัปดาห์ ในโซนต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าผักกาดหอมในโซนที่ 1 ซึ่งอยู่บนรางปลูกยาว 6 เมตร มีน้ำหนักสดส่วนยอดสูงที่สุดที่ 120.5 กรัม/ต้น รองลงมาคือ โซนที่ 2 และ 3 ที่อยู่บนรางปลูกยาว 12 เมตร และผักกาดหอมที่ปลูกในโซนที่ 4 ถึง 6 ซึ่งอยู่บนรางปลูกยาว 18 เมตร มีน้ำหนักสดส่วนยอดต่ำที่สุด ตามลำดับ (ภาพที่ 28)

ความกว้างทรงพุ่ม
(เซนติเมตร)



ภาพที่ 27 ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ของผักกาดหอม ที่อายุ 1-4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆ กัน

น้ำหนัก (กรัม)



ภาพที่ 28 น้ำหนักสดยอด (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่อายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกในโซนต่างๆบนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆกัน

1.4.3 น้ำหนักสดส่วนราก

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดส่วนรากของผักกาดหอม อายุ 4 สัปดาห์ ภายหลังย้ายปลูกลงในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่ความยาวราง 6 12 และ 18 เมตร ตามลำดับ พบว่า

น้ำหนักสดส่วนรากของผักกาดหอมที่ปลูกลงในโซนต่างๆ ที่ 1 ถึง 6 บนรางปลูกความยาว 6 12 และ 18 เมตร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าอยู่ที่ 11.3 11.7 10.3 12.1 10.3 และ 10.6 กรัม/ต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 29)

1.4.4 น้ำหนักแห้งส่วนยอด

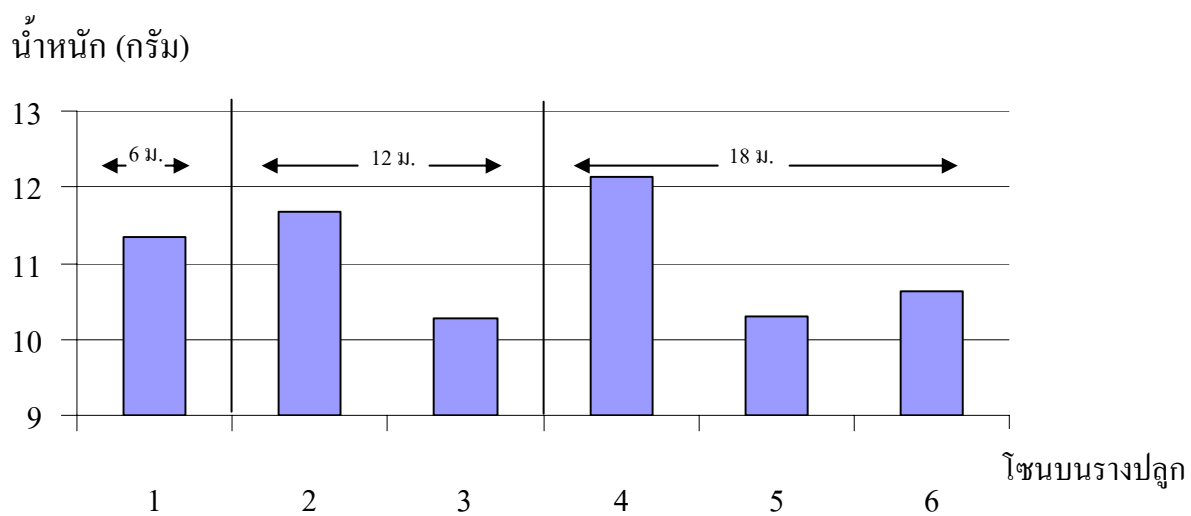
เมื่อเปรียบเทียบผลของน้ำหนักแห้งส่วนยอดของผักกาดหอมอายุ 4 สัปดาห์ ภายหลังย้ายปลูกลงในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่ความยาวราง 6 12 และ 18 เมตร ตามลำดับ พบว่า

น้ำหนักแห้งส่วนยอดของผักกาดหอมที่ปลูกลงในโซนต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าผักกาดหอมที่ปลูกลงในโซนที่ 1 บนรางปลูกยาว 6 เมตร มีน้ำหนักแห้งส่วนยอดมากที่สุด ที่ 5.47 กรัม/ต้น รองลงมาแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติคือโซนที่ 2 และ 3 บนรางปลูกยาว 12 เมตร ซึ่งทั้งหมดมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากน้ำหนักแห้งส่วนยอดของผักกาดหอมที่ปลูกลงในโซน 4 ถึง 6 ซึ่งอยู่บนรางปลูกยาว 18 เมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 30)

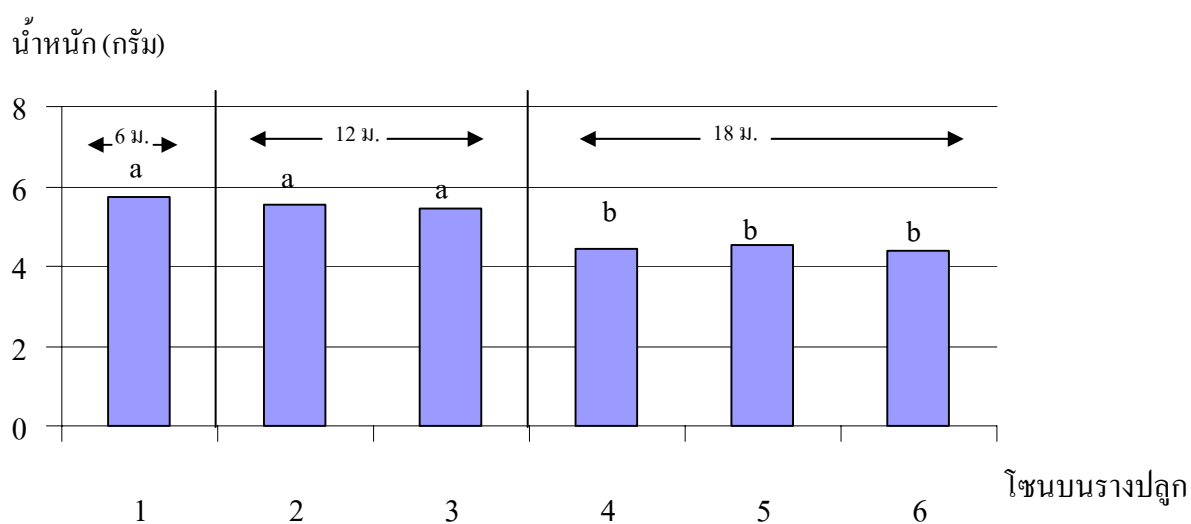
1.4.5 น้ำหนักแห้งราก

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งรากของผักกาดหอม อายุ 4 สัปดาห์ ภายหลังย้ายปลูกลงในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่ความยาวราง 6 12 และ 18 เมตร ตามลำดับ พบว่า

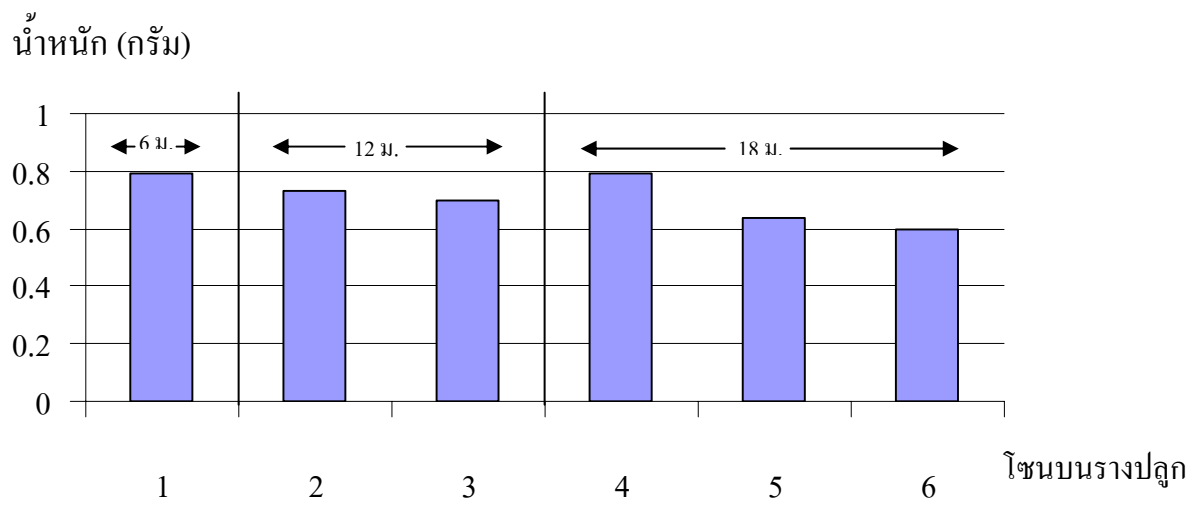
น้ำหนักแห้งส่วนรากของผักกาดหอมที่ปลูกลงในโซน 1 ถึง 6 บนรางปลูกยาว 6 12 และ 18 เมตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าอยู่ที่ 0.79 กรัม/ต้น รองลงมาเป็นโซนที่ 2 3 และ 5 ที่ 0.73 0.7 0.64 และ 0.6 กรัม/ต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 31)



ภาพที่ 29 น้ำหนักสตราก (กรัม/ต้น) ที่อายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกของผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูกทั้ง 6 โซน บนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆ กัน



ภาพที่ 30 น้ำหนักเหียงยอด (กรัม/ต้น) ที่อายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกของผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูกทั้ง 6 โซน บนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆ กัน

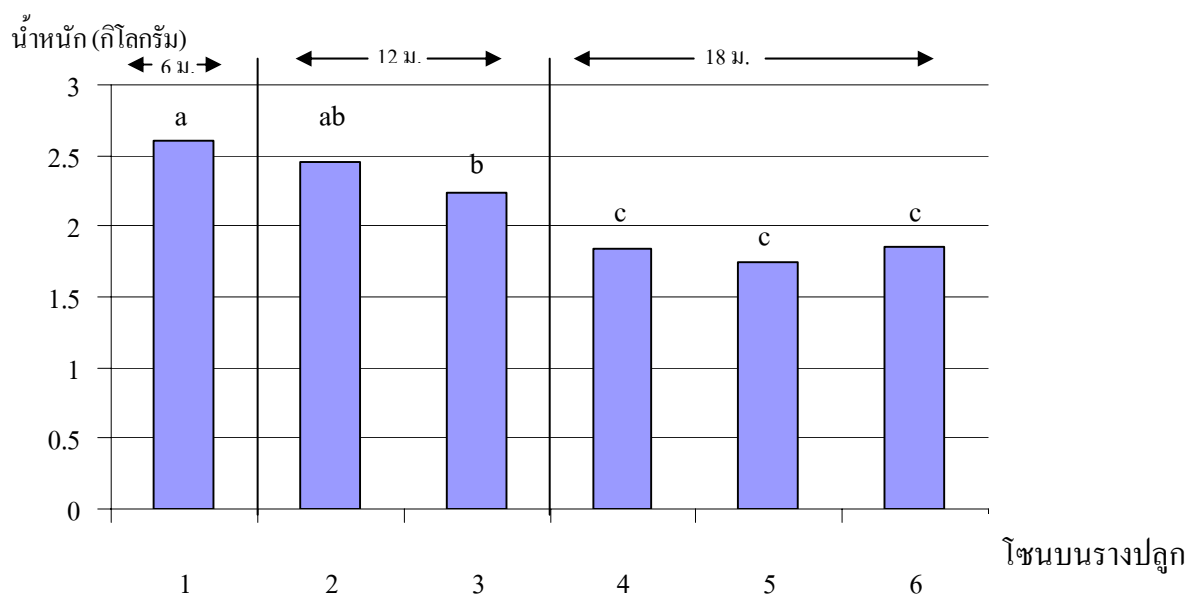


ภาพที่ 31 น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่อายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆ กัน

1.4.6 ผลผลิต

เมื่อเปรียบเทียบผลผลิต (กิโลกรัม/โชน) ของผักกาดหอมที่ อายุ 4 สัปดาห์ ภายหลังย้ายปลูกใน โชนต่างๆ บนรางปลูก NFT ความยาวราง 6 12 และ 18 เมตร ตามลำดับ พบว่า

ผลผลิตต่อ โชนของผักกาดหอมที่ปลูกใน โชนต่างๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า ผลผลิตผักกาดหอมที่ปลูกใน โชนที่ 1 บนรางปลูกยาว 6 เมตร มีผลผลิตสูงที่สุด ที่ 2.59 กิโลกรัม/โชน รองลงได้แก่ โชนที่ 2 และ 3 บนรางปลูกยาว 12 เมตร มีค่า 2.44 และ 2.23 กิโลกรัม/โชน ตามลำดับ และ โชนที่ 4 ถึง 6 บนรางปลูกยาว 18 เมตร มีผลผลิตต่ำสุดที่ 1.83 1.75 และ 1.85 กิโลกรัม/โชน ตามลำดับ (ภาพที่ 32)



ภาพที่ 32 ผลผลิต (กิโลกรัม/โซน) ของผักกาดหอมที่อายุ 4 สัปดาห์ หลังย้ายปลูกลงในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความยาวต่างๆ กัน

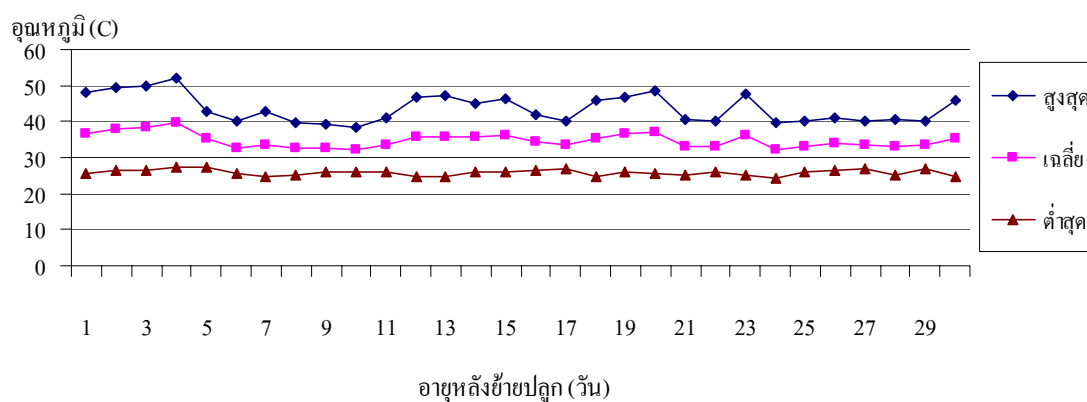
การทดลองที่ 2 ผลของความลาดเอียงของรางปลูก NFT ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

ในการศึกษาผลของความลาดเอียงของรางปลูก NFT ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมโดยทำการปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ยาว 18 เมตร ใช้อัตราการไหลของสารละลาย 2 ลิตร/นาที่ และใช้ความลาดเอียงแตกต่างกัน 3 ระดับคือ 2 2.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาพแวดล้อมในโรงเรือนเปิด ทำการบันทึกสภาพแวดล้อมของอากาศภายในโรงเรือนในระหว่างการทดลอง วัดปริมาณออกซิเจนในสารละลาย อุณหภูมิของสารละลายและความหนาของสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูกในแต่ละสัปดาห์ และบันทึกการเจริญเติบโตของต้นผักกาดหอมที่โซน (zone) ต่างๆบนรางปลูกคือ โซน 1 บริเวณหัวรางตั้งแต่ 0 ถึง 6 เมตรจากหัวราง โซน 2 บริเวณกลางราง ตั้งแต่ 6 – 12 เมตรจากหัวราง และโซน 3 บริเวณปลายราง ตั้งแต่ 12-18 เมตร จากหัวราง เมื่อผักมีอายุครบ 4 สัปดาห์หลังการย้ายปลูก มีผลการศึกษาดังนี้

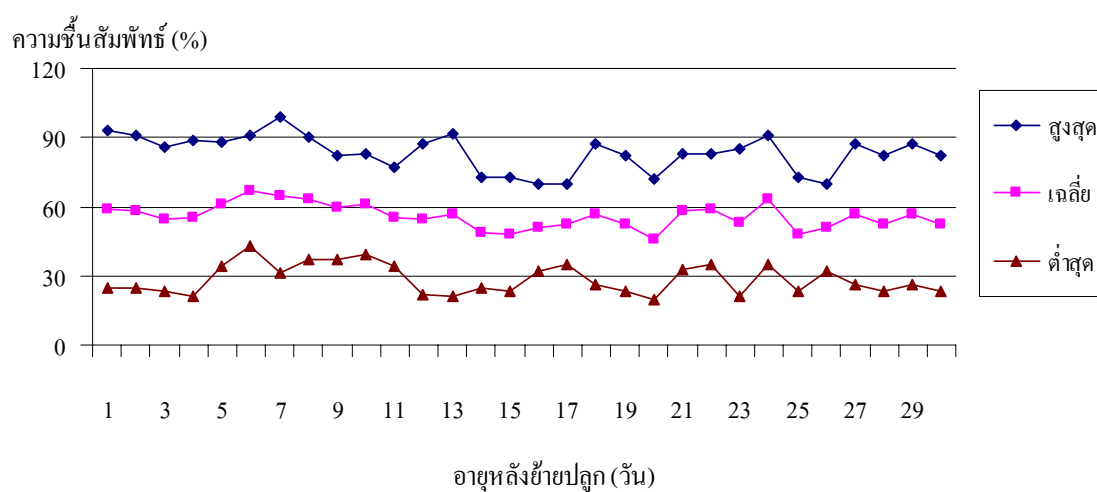
2.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนปลูก

อุณหภูมิของอากาศสูงสุดในโรงเรือนเวลากลางวันในระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 38.3 ถึง 52 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอากาศต่ำสุดในโรงเรือนเวลากลางคืนระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 24.4 ถึง 27.5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของอากาศโดยเฉลี่ยในโรงเรือนปลูกพืช ในแต่ละวันระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 32 ถึง 39.6 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศระหว่างสัปดาห์ต่างๆ พบว่าทั้งอุณหภูมิสูงสุดต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์มีค่าที่ใกล้เคียงกันตลอดอายุการปลูก (ภาพที่ 33)

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงสุดในโรงเรือนในแต่ละวันระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 70 ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำสุดในโรงเรือนปลูกพืช ในแต่ละวันระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 20 ถึง 43 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยเฉลี่ยในโรงเรือนปลูกพืช ในแต่ละวันระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 46 ถึง 67 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างสัปดาห์ต่างๆ พบว่าทั้งความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์มีค่าที่ใกล้เคียงกันตลอดอายุการปลูก (ภาพที่ 34)



ภาพที่ 33 อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และ อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส) ภายในโรงเรือนปลูกพืชในระหว่างการทดลองปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีความลาดชันที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 34 ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) ภายในโรงเรือนปลูกพืชในระหว่างการทดลองปลูกผักกาดหอมบนรางปลูก NFT ที่มีความลาดชันที่แตกต่างกัน

