

สูตรอาหารพืชและระบบที่เหมาะสมในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน



พัชรินทร์ พุทธฤทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากร

การเกษตรและสิ่งแวดล้อม

โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2548

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่อง

สูตรธาตุอาหารพืชและระบบที่เหมาะสมในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

โดย

พัชรินทร์ พุทธฤทธิ

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. อานันท์ ตันโช)

วันที่ 27 เดือน กพ พ.ศ. 2548

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ โนรี)

วันที่ 27 เดือน 9 พ.ศ. 48

กรรมการที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์บรรพต ตันติเสรี)

วันที่ 27 เดือน 10 พ.ศ. 48

หัวหน้าภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

(รองศาสตราจารย์บรรพต ตันติเสรี)

วันที่ 27 เดือน 10 พ.ศ. 48

โครงการบัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทองวุฒิ เพ็ชรประดับ)

รองประธานกรรมการโครงการบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 30 เดือน ก.ย. พ.ศ. 48

ชื่อเรื่อง สูตรธาตุอาหารพืชและระบบที่เหมาะสมในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
 ชื่อผู้เขียน นางสาวพัชรินทร์ พุทธฤทธิ์
 ชื่อปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตร
 และสิ่งแวดล้อม
 ประชานกรรมการที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.อานัฐ ตันโช

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรธาตุอาหารพืชและระบบที่เหมาะสมในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพิ่มผลผลิตและคุณภาพพืชผัก และส่งเสริมให้มีการใช้ปัจจัยการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับผักกาดหอมพันธุ์โอ๊คลิฟเขียว โดยได้ทำการทดลองใน 3 พื้นที่ คือ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย และสถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ ให้ผลการทดลองดังนี้

การทดสอบที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) มี 10 ดำรับทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ กับ 3 ระบบคือ ระบบ NFT (Nutrient Film Technique) ระบบ DRF (Dynamic Root Floating) และระบบวัสดุปลูก (Substrate Culture) พบว่าระบบที่ให้การเจริญเติบโตและผลผลิตพืชแนวโน้มดีที่สุดคือระบบ NFT แต่พบว่าเป็นระบบที่มีอุปสรรคในการทำงานมากที่สุดในช่วงที่มีอากาศร้อน อุณหภูมิสูง และในกรณีที่เกิดแสงไฟฟ้าขัดข้อง ทำให้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตลดลงดังนั้นระบบที่เหมาะสมที่สุดคือ ระบบ DRF โดยผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนักและสูตรที่เหมาะสมคือปุ๋ยสูตร 26 และ 27

การทดสอบที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย วางแผนการทดลองแบบ RCBD มี 20 ดำรับทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ โดยปุ๋ยสูตร 21 - 30 ทดสอบกับระบบ NFT ปุ๋ยสูตร 31 - 36 ทดสอบกับระบบ Substrate และปุ๋ยสูตร 37 - 40 ทดสอบกับระบบ DRF พบว่า ในระบบ NFT ปุ๋ยสูตรที่ให้การเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดีที่สุดคือปุ๋ยสูตร 28 ระบบ Substrate ปุ๋ยสูตรที่ให้การเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดีที่สุดคือปุ๋ยสูตร 36 และระบบ DRF ปุ๋ยสูตรที่ให้การเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดีที่สุดคือปุ๋ยสูตร 40

การทดสอบที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ วางแผนการทดลองแบบ RCBD มี 3 ดำรับการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ คือปุ๋ยสูตร 1, 26 และปุ๋ยสูตร 27 ทดสอบกับ ระบบ DRF และระบบ DFT พบว่า ทั้ง 2 ระบบให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสภาพพื้นที่ มีอากาศหนาวเย็น

ตลอดปีและปัจจัยการผลิตอื่น ๆ เหมาะสมในการผลิต ปุ๋ยสูตรที่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดี
คือ ปุ๋ยสูตร 1



Title	Nutrient Formulation and Appropriate System in Soilless Culture
Author	Miss Phatcharin Pudhtharith
Degree of	Master of Science in Agricultural Resources and Environmental Management
Advisory Committee Chairperson	Dr. Arnat Tancho

ABSTRACT

The objectives of this research were 1) to find out appropriate nutrient formulations and systems in soilless culture; 2) to increase yield and quality of lettuce cv. green oak leaf; and 3) to encourage efficient use of factors of production of such crop. The experiments were conducted at three sites i.e. Maejo University, Nong Hoi Royal Project Development Center, and the Inthanon Royal Project Research Station.

At Maejo University, the Randomized Complete Block Design (RCBD) was used, with 10 treatments, each of which had 3 replications (nutrient formulation No. 21 - 30), of 3 hydroponic systems (NFT, DRF and Substrate culture). NFT was found to be the best hydroponic system for high yields and growth rate but it did not work well during the periods of high temperatures and electrical faults as it reduced the yields and growth rate. Therefore, the appropriate hydroponic system in tropical areas should be DRF as both systems gave similar yields and the best nutrient formulations were No. 26 and 27.

At Nong Hoi Royal Project Development Center, Randomized Complete Block Design (RCBD) was used, with 20 treatments, each of which had 3 replications. The nutrient formulations No 21 - 30 were tested with NFT, No. 31 - 36 with Substrate culture and No. 37 - 40 with DRF. The results showed that the nutrient formulation No. 28 gave the highest yield and growth rate in NFT, the nutrient formulation No. 36 in Substrate culture, and the nutrient formulation No. 40 in DRF.

At the Inthanon Royal Project Research Station, Randomized Complete Block Design (RCBD) was used, with 3 treatments, each of which had 3 replications. The nutrient formulations No. 1, 26 and 27 were tested with DRF and DFT hydroponic systems. The results

showed that both systems gave similar yields due to the cool throughout the year and appropriateness of other factors of production. The nutrient formulation No. 1 was found to be the best for high yields and growth rate.



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.อานัฐ ตันโช ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาความรู้ในการดำเนินการวิจัย และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ โนรี รองศาสตราจารย์บรรพต ตันติเสรี กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ภูสิต ปุ๊กมณี ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาพร้อมทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อมที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบพระคุณมูลนิธิโครงการหลวงที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอยและสถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการศึกษาวิจัย ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกฝ่ายภายในมูลนิธิโครงการหลวงที่ได้ให้ความรู้และคอยช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์ในการวิจัย จนการศึกษาเสร็จสิ้น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัว เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่ได้ให้กำลังใจและความช่วยเหลือตลอดการศึกษา

พัชรินทร์ พุทธฤทธิ

กันยายน 2548

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
สารบัญตารางภาคผนวก	(11)
สารบัญภาพภาคผนวก	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
ปัญหาของการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการศึกษา	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
ความหมายของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	3
ข้อดีของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	4
ข้อเสียของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	5
รูปแบบของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	6
ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	8
การจัดการระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	16
ผักกาดหอม	19
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	20
ชนิดและสายพันธุ์ผักกาดหอม	22
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	20
การทดลองที่ 1 การทดสอบสูตรธาตุอาหารและระบบที่เหมาะสมที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	23
การทดลองที่ 2 การทดสอบสูตรธาตุอาหารและระบบที่เหมาะสมที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย	25

	หน้า
การทดลองที่ 3 การทดสอบสูตรอาหารและระบบที่เหมาะสมที่ศูนย์พัฒนา โครงการหลวงอินทนนท์	27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	28
การทดลองที่ 1 การทดสอบสูตรอาหารและระบบที่เหมาะสมที่มหาวิทยาลัย แม่โจ้	29
วิจารณ์ผลการทดลองที่ 1	42
การทดลองที่ 2 การทดสอบสูตรอาหารและระบบที่เหมาะสมที่ศูนย์พัฒนา พืชผักโครงการหลวงหนองหอย	45
วิจารณ์ผลการทดลองที่ 2	57
การทดลองที่ 3 การทดสอบสูตรอาหารและระบบที่เหมาะสมที่สถานีวิจัย โครงการหลวงอินทนนท์	59
วิจารณ์ผลการทดลองที่ 3	67
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก ภาพการทดลอง	74
ภาคผนวก ข อุณหภูมิประจำวันของพื้นที่ทดลอง	77
ภาคผนวก ค ประวัติผู้วิจัย	81

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการปลูกพืชชั้นสูงทั่วไป และความเข้มข้นในเนื้อเยื่อพืชซึ่งจัดว่าเพียงพอ	17
2 แสดงคุณภาพน้ำมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับเตรียมสารละลาย	18
3 แสดงมูลค่าทางโภชนาการของผักกาดหอมหนัก 100 กรัม	21
4 ผลการเจริญเติบโตที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	31
5 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	32
6 ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ DRF ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	35
7 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ DRF ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	37
8 ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	40
9 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	41
10 ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ NFT ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย	47
11 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ NFT ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย	48
12 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ Substrate ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย	50
13 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ Substrate ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย	52
14 แสดงผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ DRF ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย	55
15 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ DRF ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย	56
16 แสดงผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ DRF ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์	60

- | | | |
|----|---|----|
| 17 | ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ DRF ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ | 62 |
| 18 | แสดงผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ DFT ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ | 64 |
| 19 | ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ DFT ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ | 66 |



สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	31
2 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยของผักกาดหอมระบบ NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	32
3 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	33
4 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ DRF ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	36
5 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ DRF ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	36
6 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ DRF ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	37
7 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	40
8 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	41
9 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	42
10 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ NFT ที่ศูนย์พัฒนาพืชผัก โครงการหลวงหนองหอย	47
11 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ NFT ที่ศูนย์พัฒนาพืชผัก โครงการหลวงหนองหอย	48
12 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ NFT ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวง หนองหอย	49
13 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ Substrate ที่ศูนย์พัฒนาพืชผัก โครงการหลวงหนองหอย	51
14 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ Substrate ที่ศูนย์พัฒนาพืชผัก โครงการหลวงหนองหอย	51
15 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ Substrate ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการ หลวงหนองหอย	52
16 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ DRF ที่ศูนย์พัฒนาพืชผัก โครงการหลวงหนองหอย	55
17 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ DRF ที่ศูนย์พัฒนาพืชผัก โครงการหลวงหนองหอย	56
18 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ DRF ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวง หนองหอย	57

ภาพ	หน้า
19 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ DRF ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์	61
20 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ DRF ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์	61 58
21 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ DRF ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์	62
22 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ DFT ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์	65
23 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ DFT ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์	65
24 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ DFT ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์	66

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวก ข	หน้า
1 แสดงอุณหภูมิประจำวันโดยเฉลี่ยของพื้นที่ทดลองทั้ง 3 แห่ง	78
2 แสดงต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นในแต่ละสูตรอาหาร	79



สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวก ก	หน้า
1 ลักษณะของต้นกล้าที่ใช้ปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	75
2 ผลผลิตผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	75
3 ผลผลิตผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DRF ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	75
4 การปลูกผักกาดหอมในระบบ Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	75
5 ลักษณะโรงเรือนที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้	75
6 ลักษณะรากสีขาวที่แข็งแรงสมบูรณ์	75
7 แปลงผลผลิตระบบ NFT ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย	76
8 แปลงผลผลิตระบบ DRF ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย	76
9 แปลงผลผลิตระบบ Substrate ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย	76
10 แปลงผลผลิตในสถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์	76
11 ลักษณะของสารละลาย A และสารละลาย B	76
12 การวัดค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย	76
ภาพผนวก ข	
1 แสดงต้นทุนการผลิตสูตรปุ๋ยต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง	80

บทที่ 1

บทนำ

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless culture) กำลังเป็นที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันเนื่องจากการตื่นตัวของผู้ที่ต้องการบริโภคผักที่มีคุณภาพดี ไม่มีการปนเปื้อนสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ระบบการปลูกพืชวิธีนี้มีปลูกในโรงเรือน และผลผลิตที่ได้มักมีรสชาติดีกว่าการปลูกในดินภายนอกโรงเรือนซึ่งพืชได้รับธาตุอาหารพืชครบและมีปริมาณเยื่อใย (Fiber) น้อยกว่าปกติ จึงทำให้นุ่มและหวานกว่าปกติและปลอดภัยจากการปนเปื้อนโรคและแมลง เนื่องจากดินเป็นแหล่งใหญ่แหล่งหนึ่งที่มีการสะสมของเชื้อโรคและแมลงต่าง ๆ

ในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว มีการพังทลายของดินสูง ขาดความอุดมสมบูรณ์ อุณหภูมิสูงขึ้น แห้งแล้ง ขาดแคลนน้ำ ทำให้การผลิตโดยอาศัยธรรมชาติ ไม่สามารถที่จะคาดหมายผลผลิตและคุณภาพได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาแนวทางการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพ โดยการควบคุมสภาพแวดล้อมและใช้ปัจจัยในการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ

การปลูกพืชไร้ดินเป็นแนวทางหนึ่ง ในการแก้ปัญหาดังกล่าวมาแล้ว แต่การศึกษาในด้านนี้มีน้อยมาก ส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูลจากต่างประเทศ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมแตกต่างจากประเทศไทย เช่น ในญี่ปุ่นมักนิยมใช้ระบบสารละลายน้ำลึก (Deep Floating Technique; DFT) ส่วนในไต้หวันนิยมระบบสารละลายไหลเวียนมีช่องว่างระหว่างน้ำกับอากาศพืชสามารถสร้างรากอากาศได้ (Dynamic Root Technique; DRF) ในแถบยุโรปนิยมใช้ระบบน้ำไหลเป็นแผ่นบาง ๆ (Nutrient Film Technique; NFT) สำหรับประเทศไทยการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินส่วนใหญ่ได้มีการนำเขาระบบและสูตรอาหารจากต่างประเทศ ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง อีกทั้งสูตรอาหารที่มาพร้อมกับระบบก็ไม่มี ความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการศึกษาและพัฒนาให้เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสม ง่ายต่อการนำไปปฏิบัติ และสามารถส่งเสริมเพื่อปลูกเป็นการค้าต่อไป

ปัญหาของการวิจัย

เป็นการศึกษาสารละลายธาตุอาหารพืชและระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่เหมาะสมต่อการผลิตผักในประเทศไทย โดยทดสอบในแปลงปลูกจริงก่อนนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิจัยสูตรอาหารและระบบที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย
2. เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพพืชผัก
3. เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ปัจจัยในการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ
4. เพื่ออนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ โดยเน้นการผลิตที่ใช้น้ำอย่างประหยัด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลในงานวิจัยสามารถนำไปใช้พัฒนาผลผลิตและคุณภาพพืชผัก ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดการเพิ่มรายได้ของเกษตรกร
2. เพื่อบริการสารละลายที่ใช้สำหรับปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แก่เกษตรกรและผู้สนใจในราคาถูก
3. อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม โดยการผลิตแบบประณีต ใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และใช้ปัจจัยการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ
4. ใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาหาสูตรอาหารและพัฒนาสูตรที่เหมาะสมสำหรับพืชที่เจริญในสภาพแวดล้อมในเขตร้อน จากแม่ปุ๋ยที่มีขายตามท้องตลาด เพื่อลดต้นทุนการผลิตผักในระบบที่ไม่ใช้ดิน
2. ศึกษากระบวนการปลูกพืชไร้ดินที่เหมาะสมในการผลิตพืชไร้ดินในประเทศไทย

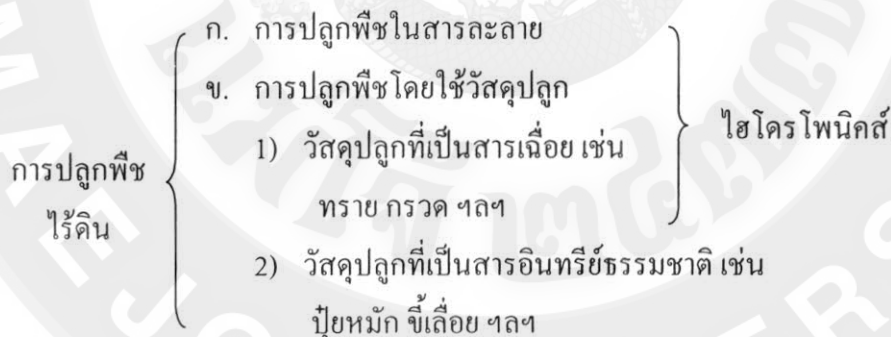
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ความหมายของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินหรือที่เรียกว่า การปลูกพืชด้วยสารละลาย (Hydroponics) มาจากภาษากรีก 2 คำคือ คำว่า “Hudor” หมายถึง น้ำ และ “Ponos” หมายถึง งาน ซึ่งเมื่อรวมคำ 2 คำเข้าด้วยกันความหมายก็คือ “water-working” หรือ “การปฏิบัติงานเกี่ยวกับน้ำ” แต่โดยความหมายจริง ๆ นั้นได้มีความหมายเกี่ยวข้องกับการใช้สารละลายหรือการใช้ปุ๋ยเคมีกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (ถวัลย์, 2534)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless culture) หรือที่ปัจจุบันนิยมเรียกทับศัพท์ในชื่อเทคนิคเฉพาะว่า ไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics) นั้นมีความแตกต่างกันอย่างไร ได้มีความพยายามให้คำจำกัดความทั้งคำว่า การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน และเรียกคำว่าไฮโดร โพนิกส์อยู่นาน แต่ในที่สุดก็ได้บทสรุปในระดับนานาชาติที่มีการประสานงานโดย องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) สรุปว่าความหมายของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีความหมายกว้างกว่าคำว่า ไฮโดรโพนิกส์ โดยให้แบ่งระบบการปลูกพืชไร้ดินออกเป็นดังนี้



โดยวัสดุปลูกนี้มีความหมายถึง สารที่ใช้เป็นที่คูดยึดของระบบรากพืช โดยสารนี้จะต้องไม่ใช้ดิน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ความหมายของไฮโดรโพนิกส์ ตามคำจำกัดความของ FAO ไม่ได้หมายถึงแค่การปลูกพืชในสารละลายอย่างเดียว การปลูกพืชบนวัสดุบางชนิด เช่น ทราย กรวด ร็อควูล์ ก็มีความหมายรวมถึงไฮโดรโพนิกส์ด้วยเช่นกัน (อานันท์, 2542)

ข้อดีของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน มีข้อดีดังนี้คือ

1. ใช้พื้นที่ ๆ มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างสูงสุด เพราะการปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิกส์นั้น รากพืชจะสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง ซึ่งแตกต่างจากการปลูกพืชบนดิน ที่รากพืชจะต้องคอยชอนไชหาอาหารเองฉะนั้นจึงไม่ต้องเว้นระยะห่างระหว่างแถวมากนัก อีกทั้งการปลูกระบบไฮโดรโปนิกส์หากมีแสงเพียงพอสามารถปลูกยกชั้นได้หลายชั้น (กองบรรณาธิการ, 2543)
2. สามารถปลูกซ้ำที่เดิมได้ โดยไม่ต้องกังวลเรื่องการสะสมของเชื้อสาเหตุการเกิดโรคในดิน เช่น โรครากเน่า โคนเน่า โรคเหี่ยว เป็นต้น เพราะอุปกรณ์ปลูกสามารถทำความสะอาดได้ง่าย แตกต่างกับการปลูกพืชบนดิน ซึ่งต้องไถตากดินไว้ประมาณ 7 วันขึ้นไป
3. ประหยัดค่าแรงในการดูแลรักษาแปลงเพราะการปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิกส์จะลดค่าแรงในการดูแลรักษาความสะอาดของแปลง เช่น ค่าแรงกำจัดวัชพืช ค่าแรงในการพรวนดิน ค่าแรงในการใส่ปุ๋ย เป็นต้น (โสระยา, 2544)
4. ประหยัดเวลาในการปฏิบัติงาน ไม่ต้องกังวลถึงเวลาจะลดน้ำ หรือคอยเปิด – ปิดน้ำที่จะคอยรดให้กับต้นพืช เพราะสารละลายธาตุอาหารจะสัมผัสกับรากพืชตลอดเวลา ไม่เกิดปัญหาของการให้น้ำมากเกินไป
5. ไม่มีค่าใช้จ่ายในการเตรียมดิน เช่น การไถดิน การพรวนดิน ซึ่งเป็นปัจจัยการผลิตที่ควบคุมด้วยตัวเกษตรกรเองไม่ได้ เพราะมีค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าแรงคนขั้บรด ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามฤดูกาลของการผลิตแต่ละท้องถิ่น
6. พืชจะเจริญเติบโตเร็วและให้ผลผลิตมาก เนื่องจากผู้ปลูกสามารถควบคุมปริมาณสารอาหารได้ดี อีกทั้งพืชสามารถนำสารอาหารไปใช้ได้โดยตรง พืชเจริญเติบโตเร็วกว่าที่ปลูกในดิน
7. ควบคุมปัญหาโรคพืชและแมลงได้ เนื่องจากการปลูกพืชไม่ใช้ดินจะไม่มี การสะสมของโรคและแมลงศัตรูพืชเหมือนกับการปลูกพืชในดิน เป็นการตัดวงจรของโรคและแมลงโดยตรง และยังช่วยลดการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้อีกด้วย ช่วยป้องกันการทำลายสภาพแวดล้อมอันเนื่องมาจากผลของการใช้สารพิษ
8. ลดปริมาณการใช้น้ำ ระบบไฮโดรโปนิกส์นี้จะลดการใช้น้ำลงได้อย่างมาก เพราะมีวิธีการจัดการให้น้ำแก่พืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ
9. ลดต้นทุนด้านการขนส่งสู่ตลาด เพราะการปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิกส์สามารถปลูกได้ทุก ๆ ที่ ถ้ามีการควบคุมระบบน้ำได้ดี เช่น การปลูกในร้านอาหาร อาคาร โรงเรียน โรงพยาบาล เป็นต้น

10. ให้ผลผลิตได้อย่างคงที่และสม่ำเสมอ (ถวัลย์, 2534) การปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิคส์ รากของพืชจะสัมผัสกับธาตุอาหารที่ควบคุมได้ตลอดเวลา

11. ไม่เกิดปัญหาวัชพืชอื่นมาแย่งอาหารจากพืชที่ปลูก (มนูญ, 2544)

12. ไม่เกิดการสะสมปุ๋ยทำลายดิน เนื่องจากปุ๋ยทุกชนิดจะยังคงอยู่ในน้ำยาไม่มีการถ่ายเทลงดิน (พรรณผกา, 2540)

13. เก็บรักษาผลผลิตไว้ได้นาน เพราะรากไม่บอบช้ำหลังจากถอนแล้วถ้าแช่อยู่ในน้ำตลอดเวลาจะเก็บได้นานถึง 5 – 7 วัน (กองบรรณาธิการ, 2541)

นอกจากผลดีดังกล่าวไว้แล้ว ก็ยังมีผลดีปลีกย่อยอื่นอีกในด้านสุขอนามัย เช่น ไม่ก่อให้เกิดปัญหากลั่นดินหรือส่งสกรปรกเป็นดินดินในพืชผลที่เก็บเกี่ยว รสชาติของพืชผัก ผลไม้มีความหอมหวาน กรอบ อร่อยกว่า จากการสร้างผลผลิตเหล่านี้สามารถทำได้ด้วยการลงทุนที่ไม่สูงนัก ซึ่งผู้ปลูกจะได้รับประทานพืชผักอนามัยเป็นการตอบแทนแต่ถ้าหากได้นำมาใช้ปลูกพืชที่เป็นยารักษาโรคในเชิงการค้าเพื่อทำยาแล้วรับรองได้ว่าผลผลิตที่ได้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องตลอดปีและเป็นคู่แข่งที่สำคัญของการปลูกพืชในดิน วิธีนี้จึงเป็นทางเลือกอีกวิธีหนึ่งและเป็นความหวังใหม่ของผู้ที่ไม่มีที่ดินที่จะใช้เพาะปลูกพืช (ถวัลย์, 2534)