2.2 ความหนาของสารละลายในรางปลูก

จากการทดลองปลูกผักกาดหอมในรางปลูกความยาว 18 เมตร ที่มีความลาดเอียงที่ 2 2.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการวัดความหนาของสารละลาย ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร จากหัวรางปลูก ในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และ 4 หลังจากการย้ายปลูก พบว่า

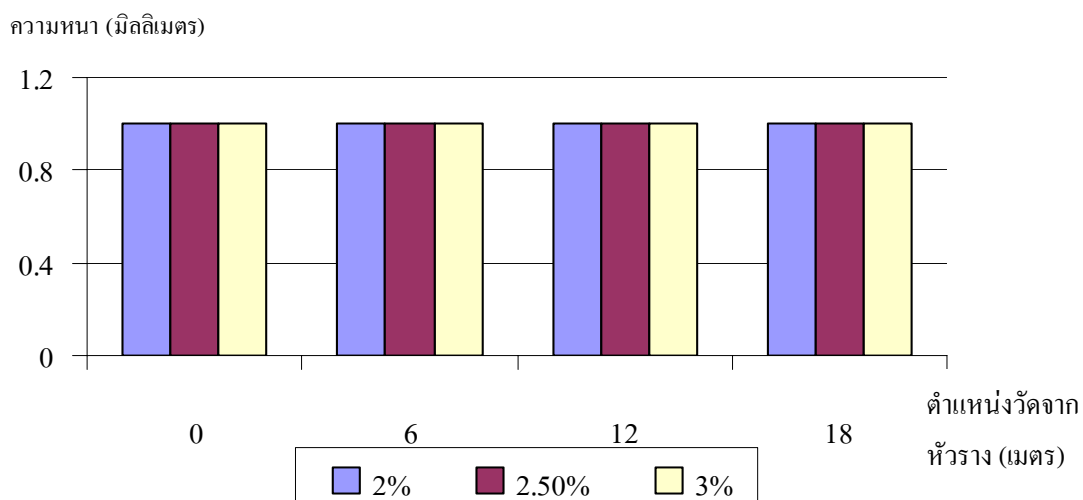
ในสัปดาห์ที่ 1 พบว่าความหนาของสารละลายบนรางปลูก NFT ณ ตำแหน่งต่างๆตลอดความยาวรางปลูกภายในความลาดเอียงเดียวกัน และต่างความลาดเอียงกัน ไม่มีความแตกต่างกัน ความหนาของสารละลายในรางปลูกอยู่ที่ประมาณ 1 มิลลิเมตร (ภาพที่ 35)

ในสัปดาห์ที่ 2 พบว่า ณ ตำแหน่งที่ 0 6 และ 12 เมตร จากหัวรางรางปลูก NFT ที่ความลาดเอียงเดียวกันและที่ต่างกัน มีความหนาของสารละลายที่ไม่แตกต่างกัน และมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1 มิลลิเมตร แต่ที่ตำแหน่งที่ 18 เมตรบริเวณปลายราง พบว่าสารละลายในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงที่ 3 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาที่ 2 มิลลิเมตร มากกว่าความลาดเอียงที่ 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ที่มีค่าอยู่ที่ 1 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 36)

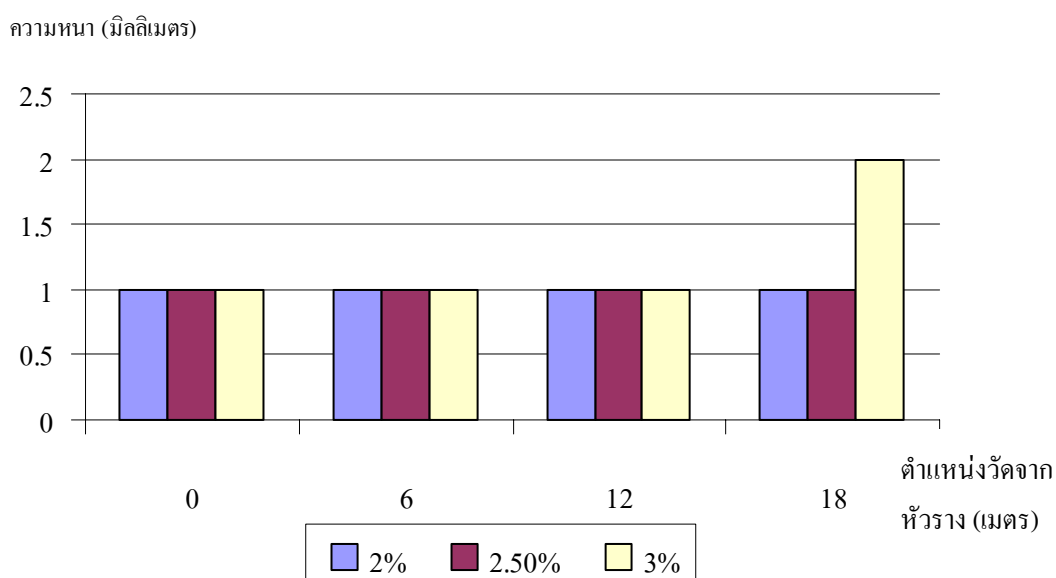
ในสัปดาห์ที่ 3 พบว่า ณ ตำแหน่งที่ 0 และ 6 เมตร จากหัวรางปลูก NFT ที่ความลาดเอียงเดียวกันและที่ต่างกัน มีความหนาของสารละลายที่ไม่แตกต่างกัน และมีค่าอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร แต่ที่ตำแหน่ง 12 เมตรจากหัวรางปลูก สารละลายในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงที่ 3 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาที่ 2 มิลลิเมตร สูงกว่าความลาดเอียงที่ 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 1 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ และที่ตำแหน่ง 18 เมตรซึ่งอยู่บริเวณปลายราง พบว่าสารละลายในรางปลูกทุกความลาดเอียงมีความหนาที่มากกว่าตำแหน่งต้นราง และนอกจากนี้ ความหนาของสารละลายที่ความลาดเอียง 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ที่ 3 มิลลิเมตร มากกว่าความลาดเอียง 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ที่มีค่าอยู่ที่ 2 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 37)

ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า ณ ตำแหน่งที่ 0 และ 6 เมตร ในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงเดียวกันและที่ต่างกัน มีความหนาของสารละลายที่ไม่แตกต่างกัน โดยมีความหนาของสารละลายในรางปลูกอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร ในขณะที่ตำแหน่ง 12 เมตร สารละลายในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงที่ 3 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาของสารละลายในรางปลูกที่มากกว่าความลาดเอียง 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ และที่ตำแหน่ง 18 เมตร ซึ่งอยู่บริเวณปลายราง พบว่า ในทุกความลาดเอียง สารละลาย

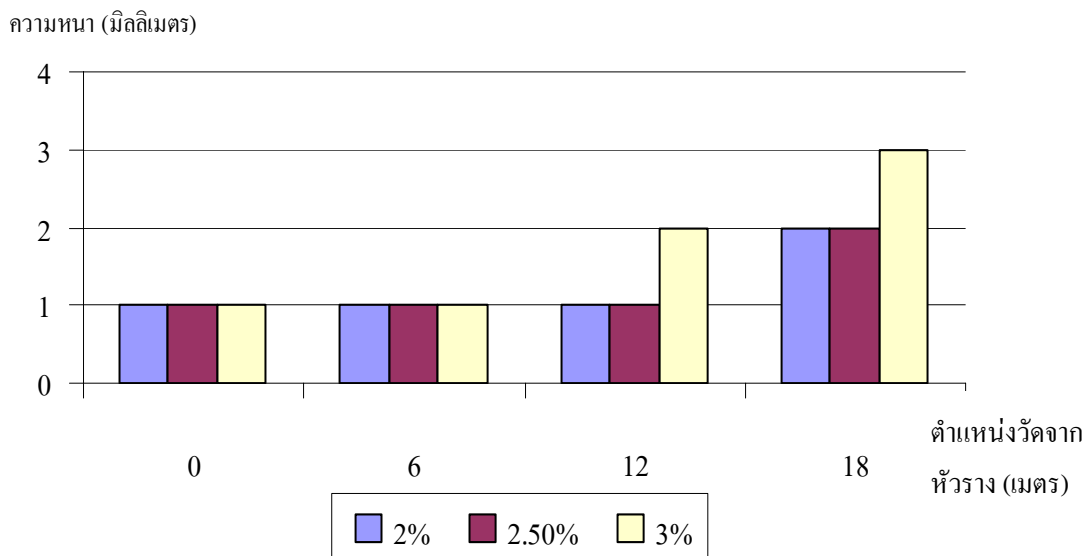
ในรางมีความหนาที่มากกว่าที่ตำแหน่งต้นราง และยังพบว่าความลาดเอียงที่ 3 เปอร์เซ็นต์ สารละลายมีความหนาอยู่ที่ 4 มิลลิเมตร มากกว่าของความลาดเอียง 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 38)



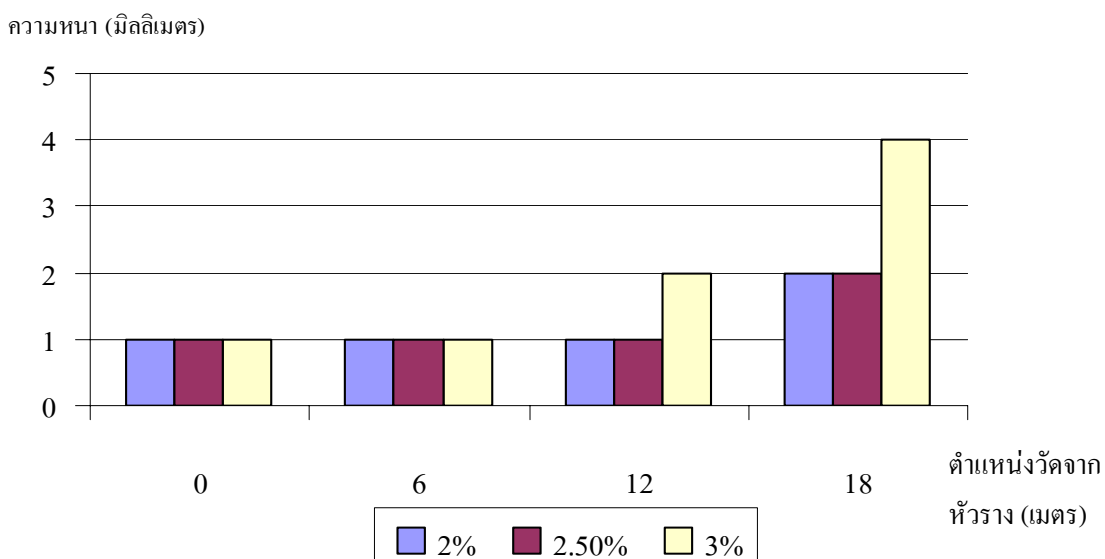
ภาพที่ 35 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงแตกต่างกัน หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 1 สัปดาห์



ภาพที่ 36 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงแตกต่างกัน หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 2 สัปดาห์



ภาพที่ 37 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงแตกต่างกัน
หลังการย้ายปลูกพักกาดหอมนาน 3 สัปดาห์



ภาพที่ 38 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงแตกต่างกัน
หลังการย้ายปลูกพักกาดหอมนาน 4 สัปดาห์

2.3 ปริมาณออกซิเจนในสารละลายบนรางปลูก

จากการปลูกผักกาดหอมในรางปลูกความยาว 18 เมตร ที่มีความลาดเอียง 2 2.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ใช้อัตราการไหลของสารละลายที่ 2 ลิตรต่อนาที และทำการวัดปริมาณออกซิเจนในสารละลายที่เวลาต่างๆ กัน ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 2 3 และ 4 หลังการย้ายปลูก พบว่า

2.3.1 สัปดาห์ที่ 1

ที่เวลา 9.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่าปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มลดลงจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

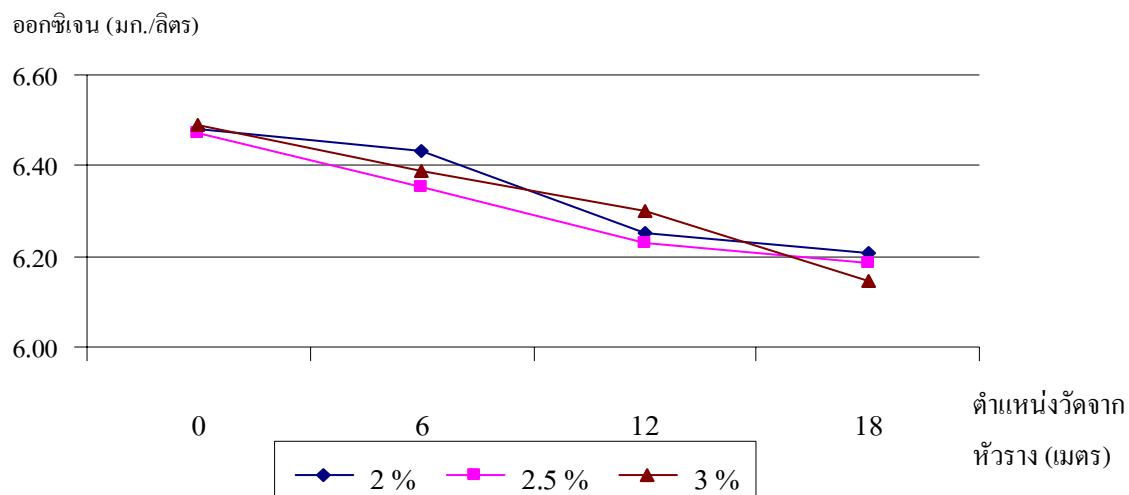
ที่เวลา 12.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่า ปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 39)

ที่เวลา 15.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่า ปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณออกซิเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่พบในสารละลาย ที่เวลาต่างๆ และตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมเป็นเวลา 1 ถึง 4 สัปดาห์

ปัจจัย	สัปดาห์ที่ 1			สัปดาห์ที่ 2			สัปดาห์ที่ 3			สัปดาห์ที่ 4		
	9	12	15	9	12	15	9	12	15	9	12	15
Slope (A)												
2	6.50 a	6.34	6.00	6.79	6.39	6.35	6.37	5.62 ab	6.08	6.24 b	5.60	5.77 b
2.5	6.42 b	6.31	5.98	6.80	6.39	6.36	6.41	5.57 b	6.08	6.26 b	5.65	5.80 ab
3	6.48 a	6.33	6.01	6.79	6.39	6.35	6.40	5.69 a	6.11	6.39 a	5.69	5.84 a
F-Test (A)	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	ns	**
Location (B)												
0	6.68 a	6.48 a	5.98	6.83 a	6.55 a	6.50 a	6.73 a	5.96 a	6.13 a	6.49 a	6.11 a	6.35 a
6	6.47 b	6.39 a	5.98	6.76 c	6.40 b	6.31 b	6.38 b	5.60 b	6.09 ab	6.36 b	5.62 b	5.76 b
12	6.42 b	6.26 b	6.02	6.79 b	6.31 c	6.29 b	6.24 c	5.49 c	6.07 b	6.18 c	5.49 c	5.58 c
18	6.30 c	6.18 b	6.02	6.80 ab	6.29 c	6.30 b	6.23 c	5.46 c	6.07 b	6.16 c	5.37 d	5.53 c
F-Test (B)	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**
A X B	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	0.81	1.28	0.65	0.41	1.08	0.53	0.76	1.46	0.63	0.62	1.70	1.13

หมายเหตุ ns : ไม่แตกต่างทางสถิติ ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



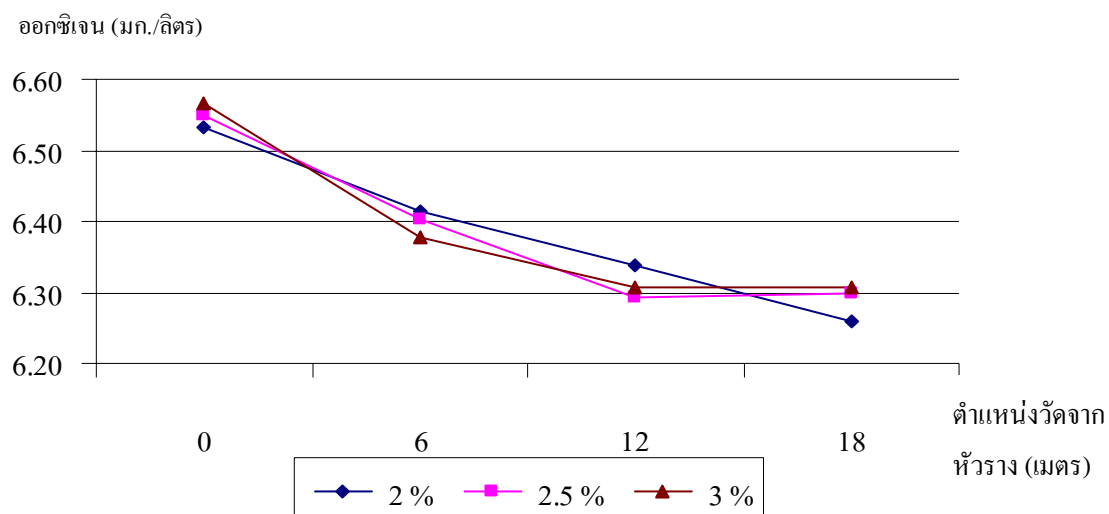
ภาพที่ 39 ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย (มก./ลิตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 1 สัปดาห์

2.3.2 สัปดาห์ที่ 2

ที่เวลา 9.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น ไม่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ที่ตำแหน่งต่างบนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก ปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ที่เวลา 12.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีแนวโน้มคงที่ในการตรวจวัด ที่แตกต่างกันทางสถิติ และเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ที่ตำแหน่งต่างบนรางปลูก จากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก ปริมาณออกซิเจนในสารละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 40)

ที่เวลา 15.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น ไม่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่าจาก ตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก ปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)



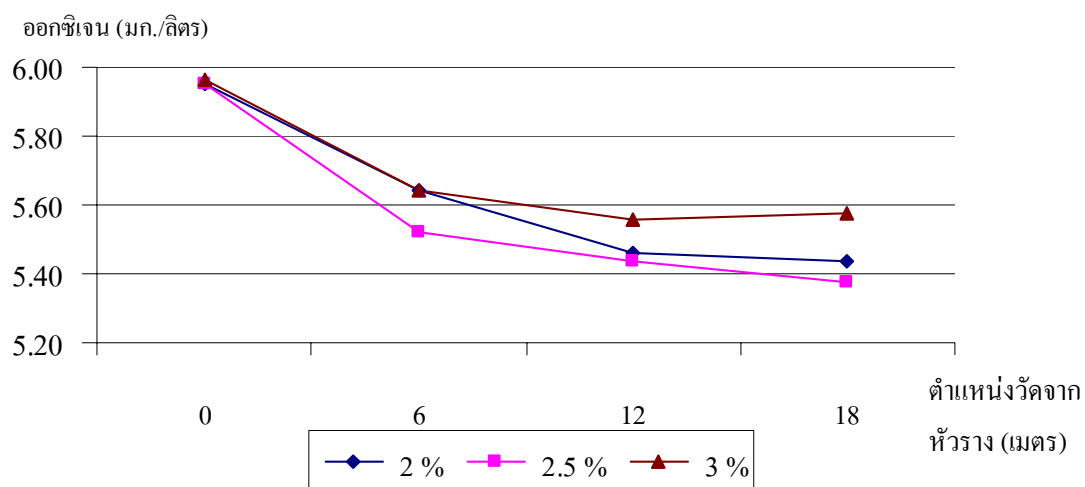
ภาพที่ 40 ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย (มก./ลิตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 2 สัปดาห์

2.3.3 สัปดาห์ที่ 3

ที่เวลา 9.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น ไม่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ที่ตำแหน่งต่างบนรางปลูก พบว่า จากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก ปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ที่เวลา 12.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่า จากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก ปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 41)

ที่เวลา 15.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น ไม่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ที่ตำแหน่งต่างบนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก ปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)



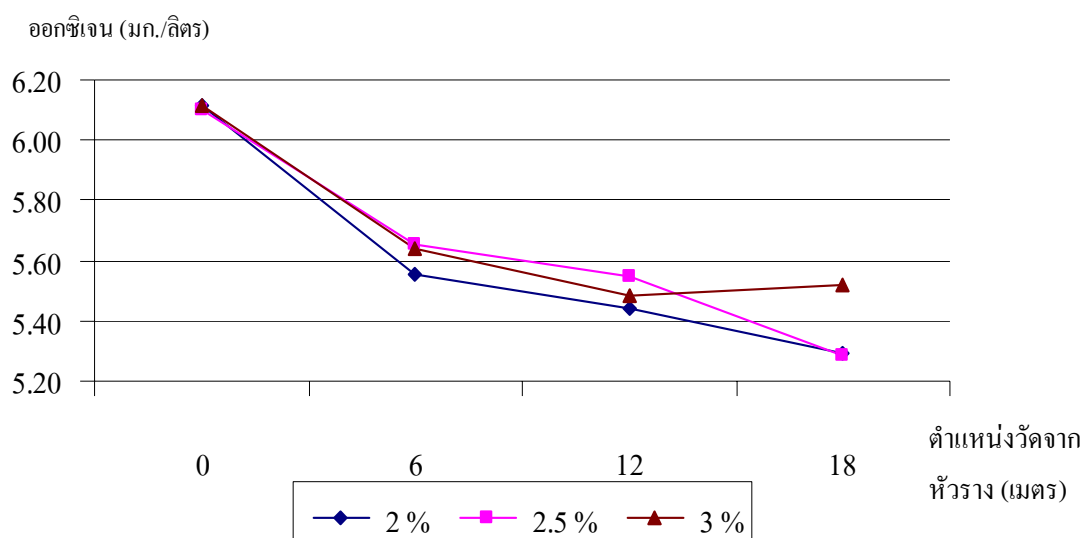
ภาพที่ 41 ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย (มก./ลิตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 3 สัปดาห์

2.3.4 สัปดาห์ที่ 4

ที่เวลา 9.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่าจากหัวรางไปยังปลายรางปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ที่เวลา 12.00 น. พบว่าเมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น ไม่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ที่ตำแหน่งต่างบนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก ปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 42)

ที่เวลา 15.00 น. พบว่าเมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลายที่ตำแหน่งต่างบนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก ปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 42 ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย (มก./ลิตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 4 สัปดาห์

2.4 อุณหภูมิสารละลายในรางปลูก

จากการปลูกผักกาดหอมในรางปลูกความยาว 18 เมตร ที่มีความลาดเอียง 2 2.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ใช้อัตราการไหลของสารละลายที่ 2 ลิตรต่อนาที และทำการวัดอุณหภูมิในสารละลาย ที่เวลาต่างๆ กัน ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เมื่อผักกาดหอมมีอายุ 1 2 3 และ 4 หลังการย้ายปลูก พบว่า

2.4.1 สัปดาห์ที่ 1

ที่เวลา 9.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้นมีผลให้อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยอย่างสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

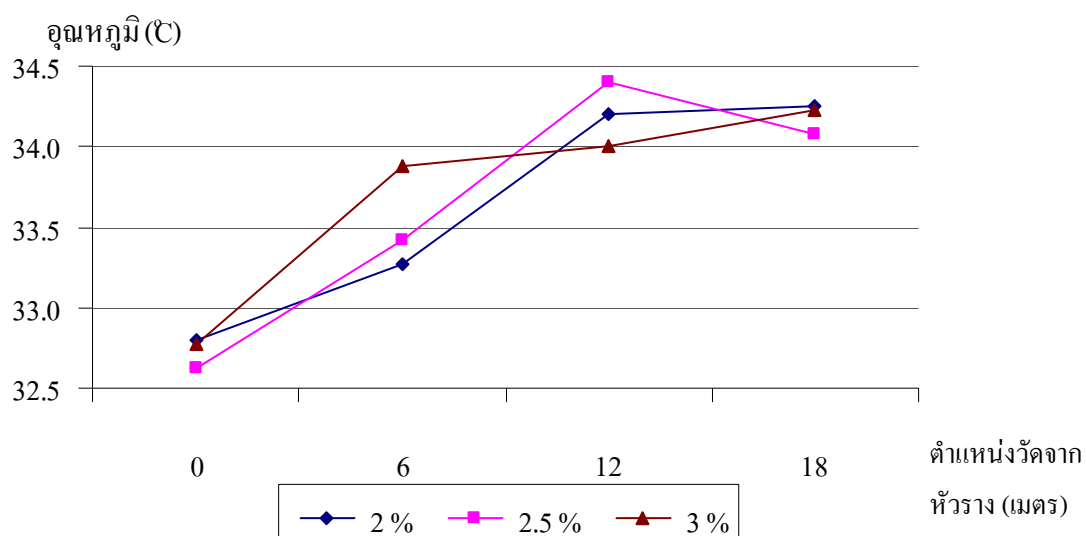
ที่เวลา 12.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3 และภาพที่ 43)

ที่เวลา 15.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในสารละลาย และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่า จากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิในสารละลายมีค่าลดลงจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ที่เวลาต่างๆ และตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมเป็นเวลา 1 ถึง 4 สัปดาห์

ปัจจัย	สัปดาห์ที่ 1			สัปดาห์ที่ 2			สัปดาห์ที่ 3			สัปดาห์ที่ 4		
	9	12	15	9	12	15	9	12	15	9	12	15
Slope (A)												
2	33.06	33.63	33.44	33.59	33.36	34.05	32.56	34.16	33.24	31.96	33.37	32.96
2.5	33.13	33.63	33.43	33.59	33.31	34.14	32.74	34.31	33.21	31.96	33.38	32.98
3	33.00	33.72	33.39	33.58	33.29	34.20	32.66	34.06	33.29	31.94	33.31	32.94
F-Test (A)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Location (B)												
0	32.37 d	32.73 c	33.84 a	33.93 a	33.33	34.35 a	32.57	34.05	33.90 a	32.23 a	33.52	32.96 ab
6	32.78 c	33.53 b	33.50 b	33.71 b	33.34	34.16 a	32.58	34.41	33.74 a	31.93 b	33.30	33.02 a
12	33.10 b	34.20 a	33.28 bc	33.54 c	33.27	34.16 a	32.67	34.08	32.93 b	31.93 b	33.05	33.08 a
18	33.99 a	34.18 a	33.07 c	33.17 d	33.35	33.85 b	32.80	34.17	32.43 c	31.74 c	33.53	32.78 b
F-Test (B)	**	**	**	**	ns	**	ns	ns	**	**	ns	**
A X B	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
C.V. (%)	0.64	1.69	0.86	0.36	0.57	0.73	0.72	1.22	0.52	0.29	1.33	0.51

หมายเหตุ ns : ไม่แตกต่างทางสถิติ **: แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



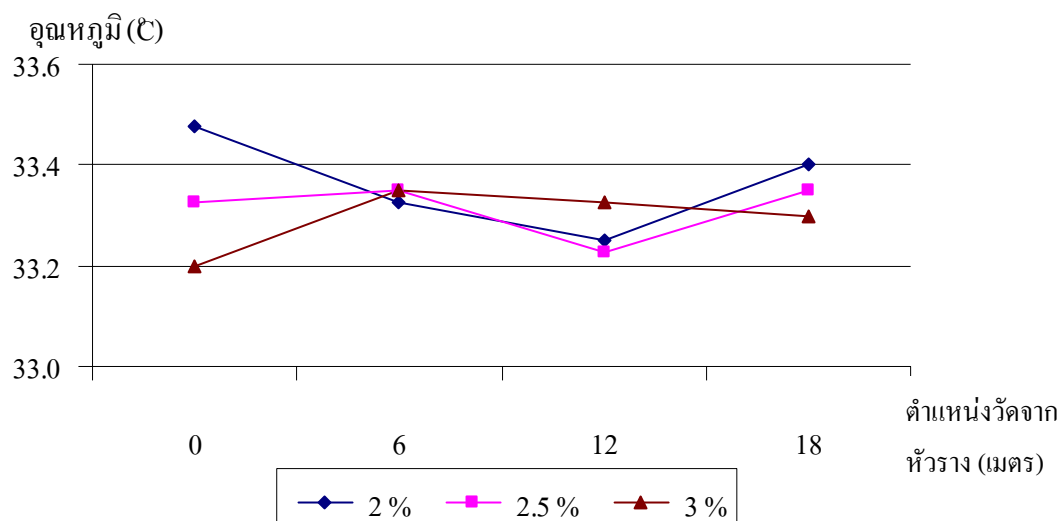
ภาพที่ 43 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรากปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 1 สัปดาห์

2.4.2 สัปดาห์ที่ 2

ที่เวลา 9.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น ไม่มีผลให้อุณหภูมิในสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่าจาก ตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิในสารละลายมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ที่เวลา 12.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 44)

ที่เวลา 15.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่า จากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิในสารละลายมีค่าลดลงอย่างแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3)



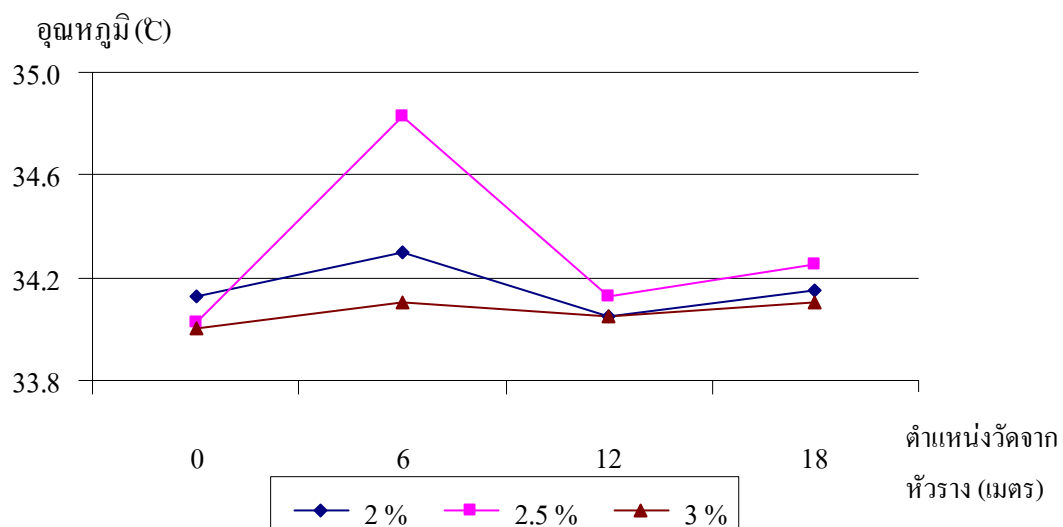
ภาพที่ 44 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 2 สัปดาห์

2.4.3 สัปดาห์ที่ 3

ที่เวลา 9.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิของสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ที่เวลา 12.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้นมีผลให้อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิในสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 45)

ที่เวลา 15.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของสารละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิในสารละลายมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)



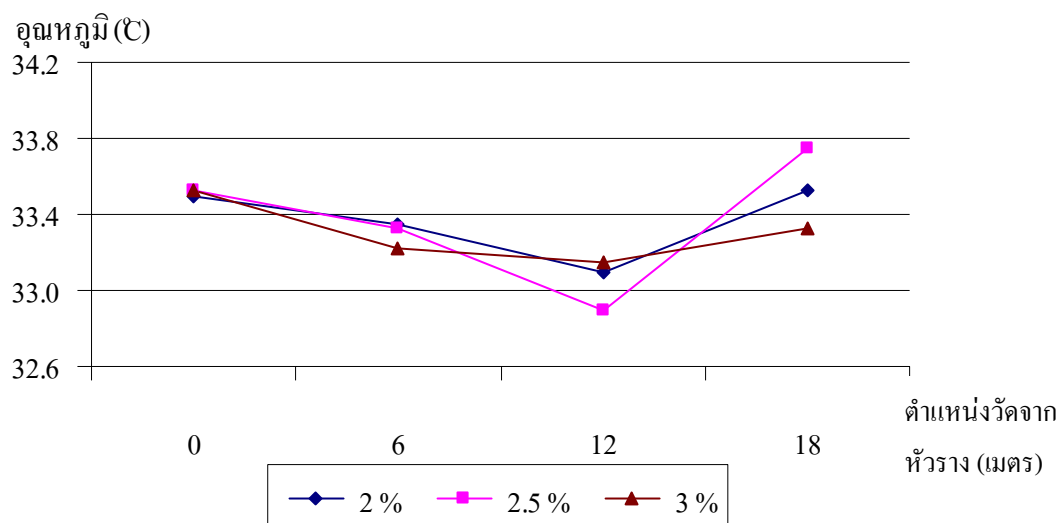
ภาพที่ 45 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 3 สัปดาห์

2.4.4 สัปดาห์ที่ 4

ที่เวลา 9.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิของสารละลายมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิของสารละลายมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ที่เวลา 12.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิของสารละลายมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิของสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 46)

ที่เวลา 15.00 น. พบว่า เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิของสารละลายมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก พบว่าจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางปลูก อุณหภูมิของสารละลายมีค่าลดลงจากบริเวณหัวรางไปยังบริเวณปลายรางปลูก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 46 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 4 สัปดาห์

2.4 การเจริญเติบโต

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ยาว 18 เมตร ที่มีความลาดเอียงแตกต่างกัน 3 ระดับที่ 2 2.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า

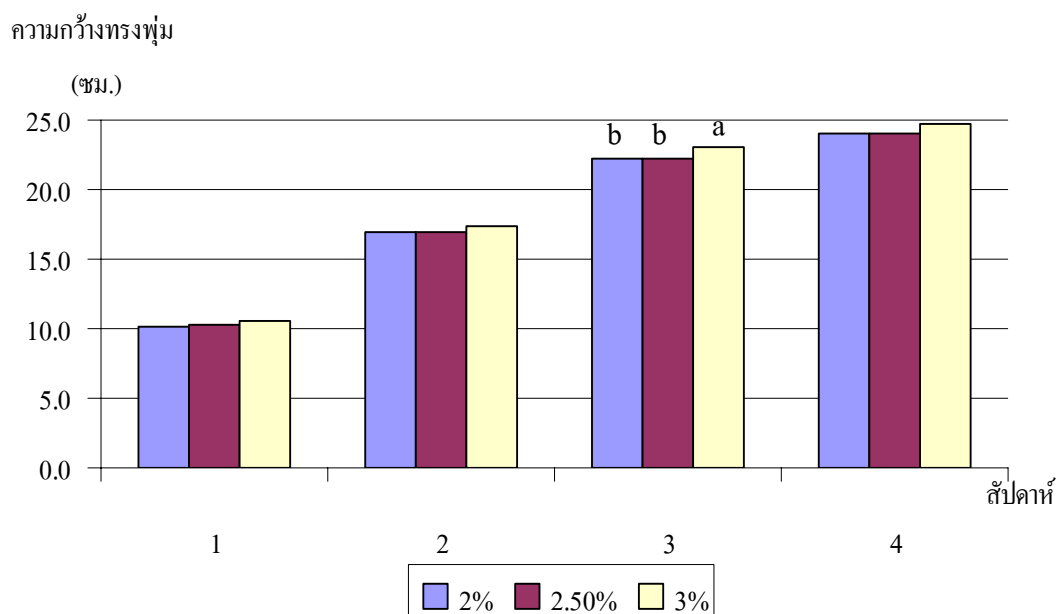
2.4.1 ความกว้างทรงพุ่ม

ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 หลังการย้ายปลูกพบว่าต้นผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง 3 ระดับ มีความกว้างทรงพุ่มที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 พบว่าต้นผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง 3 เปอร์เซ็นต์ มีความกว้างทรงพุ่มที่มากกว่าความลาดเอียง 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญโดยเมื่อเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ผักกาดหอมมีความกว้างทรงพุ่มอยู่ที่ 24.1 24.0 และ 24.8 เซนติเมตร สำหรับความลาดเอียง 2 2.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 47)

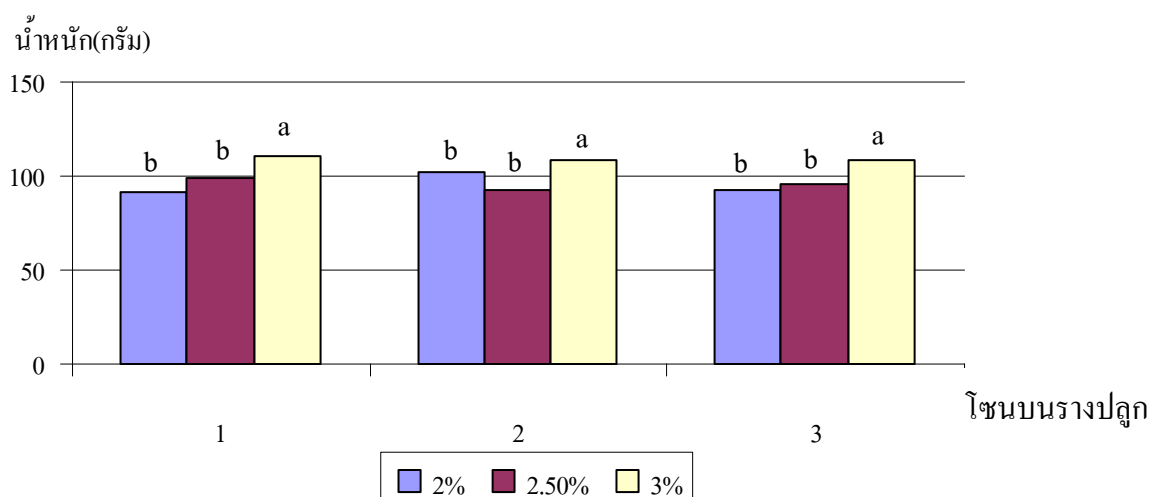
2.4.2 น้ำหนักสดส่วนยอด

เมื่อทำการสุ่มต้นผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ ทั้ง 3 โซนบนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงที่แตกต่างกัน 3 ระดับ มาทำการบันทึกน้ำหนักสดส่วนยอด ที่อายุ 4 สัปดาห์หลังการย้ายปลูก พบว่า