ข้อเสียของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรกค่อนข้างสูง ต้องลงทุนในด้านอุปกรณ์และโรงเรือน ถ้าปลูกเพื่อการค้าในระยะแรกอาจจะไม่คุ้ม แต่ในระยะยาวจะได้ผลคุ้มค่า (ถวัลย์, 2534)

2. ผู้ปลูกต้องมีพื้นฐานทางด้านปุ๋ยเคมี น้ำ สารวิทยาของพืช และเทคนิคการออกแบบเครื่องมือ อีกทั้งยังควรเป็นผู้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าในด้านนี้จึงจะปลูกพืชได้บรรลุถึงความสำเร็จได้ดี

3. ระบบนี้ต้องการการดูแลอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่อง จะปล่อยปละละเลยเหมือนเช่นที่ปลูกในดินไม่ได้ เพราะหากเกิดความผิดพลาดขึ้น ผลเสียหายจะมีมากกว่าการปลูกในดิน ดังกรณีต่อไปนี้

- ในบางกรณีมีความจำเป็นต้องใช้ปุ๋ย ความเสียหายอาจมีขึ้นได้ง่ายจากกรณีของไฟดับหรือปั้มน้ำเกิดขัดข้อง

- ถึงแม้การปรับหรือควบคุมธาตุอาหารเป็นไปได้สะดวกแต่อีกทางหนึ่งผลเสีย .ยจากการให้ธาตุอาหารน้อยหรือมากเกินไปอาจเกิดขึ้นได้ง่าย

4. ต้องเป็นผู้ที่มีประสบการณ์พอสมควรในการควบคุมดูแลต้องควบคุมดูแลอยู่อย่างสม่ำเสมอ หากไม่มีการจัดการที่ดีพออาจทำให้ผลผลิตมีการตกค้างของธาตุอาหารบางชนิด เช่น ไนโตรเจน ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (ดิเรก, 2542)

5. ถ้าปลูกด้วยระบบน้ำหมุนเวียน เมื่อพืชเป็นโรค เพียงต้นเดียวจะระบาดไปยังต้นอื่นทันทีและยากต่อการรักษา (วาริ, 2543)

รูปแบบของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถแบ่งได้หลายรูปแบบดังนี้

1. การปลูกพืชในสารละลาย (Solution culture)

1.1 ระบบ **Aeroponic** เป็นระบบที่รากพืชอิมมิดี้อย่างต่อเนื่องด้วยการพ่นสารละลายที่มีธาตุอาหารพืชเป็นระยะ ๆ โดยที่รากจะไม่จุ่มอยู่ในน้ำแต่รากจะชุ่มชื้นอยู่ตลอดเวลา แต่การลงทุนในด้านอุปกรณ์ค่อนข้างสูง (อานัฐ, 2542) การปลูกพืชด้วยวิธีนี้ ความชื้นจากการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารจะไปกระตุ้นให้รากพืชเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ภายใน 10 วัน และต้นพืชโดยเฉพาะพืชผักสามารถเจริญเติบโตเก็บเกี่ยวได้ภายในระยะเวลาเพียง 30 วัน (พรรณนิษฐ์, 2546) แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้อาจพบปัญหารากพืชแห้งหรือปัญหาต่อการเจริญอย่างอื่นได้หากไม่มีการศึกษาและควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมสำหรับชนิดพืช (ทักษพงษ์, 2545)

1.2 ระบบ **Nutrient Film Technique (NFT)** เป็นระบบที่ปล่อยให้สารละลายหมุนเวียนผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางโดยมีการหมุนเวียนสารละลายตลอดเวลา (นิพนธ์, 2542) หนาประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตรเป็นระบบที่นิยมกันมากในระบบการผลิตแบบอุตสาหกรรมโดยระบบนี้ได้ผ่านการวิจัยและพัฒนามาจาก Dr. Cooper (อานัฐ, 2542) แต่ระบบนี้มีข้อเสียคือ จะต้องใช้ต้นทุนสำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ และการบำรุงรักษาเครื่องมือ ประกอบกับความรู้ความเข้าใจการทำงานของระบบด้วย การทำงานของระบบนี้มีอุปกรณ์ไฟฟ้ามาเกี่ยวข้องจึงเหมาะกับท้องที่ที่มีความสะดวกและไม่มีปัญหาไฟฟ้าขัดข้องเกิดขึ้น (สุรินทร์, 2542)

1.3 ระบบ **Deep Floating Technique (DFT)** เป็นระบบที่ปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายลึกประมาณ 15 - 20 เซนติเมตร ระบบนี้ไม่มีความลาดเอียง เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลายโดยการใช้ปั๊มดูดสารละลายขึ้นมาในระบบเพื่อการหมุนเวียนเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ ระบบนี้ใช้ในการผลิตผักในรูปอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น (Kao, 2546)

1.4 ระบบ **Dynamic Root Floating Technique (DRF)** เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมาใน ไต้หวันในปี ค.ศ. 1988 และเป็นระบบที่ใช้แพร่หลายในหลายประเทศ เช่น จีน สิงคโปร์ ไทย พิจิ ส่องกง และมาเลเซีย ระบบมีการไหลเวียนของสารละลายธาตุอาหารพืชโดยปล่อยให้มีความว่าง

ระหว่างรากและอากาศเพื่อให้รากพัฒนารากอากาศขึ้นมา ทำให้พืชได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ไม่เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนในกรณีที่อุณหภูมิของสารละลายสูงเกินไปจึงเป็นระบบที่มีความเหมาะสมในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน (Kao, 2546)

2. การปลูกในวัสดุปลูก (Substrate culture)

2.1 วัสดุปลูกที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic substrate) เป็นวัสดุที่ได้มาจากธรรมชาติ เช่น ขี้เลื่อย แกลบ ถ่าน เปลือกไม้ ฮิวมัส ปุ๋ยหมักต่าง ๆ เป็นต้น

2.2 วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์ (Inorganic substrate) ใช้วัสดุที่เป็นทราย กรวด เป็นต้น (มนูญ, 2534)

การเลือกใช้วัสดุปลูกแบบใดจะต้องคำนึงถึงคุณภาพ เมื่อต้องใช้วัสดุปลูกแทนดิน วัสดุที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติแทนดินได้ เช่นมีขนาดที่เหมาะสม ไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป มีความพรุน สามารถอุ้มน้ำได้พอสมควร ขณะเดียวกันต้องระบายน้ำได้ดีเพื่อให้มีช่องว่างอากาศ มีความเป็นกลางไม่เป็นกรดหรือด่างมากเกินไป และไม่เป็นพิษต่อพืช (กระบวน, 2542)

พรหมมาศ และคณะ (2541) ศึกษาการปลูกแตงกวายุโรปพันธุ์ Suprami และ Bonami ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินบนวัสดุปลูก 3 ชนิด คือ ขุยมะพร้าว, Polyurethane foam และ Rockwool โดยใช้สารละลายหุมนเวียน พบว่า แตงกวายุโรปทั้ง 2 พันธุ์ที่ปลูกในขุยมะพร้าวจะมีการเจริญเติบโต และน้ำหนักเฉลี่ยของผลที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ Polyurethane foam และ Rockwool ให้น้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย 416.4, 371.4 และ 350 กรัม ตามลำดับและในพันธุ์ Bonami เท่ากับ 419.2, 386.2 และ 367.7 กรัม ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

สุรเดช และผกาทิพย์ (2545) ศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตของแตงเทศที่ปลูกในดินและระบบไร้ดิน พบว่า การเจริญเติบโตระยะเวลาดังแต่ปลูกถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต รวมทั้งขนาดและน้ำหนักของผลแตงเทศที่ปลูกในระบบไร้ดิน แต่คุณภาพของผลแตงเทศที่ปลูกในระบบไร้ดินจะดีกว่าการปลูกในดินทั้ง 2 วิธี อาจเป็นเพราะความชื้นในวัสดุปลูกของระบบไร้ดินในระยะก่อนการเก็บเกี่ยวสูงเกินไปทำให้คุณภาพผลผลิตลดลง

กระบวน และเอกสิทธิ์ (2542) ทดลองปลูกผักกาดหอม คื่นฉ่าย และผักชี โดยไม่ใช้ดินที่สวนจิตรลดา โดยปลูกผักกาดหอม และ คื่นฉ่าย ด้วยระบบไฮโดร โพนิกส์พืชละ 3 รุ่น สลับกันในระหว่างเดือนมิถุนายน 2534 และ พฤษภาคม 2535 และปลูกผักชีในแปลงทำด้วยตาข่าย ในล่อนบรรจุทรายในระหว่างเดือน มกราคม และ กุมภาพันธ์ 2536 ได้ผลดังนี้ผลผลิตเฉลี่ย น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมเท่ากับ 4.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร, 56.67 และ 7.04 กรัมต่อดัน ของคื่นฉ่ายเท่ากับ 7.81 กิโลกรัมต่อตารางเมตร, 31.37 และ 5.31 กรัมต่อดัน ของผักชีเท่ากับ

2.95 กิโลกรัมต่อตารางเมตร, 22.75 และ 2.09 กรัมต่อดัน ต้นทุนการผลิตโดยประมาณในการปลูกผักกาดหอม ขึ้น่าย และผักชี 1 ตารางเมตรเท่ากับ 38.48, 70.64 และ 35.3 บาท ตามลำดับ

อภิรักษ์ (2540) ศึกษาวัสดุอินทรีย์เป็นวัสดุปลูกพืชในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยใช้ ขุยมะพร้าว กากขานอ้อย ถ่านแกลบหยาบ ขี้เลื่อย และถ่านแกลบละเอียด ทดสอบกับผักกาดหอม ภายใต้โรงเรือน พบว่า การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในวัสดุปลูกต่างชนิดกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ วัสดุที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด คือ ขุยมะพร้าวความหนาแน่นต่ำ ปานกลาง และสูง คือ 410.37, 399.51, 399.31 กรัมต่อดันต่อกระถางตามลำดับ รองลงมา คือ ถ่านแกลบหยาบความหนาแน่นสูง ปานกลาง และ ต่ำ คือ 360.61, 352.20, 350.95 กรัมต่อดันต่อกระถางตามลำดับ

วิจิตร (2535) ศึกษาการตอบสนองของแตงเทศต่อความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และวิธีการจัดการในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน พบว่าแตงเทศที่ปลูกในวัสดุปลูกขุยมะพร้าวผสมทรายในอัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตรให้ผลผลิตสูงสุดคือ 909.7 กรัมต่อผล

พิสมัย (2534) ศึกษาผลของเครื่องปลูก ชนิด อัตราและวิธีการให้น้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของแตงกวาในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน พบว่า การปลูกแตงกวาในแกลบผสมทราย อัตราส่วน 3 : 1 โดยปริมาตรมีแนวโน้มให้น้ำหนักสดของผลสูงสุด คือ 342.1 กรัม/ต้น เมื่อพิจารณาถึงชนิดและอัตราปุ๋ย พบว่า แตงกวาที่ได้รับธาตุอาหารพืชที่เตรียมจากสารเคมีมีแนวโน้มให้น้ำหนักสดของผล คือ 292.5 กรัม/ต้น สูงกว่าปุ๋ยเคมีทั่วไปคือ 181.4 กรัม/ต้น

ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

การปลูกพืชให้สำเร็จได้ก็ต้องรู้จักต้นพืชดีพอ ดังนั้นจำเป็นต้องทำความเข้าใจปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้ (มบุญ, 2534)

1. ปัจจัยด้านพันธุกรรม (Genetic)
2. ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environment)

1. ปัจจัยด้านพันธุกรรม (Genetic)

พันธุกรรมเป็นตัวบ่งบอกว่าพืชจะมีลักษณะเช่นไร เช่น ความสูง เตี้ย สี เป็นต้น ตามลักษณะของพืชนั้นๆ เราจึงต้องทำความรู้จักพืชที่เราปลูกว่ามีผลผลิตเป็นอย่างไร มีความทนทานต่อศัตรูพืชแค่ไหน ทราบอายุการเก็บเกี่ยว การตอบสนองต่อสภาพอากาศ ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองที่แตกต่างกัน เช่น ปวยเล้งชอบอุณหภูมิ 15 – 18.5 องศาเซลเซียส กระเทียมชอบอุณหภูมิ 12.5 – 24 องศาเซลเซียส แตงกวาและมะเขือเทศทนต่ออากาศร้อน แต่ในปัจจุบันมี

การพัฒนาสายพันธุ์พืชให้มีความทนทานต่อสภาพอากาศในเขตร้อน เช่น ผักกาดหอม กะหล่ำปลี บล็อกโคลี เป็นต้น

ด้านอายุการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชทำให้เกิดความแตกต่างในด้านความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารโดยปกติเมื่อพืชมีอายุมากขึ้นความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารจะแสดงต่อหน่วยน้ำหนักแห้งที่ลดลงซึ่งแสดงว่าเกิดจากการเงิองของสารละลาย

2. ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environment)

2.1 อุณหภูมิ มีผลต่อการสร้างและพัฒนาตาดอกและผล พืชแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่แตกต่างกัน อุณหภูมิมีผลต่อการพัฒนาของราก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกพืชในสารละลายโดยตรง อุณหภูมิของรากจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสารละลาย ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (โสระยา, 2544) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ระหว่าง 15 – 40 องศาเซลเซียส (กองบรรณาธิการ, 2543)

2.2 แสงสว่าง เป็นแหล่งพลังงานซึ่งพืชใช้ในการสังเคราะห์แสงเพื่อการสร้างแป้งและ น้ำตาล พืชที่ได้รับแสงสว่างที่เหมาะสมจะสามารถสร้างแป้งและน้ำตาลได้มาก พืชส่วนใหญ่จึงให้ผลผลิตในฤดูร้อนมากกว่า เพราะว่ามีแสงสว่างสูงมีช่วงวันที่ยาวนานซึ่งมีอิทธิพลควบคุมการออกดอกออกผลของพืช (กองบรรณาธิการ, 2543)

2.3 ความสูงของพื้นที่กับระดับน้ำทะเล สภาพทั่วไปของประเทศไทยความสูงของพื้นที่ไม่มีความแตกต่างกันกับการปลูกพืชมากนักแต่จะไปมีผลกับอุณหภูมิ เนื่องจากยิ่งสูงเท่าไรอุณหภูมิก็น้อยลง ทำให้สามารถปลูกพืชที่ชอบอุณหภูมิต่ำพืชที่ปลูกจึงมีความหลากหลายมากกว่าแต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสายพันธุ์เพื่อสามารถที่จะปลูกได้กว้างขึ้น (มัญญ, 2534)

2.4 ความชื้น เป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของพืช ถ้ามีความชื้นสูงหรือต่ำเกินไปจะมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช หากรากไม่สามารถดูดน้ำได้ทันกับอัตราการคายน้ำของพืชจะทำให้การเจริญเติบโตของพืชชะงักและเซลล์ของพืชไม่เต่งตึงเท่าที่ควร (อารักษ์, 2544) และมีผลต่อการระบาดของโรค นอกจากนี้ในสภาพที่มีความชื้นสูงเกินไปเกษตรกรผู้จะไม่สามารถแพร่ได้เท่าที่ควร ทำให้การติดผลลดลง (โสระยา, 2544)

2.5 ระดับปริมาณก๊าซในบรรยากาศ จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืชในโรงเรือนจะสามารถควบคุมปริมาณได้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดี ซึ่งเมื่อพืชได้รับออกซิเจนที่เพียงพอรากพืชจะมีสีขาวและมีรากฝอยมาก (อารักษ์, 2544)

2.6 ความเป็นกรดต่าง (pH) มีผลต่อการการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชด้วย เพราะพืชบางชนิดในเขตร้อนจะทนต่อสภาพเป็นกรดได้ดี เช่น แดงโม เป็นต้น ขณะที่พืชอากาศหนาวทนต่อสภาพความเป็นกรดน้อยกว่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตจะมีค่าอยู่ที่ 6.0 – 6.5 ถ้า pH เป็นด่างพืชจะดูดใช้ฟอสฟอรัสจะใช้ประโยชน์ได้ต่ำและธาตุรอง เช่น เหล็ก สังกะสี แมงกานีส จะอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ เช่นเดียวกันกับถ้า pH เป็นกรด ธาตุอาหารพืช เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม และ โมลิบดีนัมพืชจะดูดไปใช้ได้น้อยใช้ได้น้อย (ประสิทธิ์, 2541)

2.7 คุณภาพน้ำ น้ำมีความสำคัญมากในการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์ เนื่องจากพืชที่ปลูกได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ จากสารละลายธาตุอาหารซึ่งต้องใช้น้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ ถ้าน้ำมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ โรคจะแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว จำเป็นต้องมีการฆ่าเชื้อก่อนนำไปใช้ซึ่งอาจใช้คลอรีน (Cl⁻) หรือ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ หรือ แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ก็ได้ ถ้าน้ำขุ่นเนื่องจากมีสารแขวนลอย จะต้องกรองเอาตะกอนออก นอกจากนี้ถ้าน้ำที่ใช้มีองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่เหมาะสม เช่น มีจุลธาตุบางตัวในปริมาณมากเกินไป เช่น เหล็ก ก็จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ น้ำที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์ คือ น้ำฝนหรือน้ำจากคลองชลประทาน (ถวัลย์, 2534) และต้องระวังน้ำที่มีปริมาณไบคาร์บอนเนตมาก (โซเดียม แมกนีเซียม และ คลอรีน) จะทำให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชบางชนิดตกตะกอนได้ (อภิเทพ, 2541)

2.8 สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในอากาศ ไม่ว่าจะเป็น โรค แมลง จุลินทรีย์ในดิน สัตว์ขนาดเล็กและวัชพืช มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อมีโรคแมลงเข้ามาทำลายย่อมมีผลไปถึงการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2544)

2.9 ธาตุอาหาร ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์นั้น ปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ น้ำและธาตุอาหาร เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ผู้ปลูกจัดหาให้แก่พืชโดยตรง โดยการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร สามารถควบคุมปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดให้เหมาะสมต่อความต้องการของพืชแต่ละชนิดได้ โดยทั่วไปธาตุอาหารที่พืชต้องการมีทั้งสิ้น 16 ธาตุ ซึ่ง 3 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน พืชได้รับจากน้ำและอากาศ ส่วนอีก 13 ธาตุจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามปริมาณที่พืชต้องการ คือ

1. ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมากหรือมหธาตุ (Macronutrient elements) คือ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพืชมีความต้องการในปริมาณมากเมื่อเทียบกับธาตุอื่น ๆ มีทั้งหมด 6 ธาตุ ได้แก่

1.1 ไนโตรเจน (N) เป็นธาตุสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเจริญเติบโตของพืชเพราะไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน นิวคลีโอไทด์ และคลอโรฟิลล์ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารประกอบที่สำคัญมากต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมของพืช พืชที่ได้รับไนโตรเจนเพียงพอจะเจริญเติบโตดี มีใบสีเขียวเข้ม ในพืชผัก ไนโตรเจนมีส่วนสำคัญในการเพิ่มคุณภาพ เพราะเป็นตัวทำให้ผักมีลักษณะอวบ น้ำ พืชผักรับประทานสดหรือใบจึงต้องการไนโตรเจนสูง เพื่อให้ต้นและใบมีความกรอบ มีกากหรือเส้นใยน้อย ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการ ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) แต่ไนโตรเจนส่วนใหญ่ในสารละลายจะอยู่ในรูปไนเตรทไอออน เพราะแอมโมเนียมไอออนในปริมาณมากจะเป็นอันตรายต่อพืชได้ สำหรับยูเรียแม้จะมีอยู่ในธรรมชาติแต่พืชดูดไปกินได้น้อย (ขงยุทธ, 2543) ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ควรมีสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแอมโมเนียมไอออนและไนเตรทไอออน ปริมาณแอมโมเนียมไอออนไม่ควรเกินร้อยละ 50 ของความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในสารละลาย แต่สัดส่วนที่เหมาะสมมักใช้ไนเตรทไอออนร้อยละ 75 และแอมโมเนียมไอออนร้อยละ 25 สารเคมีที่ให้ไนเตรทไอออน คือ แคลเซียมไนเตรท และโพแทสเซียมไนเตรท พืชที่ขาดไนโตรเจนจะมีลำต้นเล็กแคระแกร็น ใบอ่อนเล็กเรียว ใบแก่มีสีเหลืองซีด ถ้าขาดเป็นเวลานานใบทั้งหมดจะมีลักษณะสีเหลืองซีดและแห้งตายในที่สุด แต่ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไปพืชจะอ่อนแอ บอบบาง หักโค่นได้ง่าย ในพืชผักถ้าพืชได้รับไนโตรเจนช้าหรือเร็วไป พืชหัวคุณภาพของรากและหัวเลวลง เช่นในหอมหัวใหญ่ จะมีหัวที่ใหญ่ขึ้นแต่น้ำหนักเบา หัวไม่แบนและเน่าง่าย (ประสิทธิ์, 2541)

1.2 ฟอสฟอรัส (P) ฟอสฟอรัสมีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งเป็นกระบวนการทางสรีรวิทยาที่สำคัญมาก พลังงานที่ได้จากการสังเคราะห์แสงและเมตาโบลิซึมของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตจะถูกเก็บไว้ในรูปของสารประกอบฟอสเฟต (อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต, ATP) สำหรับใช้ในการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของพืช นอกจากนั้นฟอสฟอรัสยังเป็นส่วนประกอบของนิวคลีโอไทด์และไลปิดอีกด้วยในแง่การเจริญเติบโตของพืชฟอสฟอรัสทำให้การแบ่งเซลล์และการพัฒนาของส่วนที่เจริญเติบโตของพืช (ยอดและราก) เป็นไปได้ดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ฟอสฟอรัสยังช่วยให้พืชออกดอกและแก่เร็ว ทำให้พืชมีความแข็งแรงและต้านทานต่อโรคแมลง สำหรับพืชผัก ฟอสฟอรัสทำให้พืชตั้งตัวได้เร็ว โดยเฉพาะระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโต ฟอสฟอรัสยังมีส่วนในการทำให้พืชผักเก็บเกี่ยวได้เร็วและมีรสชาติดีขึ้นด้วย (Charles and Jack, 1982) รูปของฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ได้ คือ โมโนไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{2-}) และไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4^-) ส่วนจะอยู่ในรูปไหนมากกว่ากันขึ้นกับค่า pH ของสารละลายในขณะนั้น ในการปลูกพืชในดินมักมีปัญหาความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัส

เมื่อ pH ไม่เหมาะสม เช่น ถ้า pH ต่ำฟอสฟอรัสจะทำปฏิกิริยากับเหล็กและอลูมิเนียม แต่ถ้า pH สูง ฟอสฟอรัสจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมและแมกนีเซียม ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส ลดลง แต่ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์จะไม่เกิดปัญหานี้ เนื่องจากสามารถควบคุมปริมาณ ธาตุอาหารและ pH ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้

1.3 โพแทสเซียม (K) โพแทสเซียมไม่ได้เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของ สารประกอบอินทรีย์ในพืช แต่มีหน้าที่เกี่ยวกับการทำงานด้านสรีรวิทยาของพืช เป็นธาตุจำเป็นใน การสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต และการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลในพืช จึงเป็นธาตุที่จำเป็นมากต่อ พืชผักประเภทหัว นอกจากนี้โพแทสเซียมยังควบคุมการปิดเปิดของปากใบ และกระตุ้นการทำงานของ เอนไซม์ ในพืชผักที่รับประทานต้นและใบ จะมีความต้องการโพแทสเซียมไม่น้อยกว่า ในโตรเจน เพราะเป็นธาตุที่ช่วยส่งเสริมคุณภาพ เช่น ช่วยให้กะหล่ำปลีห่อหัวได้ดี น้ำหนักดี มีเนื้อ แน่นและใบเป็นเงาสำหรับรับประทาน ส่วนผักกาดต่าง ๆ ที่รับประทานใบถ้าได้รับโพแทสเซียม เพียงพอจะไม่เฉาง่าย เมื่อตัดส่งตลาดจึงสดอยู่ได้นาน ในพืชผักกินผล เช่น มะเขือเทศ ความต้องการ โพแทสเซียมจะสูงในช่วงที่มีการพัฒนาของผล รูปของโพแทสเซียมที่พืชนำไปใช้ได้คือ โพแทสเซียมไอออน (K^+) แต่ถ้ามีโพแทสเซียมมากเกินไปจะรบกวนการนำแคลเซียมและ แมกนีเซียมไปใช้ สารเคมีที่ให้โพแทสเซียมมีอยู่หลายตัว เช่น โพแทสเซียมไนเตรต และ โพแทสเซียมฟอสเฟต ถ้าขาดโพแทสเซียมในข้าวโพดเมล็ดจะเล็ก (Charles and Jack, 1982)