ผักกาดหอมที่ปลูกในโซนที่แตกต่างกัน คือ โซน 1 (หัวราง) 2 (กลางราง) และ 3 (ท้ายราง) มีน้ำหนักสดส่วนยอดที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ความลาดเอียงของรางปลูกที่ต่างกันมีผลให้ผักกาดหอมมีน้ำหนักสดส่วนยอด (กรัม/ต้น) ที่แตกต่างกันทางสถิติ โดยความลาดเอียงที่ 3 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ผักกาดหอมมีน้ำหนักสดส่วนยอดสูงที่สุด แตกต่างจากของความลาดเอียงที่ 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 48)



ภาพที่ 47 ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมที่อายุ 1 2 3 และ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก
ในรางปลูก NFT ที่ความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน



ภาพที่ 48 น้ำหนักสดส่วนยอด (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบน โชนต่างๆ ของรางปลูก NFT ที่
มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกันหลังการย้ายปลูกลานาน 4 สัปดาห์

2.4.3 น้ำหนักสดส่วนราก

จากการสุ่มต้นผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงที่แตกต่างกัน 3 ระดับ มาทำการบันทึกน้ำหนักสดส่วนราก (กรัม/ต้น) พบว่า

ผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ กันทั้ง 3 มีน้ำหนักสดรากที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าผักกาดหอมที่ปลูกบนรางปลูกที่มีความลาดเอียงที่ต่างกันมีน้ำหนักสดรากที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ความลาดเอียง 3 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ผักกาดหอมน้ำหนักสดส่วนรากสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาได้แก่ ที่ปลูกในความลาดเอียง 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 49)

2.4.4 น้ำหนักแห้งส่วนยอด

จากการสุ่มต้นผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงที่แตกต่างกัน 3 ระดับ มาทำการบันทึกน้ำหนักแห้งส่วนยอด พบว่า

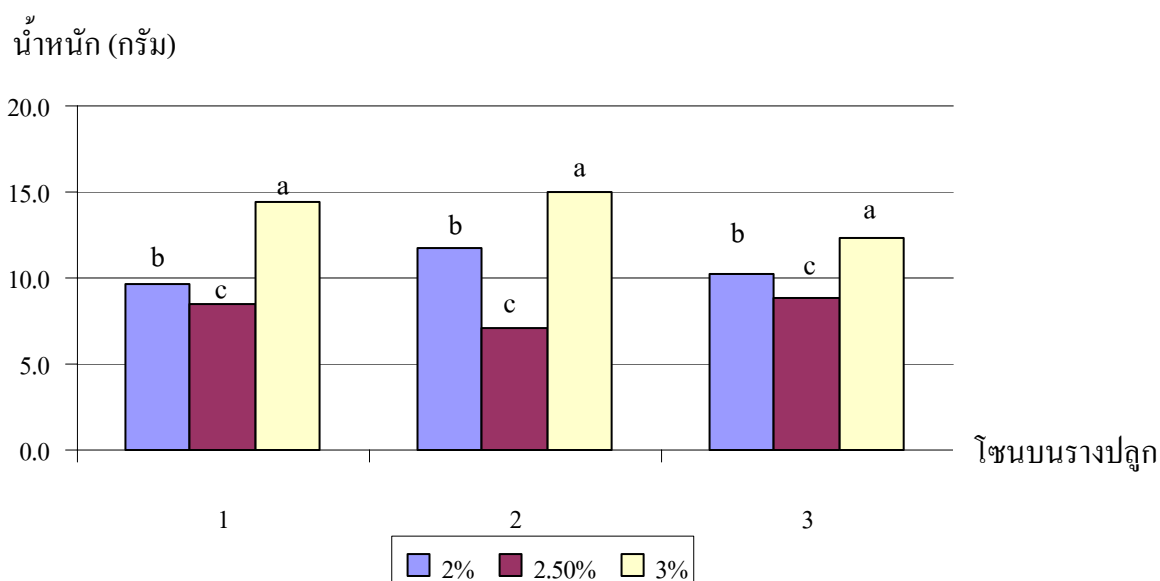
ผักกาดหอมที่ปลูกในโซนที่ต่างกันมีน้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่า ต้นผักกาดหอมที่ปลูกบนรางปลูกที่แตกต่างกันมีน้ำหนักแห้งส่วนยอดที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ความลาดเอียง 3 เปอร์เซ็นต์มีผลให้น้ำหนักแห้งส่วนยอดที่มากกว่าของความลาดเอียง 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 50)

2.4.5 น้ำหนักแห้งราก

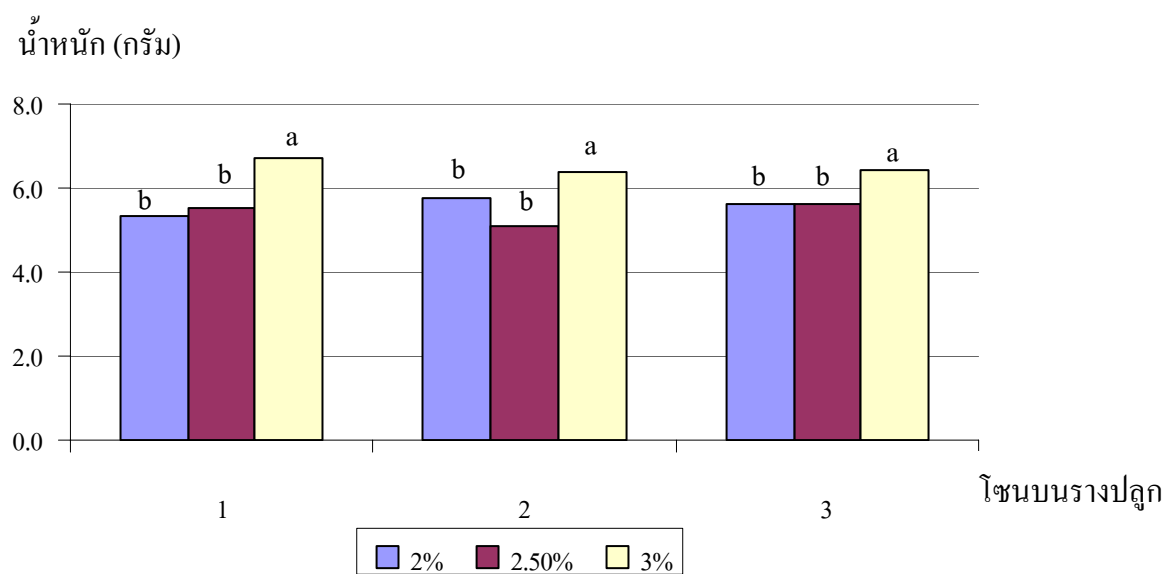
จากการสุ่มต้นผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียงที่แตกต่างกัน 3 ระดับ มาทำการบันทึกน้ำหนักแห้งส่วนราก พบว่า

ผักกาดหอมที่ปลูกในโซนที่แตกต่างๆ กัน มีน้ำหนักแห้งของราก (กรัม/ต้น) ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าผักกาดหอมที่ปลูกบนรางปลูกที่มีความลาดเอียงที่ต่างกันมีน้ำหนักแห้งรากที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความลาดเอียง 3 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้น้ำหนัก

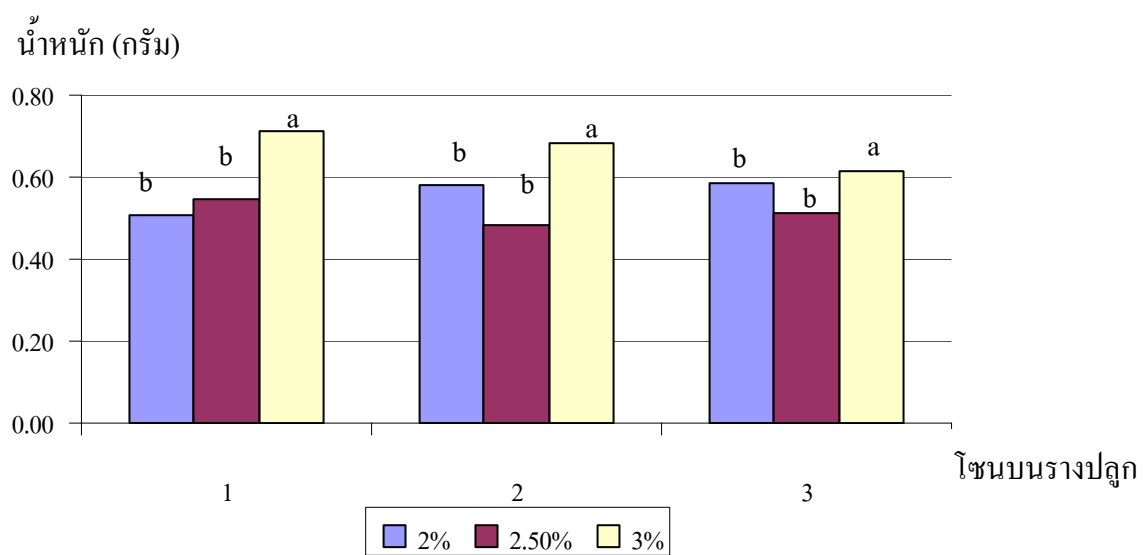
แหล่งส่วนรากลมากกว่าของความลาดเอียง 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
(ภาพที่ 51)



ภาพที่ 49 น้ำหนักสดส่วนราก (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนโชนต่างๆ ของรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน หลังจากย้ายปลูกลานาน 4 สัปดาห์



ภาพที่ 50 น้ำหนักแห้งส่วนยอด (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนโชนต่างๆกัน ของรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน หลังจากย้ายปลูกลานาน 4 สัปดาห์

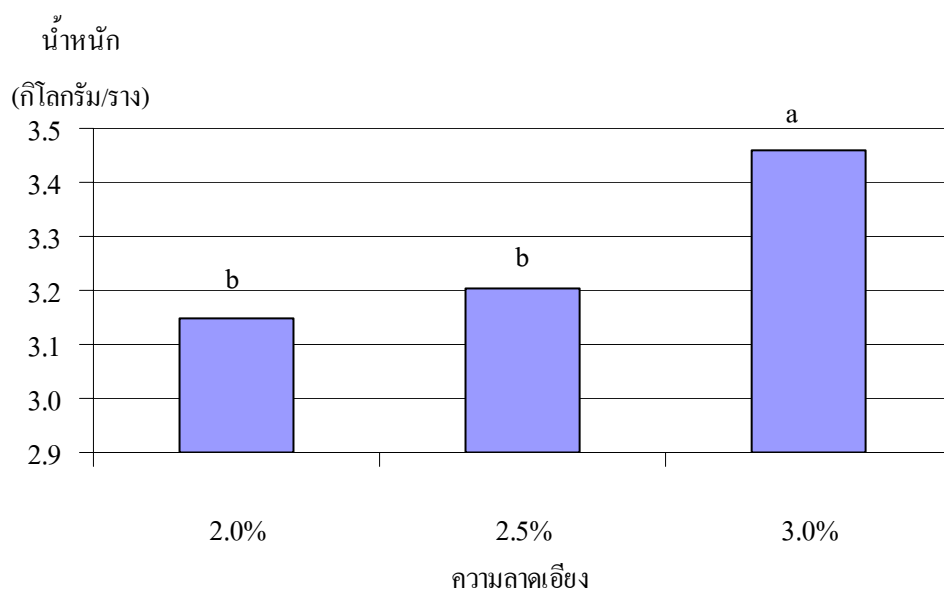


ภาพที่ 51 น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนโซนต่างๆกันของรางปลูก NFT ที่มี ความลาดเอียง (%) แตกต่างกัน หลังจากย้ายปลูกลานาน 4 สัปดาห์

2.4.7 ผลผลิต

เมื่อเก็บเกี่ยวผักกาดหอมทุกต้นบนรางปลูก นำมาบันทึกน้ำหนักรวมเป็นผลผลิตต่อรางปลูก ยาว 18 เมตร และนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างความลาดเอียงทั้ง 3 ระดับ พบว่า

เมื่อเก็บเกี่ยวต้นผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ที่มีความลาดเอียง 3 ระดับ พบว่า ที่ระดับความลาดเอียง 3 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตน้ำหนักสดต่อรางปลูกมากที่สุด รองลงมาเป็นของระดับความลาดเอียง 2.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทั้งหมดมีค่า 3.4 3.2 และ 3.1 กิโลกรัม/รางตามลำดับ (ภาพที่ 52)



ภาพที่ 52 ผลผลิตรวม (กิโลกรัม/ราง) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนรางปลูก NFT ที่มีความเค็ม (%) แตกต่างกัน 3 ระดับ หลังย้ายปลูกลานาน 4 สัปดาห์

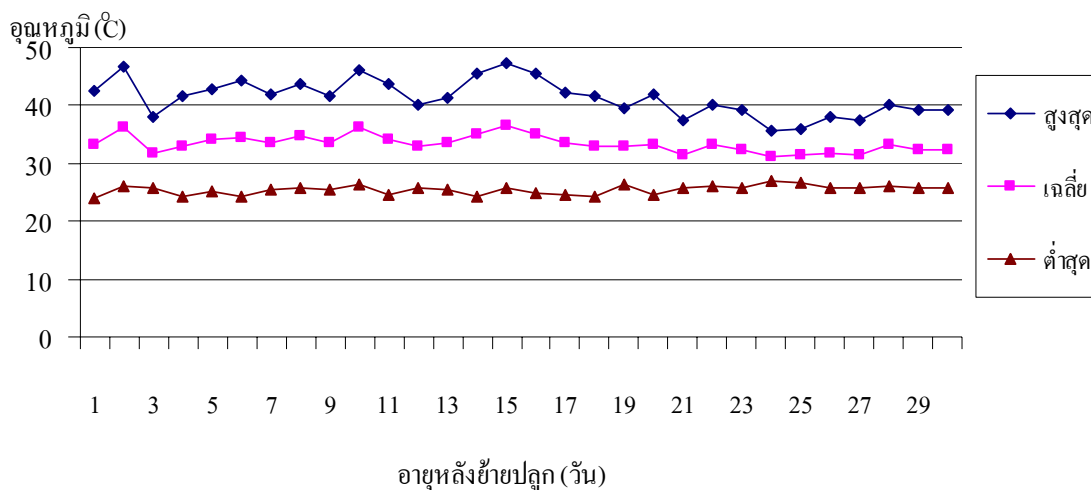
การทดลองที่ 3 ผลของอัตราการใช้ของสารละลายที่มีต่อการเจริญของผักกาดหอม ที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินในระบบ NFT

ในการศึกษาผลของอัตราการใช้ของสารละลายที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมโดยทำการปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีความยาว 18 เมตร ใช้อัตราการใช้ของสารละลาย 2 3 และ 4 ลิตร/นาที่ ที่ความลาดเอียง 3 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาพแวดล้อมในโรงเรือนเปิด และทำการศึกษการเจริญเติบโตของต้นผักกาดหอมที่โซน (zone) ต่างๆ กันบนรางปลูก คือ โซน 1 บริเวณหัวราง ตั้งแต่ 0 ถึง 6 เมตรจากหัวราง โซน 2 บริเวณกลางราง ตั้งแต่ 6 ถึง 12 เมตรจากหัวราง และโซน 3 บริเวณปลายราง ตั้งแต่ 12 ถึง 18 เมตร จากหัวราง พร้อมทั้งทำการวัดหาอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนของสารละลาย เป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีผลการศึกษาดังนี้

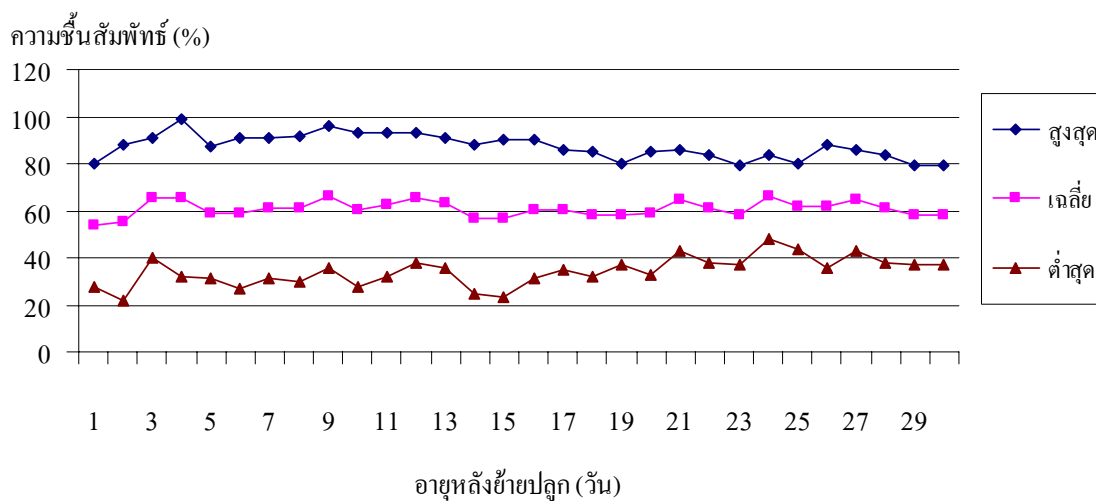
3.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนปลูก

อุณหภูมิของอากาศสูงสุดในโรงเรือนเวลากลางวันในแต่ละวันระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 35.6 ถึง 46.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของอากาศต่ำสุดในโรงเรือนเวลากลางคืน ในแต่ละวันระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 24.1 ถึง 26.8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของอากาศโดยเฉลี่ยในโรงเรือนปลูกพืช ในแต่ละวันระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 31.2 ถึง 36.4 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศในแต่ละสัปดาห์ในระหว่างการทดลอง พบว่า อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยมีระดับที่ใกล้เคียงกันตลอดอายุการปลูก (ภาพที่ 53)

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงสุดในโรงเรือนในแต่ละวันระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 79 ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำสุดในโรงเรือนปลูกพืช ในแต่ละวันระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 22 ถึง 48 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยเฉลี่ยในโรงเรือนปลูกพืช ในแต่ละวันระหว่างทำการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 54 ถึง 66 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแต่ละสัปดาห์ในระหว่างการทดลอง พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยมีระดับที่ใกล้เคียงกันตลอดอายุการปลูก (ภาพที่ 54)



ภาพที่ 53 อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย (องศาเซลเซียส) ภายในโรงเรือนปลูกพืชในระหว่าง การปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน



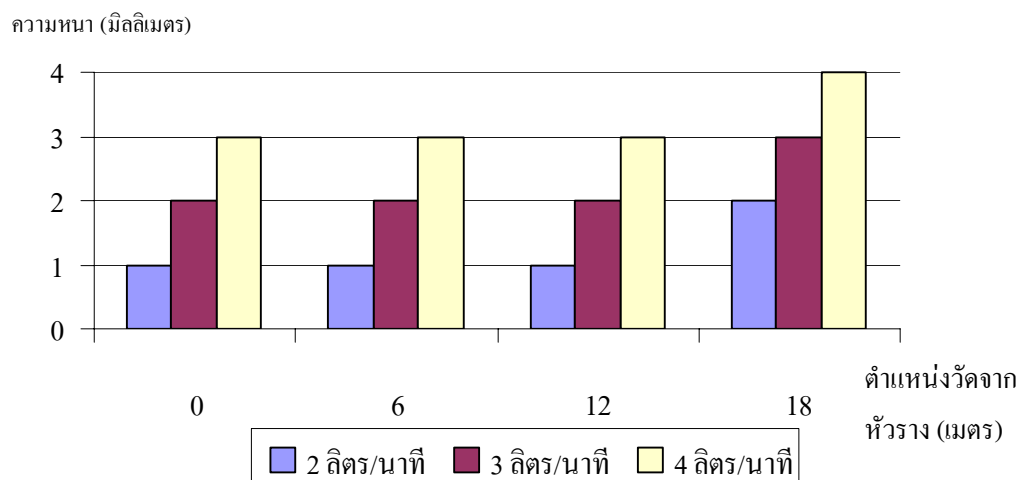
ภาพที่ 54 ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์) ภายในโรงเรือนปลูกพืชใน ระหว่างการปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน

3.2 ความหนาของสารละลายในรางปลูก

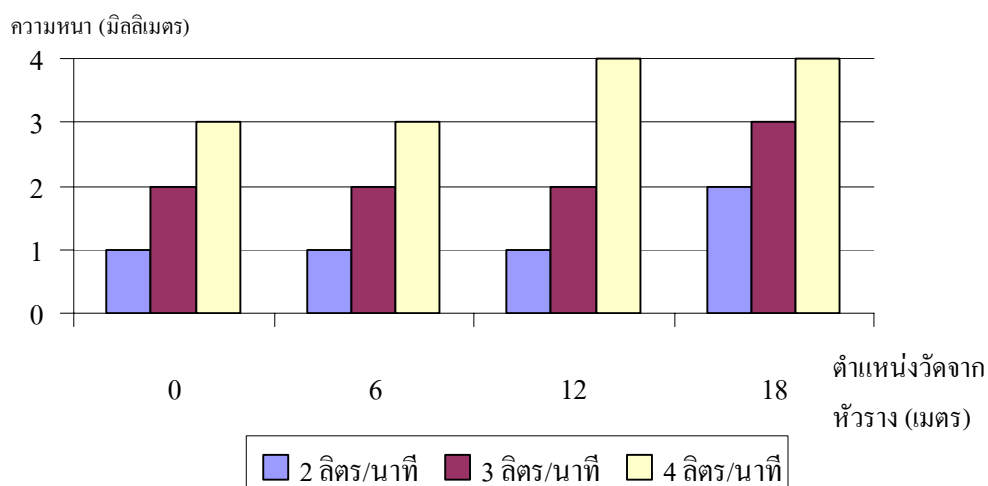
จากการทดลองปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร มีความลาดเอียงรางปลูกที่ 3 เปอร์เซนต์ และมีอัตราการไหลสารละลายแตกต่างกันที่ 2 3 และ 4 ลิตร/นาที่ ทำการวัดความหนาของสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวรางปลูก พบว่า

ในสัปดาห์ที่ 1 ในทุกๆ ตำแหน่งบนรางปลูก NFT ที่ทำการวัดความหนาของสารละลายพบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารละลายเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาของสารละลายเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความหนาของสารละลายระหว่างตำแหน่งต่างๆ บนราง พบว่าที่อัตราการไหลของสารละลายที่เท่ากัน สารละลายที่ปลายราง หรือ ที่ 18 เมตร นับจากหัวราง มีความหนามากกว่าตำแหน่งต้นรางทุกๆ ตำแหน่ง โดยที่ตำแหน่ง 0 6 และ 12 เมตร นับจากหัวราง สารละลายมีความหนาที่เท่ากัน คือ 1.2 และ 3 มิลลิเมตร แต่ที่ตำแหน่ง 18 เมตร นับจากต้นราง สารละลายมีความหนาเท่ากับ 2 3 และ 4 มิลลิเมตร สำหรับอัตราการไหลที่ 2 3 และ 4 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ (ภาพที่ 55)

ในสัปดาห์ที่ 2 ในทุกๆ ตำแหน่งบนรางปลูก NFT เมื่ออัตราการไหลของสารเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาของสารละลายในรางปลูกเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความหนาของสารละลายระหว่างตำแหน่งต่างๆ บนราง พบว่าที่อัตราการไหลของสารละลายที่เท่ากัน สารละลายมีความหนาเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายราง โดยที่ตำแหน่ง 0 และ 6 เมตรนับจากหัวราง สารละลายมีความหนาที่เท่ากัน คือ 1.2 และ 3 มิลลิเมตร แต่ที่ 18 เมตร นับจากหัวราง มีความหนาเพิ่มขึ้น เป็น 2 3 และ 4 มิลลิเมตร สำหรับอัตราการไหล 2 3 และ 4 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ (ภาพที่ 56)



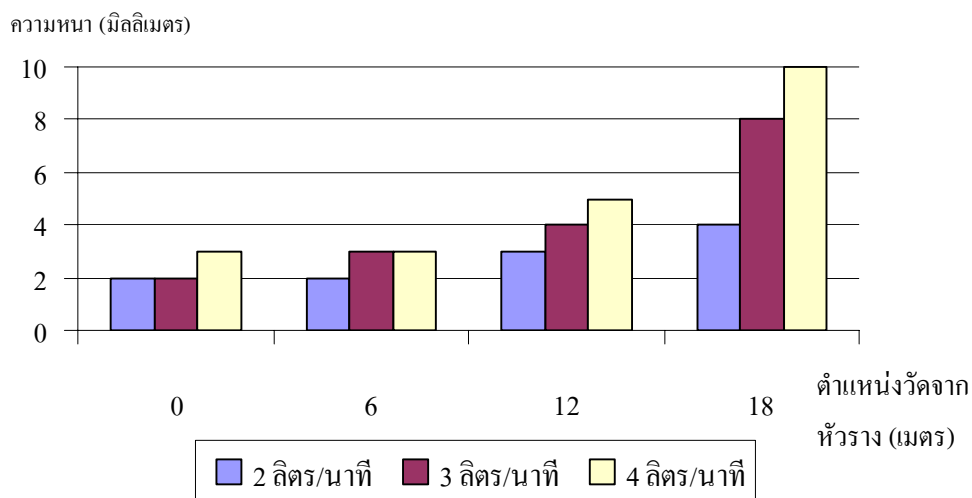
ภาพที่ 55 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 1 สัปดาห์



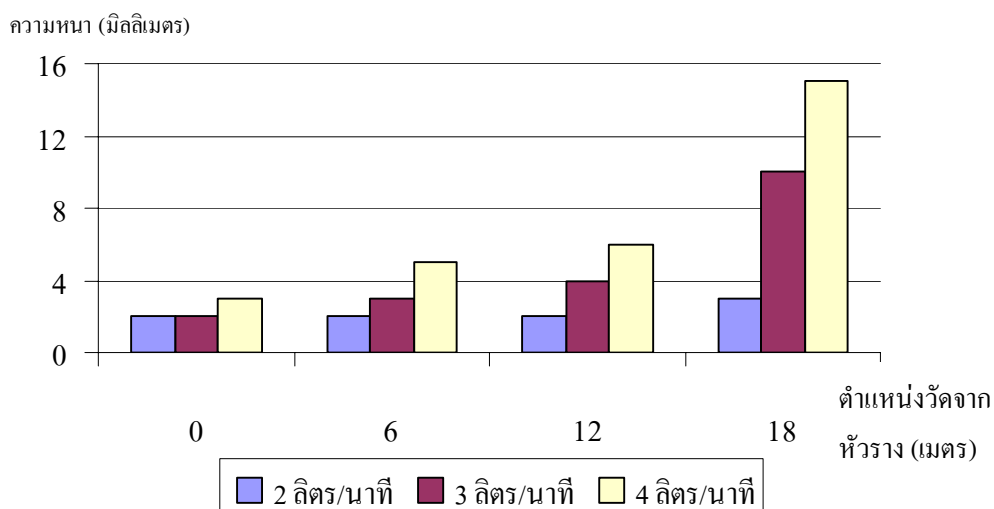
ภาพที่ 56 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 2 สัปดาห์

ในสัปดาห์ที่ 3 ในทุกๆตำแหน่งบนรางปลูก NFT เมื่ออัตราการไหลของสารเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาของสารละลายในรางปลูกเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความหนาของสารละลายระหว่างตำแหน่งต่างๆ บนราง พบว่าที่อัตราการไหลที่เท่ากัน สารละลายมีความหนาเพิ่มขึ้นจากหัวรางไปยังปลายราง โดยที่ตำแหน่ง 0 เมตรจากหัวรางหรือตำแหน่งหัวราง สารละลายมีความหนาอยู่ที่ใกล้เคียงจากสัปดาห์ที่ผ่านมาและมีค่าอยู่ที่ 2.2 และ 3 มิลลิเมตร แต่ที่ตำแหน่ง 18 เมตร จากหัวราง หรือ ตำแหน่งปลายราง สารละลายมีความหนาเพิ่มมากกว่าสัปดาห์ที่ผ่านมาและมีค่าอยู่ที่ 4.8 และ 10 มิลลิเมตร สำหรับอัตราการไหลที่ 2.3 และ 4 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ (ภาพที่ 57)

ในสัปดาห์ที่ 4 ในทุกๆ ตำแหน่งบนรางปลูก NFT เมื่ออัตราการไหลของสารละลายเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาของสารละลายในรางปลูกเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความหนาของสารละลายระหว่างตำแหน่งต่างๆ บนราง พบว่าที่อัตราการไหลที่เท่ากัน สารละลายมีความหนาเพิ่มขึ้นจากหัวรางไปยังปลายราง โดยที่ตำแหน่ง 0 เมตรจากหัวราง หรือตำแหน่งหัวราง สารละลายมีความหนาที่ใกล้เคียงกับสัปดาห์ที่ผ่านมาซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.2 และ 3 มิลลิเมตร แต่ที่ตำแหน่ง 18 เมตรจากหัวราง หรือตำแหน่งปลายราง สารละลายมีความหนาเพิ่มมากกว่าสัปดาห์ที่ผ่านมา และมีค่าอยู่ที่ 5.10 และ 15 มิลลิเมตร สำหรับอัตราการไหล 2.3 และ 4 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ (ภาพที่ 58)



ภาพที่ 57 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน ภายหลังจากย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 3 สัปดาห์



ภาพที่ 58 ความหนาของสารละลาย (มิลลิเมตร) ที่ในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน ภายหลังจากย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 4 สัปดาห์

3.3 ปริมาณออกซิเจนในสารละลายบนรางปลูก

จากการปลูกผักกาดหอมในรางปลูกความยาว 18 เมตร มีความลาดเอียงรางปลูก 3 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการไหลสารละลายแตกต่างกันที่ 2 3 และ 4 ลิตร/นาที่ ทำการวัดปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ที่เวลาต่าง ๆ กัน ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตรนับจากหัวรางปลูก สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เมื่อผักกาดหอม มีอายุ 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก พบว่า

3.3.1 สัปดาห์ที่ 1

ที่เวลา 9.00 น. และ 12.00 น. พบว่าอัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT ที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่าปริมาณออกซิเจนมีค่าลดลงจากหัวรางไปยังปลายราง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4 และภาพที่ 59)

ที่เวลา 15.00 น. พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT เพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่าปริมาณออกซิเจนมีค่าลดลงจากหัวรางไปยังปลายรางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4)

3.3.2 สัปดาห์ที่ 2

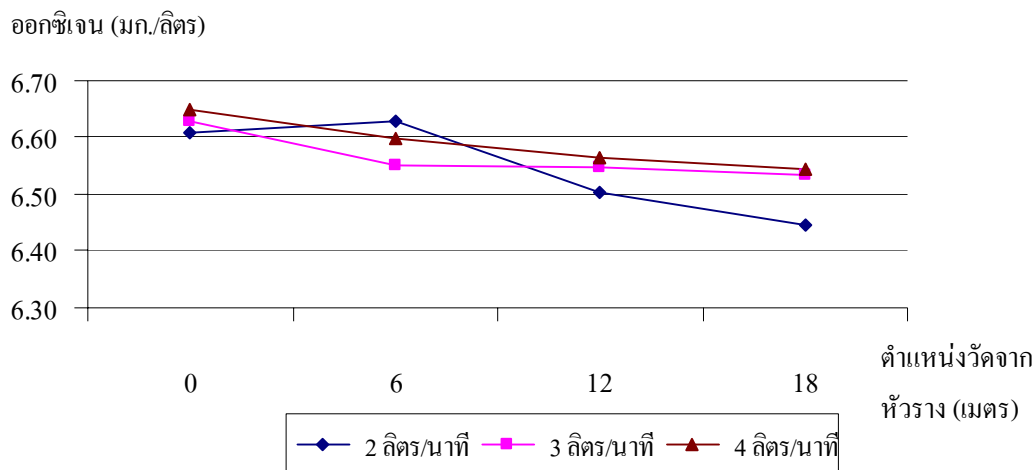
ที่เวลา 9.00 น. พบว่าอัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนในสารละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่าปริมาณออกซิเจนมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4)

ที่เวลา 12.00 และ 15.00 น. พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT เพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่า ปริมาณออกซิเจนมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 60)

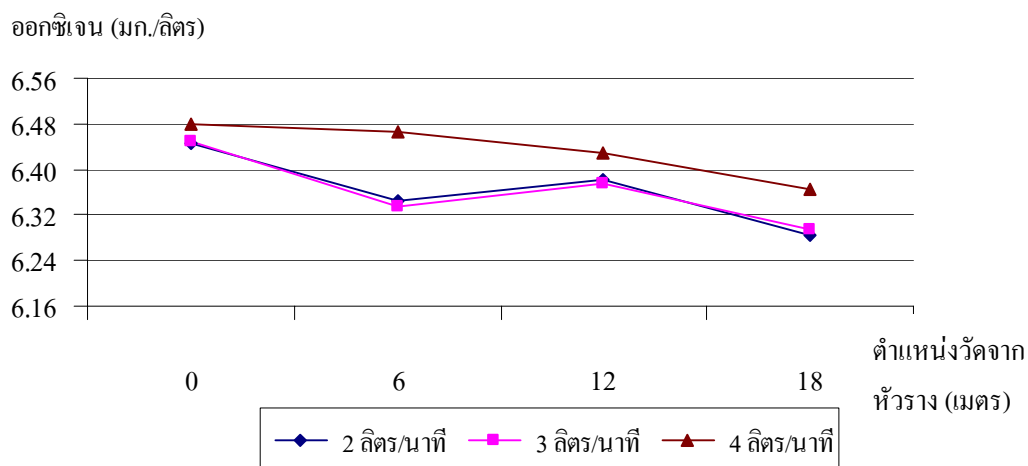
ตารางที่ 4 ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย (มก./ลิตร) ที่เวลาต่างๆ และตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่อัตราการไหลของ สารละลายแตกต่างกัน หลังย้ายปลูก ผักกาดหอม นาน 1 ถึง 4 สัปดาห์

ปัจจัย	สัปดาห์ที่ 1			สัปดาห์ที่ 2			สัปดาห์ที่ 3			สัปดาห์ที่ 4		
	9	12	15	9	12	15	9	12	15	9	12	15
Flow rate (A)												
2	6.46	6.55	6.16 b	6.73	6.36 b	6.07 b	6.29 c	5.81 b	5.91 b	6.54 c	6.26 b	5.87 c
3	6.46	6.57	6.17 b	6.74	6.36 b	6.10 ab	6.34 b	5.83 b	5.97 b	6.58 b	6.44 a	6.12 b
4	6.51	6.59	6.22 a	6.76	6.44 a	6.11 a	6.43 a	5.95 a	6.06 a	6.70 a	6.54 a	6.23 a
F-Test (A)	ns	ns	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**
Location (B)												
0	6.63 a	6.63 a	6.30 a	6.79 a	6.46 a	6.14 a	6.60 a	6.10 a	6.23 a	6.88 a	6.70 a	6.44 a
6	6.52 ab	6.59 ab	6.18 b	6.79 a	6.38 b	6.10 b	6.38 b	5.83 b	5.96 b	6.63 b	6.39 b	6.08 b
12	6.42 bc	6.54 bc	6.16 b	6.72 b	6.40 b	6.07 bc	6.23 c	5.75 c	5.88 c	6.49 c	6.28 b	5.85 c
18	6.33 c	6.51 c	6.11 c	6.67 b	6.32 c	6.05 c	6.19 d	5.77 bc	5.86 c	6.44 d	6.28 b	5.93 c
F-Test (B)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
A X B	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
C.V. (%)	1.90	0.97	0.35	0.68	0.56	0.45	0.42	1.04	1.02	0.50	1.65	1.73

หมายเหตุ ns : ไม่แตกต่างทางสถิติ ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพที่ 59 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูกที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอม 1 สัปดาห์



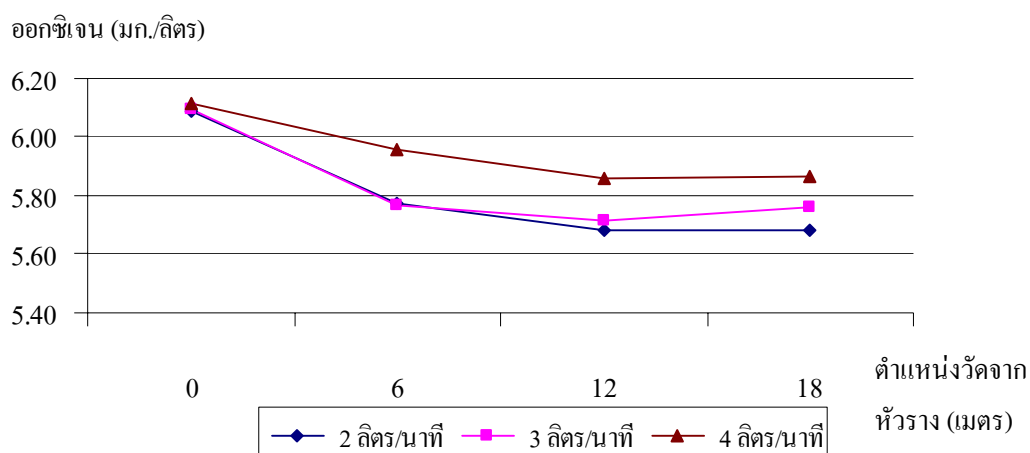
ภาพที่ 60 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูกที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอม 2 สัปดาห์