1.4 แคลเซียม (Ca) แคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ หน้าที่ หลักภายในพืชจึงเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของเนื้อเยื่อและเซลล์พืช นอกจากนั้นยังมีบทบาทใน การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และเป็นส่วนสำคัญในการลำจุนพืชและควบคุมการไหลของน้ำ ในเซลล์มีความสำคัญต่อการแบ่งเซลล์เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างพืช การดูดใช้แคลเซียมของ พืชจะขึ้นกับไอออนตัวอื่นในสารละลาย โดยเฉพาะเมื่อมีไนเตรตจะทำให้ดูดใช้แคลเซียมได้ดีขึ้น รูป ที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แหล่งแคลเซียมที่ดีที่สุดคือ แคลเซียมไนเตรต เนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ราคาไม่แพง อีกทั้งยังให้ธาตุไนโตรเจนได้ด้วย ความเข้มข้นของแคลเซียมที่มากเกินไปจะมีผลต่อการนำโพแทสเซียมและแมกนีเซียมมาใช้ พืชที่ ขาดแคลเซียมจะแสดงลักษณะรากงอ การแตกแขนง รากน้อย ยอดดก ขั้วสั้น ใบเล็ก ทำให้แลดู ต้นแคระแกร็น ไม่สมบูรณ์ (นพดล, 2538) และการขาดแคลเซียมที่ใบจะมีเกิตรอยแผลสีน้ำตาล ลูกกลมมีรอยเชื่อมติดกันทำให้ปลายยอดตายได้ (Roorda and Smild, 1981)

1.5 แมกนีเซียม (Mg) แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ นอกจากนั้น ยังมีบทบาทในในการดูดซึมธาตุอาหาร และการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารของพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ฟอสเฟต แมกนีเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่ในรูป แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) สารเคมีที่ใช้เป็น

แหล่งแมกนีเซียมคือ แมกนีเซียมซัลเฟต ในการเตรียมสารละลายสำหรับปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ จะต้องระวังในเรื่องปริมาณแมกนีเซียมเพราะแมกนีเซียมที่มากเกินไปจะรบกวนการนำโพแทสเซียมและแคลเซียมมาใช้ (Charles and Jack, 1982)

1.6 กำมะถัน (S) กำมะถันเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของพืชมากพอ ๆ กับฟอสฟอรัสแต่พืชแต่ละชนิดจะมีกำมะถันในปริมาณต่างกัน พืชตระกูลถั่ว หอม กระเทียม ต้องการกำมะถันเพื่อเพิ่มกลิ่นและรสชาติให้ดีขึ้น กำมะถันมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีนและกรดอะมิโนบางชนิดที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบเช่น ซิสเทอีน (Cysteine) และ เมทไธโอนีน (Methionine) นอกจากนั้นกำมะถันยังมีผลทางอ้อมต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ของพืชด้วย รูปของกำมะถันที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้คือ ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ซึ่งในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารมักมีส่วนประกอบของเกลือซัลเฟตหลายชนิดอยู่ เช่น แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมซัลเฟต เป็นต้น พืชที่ปลูกในสารละลายจึงมักไม่ขาดธาตุนี้

2. ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ (Micronutrient elements) คือธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่พืชต้องการในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอื่น ๆ ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์จะต้องระมัดระวังการควบคุมปริมาณธาตุกลุ่มนี้เป็นพิเศษกว่าธาตุในกลุ่มมหธาตุ เพราะความเข้มข้นระหว่างความเป็นพิษและการขาดมีระยะค่อนข้างแคบ นอกจากนั้นการประเมินอาการขาดทำได้ค่อนข้างยากอีกด้วย การแก้ปัญหการขาดจุลธาตุทำได้ง่ายกว่าการแก้ปัญหความเป็นพิษ เมื่อเกิดอาการเป็นพิษขึ้นมักจะต้องปลูกใหม่ ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารกลุ่มนี้ขึ้นกับค่า pH ของสารละลายและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักบางธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส ดังนั้นการควบคุม pH ของสารละลายและความเข้มข้นของธาตุอาหารจึงเป็นเรื่องสำคัญ ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อยนี้มีอยู่ 7 ธาตุ ได้แก่

2.1 เหล็ก (Fe) มีส่วนสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงและมีหน้าที่ในปฏิกิริยาของเอนไซม์ พืชที่ขาดธาตุเหล็กจะทำให้เกิดคลอโรซิสในใบได้โดยเกิดในใบอ่อนระหว่างเส้นใบ ส่วนในบริเวณก้านใบมีสีเขียว (Hartmann, 1988) การที่มีแมกนีเซียมากเกินไปจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของเหล็กต่อพืชลดลง (บรรพต, 2527) เหล็กเป็นธาตุที่ไม่ค่อยมีการเคลื่อนย้ายในพืช เหล็กเป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซิน (ferridoxin) ซึ่งเป็นสารสำคัญในขบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของพืช นอกจากนั้นยังเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ รูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ คือ เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) และ เฟอริกไอออน (Fe^{3+}) สารเคมีที่ให้ธาตุเหล็กและมีราคาถูก คือ เฟอรัสซัลเฟต (FeSO_4) ซึ่งละลายน้ำได้ง่ายแต่จะตกตะกอนเร็วจึงต้องถึงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสารละลาย จึงนิยมใช้เหล็กในรูปคีเลต ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ สามารถคงตัวอยู่ในรูปสารละลายธาตุอาหารพืชและพืชก็สามารถนำไปใช้ได้ดี

2.2 แมงกานีส (Mn) เป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการทำงานร่วมกับธาตุอื่น เช่น เหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม ความเป็นประโยชน์ของแมงกานีสจะถูกควบคุมโดยค่า pH ของสารละลาย รูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้คือ แมงกานีสไอออน (Mn^{2+}) มีบทบาทในการสร้างกิ่งก้านในพืช (วรพจน์, 2529) ในพืชพบการขาดธาตุแมงกานีสน้อยมากโดยพืชจะมีใบสีเหลืองตามระหว่างเส้นใบเพราะขาดคลอโรฟิลล์ส่วนเส้นใบยังเขียวอยู่เป็นปกติและเกิดอาการที่ใบอ่อนก่อน หรือบางที่เจอเป็นจุดสีขาวหรือเหลืองบนใบพืช พืชเจริญเติบโตช้า ไม่ออกดอกออกผล (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

2.3 สังกะสี (Zn) เป็นธาตุจำเป็นต่อการสังเคราะห์ IAA ซึ่งเกี่ยวข้องกับการขยายตัวของเซลล์ มีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด และยังมีบทบาทในการสร้างแป้งของพืชด้วยส่งเสริมการสังเคราะห์โปรตีน การสร้างผลและเมล็ด ควบคุมการงอกของเมล็ดและผล (สมชาย, 2535) อาการขาดสังกะสีจะแสดงที่ใบอ่อนก่อน พืชมีลักษณะแคระแกร็น ไม่มีเมล็ดรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ คือ ซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) ที่อาจได้จากซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) หรือซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

2.4 ทองแดง (Cu) เป็นธาตุที่มีความจำเป็นเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ช่วยในกระบวนการหายใจ และส่งเสริมให้พืชนำเหล็กมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น พืชที่ขาดทองแดง ใบอ่อนจะมีสีเหลือง รูปร่างผิดปกติ ขอดอ่อนหยุดการเจริญเติบโตหรือตายได้ ชักน้ำให้เกิดยอดแขนงมาก แต่ไม่สามารถที่จะเจริญได้ (วิเชียร, 2536) รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคือ คอปเปอร์ไอออน (Cu^{2+}) ที่อาจได้จากคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) หรือคอปเปอร์คลอไรด์ ($CuCl_2$)

2.5 โบรอน (B) รูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชคือโบเรตไอออน (BO_3^{3-}) ซึ่งมีในน้ำธรรมชาติ หรือได้จากการเติมกรดบอริก (H_3BO_3) โบรอนช่วยกระตุ้นให้เกิดการแบ่งและการเจริญเติบโตของเซลล์ทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (ถวัลย์, 2534) โบรอนช่วยในการผสมเกสรและมีบทบาทสำคัญในการติดผล ถ้าพืชขาดโบรอน ตายอดตาย แล้วมีตาข้าง ต้นไม้ยืดยาวเล็กน้อย ต้นโค้งและเปราะ ในสตรีเบอร์ถ้าขาดธาตุโบรอนจะทำให้จุดเนื้อเยื่อเจริญตรงส่วนปลายตายได้ และตาข้างถูกสร้างเป็นลำต้นแขนงมาก ต้นแคระแกร็น (ณรงค์ชัย, 2543)

2.6 โมลิบดีนัม (Mo) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ 2 ชนิด คือ ไนโตรจีเนส (Nitrogenase) ซึ่งสำคัญต่อการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และไนเตรตรีดักเตส (Nitrate reductase) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการรีดิวส์ไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในรูปโมลิบเดตไอออน (MoO_4^{2-}) ซึ่งอาจได้จากสารแอมโมเนียมโมลิบเดต หรือโซเดียมโมลิบเดต อาการขาดโมลิบดีนัม ในมะเขือเทศจะเกิดเนโครซิส (Necrosis) คือพืชจะแสดงอาการแห้งตายและขอบใบหงิกงอ ดอกร่วง ถ้าติดผลจะเล็กแคระแกร็น พืชผักจะแสดงอาการขาดที่

ใบแก่ มีจุดด่างแต่เส้นใบยังเขียวอยู่และจะขยายไปเรื่อย ๆ เมื่อมีอาการมาก ๆ ใบจะม้วนเข้าปลายใบ จะแห้งตาย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) และทำให้ผักกาดหอมห่อไม่เข้าหัว (ดิเรก, 2547)

2.7 คลอรีน (Cl) ในน้ำจะมีคลอรีนอยู่ในรูปคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ซึ่งเป็นรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ มีหน้าที่ในการกระตุ้นให้น้ำแตกตัวในกระบวนการสังเคราะห์แสงและยังจำเป็นสำหรับราก การแบ่งเซลล์ของใบและเป็นตัวทำลายที่มีความสำคัญในการดูดน้ำ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะไปยับยั้งการนำธาตุที่อยู่ในรูปประจุลบตัวอื่น ๆ มาใช้ประโยชน์ (นิคัย, 2541) อาการขาดคลอรีน คือพืชจะมีใบเหลือง ใบเหี่ยวตายเป็นจุด ๆ หรือใบมีลักษณะซีดขาว เพราะกระบวนการสังเคราะห์แสงถูกยับยั้ง รากแคระแกร็น ปลายรากหนา ผลผลิตลดลง (สมบุญ, 2544) ในพืชผักจะทำให้ส่วนยอดชะงักการเจริญเติบโต กิ่งก้านแข็งกระด้างเกิดจุดสีน้ำตาลหรือดำในส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะพืช เช่น กะหล่ำปลี กะหล่ำปลม และผักกาดต่าง ๆ (ประสิทธิ์, 2541)

นอกจากธาตุต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีธาตุอีกหลายชนิดที่คาดว่าเป็นประโยชน์ต่อพืช แต่ยังไม่ทราบบทบาทแน่ชัด เช่น โซเดียม (Na) ซิลิกอน (Si) นิกเกิล (Ni) และเวเนเดียม (V) เป็นต้น

วรารคณา และถนิมนันต์ (2541) ศึกษาบทบาทของสารละลายซิลิกอนในการพัฒนาศักยภาพการปลูกแตงกวายุโรปในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ใช้ซิลิกอน ($Na_2Si_3O_7$) ความเข้มข้น 3 ระดับคือ 0, 100 และ 200 ppm และมีพันธุ์ Jessica และ Ventura ใช้เป็นวัสดุปลูก และมีการให้สารละลายหมุนเวียนเพื่อลดต้นทุน และผลตกค้างในสิ่งแวดล้อม พบว่า มีความเป็นไปได้ที่สารละลายซิลิกอนจะช่วยพัฒนาศักยภาพการผลิตแตงกวายุโรปในระบบการปลูกพืชดังกล่าว โดยเฉพาะด้านจำนวนผลผลิตต่อต้น จะเห็นได้ว่าต้นแตงกวาที่ได้รับสารละลายซิลิกอนทั้ง 2 ความเข้มข้นมีผลผลิตรวมถึง 36 ผล ดังนั้นถ้ามีการปรับสภาพแวดล้อมในการปลูกให้ดีขึ้นควบคู่ไปกับการให้สารละลายซิลิกอน ก็น่าที่จะเพิ่มจำนวนผลผลิตต่อต้นได้

Shuangxi and Tadashi (2002) ทำการศึกษาผลของแคลเซียมต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของสลัดในระบบ NFT พบว่า แคลเซียมลดความผิดปกติของคลอโรฟิลล์ ลดการเกิดปลายยอดไหม้และ เพิ่มน้ำหนักสด และ แห้งของสลัด และการที่มีแคลเซียมมากเกินไปมีผลต่อโพแทสเซียม และ แมกนีเซียม แต่ไนโตรเจน และ ฟอสเฟต ไม่มีผลต่อการนำโพแทสเซียมไปใช้

Al-Redhaiman (2002) ทำการศึกษากการสะสมของไนเตรทและขบวนการเมตาบอลิซึมของผักกาดหอม จากอิทธิพลของแอมโมเนียมไนเตรทในระบบสารละลายหมุนเวียน พบว่า ปริมาณของ NO_3^- ในเนื้อเยื่อของผักกาดหอมที่ปลูกแตกต่างกัน โดยอัตราส่วนของ NH_4^+ : NO_3^- ในสารละลายธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การผสมไนโตรเจนในสารละลายต่อการ

เจริญเติบโตของพืชตอบสนองแตกต่างกัน โดยการเพิ่ม $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$ ในอัตราส่วน 50 : 50 ปริมาณ NO_3^- ในปลายยอดของผักกาดหอมมีมาก แต่การเจริญเติบโตของปลายยอดกลับลดลง

การจัดการระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ในการผลิตพืชโดยไม่ใช้ดินในเชิงพาณิชย์สิ่งที่จะต้องคำนึงในการจัดการระบบคือ

1. **คุณภาพของน้ำที่ใช้ในระบบ** การที่จะนำน้ำมาใช้ในระบบปลูกจำเป็นต้องพิจารณาอย่างละเอียด เพราะการเจริญเติบโตของพืชจะตอบสนองต่อความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำ การเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ทางเคมีถือว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก ทำให้ความเป็นกรด ด่าง และปริมาณเกลือแร่ต่าง ๆ ที่มีในน้ำ ทำให้ทราบปริมาณที่เหมาะสมในการให้ธาตุอาหารเพียงพอต่อความต้องการเจริญเติบโตของพืช น้ำที่นำมาใช้ในระบบควรจะเป็นน้ำที่สะอาดมีปริมาณที่เพียงพอ เช่น น้ำบาดาล น้ำประปา น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ (สุรินทร์, 2542) แต่น้ำที่เหมาะสมที่สุดคือ น้ำฝน เพราะเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง แต่จะต้องมีภาชนะเก็บขนาดใหญ่พอที่จะเก็บน้ำได้เพียงพอที่จะนำมาใช้เตรียมสารละลายโดยตรงหรือมาผสมกับน้ำแหล่งอื่นในกรณีที่ปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอ (ถวัลย์, 2534) แต่การเก็บน้ำฝนมาใช้ต้องพิจารณาถึงการได้มาของน้ำด้วยเช่นสภาพของหลังคาที่รองรับน้ำฝนนั้นอาจจะมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกปนเปื้อนอยู่ในน้ำได้ เป็นต้น จากการวิเคราะห์น้ำตามธรรมชาตินั้นจะพบว่ามีค่าความเป็นกรดดังอยู่ระหว่าง 6.3 – 7.0 ค่าการนำไฟฟ้าควรต่ำกว่า 0.5 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และปริมาณของโซเดียมและคลอไรด์ควรมีค่าน้อยกว่า 35 และ 53 มิลลิกรัม ตามลำดับ (FAO, 1990) โดยคุณภาพน้ำที่เหมาะสมแสดงในตาราง 2

2. **ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย (pH)** pH หรือที่เรียกว่าสภาพความเป็นกรด ด่างจะมีอิทธิพลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารพืช ในกรณีที่ pH สูงเกินไปจะมีผลทำให้ ธาตุอาหารรอง เช่น เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ตกตะกอนไม่อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ในกรณีเดียวกันถ้า pH ต่ำเกินไปธาตุอาหารหลักจะตกตะกอนไม่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ พืชไม่สามารถดูดขึ้นไปใช้ได้ทำให้พืชเจริญเติบโตช้าส่งผลถึงผลผลิตได้ และยังทำให้ปฏิกิริยาเกิดการกัดกร่อนเสื่อมสภาพทำให้อายุการใช้งานสั้นลง (อานันท์, 2546)

ตาราง 1 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการปลูกพืชชั้นสูงทั่วไป และความเข้มข้นในเนื้อเยื่อพืชซึ่งจัดว่าเพียงพอ

ธาตุ	สัญลักษณ์ธาตุ	รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	ความเข้มข้นในเนื้อเยื่อพืช (มก./กก.)	จำนวนอะตอมของธาตุเมื่อเทียบกับ โมลิบดีนัม
โมลิบดีนัม	Mo	MoO_4^{2-}	0.1	1
ทองแดง	Cu	Cu^+ , Cu^{2+}	6	100
สังกะสี	Zn	Zn^{2+}	20	300
แมงกานีส	Mn	Mn^{2+}	50	1,000
โบรอน	B	H_3BO_3 , $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$	20	2,000
เหล็ก	Fe	Fe^{2+} , Fe^{3+}	100	2,000
คลอรีน	Cl	Cl^-	100	3,000
				%
กำมะถัน	S	SO_4^{2-}	0.1	30,000
ฟอสฟอรัส	P	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}	0.2	60,000
แมกนีเซียม	Mg	Mg^{2+}	0.2	80,000
แคลเซียม	Ca	Ca^{2+}	0.5	125,000
โพแทสเซียม	K	K^+	1.5	250,000
ไนโตรเจน	N	NH_4^+ , NO_3^-	1.5	1,000,000
ออกซิเจน	O	O_2 , H_2O	45	30,000,000
คาร์บอน	C	CO_2	45	35,000,000
ไฮโดรเจน	H	H_2O	6	60,000,000

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544)

3. ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical Conductivity, EC) บ่งบอกถึงปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชขณะที่พืชดูดกินสารละลายธาตุอาหารพืชนั้นระดับค่า EC จะลดลงเนื่องจากปริมาณธาตุอาหารลดลงแต่ค่า EC อาจจะเพิ่มขึ้นได้ในกรณีที่น้ำในสารละลายลดลงซึ่งเกิดจากการระเหยของน้ำในถังใส่สารละลาย ถ้าค่า EC เพิ่มขึ้นแก้ไขได้โดยการเติมน้ำและในทางกลับกันถ้าค่า EC ลดลง ให้เติมสารละลายธาตุอาหารเพื่อปรับให้ค่า EC สูงขึ้น (กองบรรณาธิการ, 2543) โดยพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อค่า EC แตกต่างกัน ดังนั้นในการปลูกพืชจะต้องคำนึงถึงระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารในระดับที่เหมาะสมเพื่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่พืชจะได้รับ (มนูญ, 2544) แต่อย่างไรก็ตามค่า EC ที่เหมาะสมในการเพาะกล้าไม่ควรให้สูงเกินไปค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0.8 – 1.0 mS/cm เพื่อที่จะไม่ให้พืชได้รับปริมาณธาตุอาหารที่เข้มข้นจนเกินไปซึ่งจะส่งผลให้กล้าชะงักการเจริญเติบโตได้ (อานัฐ, 2546)

ตาราง 2 แสดงคุณภาพน้ำมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับเตรียมสารละลาย

ส่วนประกอบทางเคมี	คุณภาพน้ำ
pH	5-8
EC (mS/cm)	<0.5
NO ₃ ⁻ N (ppm)	Trace
NH ₄ ⁺ (ppm)	Trace
PO ₄ ³⁻ P (ppm)	< 5
K (ppm)	< 5
Ca (ppm)	< 40
Mg (ppm)	< 20
SO ₄ ²⁻ S (ppm)	< 5
Fe (ppm)	< 1
B (ppm)	< 0.3
Zn (ppm)	< 0.5
Cu (ppm)	< 0.5
Mn (ppm)	< .05
Cl (ppm)	< 30-40
Na (ppm)	< 30

ที่มา: อานัฐ (2542)

4. **อุณหภูมิของสารละลาย** ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของสารละลายเท่ากับ 20 – 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียสทำให้ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ลดลงต่ำกว่าปริมาณที่พืชต้องการ ทำให้พืชเกิดอาการขาดธาตุอาหาร ชะงักการเจริญเติบโต อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง ทำให้ผลผลิตลดลง ซึ่งเป็นปัญหาในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในเขตร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบ NFT จะเป็นระบบที่ได้รับผลกระทบของอุณหภูมิมากที่สุดเนื่องจากระดับน้ำที่ไหลเวียนในระบบไม่หนา (ลึก) ทำให้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่สูงขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิของสารละลายเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้รากชะงักการเจริญเติบโต แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบให้มีความเหมาะสมกับประเทศในเขตร้อนคือ ระบบ DRF โดยนักวิจัยชาวไต้หวัน ซึ่งเป็นระบบที่พัฒนาให้พืชสร้างรากอากาศโดยมีช่องว่างระหว่างน้ำกับอากาศจึงไม่เกิดปัญหาการออกซิเจนในพืช และสามารถปลูกพืชได้ตลอดทั้งปี จึงถือได้ว่าเป็นระบบที่เหมาะสมในเขตร้อน (อานัฐ, 2546)

อาภรณ์ (2534) รายงานว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อการปลูกกาแฟอาราบิก้า นับตั้งแต่การเพาะเมล็ด การเจริญเติบโต การเกิดตาดอก ดอกบาน การติดผล และการสุกของผล การเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิคงที่ 30 องศาเซลเซียส เมล็ดสามารถงอกได้ภายใน 3 สัปดาห์ แต่ที่อุณหภูมิคงที่ 17 องศาเซลเซียส เมล็ดงอกภายใน 3 เดือน อุณหภูมิในเวลากลางวัน 26 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกกลางคืน 20 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตมาก

ผักกาดหอม (Lettuce)

ผักกาดหอมมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca Sativa* Linn. จัดอยู่ในตระกูล Compositae คนจีนเรียกว่า พังฉ่าย ส่วนทางภาคเหนือเรียกว่า ผักกาดยี่ ภาคกลางเรียกว่า ผักสลัด ผักกาดหอมสามารถปลูกได้ทุกภาคทั่วประเทศ ถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชียและยุโรป (กองบรรณาธิการฐานเกษตรกรรม, 2541) ผักกาดหอมได้มีการเพาะปลูกมาแล้วกว่า 2,500 ปี มีหลากหลายรูปทรง ส่วนใหญ่ปลูกในเรือนกระจก หรือโรงเรือนพลาสติก แต่บางครั้งก็จะปลูกอยู่กลางแจ้ง ผักกาดหอมอุดมไปด้วยวิตามินเอ แร่ธาตุ นอกจากนั้นยังประกอบไปด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และวิตามินซี (สัมฤทธิ์, 2538)