3.3.3 สัปดาห์ที่ 3

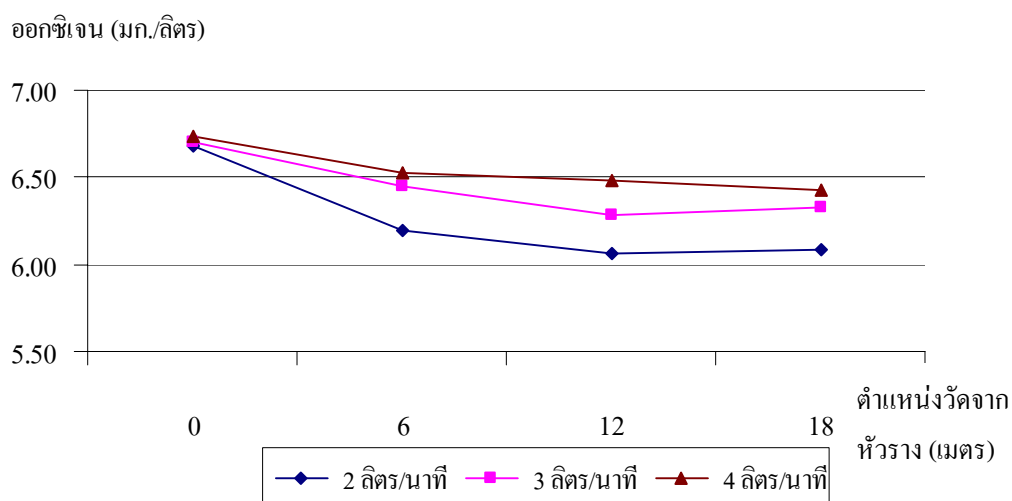
ในทุกๆเวลาที่ทำการศึกษา คือ ที่ 9.00 12.00 และ 15.00 น. พบว่าเมื่ออัตราการใช้ของสารละลายในรางปลูก NFT เพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายในรางปลูก NFT มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่า ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีค่าลดลงจากหัวรางไปยังปลายรางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 61)

3.3.4 สัปดาห์ที่ 4

ในทุกๆเวลาที่ทำการศึกษา คือ ที่ 9.00 12.00 และ 15.00 น. พบว่าเมื่ออัตราการใช้ของสารละลายในรางปลูก NFT เพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายในรางปลูก NFT มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่า ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีค่าลดลงจากหัวรางไปยังปลายรางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 62)



ภาพที่ 61 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูกที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอม 3 สัปดาห์



ภาพที่ 62 ปริมาณออกซิเจน (มก./ลิตร) ในสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูกที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอม 4 สัปดาห์

3.4 อุณหภูมิสารละลายในรางปลูก

จากการปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร มีความลาดเอียงรางปลูกที่ 3 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการไหลของสารละลายแตกต่างกันที่ 2 3 และ 4 ลิตร/นาที่ ทำการวัดอุณหภูมิของสารละลาย ที่เวลาต่างๆ กัน ณ ตำแหน่ง 0 6 12 และ 18 เมตร นับจากหัวราง สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เมื่อผักมีอายุ 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก พบว่า

3.4.1 สัปดาห์ที่ 1

ที่เวลา 9.00 และ 12.00 น. พบว่าอัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายในรางปลูก ในขณะที่ที่เวลา 15.00 น. พบว่าอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นมีผลให้อุณหภูมิสารละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของสารละลาย ที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่า ที่เวลา 9.00 น. อุณหภูมิของสารละลายที่ตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่เวลา 12.00 น. ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของอุณหภูมิสารละลายในรางปลูกที่ตำแหน่งต่างๆ กัน (ภาพที่ 63) และที่เวลา 15.00 น. อุณหภูมิของสารละลายที่ตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5)

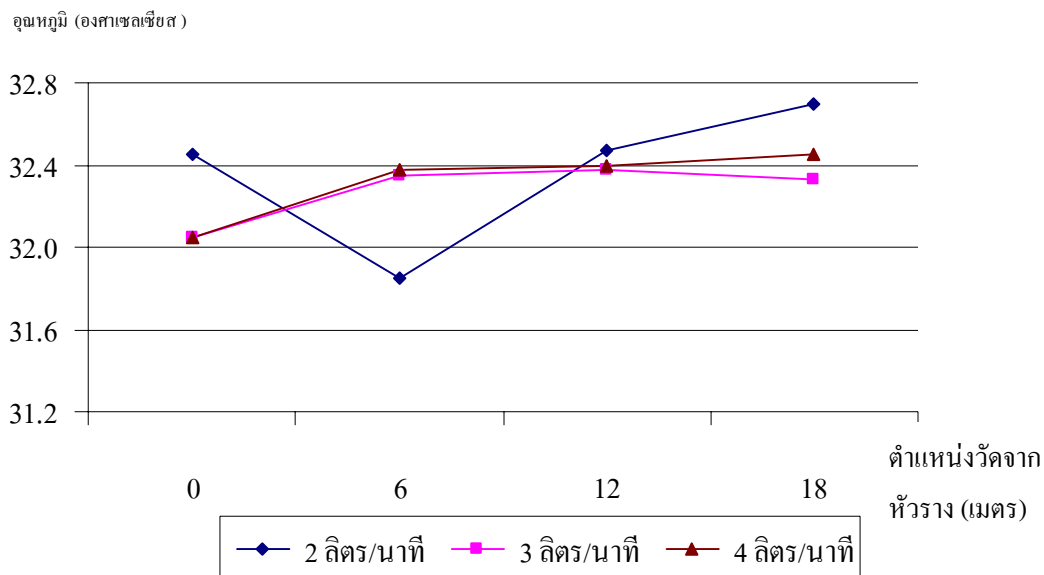
3.4.2 สัปดาห์ที่ 2

ที่เวลา 9.00 12.00 และ 15.00 น. พบว่าอัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT ที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสารละลายในรางปลูก แต่เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่า ที่เวลา 9.00 น. อุณหภูมิสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่เวลา 12.00 น. อุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างบนรางปลูกมีค่าไม่แตกต่างกัน ยกเว้นที่ตำแหน่ง 12 เมตร นับจากหัวราง (ภาพที่ 64) และที่เวลา 15.00 น. อุณหภูมิของสารละลายที่ตำแหน่งหัวรางไปยังปลายรางมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5)

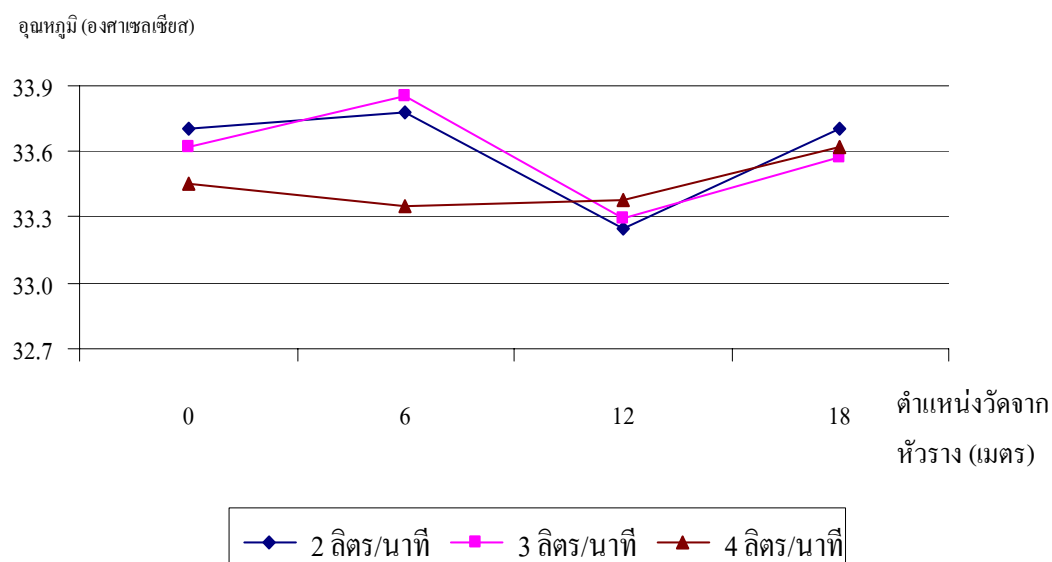
ตารางที่ 5 อุณหภูมิสารละลาย (องศาเซลเซียส) ที่เวลาต่างๆ และตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลแตกต่างกัน หลังการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน 1 ถึง 4 สัปดาห์

ปัจจัย	สัปดาห์ที่ 1			สัปดาห์ที่ 2			สัปดาห์ที่ 3			สัปดาห์ที่ 4		
	9	12	15	9	12	15	9	12	15	9	12	15
Flow rate (A)												
2	32.03	32.37	32.08 a	30.23	33.61	33.27	28.78 a	32.07	32.65	28.37	29.09	28.46
3	31.96	32.28	32.03 ab	30.16	33.59	33.20	28.69 ab	31.99	32.53	28.31	28.96	28.36
4	31.86	32.32	31.93 b	30.13	33.45	33.22	28.64 b	31.91	32.61	28.10	28.97	28.39
F-Test (A)	ns	ns	**	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
Location (B)												
0	31.3 c	32.2	32.1 a	30.1 b	33.6 ab	33.7 a	28.7 b	32.3 a	32.6 ab	28.1 c	29.1	28.4 bc
6	31.7 bc	32.2	32.2 a	29.9 b	33.7 a	33.3 b	28.5 c	32.2 a	32.8 a	27.9 d	29.0	28.5 ab
12	32.2 ab	32.4	31.9 b	30.1 b	33.3 b	32.9 c	28.7 b	31.8 b	32.6 ab	28.2 b	28.9	28.6 a
18	32.7 a	32.5	31.9 b	30.6 a	33.6 a	33.0 bc	28.9 a	31.7 b	32.4 b	28.8 a	29.0	28.3 c
F-Test (B)	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**
A X B	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
C.V. (%)	1.82	1.39	0.36	0.99	0.80	0.73	0.44	0.73	0.84	0.39	0.97	0.43

หมายเหตุ ns : ไม่แตกต่างทางสถิติ ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพที่ 63 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตรา
การไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน
1 สัปดาห์



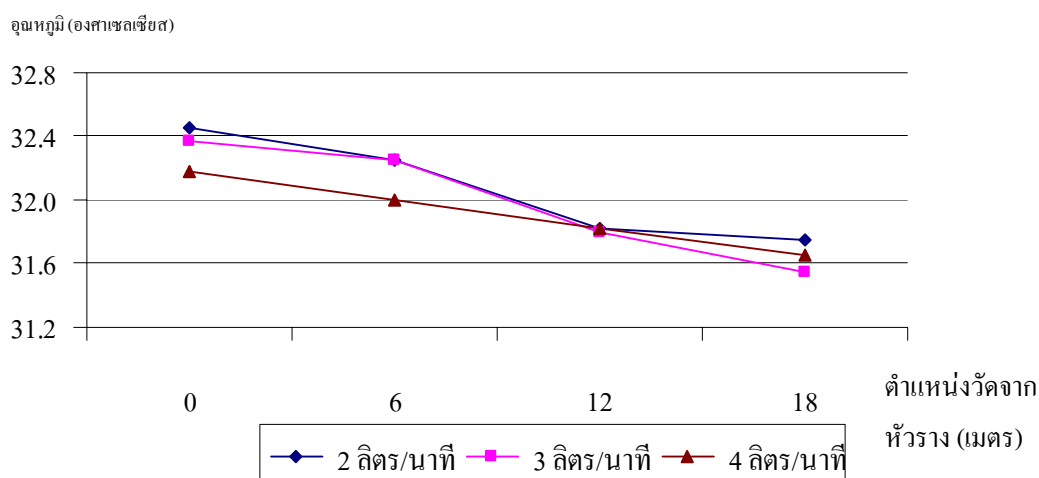
ภาพที่ 64 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFT ที่มีอัตรา
การไหลของสารละลายที่ต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน
2 สัปดาห์

3.4.3 สัปดาห์ที่ 3

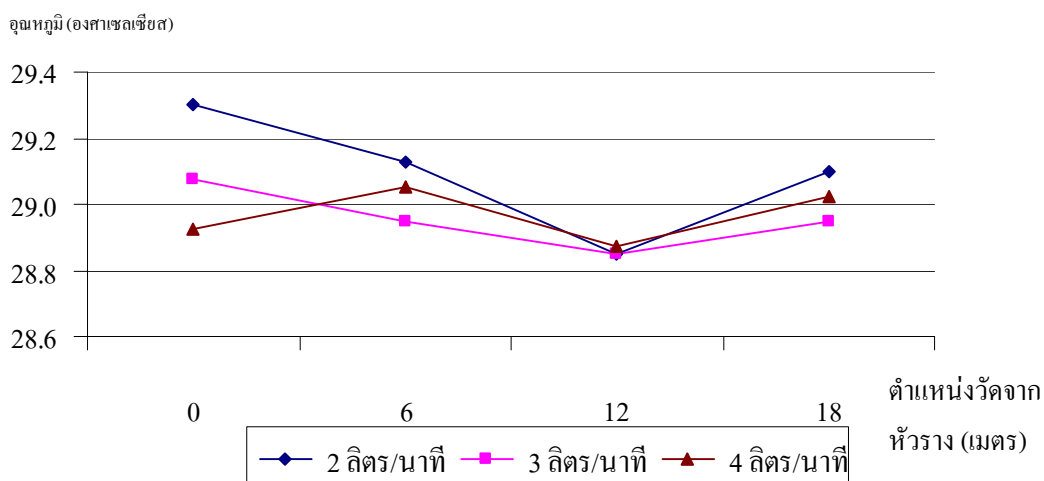
ที่เวลา 9.00 น. พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT มีค่าเพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิของสารละลายมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ที่เวลา 12.00 และ 15.00 น. อัตราการไหลของสารละลายไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลาย และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่าที่เวลา 9.00 น. อุณหภูมิสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งหัวรางปลูกไปยังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ที่เวลา 12.00 และ 15.00 น. พบว่าอุณหภูมิสารละลายมีค่าลดลงจากหัวรางไปยังปลายรางปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5 และภาพที่ 65)

3.4.4 สัปดาห์ที่ 4

ที่เวลา 9.00 12.00 และ 15.00 น. พบว่าอัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลาย และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก พบว่าที่เวลา 9.00 น. อุณหภูมิสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นจากหัวรางไปยังปลายรางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ที่เวลา 12.00 น. (ภาพที่ 66) อุณหภูมิสารละลายที่ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และที่เวลา 15.00 น. อุณหภูมิสารละลายมีค่าลดลงจากหัวรางไปยังปลายรางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 65 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูกที่มีอัตราการไหล
สารละลายที่แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอมนาน
3 สัปดาห์



ภาพที่ 66 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของสารละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูกที่มีอัตราการไหล
สารละลายที่แตกต่างกัน เมื่อเวลา 12.00 น. หลังจากการย้ายปลูกผักกาดหอม 4 สัปดาห์

3.5 การเจริญเติบโต

ในการศึกษาการปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ยาว 18 เมตร มีความลาดเอียง 3 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน 3 อัตรา ที่ 2 3 และ 4 ลิตร/นาที่ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ก่อนทำการวัดการเจริญเติบโต พบว่า

3.5.1 ความกว้างทรงพุ่ม

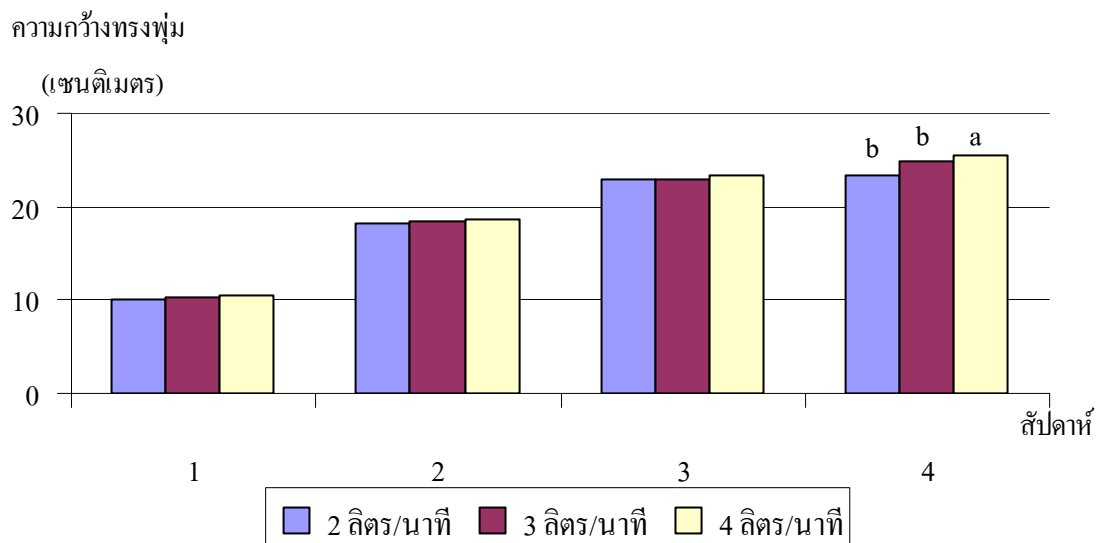
ในสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 หลังการย้ายปลูกพบว่าต้นผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน มีความกว้างทรงพุ่มที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ในสัปดาห์ที่ 4 หลังการย้ายปลูกพบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหล 4 ลิตร/นาที่ มีความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุด ที่ 25.4 เซนติเมตร รองลงมาเป็นอัตราการไหล 3 และ 2 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ ที่มีค่าเท่ากับ 24.8 และ 23.4 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 67)

3.5.2 น้ำหนักสดส่วนยอด

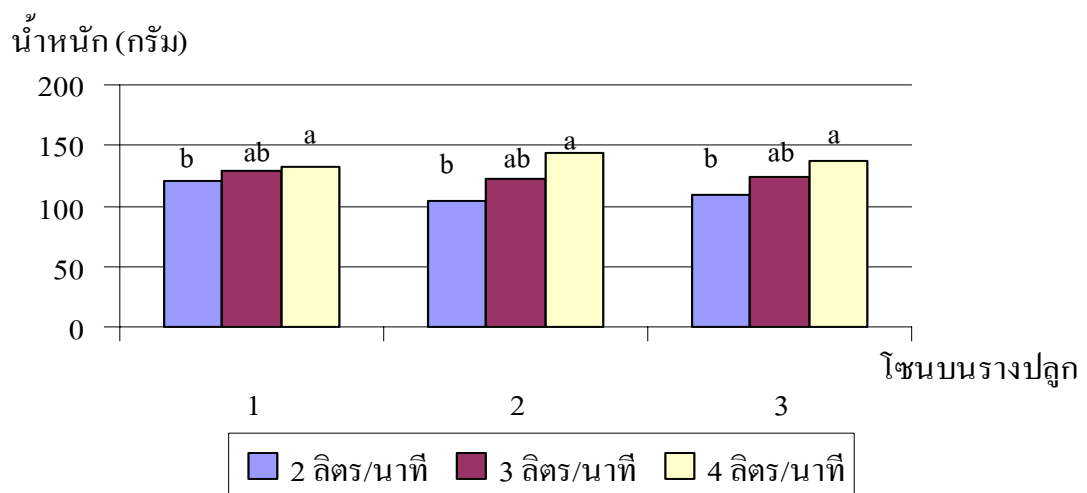
จากการสุ่มต้นผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ ทั้ง 3 บนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลที่แตกต่างกัน มาทำการบันทึกน้ำหนักสดส่วนยอด พบว่า

เมื่ออัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT เพิ่มขึ้น มีผลให้น้ำหนักสดส่วนยอดของผักกาดหอมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ 4 ลิตร/นาที่ มีน้ำหนักสดส่วนยอดเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ ที่ 3 และ 2 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ (ภาพที่ 68)

และเมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก พบว่าผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ ทั้งสามโซน มีน้ำหนักสดส่วนยอดที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 68)



ภาพที่ 67 ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน เป็นเวลานาน 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก



ภาพที่ 68 น้ำหนักสดส่วนยอด (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก

3.5.3 น้ำนักสดส่วนราก

จากการสุ่มต้นผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ ทั้ง 3 โซนๆละ 6 เมตร บนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลที่แตกต่างกัน 3 ระดับ มาทำการบันทึกน้ำนักสดส่วนราก พบว่า

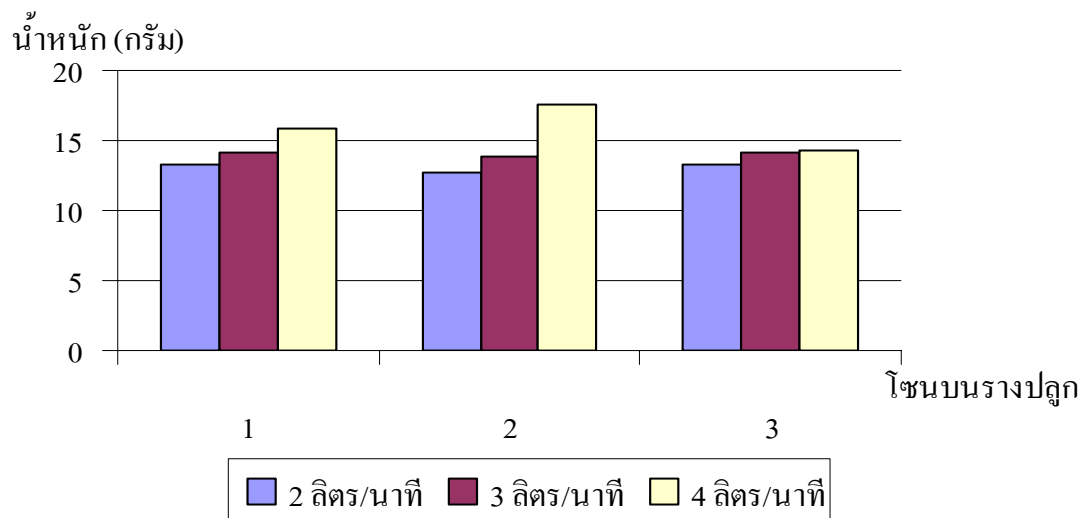
น้ำนักสดส่วนรากของผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน และที่ปลูกในโซนที่แตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 69)

3.5.4 น้ำนักแห้งส่วนยอด

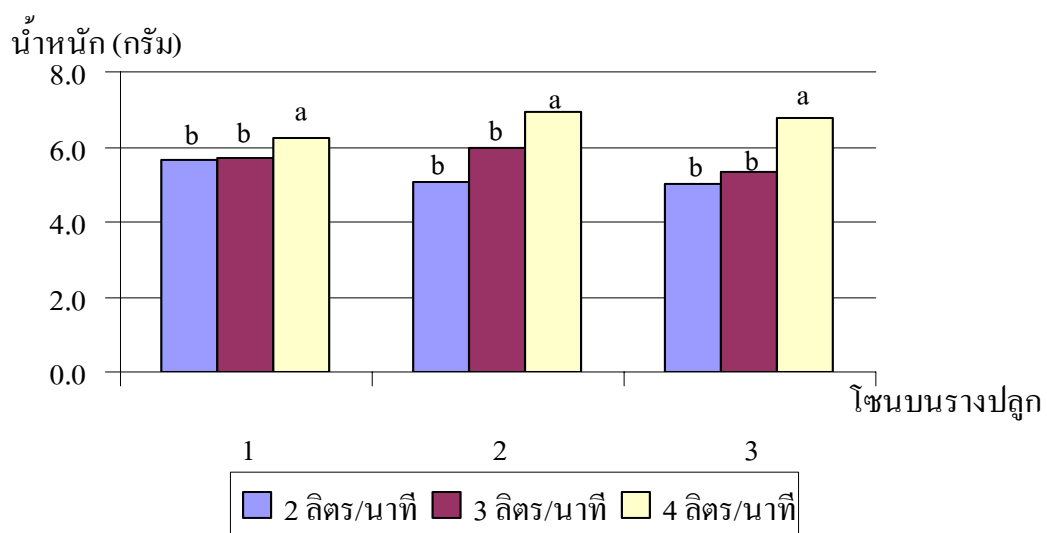
จากการสุ่มต้นผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ ทั้ง 3 โซนๆละ 6 เมตร บนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลที่แตกต่างกัน 3 ระดับ มาทำการบันทึกน้ำนักแห้งส่วนยอด พบว่า

เมื่ออัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT เพิ่มขึ้น มีผลให้น้ำนักแห้งส่วนยอดของผักกาดหอมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ 4 ลิตร/นาทึ มีน้ำนักสดส่วนยอดเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ ที่ 3 และ 2 ลิตร/นาทึ ตามลำดับ (ภาพที่ 70)

และเมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก พบว่าผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ ทั้งสามโซน มีน้ำนักแห้งส่วนยอดที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 70)



ภาพที่ 69 น้ำหนักสดส่วนราก (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกในโชนต่างๆ บนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลสารละลายที่แตกต่างกันเป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก



ภาพที่ 70 น้ำหนักแห้งส่วนยอด (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก

3.5.5 น้ำหนักแห้งราก

จากการสุ่มต้นผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ ทั้ง 3 โซนๆละ 6 เมตร บนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลที่แตกต่างกัน 3 ระดับ มาทำการบันทึกน้ำหนักแห้งราก พบว่า

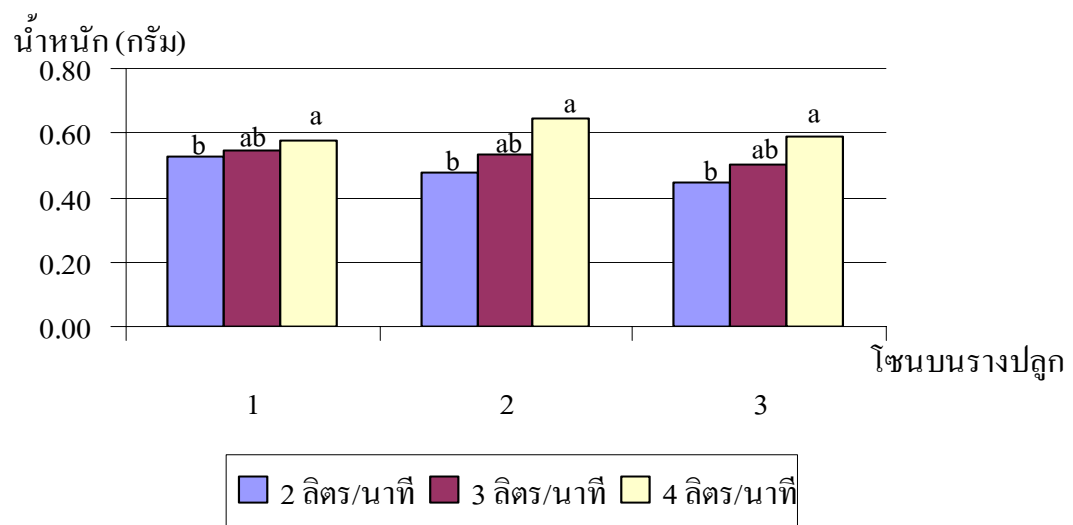
เมื่ออัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT เพิ่มขึ้น มีผลให้น้ำหนักแห้งส่วนรากของผักกาดหอมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่ 4 ลิตร/นาทึ มีน้ำหนักแห้งรากเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ ที่ 3 และ 2 ลิตร/นาทึ ตามลำดับ (ภาพที่ 71)

และเมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ บนรางปลูก พบว่าผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่างๆ ทั้งสามโซน มีน้ำหนักแห้งรากที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 71)

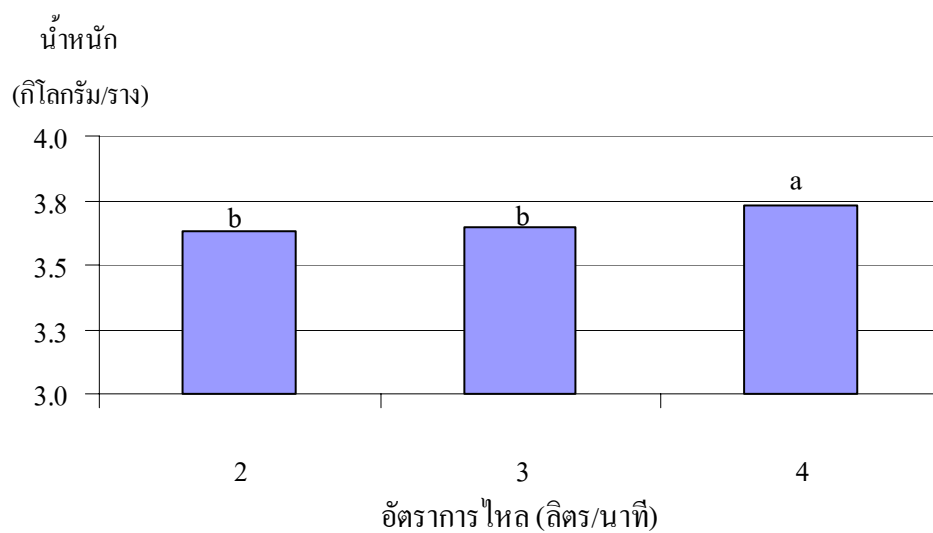
3.5.6 ผลผลิต

เมื่อเก็บเกี่ยวผักกาดหอมทุกต้นบนรางปลูก มาบันทึกน้ำหนักรวมเป็นผลผลิตต่อรางที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน และนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ พบว่า

ผลผลิตต่อรางของผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ที่มีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมื่ออัตราการไหลของสารละลายในรางปลูกเพิ่มขึ้น มีผลให้ผลผลิตรวมต่อรางปลูกมีค่าสูงขึ้น อัตราการไหล 4 ลิตร/นาทึ ให้ผลผลิตต่อรางมากที่สุด ที่ 3.7 กิโลกรัม/ราง รองลงมาคืออัตราการไหล 3 และ 2 ลิตร/นาทึ มีค่าเท่ากับ 3.6 และ 3.6 กิโลกรัม/ราง ตามลำดับ (ภาพที่ 72)



ภาพที่ 71 น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก



ภาพที่ 72 ผลผลิตรวม (กิโลกรัม/ราง) ของผักกาดหอมที่ปลูกบนรางปลูก NFT ความยาว 18 เมตร และมีอัตราการไหลแตกต่างกัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก

วิจารณ์

การทดลองที่ 1 ผลของความยาวรางปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูก โดยไม่ใช้ดินในระบบ NFT

ในการศึกษาปลูกผักกาดหอมในระบบ NFT ที่มีความยาวรางปลูกที่แตกต่างกัน คือ 6 12 และ 18 เมตร ในสภาพโรงเรือนเปิด ที่มีอุณหภูมิในเวลากลางวันในช่วงของการศึกษาอยู่ระหว่าง 30 ถึง 39.3 องศาเซลเซียส และพบว่าปริมาณออกซิเจนในสารละลาย อุณหภูมิของสารละลายในรอบวัน และการเจริญเติบโตของต้นผักกาดหอม มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โดยพบว่าในช่วงเวลากลางวัน ตั้งแต่เวลา 9.00 จนถึง 15.00 น. ในทุกความยาวรางปลูก ปริมาณออกซิเจน สารละลาย มีแนวโน้มลดลง จากหัวรางไปยังปลายราง และพบว่าที่บริเวณปลายรางของความยาว 18 เมตร มีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าที่ปลายรางยาว 6 และ 12 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะในช่วงหลังของปลูก คือ ที่อายุ 2 – 4 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก น่าจะเกิดจากการที่รากของต้นผักกาดหอมซึ่งอยู่ในรางปลูกมีการใช้ออกซิเจนจากสารละลายที่ไหลผ่าน จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงจากหัวรางไปยังปลายราง สอดคล้องกับอิทธิสุนทร (2542) ที่กล่าวว่าปริมาณออกซิเจนที่ตำแหน่งหัวรางและท้ายรางปลูก NFT ยาว 18 เมตร ซึ่งปลูกแตงกวามีความแตกต่างกันถึง 3 ppm แต่ในการทดลองนี้เป็นการปลูกผักกาดหอมซึ่งมีอัตราการใช้ออกซิเจนของรากที่น้อยกว่า จึงพบความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนระหว่างหัวรางและปลายรางเพียงไม่เกิน 1 ppm และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนในสารละลายระหว่างรางปลูกที่ยาวต่างกัน พบว่าที่ปลายรางปลูกความยาว 18 เมตร มีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าที่ปลายรางปลูก 6 และ 12 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะในช่วงสองสัปดาห์สุดท้าย ทั้งนี้จะเป็นเพราะในรางปลูก 18 เมตร มีจำนวนต้นผักกาดหอมในรางมากกว่าของที่มีความยาวราง 6 และ 12 เมตร ดังนั้น เมื่อผักกาดหอมเจริญเติบโตและมีขนาดใหญ่มากขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 จึงมีการใช้ออกซิเจนในรางปลูกที่เพิ่มขึ้นจนทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายของรางปลูก 18 เมตรลดลงมากเมื่อเทียบกับรางปลูกความยาว 6 และ 12 เมตร

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสารละลายในรางปลูก NFT ที่มีความยาวรางแตกต่างกัน ในระหว่างการปลูกผักกาดหอม เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสารละลายในรางปลูกขึ้นกับช่วงเวลาที่ทำการบันทึก โดยที่เวลา 9.00 น. เป็นเวลาที่อุณหภูมิของอากาศใน

โรงเรือนยังไม่สูง (ต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิสารละลายที่หัวรางและปลายรางมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่เวลา 12.00 น และ 15.00 น. เมื่ออุณหภูมิของอากาศในโรงเรือนเริ่มสูงขึ้น พบว่าอุณหภูมิของสารละลาย ที่หัวรางปลูกมีเริ่มต้นสูงตามอุณหภูมิของอากาศ และเมื่อไหลผ่านไปยังปลายราง กลับพบว่าอุณหภูมิที่ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ของการปลูก ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะว่าที่เวลา 12.00 และ 15.00 อากาศในโรงเรือนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้สารละลายในถัง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ตั้งอยู่บนพื้นโรงเรือน มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อสารละลายถูกปั๊มมายังหัวรางจึงพบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของสารละลายจึงมีค่าสูงก่อนไหลผ่านราง แต่ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 เมื่อผักกาดหอมในรางปลูก เริ่มมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงมีทรงพุ่มที่ช่วยบังแดดให้กับรางปลูก จึงทำให้รางปลูกได้รับแสงน้อยลง และมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสารละลายเริ่มต้น ดังนั้นเมื่อสารละลายไหลผ่านรางและผ่านคันผักกาดหอมที่ปลูกอยู่ในรางไปยังปลายราง จึงอาจเกิดการถ่ายความร้อนให้กับรางปลูก และรากของผักกาดหอม ส่งผลให้เมื่อสารละลายไหลถึงบริเวณปลายราง อุณหภูมิสารละลายจึงมีค่าที่ลดลงได้ และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายบนรางปลูกที่มีความยาวต่างกันพบว่า ส่วนการที่พบว่าอุณหภูมิสารละลายของรางปลูกที่มีความยาวมากกว่า มีค่าต่ำกว่าในรางปลูกที่สั้นกว่า ในช่วงเวลา 12.00 และ 15.00 น. น่าจะเป็นเพราะว่า เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ ในทุกระดับความยาวรางใช้ถังสารละลายที่มีขนาดเท่ากัน แต่เมื่อรวมกับปริมาณน้ำในรางปลูก ทำให้รางปลูกที่มีความยาวมากกว่ามีปริมาณน้ำหมุนเวียนที่มากกว่า การเพิ่มของอุณหภูมิในสารละลายในถังจึงเกิดขึ้นได้ช้า ทำให้พบว่าอุณหภูมิสารละลายในรางปลูกที่มีความยาวมากกว่าจึงต่ำกว่าของรางปลูกที่มีสั้นกว่า

สำหรับการเจริญเติบโตซึ่งพบว่าผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูกที่สั้นกว่ามีการเจริญเติบโต ในทุกๆ ด้านที่ดีของรางปลูกที่ยาวกว่า คือผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก ความยาว 6 เมตร มีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ที่ปลูกในรางปลูกยาว 12 และ 18 เมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากเหตุผล 2 ประการ คือ ประการแรกจากการที่รางปลูก ความยาว 6 เมตร มีปริมาณออกซิเจนในสารละลายที่มากกว่าในรางปลูก 12 และ 18 เมตร โดยเฉพาะในช่วง 2 สัปดาห์หลังของการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นช่วงที่ผักกาดหอมมีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วกว่าในช่วง 2 สัปดาห์แรก ส่วนของรากจึงมีความต้องการใช้ออกซิเจนมากกว่าในช่วงแรก การที่ผักกาดหอมในรางปลูก 6 เมตร ได้รับปริมาณออกซิเจนในสารละลายที่มากกว่า ส่งผลสามารถดูดน้ำและอาหารได้ดีกว่า จึงทำให้ขนาดทรงพุ่ม น้ำหนักสดยอด น้ำหนักสดราก และผลผลิตต่อโชนปลูกของผักกาดหอมที่ปลูกในโชน 1 บนรางปลูก 6 เมตร มีค่ามากกว่า โชน 2 3 บนรางปลูก 12 เมตร และ 4 5 และ 6 บนรางปลูกยาว 18 เมตร ตามลำดับ และเหตุผลประการที่สอง อาจเป็นไปได้ว่าเกิดจากอิทธิพลของ

ประชากรต้นผักกาดหอมในรางปลูกที่มีไม่เท่ากัน แต่ปลูกเลี้ยงโดยใช้ถังสารละลายขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น ปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยต่อต้นผักกาดหอมในรางปลูก ความยาว 6 เมตร จึงมีมากกว่าของรางปลูก 12 และ 18 เมตร แม้ว่าจะมีการควบคุมค่าความเข้มข้นสารละลายในถังของโต๊ะปลูกทั้ง 3 ความยาวให้เท่ากันและคงที่ในตอนเช้าของทุกวัน แต่อาจเป็นไปได้ว่าในสัปดาห์หลังของการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นช่วงที่ผักกาดหอมกำลังเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีการดูดใช้ธาตุอาหารเป็นปริมาณมาก ปริมาณธาตุอาหารในถังสารละลายของรางปลูกที่มี ความยาวมากกว่าและมีจำนวนประชากรมากกว่า จึงอาจลดลงได้เร็วกว่าในถังของรางปลูกที่สั้นกว่า จึงทำให้ผักกาดหอมตกอยู่ในภาวะที่ได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอในช่วงระหว่างวันก่อนถึงเวลาการปรับความเข้มข้นของธาตุอาหารในวันต่อไป ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของการเจริญเติบโต

การทดลองที่ 2 ผลของความลาดเอียงของรางปลูก ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินในระบบ NFT

ในการปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ยาว 18 เมตร อัตราการไหลสารละลาย 2 ลิตร/นาที่ และมีความลาดเอียงของราง ที่แตกต่างกันคือ 2 2.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าในช่วงอายุ 3 – 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น แต่มีค่าลดลงจากหัวรางมายังท้ายรางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความลาดเอียงของรางปลูกไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิสารละลาย แต่อุณหภูมิสารละลายมีค่าลดลงจากหัวรางมายังท้ายรางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วงเวลา 12.00 – 15.00 น. และพบว่าสารละลายที่บริเวณปลายรางมีความหนาที่มากกว่าที่ต้นราง และเมื่อความลาดเอียงเพิ่มขึ้นทำให้สารละลายที่ปลายรางมีความหนาเพิ่มขึ้น

ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากการเพิ่มความลาดเอียงของรางปลูกมีผลให้สารละลายรางปลูกมีการเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น (Lennard, 1999) ดังจะเห็นว่าความหนาของสารละลายบริเวณปลายรางเพิ่มขึ้น เพราะเกิดจากการสะสมของสารละลายบริเวณช่องทางออกปลายรางที่ระบายไม่ทัน

และการที่พบว่าปริมาณออกซิเจนรางปลูกที่มีความลาดเอียงสูงกว่ามีมากกว่ารางปลูกที่มีความลาดเอียงต่ำกว่า จึงน่าจะเป็นเพราะ เมื่อสารละลายมีการเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในรางจึงมีสารละลายที่ผ่านการเติมอากาศใหม่มาทดแทนได้รวดเร็วขึ้น แม้ว่าจะถูกรากนำไปใช้แต่ก็ยังคงเหลือมากกว่าในรางที่มีความลาดเอียงต่ำกว่า ส่วนการที่พบความแตกต่างทางสถิติในช่วง

สัปดาห์ 3 และ 4 ของการเติบโต นั้น น่าจะเป็นเพราะในช่วงนี้ ผักกาดหอมเริ่มมีขนาดใหญ่และมีรากจำนวนมากขึ้นอยู่ในรากปลูก เกิดเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของสารละลาย ในรากปลูกที่มีความลาดเอียงต่ำ เมื่อสารละลายเคลื่อนที่ได้ช้าลง ส่งผลให้มีสารละลายที่ผ่านการเติมออกซิเจนใหม่ มาทดแทนได้ช้าลง ปริมาณออกซิเจน ณ จุดต่างๆ รากหลังจากถูกรากนำไปใช้จึงเหลือน้อยลง ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนเฉลี่ยของรากปลูกที่มีความลาดเอียงต่ำ เหลือน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับรากปลูกที่มีความลาดเอียงสูงกว่า

ส่วนการที่อุณหภูมิสารละลายบริเวณปลายรากมีค่าลดลงจากหัวรากน่าจะเกิดจากเหตุผลเดียวกับที่พบในการทดลองที่ 1 และอาจรวมกับการที่บริเวณปลายราก สารละลายมีความหนาเพิ่มขึ้น จึงทำให้สารละลายบริเวณปลายรากร้อนช้ากว่าบริเวณหัวรากที่สารละลายบางกว่า ส่วนการลดลงของออกซิเจนในสารละลายจากหัวรากมายังปลายราก ก็น่าจะเกิดจากการที่รากผักกาดหอมใช้ไปเมื่อสารละลายไหลผ่านราก เช่นเดียวกับเหตุผลในการทดลองที่ 1

สำหรับความแตกต่างของการเจริญเติบโตที่พบว่าผักกาดหอมที่ปลูกในรากปลูก NFT ที่มี ความลาดเอียงต่างกัน มีการเจริญเติบโตที่ต่างกัน โดยการปลูกในรากปลูกที่มีความลาดเอียง 3 เปอร์เซ็นต์ ให้ของความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสดยอด น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งยอด น้ำหนักแห้งราก ภายหลังการเก็บเกี่ยวที่อายุ 4 สัปดาห์ สูงที่กว่าความลาดเอียงที่ 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่พบความแตกต่างของการเจริญเติบโตระหว่างโซนปลูกทั้ง 3 โซน (หัว กลาง และปลายราก) น่าจะเป็นเพราะความลาดเอียง 3 เปอร์เซ็นต์ ให้การเคลื่อนที่ของสารละลายในรากปลูกได้ดีกว่า รากพืชจึงได้รับออกซิเจนจากสารละลายได้มากกว่าการปลูกในความลาดเอียงที่ต่ำกว่า Schwarz (1995) กล่าวว่า การหมุนเวียนของสารละลายในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน มีความสำคัญอย่างมากในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพราะเป็นวิธีการหลักที่ช่วยนำออกซิเจนไปสู่รากได้ ส่วนการแพร่ของออกซิเจนในน้ำไปสู่รากนั้นเกิดขึ้นได้น้อยมาก หรือไม่เกิดเลย อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนในสารละลายของความลาดเอียง 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับที่ 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีเพียงไม่ถึง 1 ppm ซึ่งความแตกต่างระดับนี้ ก็พบในระหว่างตำแหน่งต่างๆ ในรากปลูก ซึ่งให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น การได้รับปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นของรากพืชในรากปลูกที่มีความลาดเอียงสูงกว่า อาจไม่ใช่เหตุผลเพียงอย่างเดียวที่ทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการทดลองครั้งนี้ แต่อาจเป็นไปได้ว่า การที่สารละลายธาตุอาหารในรากปลูกที่มีความลาดเอียงสูงกว่านอกจากจะให้การไหลเวียนของ

สารละลายในรางปลูกได้ดีขึ้นแล้ว อาจช่วยให้รากพืชได้รับธาตุอาหารที่ต้องการได้รวดเร็วและมากขึ้นด้วย (Morgan, 1999) จึงส่งผลให้มีการเจริญเติบโตในทุกๆด้านได้ดีกว่า

การทดลองที่ 3 ผลของอัตราการไหลของสารละลายที่มีต่อการเจริญของผักกาดหอมที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินในระบบ NFT

ในการปลูกผักกาดหอมในรางปลูก NFT ยาว 18 เมตร โดยใช้ความลาดเอียงที่ 3 เปอร์เซนต์ และเปรียบเทียบการใช้อัตราการไหลของสารละลายที่แตกต่างกันที่ 2 3 และ 4 ลิตร/นาที่ ซึ่งพบว่าปริมาณออกซิเจนในสารละลาย อุณหภูมิสารละลาย และการเจริญเติบโตของผักกาดหอม มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลของสารละลายเพิ่มขึ้น แต่มีค่าลดลงจากหัวรางไปยังปลายราง ในขณะที่อัตราการไหลไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายในราง แต่อุณหภูมิสารละลายมีค่าลดลงจากหัวรางไปยังท้ายรางในช่วง 12.00 – 15.00 น. ในขณะที่ความหนาของสารละลายในรางปลูกเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลของสารละลายเพิ่มขึ้น และที่บริเวณปลายรางมีความหนาของสารละลายที่มากกว่าที่บริเวณหัวราง

ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะอัตราการไหลของสารละลายที่ขึ้นช่วยเพิ่มการหมุนเวียนของสารละลายภายในรางได้ดีขึ้น (Lennard, 1999) ช่วยพาสารละลายที่ผ่านการเติมออกซิเจนใหม่จากในถังพักมายังรางได้เร็วขึ้น แม้ว่าออกซิเจนจะถูกใช้ไปโดยรากพืชตลอดเวลา แต่เนื่องจากมีสารละลายที่ผ่านการเติมอากาศใหม่ไหลมาทดแทนได้เร็วขึ้น จึงส่งผลให้ออกซิเจนในรางโดยเฉลี่ยมีมากกว่าในรางที่มีการไหลของสารละลายในอัตราที่ต่ำกว่า ส่วนการลดลงของออกซิเจนในสารละลายเมื่อไหลผ่านรางเกิดจากการใช้ของรากพืชในรางตามจำนวนต้นที่เพิ่มขึ้นจากหัวรางมายังท้ายรางนั่นเอง

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายที่เพิ่มขึ้นจากหัวรางมายังท้ายราง ในช่วง 12.00 – 15.00 น. และเห็นชัดเจนในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ของการปลูก ในลักษณะเดียวกับที่พบในการทดลองที่ 2 นั้น จึงน่าจะมาจากเหตุผลเดียวกัน คือ สารละลายในถังผสมที่ตั้งอยู่บนพื้นโรงเรือนมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามสภาวะอากาศในเวลากลางวัน แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ทรงพุ่มของต้นผักกาดหอมได้ปกคลุมรางปลูก ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง ทำให้รางมีอุณหภูมิไม่สูงเท่ากับสารละลายในถังพัก เมื่อสารละลายจากถังพักถูกปั๊มไหลผ่านรางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จึงถ่ายความร้อนให้กับราง จนสารละลายมีอุณหภูมิต่ำลงเมื่อไปถึงปลายราง และร่วมกับการที่สารละลายมี

ความหนาเพิ่มขึ้นจากหัวรากไปยังปลายราก จึงทำให้สารละลายที่ปลายรากมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นได้ช้ากว่าที่หัวราก

ส่วนในการเจริญเติบโตที่พบว่าอัตราการไหลของสารละลายที่เพิ่มขึ้นในรากปลูกทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมดีขึ้น น่าจะมาจากเหตุผลเช่นเดียวกับที่พบในการทดลองที่ 2 ที่ว่ารากผักกาดหอมในรากปลูกที่อัตราการไหลของสารละลายที่สูงกว่า ได้รับออกซิเจนและธาตุอาหารจากสารละลายได้มากกว่า (Morgan, 1999) จึงส่งผลให้มีการเจริญเติบโต ในทุกๆด้านได้ดีกว่า

สรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของความยาวรางปลูก ความลาดเอียงของรางปลูก และอัตราการไหลของสารละลายที่มีต่ออุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนในสารละลาย และการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินในระบบ NFT สรุปได้ว่า

1. ความยาวรางปลูก NFT มีผลต่อปริมาณออกซิเจนในสารละลาย โดยปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงตามความยาวรางที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้รากต้นผักกาดหอมที่อยู่ปลายรางได้รับปริมาณออกซิเจนในสารละลายน้อยกว่าต้นอยู่ด้านหัวราง
2. ไม่พบอิทธิพลของความยาวรางปลูก NFT ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายในราง
3. ต้นผักกาดหอมที่ปลูกในรางปลูก NFT ความยาว 6 เมตร มีการเจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาคือ ที่รางปลูกยาว 12 เมตร และ 18 เมตร ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของการเจริญเติบโตของต้นผักกาดหอมกรีนโอ๊คที่บริเวณต่างๆ บนรางปลูกที่มีความยาวเดียวกัน
4. ความลาดเอียงของรางปลูก NFT มีอิทธิพลต่อปริมาณออกซิเจนในสารละลายในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ของการปลูก โดยปริมาณออกซิเจนเฉลี่ยในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความลาดเอียงของรางปลูกเพิ่มขึ้น และพบว่าในทุกความลาดเอียง ปริมาณออกซิเจนมีค่าลดลงจากหัวรางไปยังปลายราง
5. ไม่พบอิทธิพลของความลาดเอียงของรางปลูก NFT ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายในราง
6. ผักกาดหอมกรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตดีที่สุดในการปลูกที่มีความลาดเอียง 3% รองลงมาคือ ความลาดเอียง 2.5 และ 2% ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่โซนต่างๆ กันบนรางปลูกเดียวกัน

7. อัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT มีอิทธิพลต่อปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ของการปลูก โดยปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของสารละลายในรางปลูกเพิ่มขึ้น และพบว่าในทุกอัตราการไหลของสารละลาย ปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีค่าลดลงจากหัวรางไปยังปลายราง

8. ไม่พบอิทธิพลของอัตราการไหลของสารละลายในรางปลูก NFT ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายในราง

9. ผักกาดหอมกรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตดีที่สุดที่สุดในรางปลูกที่อัตราการไหล 4 ลิตร/นาที่ รองลงมาคือ อัตราการไหลที่ 3 และ 2 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในโซนต่าง ๆ กันบนรางปลูกเดียวกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กองบรรณาธิการฐานเกษตรกรรม. 2541. รวมเรื่องผัก. โรงพิมพ์ บริษัท เอเชีย แปซิฟิก พรินติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ชัยฤกษ์ สงวนทรัพย์ากร. 2529. Soilless Culture การปลูกพืชในน้ำยา. วารสารพืชสวน. 20(3) : 10-14
- ดิเรก ทองอร่าม. 2542. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มนูญ ศิริनुพงษ์. 2544. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสู่การปฏิบัติในประเทศไทย. เจริญรัฐการพิมพ์.
- เมฆ จันทน์ประยูร. 2541. ผักสวนครัว. โรงพิมพ์แอล ที เพรส, กรุงเทพฯ.
- นพดล เรียบเลิศหิรัญ. 2538. การปลูกพืชไร้ดิน. สำนักพิมพ์รวีเจิว. กรุงเทพฯ.
- นิพนธ์ ไชยมงคล. ม.ป.ป. การปลูกพืชไร้ดิน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.
- ไพบูลย์ ประพฤกธรรม. 2538. ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช, น. (2) : 1-12. ใน การปลูกพืชในระบบไม่ใช้ดิน (Soilless Culture). ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- มนตรี คำชู. 2531. การปลูกพืชแบบไม่จ่อดิน. วิศวกรรมสาร มก. 2(4) : 85-100.
- ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์. 2534. ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. พรานนกการพิมพ์. กรุงเทพฯ.
- ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2546. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับสำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิทยา สุริยาภานนท์. 2523. อาหารและเครื่องปลูกของพืชสวน. เอกสารประกอบการสอน.

ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. สรีรวิทยาของพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สุมิตรา ภู่วโรดม. 2542. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชา

ปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง.

สุมิตรา ภู่วโรดม. ม.ป.ป. คู่มือการฝึกอบรม Hydroponics in practice. เฟรช การ์เด็น ไฮโดรโป

นิคส์ เซ็นเตอร์. กรุงเทพฯ.

สุนทร เรืองเกษม. 2540. ผักกินใบ. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

อรุณรักษ์ พ่วงผล. 2542. พืชผักสวนครัวเสริมรายได้. หจก.โรงพิมพ์อักษรไทย. กรุงเทพฯ.

อารักษ์ ชีรอำพน. 2544. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. สำนักวิชา

เทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538. การปลูกพืชไม่ใช้ดิน (Hydroponic). ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะ

เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2542. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชา

ปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง.

Benoit, F. 1992. Practical Guide for Simple Soilless Culture Techniques : Ecology Agronomy

Economy. European Vegetable R&D Center, Belgium.

- Bird, I.F. , H.C. Ruck. 1956. Comparative Physiology of Apple Root Stocks. II. The Effect of pH and Aeration on the Growth of Malling Apple Rootstocks in Water Cultures. *Ann. Bot.*, Lond. 20 : 533.
- Chaimongkul, N. n.d.a, Soilless Culture. Maejo University, Chiang Mai, (in Thai) Cited Park *et al.* 1995. The effect of nutrient solution temperature on the absorption of water and minerals in leaf vegetables. *Journal of Korean society for Horticultural Science.* 36(3)309-316.
- Chaimongkul, N. n.d.b, Soilless Culture. Maejo University, Chiang Mai, (in Thai) Cited Kao, Te Chen. 1988. The efficiency of DRF hydroponic system in tropical area- A comparison with shinwa equivalent exchange system. International symposium on high Tecnology in protected cultivation. Hamamatsu. Japan.
- Curtis, D.S. 1949. Nitrite Injury on Avocado and Citrus Seedling in Nutrient Solution. *Soil Sci.* 68 : 441.
- Davtyan, G. S. 1980. Classification of hydroponic method of plant production, pp. 45-52. *In* ISOSC Proceedings. Fifth International Congress on Soilless Culture.
- Douglus, J.S. 1985. Advance Guide to hydroponics. New edition. Palham Books, London England.
- Grineva, G.M. 1961. Excretion by Plants Roots during Brief Periods of Anaerobiosis. *Fiziol. Rast.* 8 : 686.
- Hewitt, E. J. 1966. Sand and Water Culture Methods Used in the Study of Plant Nutrition. Commonwealth Agricultural Bureaux Farnham Royal. Bucks. England.

- Hurd, R.G. 1978. The root and its environment in the nutrient film technique. *Acta Hort.* 82 : 87-97 p.
- Jones, J. B. 1997. *Hydroponics : A Practical Guide for the Soilless Grower*. St. Lucie Press, Florida.
- Lennard, S. 1999. Hydroponic system engineering, p57-62. *In* L. Morgan, ed. *Hydroponic Lettuce Production : A comprehensive, Practical and Scientific Guide to Commercial Hydroponic Lettuce Production*. Casper Publications Pty Ltd., New South Well.
- Noggle, R.G. and G.I. Fritz. 1977. *Introductory Plant Physiology*. Private limited. New Delhi. 688 p.
- Morgan, L. 1999. *Hydroponics Lettuce Production : A Comprehensive, Practical and Scientific Guide to Commercial Hydroponic Lettuce Production*. Casper Publications Pty Ltd , NSW 2101.
- Olsen, C. 1950. The significance of concentration for the rate of Ion absorption by higher plants in water culture. *Physiol. Plant.* 3 : 152.
- Pepkowitz, L.P. and Shive, J.W. 1944. The Importance of oxygen in the nutrient substrate for plants. *Soil Sci.* 57 : 143.
- Resh H. M. 1978. *Hydroponic Food Production*. Woodbridge Press Publishing Company, Santa Barbara, California. 287 p.
- Vestergaard, B. 1984. Oxygen supply to the roots in different hydroponic systems. *ISOSC Proceedings*.

Savage, A. J. 1985. Hydroponics Worldwide : State of the Art in Soilless Crop Production.

International Center for Special Studies, Inc., Honolulu, Hawaii. 194 p.

Schwarz, M. 1995. Soilless Culture Management. Spriger-Verlag. Berlin Heidelberg. 197 p.

Shive, J.W. 1941. The Balance of ions and oxygen tention in the nutrient. Soil Sci. 51 : 445.

Shoemaker, J.B. 1949. Salad Crop & Vegetable Growing. John wiled & Sons, Inc. New York.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ชนิดปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น (Stock Solution) สูตร
Resh tropical dry summer ดัดแปลง

สารเคมี	สูตรเคมี	ความเข้มข้นที่ 50 เท่า (มก./ลิตร)
<u>ธาตุอาหารหลักและรอง</u>		
<u>Stock A</u>		
แคลเซียมไนเตรท	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1475.94
<u>Stock B</u>		
โพแทสเซียมไนเตรท	KNO_3	323.55
โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต	KH_2PO_4	272.18
แมกนีเซียมซัลเฟต	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	369.72
<u>จุลธาตุอาหาร</u>		
เหล็กคีเลต	FE-EDTA	23.6
กรดบอริก	H_3BO_3	2.86
แมงกานีสซัลเฟต	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2.11
ซิงค์ซัลเฟต	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.22
คอปเปอร์ซัลเฟต	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.08
แอมโมเนียมโมลิบเดต	$(\text{NH}_4)_2 \text{Mo}_2\text{O}_7$	0.025