ประโยชน์ของผักกาดหอมนอกจากจะใช้ทานสดมีคุณค่าทางอาหารสูงแล้ว ยังจัดเป็นอาหารตา นอกจากนี้ผักกาดหอมยังมีคุณสมบัติในการเป็นยาอีกด้วย ความต้องการผักกาดหอมมีอยู่ตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลต่าง ๆ จึงนับได้ว่าผักกาดหอมเป็นผักที่มี

ความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีความต้องการขึ้นเรื่อย ๆ (เมฆ, 2544) โดยผักกาดหอมมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ดังนี้

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก รากผักกาดหอมเป็นระบบรากแก้ว แข็งแรง อวบอ้วน และเจริญอย่างรวดเร็ว โดยปริมาณของรากจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่น

ลำต้น ลำต้นของผักกาดหอมในระยะแรกมักจะมองไม่ค่อยเห็น เนื่องจากใบมักจะปกคลุมไว้จะเห็นชัดก็ต่อเมื่อแทงช่อดอกลักษณะลำต้นของผักกาดหอมจะตั้งตรง สูงจะดูจนสามารถมองเห็นได้ชัดเจน ลำต้นมีลักษณะอวบอ้วน มีลักษณะเป็นข้อสั้น แต่ละข้อเป็นที่เกิดของใบ

ใบ ใบแตกออกมาจากลำต้นโดยรอบ สีใบมีตั้งแต่สีเขียวอ่อน เขียวปนเหลือง จนถึงสีเขียวแก่ บางพันธุ์มีสีน้ำตาลปนอยู่ ทำให้มีสีแดงบรอนซ์หรือสีน้ำตาลปนเขียว พันธุ์ที่ห่อหัวจะมีใบหนา เนื้อใบอ่อนนุ่ม ใบจะห่อหัวอัดกันแน่นคล้ายกะหล่ำปลี ใบที่ห่ออยู่ข้างในจะเป็นมัน บางชนิดมีใบม้วนงอเพราะมีเส้นใบชัดเจน ขอบใบมีลักษณะหยัก ขนาดและรูปร่างจะแตกต่างกันออกไปตามสายพันธุ์

ดอกและช่อดอก มีลักษณะเป็นช่อเรียกว่า panicle ประกอบด้วยกลุ่มของดอกที่อยู่เป็นกระจุกบนยอด แต่ละกระจุกประกอบด้วยดอกย่อย 15 – 25 ดอกหรือมากกว่า ก้านช่อดอกยาวประมาณ 2 ฟุต ช่อดอกจะมีส่วนยอดก่อนและจะแทงช่อดอกตรงข้างมุมใบภายหลัง โดยดอกส่วนยอดจะมีอายุมากที่สุด ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลือง ตรงโคนเชื่อมติดกัน รังไข่มี 1 ห้อง เกสรตัวเมีย 1 อัน ลักษณะเป็น 2 แฉกเกสรตัวผู้ 5 อันรวมกันเป็นช่อดอกยาวห่อหุ้มก้านเกสรตัวเมียไว้

เมล็ด มีลักษณะเป็นเมล็ดเดี่ยวเจริญมาจากรังไข่อันเดียว เปลือกหุ้มเมล็ดบาง เปลือกเมล็ดจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้ง เมล็ดมีลักษณะแบนยาว หัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มีเส้นสั้น ๆ ลาดยาวไปตามความยาวของเปลือกหุ้มเมล็ด มีสีเทาปนครีม มีความยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร (สุนทร, 2540)

ชนิดและสายพันธุ์ผักกาดหอม

ผักกาดหอมที่ปลูกใช้บริโภคกันในปัจจุบันสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ตามลักษณะคือ ผักกาดหอมห่อ ผักกาดหอมใบ และผักกาดหอมต้น ซึ่งมีลักษณะดังนี้

ผักกาดหอมห่อ (Head lettuce) เป็นผักกาดหอมที่ห่อใบเป็นหัวซึ่งเกิดจากการที่ใบเรียงซ้อนกันหนาแน่น ผักกาดหอมห่อนี้แบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. ชนิดห่อหัวแน่น (Crisp head) ใบบาง กรอบ เห็นเส้นกลางใบชัดเจน ใบห่อหัวแน่นคล้ายกะหล่ำปลี เช่น พันธุ์เกรทเลค

2. ชนิดห่อหัวไม่แน่น (Butter head) ใบมีลักษณะอ่อนนุ่มผิวมัน ห่อเป็นหัวหลวม ชอบอากาศหนาวเย็น อายุการเก็บเกี่ยวเร็ว เช่น พันธุ์บิก บอสตัน

3. ชนิดห่อหัวหลวมค่อนข้างยาว ลักษณะใบห่อเป็นรูปกลมค่อนข้างยาว คล้ายผักกาดขาวปลี นิยมในยุโรป เช่น พันธุ์ ปารีส ไวส์

ผักกาดหอมใบ (Leaf lettuce) ใบมีลักษณะกว้างใหญ่และหยิก ไม่ห่อหัว ต้นเดี่ยวมี 2 ชนิด คือ

1. ชนิดที่มีสีเขียวทั้งต้น ได้แก่ พันธุ์ Grand Rapids, Boston Curled และ Slobott เป็นต้น

2. ชนิดที่มีสีน้ำตาลทั้งต้น ได้แก่ พันธุ์ Prize Head เป็นต้น

ผักกาดหอมต้น (Stem lettuce) โดยทั่วไปไม่นิยมปลูก ลักษณะของลำต้นอวบ สูง ใบคล้ายผักกาดหอมแต่เล็กและหนากว่า (สุนทร, 2540)

ตาราง 3 แสดงมูลค่าทางโภชนาการของผักกาดหอม หน้า 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ	หน่วย
พลังงาน	21	แคลอรี
คาร์โบไฮเดรต	3.3	กรัม
เส้นใย	0.8	กรัม
โปรตีน	1.6	กรัม
แคลเซียม	82	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	42	มิลลิกรัม
เหล็ก	3.9	มิลลิกรัม
วิตามินเอ	4,942	หน่วยสากล
วิตามินบี 1	0.06	มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.14	มิลลิกรัม
วิตามินซี	3	มิลลิกรัม

ที่มา: ระพีพรรณ (2544)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. โรงเรือนขนาด 15 x 20 เมตร หลังคาคลุมด้วยพลาสติกกรอบ ๆ คลุมด้วยตาข่าย
2. เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม โอ๊คลีฟเขียว
3. ฟองน้ำ
4. ถาดเพาะกล้า
5. กระบะขึ้นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู
6. กระเบื้องลอนใหญ่
7. อีฐบล็อก
8. แผ่นโฟมหนา 1 นิ้วขนาด 60 x120 เซนติเมตร
9. ปิ๊มน้ำ ขนาด 2,500 ลิตรต่อชั่วโมง
10. ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร
11. ถังพลาสติกขนาด 120 ลิตร
12. ท่อ PE ขนาด 16 มิลลิเมตรและ 4 มิลลิเมตร อย่างละ 1 ม้วน
13. พลาสติกดำ
14. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electro - conductivity)
15. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย (pH meter)
16. ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ จำนวน 20 สูตร
17. อุปกรณ์ทางการเกษตรตามความจำเป็น เช่น จอบ ถาดเพาะกล้า เป็นต้น
18. กรดไนตริก (HNO_3)

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 การทดลอง โดยทำการทดสอบสูตรธาตุอาหารพืชและระบบที่เหมาะสมในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน เพื่อผลิตผักให้มีปริมาณและคุณภาพดี ช่วยลดต้นทุนในการผลิต

การทดลองที่ 1 การทดสอบสูตรธาตุอาหาร และระบบที่เหมาะสมที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำการทดสอบจำนวน 10 ดำรับทดลอง (สูตรธาตุอาหาร) กับระบบการปลูกพืชไร้ดิน 3 ระบบ คือ ระบบ NFT ระบบ DRF และระบบ Substrate โดยแต่ละระบบมี 3 Blocks ดังนี้

ระบบ NFT (Nutrient Film Technique)

ดำรับทดลองที่ 1	ปุ๋ยสูตร 21 เพิ่ม $(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ 0.25 เท่าของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 2	ปุ๋ยสูตร 22 ปกติ
ดำรับทดลองที่ 3	ปุ๋ยสูตร 23 เพิ่ม $(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ 0.5 เท่าของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 4	ปุ๋ยสูตร 24 เพิ่ม Fe-EDTA 0.5 เท่าของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 5	ปุ๋ยสูตร 25 เพิ่ม Fe-EDTA 1.25 เท่าของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 6	ปุ๋ยสูตร 26 เพิ่ม FeSO_4 500 g ของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 7	ปุ๋ยสูตร 27 เพิ่ม FeSO_4 125 g, Fe-EDTA 0.75 เท่าของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 8	ปุ๋ยสูตร 28 เพิ่ม FeSO_4 250 g, Fe-EDTA 0.4 เท่าของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 9	ปุ๋ยสูตร 29 เพิ่ม FeSO_4 375 g, Fe-EDTA 0.2 เท่าของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 10	ปุ๋ยสูตร 30 เพิ่ม Fe-EDTA 500 g ของสูตรเดิม

ระบบ DRF (Dynamic Root Floating)

ดำรับทดลองที่ 1	ปุ๋ยสูตร 21 เพิ่ม $(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ 0.25 เท่าของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 2	ปุ๋ยสูตร 22 ปกติ
ดำรับทดลองที่ 3	ปุ๋ยสูตร 23 เพิ่ม $(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ 0.5 เท่าของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 4	ปุ๋ยสูตร 24 เพิ่ม Fe-EDTA 0.5 เท่าของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 5	ปุ๋ยสูตร 25 เพิ่ม Fe-EDTA 1.25 เท่าของสูตรเดิม
ดำรับทดลองที่ 6	ปุ๋ยสูตร 26 เพิ่ม FeSO_4 500 g ของสูตรเดิม

ตำรับทดลองที่ 7	ปุ๋ยสูตร 27 เพิ่ม FeSO_4 125 g, Fe-EDTA 0.75 เท่าของสูตรเดิม
ตำรับทดลองที่ 8	ปุ๋ยสูตร 28เพิ่ม FeSO_4 250 g, Fe-EDTA 0.4 เท่าของสูตรเดิม
ตำรับทดลองที่ 9	ปุ๋ยสูตร 29เพิ่ม FeSO_4 375 g, Fe-EDTA 0.2 เท่าของสูตรเดิม
ตำรับทดลองที่ 10	ปุ๋ยสูตร 30 เพิ่ม Fe-EDTA 500 g ของสูตรเดิม

ระบบ Substrate

ตำรับทดลองที่ 1	ปุ๋ยสูตร 21 เพิ่ม $(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ 0.25 เท่าของสูตรเดิม
ตำรับทดลองที่ 2	ปุ๋ยสูตร 22 ปกติ
ตำรับทดลองที่ 3	ปุ๋ยสูตร 23 เพิ่ม $(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ 0.5 เท่าของสูตรเดิม
ตำรับทดลองที่ 4	ปุ๋ยสูตร 24 เพิ่ม Fe-EDTA 0.5 เท่าของสูตรเดิม
ตำรับทดลองที่ 5	ปุ๋ยสูตร 25 เพิ่ม Fe-EDTA 1.25 เท่าของสูตรเดิม
ตำรับทดลองที่ 6	ปุ๋ยสูตร 26 เพิ่ม FeSO_4 500 g ของสูตรเดิม
ตำรับทดลองที่ 7	ปุ๋ยสูตร 27 เพิ่ม FeSO_4 125 g, Fe-EDTA 0.75 เท่าของสูตรเดิม
ตำรับทดลองที่ 8	ปุ๋ยสูตร 28เพิ่ม FeSO_4 250 g, Fe-EDTA 0.4 เท่าของสูตรเดิม
ตำรับทดลองที่ 9	ปุ๋ยสูตร 29เพิ่ม FeSO_4 375 g, Fe-EDTA 0.2 เท่าของสูตรเดิม
ตำรับทดลองที่ 10	ปุ๋ยสูตร 30 เพิ่ม Fe-EDTA 500 g ของสูตรเดิม

วิธีการ

1. เตรียมแปลงปลูกในระบบ NFT โดยมีจำนวนรางปลูก 30 ราง และระบบ DRF จำนวน 30 ราง โดยมีการติดตั้งระบบปั้มน้ำเพื่อให้มีการไหลเวียนน้ำและระบบ Substrate เตรียมแปลงโดยใช้อิฐบล็อก ขนาด 40 x180 เซนติเมตร ใช้ทรายเป็นวัสดุปลูก

2. การเพาะกล้าและการปลูก ในระบบ NFT และระบบ DRF ทำการเพาะเมล็ดพันธุ์ผักบนแผ่นฟองน้ำที่ตัดเป็นตารางที่เหมาะสม โดยไม่ให้ขาดออกจากกัน กรีดตรงกลางช่อง เพื่อใช้ฝังเมล็ด ลึก $\frac{1}{2}$ นิ้ว นำไปวางบนถาด และเติมน้ำลงไปอย่าให้ท่วมถึงเมล็ด นำไปบ่มไว้ในที่มืด เมื่อเมล็ดเริ่มงอก ให้นำออกมาโดนแดดเพื่อป้องกันการยืดตัว การเลี้ยงต้นกล้าใช้สารละลายธาตุอาหารพืชที่ความเข้มข้นที่ 0.8-1.0 mS/cm เมื่อดันกล้าอายุ 14 วันหรือมีใบจริง 2-3 ใบสามารถย้ายปลูกได้ โดยฉีกฟองน้ำที่ละช่อง สอดใส่รูของโฟมที่เจาะไว้ให้รากจุ่มในสารละลาย การเพาะกล้าในระบบ Substrate เพาะในถาดหลุม แล้วจึงย้ายปลูกลงทรายโดยระยะปลูก 25 x 25 เซนติเมตร

3. การควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC) และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลาย (pH) ทำได้โดยวัดด้วยเครื่องวัด EC ถ้าค่า EC ต่ำกว่าค่าที่กำหนด (1.3 mS/cm)

ให้เติมสารละลายธาตุอาหารพืชเพิ่ม แต่ถ้าค่า EC เกินกว่าค่าที่กำหนดให้เติมน้ำเพื่อปรับค่า EC ลง การควบคุมความเป็นกรดด่าง (pH) ให้อยู่ในช่วง 5.5 – 6.5 ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารมี pH เป็นด่างจะปรับโดยใช้กรดไนตริก (HNO_3) และถ้า pH เป็นกรดจะปรับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

4. การบันทึกข้อมูล เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงต่อต้น (ซม.) จำนวนใบต่อต้นทุก ๆ 7 วัน และ น้ำหนักก่อนและหลังตัดแต่งต่อต้น (กรัม) ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารพืช (mS/cm) ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหารพืช (pH) และ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ในโรงเรือน

5. การวิเคราะห์ข้อมูล นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาตัวรับทดลองและระบบที่เหมาะสมในการผลิตผักกาดหอมที่สุด

การทดลองที่ 2 การทดสอบสูตรธาตุอาหารและระบบที่เหมาะสมที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำการเปรียบเทียบสูตรธาตุอาหารพืชและระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ทดสอบตัวรับทดลอง 10 สูตร (สูตรธาตุอาหาร) กับระบบ NFT ทดสอบตัวรับทดลอง 6 สูตร (สูตรธาตุอาหาร) กับระบบ Substrate และทดสอบตัวรับทดลอง 4 สูตร (สูตรธาตุอาหาร) กับระบบ DRF โดยแต่ละระบบมี 3 block ดังนี้

ระบบ NFT (Nutrient Film Technique)

ตัวรับทดลองที่ 1	ปุ๋ยสูตร 21 เพิ่ม ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) 0.25 เท่าของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 2	ปุ๋ยสูตร 22 ปกติ
ตัวรับทดลองที่ 3	ปุ๋ยสูตร 23 เพิ่ม ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) 0.5 เท่าของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 4	ปุ๋ยสูตร 24 เพิ่ม Fe-EDTA 0.5 เท่าของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 5	ปุ๋ยสูตร 25 เพิ่ม Fe-EDTA 1.25 เท่าของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 6	ปุ๋ยสูตร 26 เพิ่ม FeSO_4 500 g ของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 7	ปุ๋ยสูตร 27 เพิ่ม FeSO_4 125 g, Fe-EDTA 0.75 เท่าของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 8	ปุ๋ยสูตร 28เพิ่ม FeSO_4 250 g, Fe-EDTA 0.4 เท่าของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 9	ปุ๋ยสูตร 29เพิ่ม FeSO_4 375 g, Fe-EDTA 0.2 เท่าของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 10	ปุ๋ยสูตร 30 เพิ่ม Fe-EDTA 500 g ของสูตรเดิม

ระบบ Substrate

ตัวรับทดลองที่ 1	ปุ๋ยสูตร 31 เพิ่ม Fe-EDTA 5/4 ของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 2	ปุ๋ยสูตร 32 เพิ่ม FeSO_4 500 g, Fe-EDTA ปกติ
ตัวรับทดลองที่ 3	ปุ๋ยสูตร 33 เพิ่ม FeSO_4 125 g, Fe-EDTA $\frac{3}{4}$ ของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 4	ปุ๋ยสูตร 34 เพิ่ม FeSO_4 250 g, Fe-EDTA $\frac{1}{2}$ ของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 5	ปุ๋ยสูตร 35 เพิ่ม FeSO_4 375 g, Fe-EDTA $\frac{1}{4}$ ของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 6	ปุ๋ยสูตร 36 เพิ่ม FeSO_4 500 g ของสูตรเดิม

ระบบ DRF (Dynamic Root Floating)

ตัวรับทดลองที่ 1	ปุ๋ยสูตร 37 เพิ่ม $(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ $\frac{1}{4}$, Fe-EDTA 0.4 เท่าของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 2	ปุ๋ยสูตร 38 เพิ่ม $(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ $\frac{1}{2}$, Fe-EDTA 0.4 เท่าของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 3	ปุ๋ยสูตร 39 เพิ่ม $(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)$ $\frac{1}{4}$, FeSO_4 250 g ของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 4	ปุ๋ยสูตร 40 เพิ่ม FeSO_4 100 g ของสูตรเดิม

วิธีการ

1. เตรียมรางปลูกโดยทำความสะอาดและฆ่าเชื้อด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ฆ่าเชื้อทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

2. การเพาะกล้าและการปลูก ในระบบ NFT และระบบ DRF ทำการเพาะเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมไฮดรอปโปนบนแผ่นฟองน้ำที่ตัดเป็นตารางที่เหมาะสม โดยไม่ให้ขาดออกจากกัน กรีดตรงกลางช่อง เพื่อใช้ฝังเมล็ด ลึก $\frac{1}{2}$ นิ้ว นำไปวางบนถาด และเติมน้ำลงไปอย่าให้ท่วมถึงเมล็ดนำไปบ่มไว้ในที่มืด เมื่อเมล็ดเริ่มงอก ให้นำออกมาโดนแดดเพื่อป้องกันการยืดตัว การเลี้ยงต้นกล้าใช้สารละลายธาตุอาหารพืชที่ความเข้มข้น 0.8-1.0 mS/cm เมื่อดันกล้าอายุ 14 วันหรือมีใบจริง 2-3 ใบ สามารถย้ายปลูกได้ โดยฉีดพ่นน้ำที่ละช่อง สอดใส่รูของโฟมที่เจาะไว้ให้รากจุ่มในสารละลาย

3. การควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC) และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลาย (pH) ทำได้โดยวัดด้วยเครื่องวัด EC ถ้าค่า EC ต่ำกว่าค่าที่กำหนด (1.3 mS/cm) ให้เติมสารละลายธาตุอาหารพืชเพิ่ม แต่ถ้าค่า EC เกินกว่าค่าที่กำหนดให้เติมน้ำเพื่อปรับค่า EC ลง การควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้อยู่ในช่วง 5.5 – 6.5 ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารมี pH

เป็นค่าจะปรับโดยใช้กรดไนตริก (HNO_3) และถ้า pH เป็นกรดจัดจะปรับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

4. การบันทึกข้อมูล เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตได้แก่ ความสูงตอต้น (ซม.) จำนวนใบตอต้นทุก ๆ 7 วัน และ น้ำหนักก่อนและหลังตัดแต่งตอต้น (กรัม) ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารพืช (mS/cm) ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายธาตุอาหารพืช (pH) และ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ในโรงเรือน

5. การวิเคราะห์ข้อมูล นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาตัวรับทดลองและระบบที่เหมาะสมในการผลิตผักกาดหอมที่สุด

การทดลองที่ 3 การทดสอบสูตรธาตุอาหารและระบบที่เหมาะสมที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์

ทำการทดสอบตัวรับทดลอง 3 สูตร (สูตรธาตุอาหาร) กับระบบการปลูกพืชไร้ดิน 2 ระบบ คือ ระบบ DFT และระบบ DRF โดยแต่ละระบบมี 3 ซ้ำ ดังนี้

ระบบ DFT (Deep Floating Technique)

ตัวรับทดลองที่ 1	ปุ๋ยสูตร 1 ปกติ
ตัวรับทดลองที่ 2	ปุ๋ยสูตร 26 เพิ่ม FeSO_4 500 g ของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 3	ปุ๋ยสูตร 27 เพิ่ม FeSO_4 125 g, Fe-EDTA $\frac{3}{4}$ ของสูตรเดิม

ระบบ DRF (Dynamic Root Floating)

ตัวรับทดลองที่ 1	ปุ๋ยสูตร 1 ปกติ
ตัวรับทดลองที่ 2	ปุ๋ยสูตร 26 เพิ่ม FeSO_4 500 g ของสูตรเดิม
ตัวรับทดลองที่ 3	ปุ๋ยสูตร 27 เพิ่ม FeSO_4 125 g, Fe-EDTA $\frac{3}{4}$ ของสูตรเดิม

วิธีการ

1. การติดตั้งระบบ สร้างระบบ DFT และระบบ DRF จำนวน 18 แปลง ขนาด 1.2×6 เมตร โดยแต่ละระบบใช้ปั้มน้ำ ขนาด 2,500 ลิตร/ชั่วโมง ในการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งมีการหมุนเวียนตลอดเวลา

2. ทำการเพาะเมล็ดพันธุ์ผักบนแผ่นฟองน้ำที่ตัดเป็นตารางหมากรุก โดยไม่ให้ขาดออกจากกัน กรีดตรงกลางช่อง เพื่อใช้ฝังเมล็ด ลึก $\frac{1}{2}$ นิ้ว นำไปวางบนถาด และเติมน้ำลงไปอย่าให้ท่วมถึงเมล็ด นำไปบ่มไว้ในที่มืด เพื่อป้องกันสาหร่าย เมื่อเมล็ดเริ่มงอก ให้นำออกมาโดนแดดเพื่อ

ป้องกันการยืดตัว การเลี้ยงต้นกล้าใช้สารละลายธาตุอาหารพืชที่มีความเข้มข้น 0.8-1.0 mS/cm เมื่อต้นกล้าอายุ 14 วัน สามารถย้ายปลูกได้ โดยฉีกฟองน้ำที่ละช่อง สอดใส่ช่องโพนที่เจาะรูไว้ให้รากจุ่มในสารละลาย

3. การควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC) และ ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลาย (pH) ทำได้โดยวัดด้วยเครื่องวัด EC ถ้าค่า EC ต่ำกว่าค่าที่กำหนด (1.3 mS/cm) ให้เติมสารละลายปุ๋ยเพิ่ม แต่ถ้าค่า EC เกินกว่าค่าที่กำหนดให้เติมน้ำเพื่อปรับค่า EC ลง การควบคุมความเป็นกรดต่าง (pH) ให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5 ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารมี pH เป็นด่างจะปรับโดยใช้กรดไนตริก (HNO_3) และถ้า pH เป็นกรดจัดจะปรับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

4. การบันทึก และการวิเคราะห์ข้อมูล ทำเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1 และ 2

สถานที่ทดลองและระยะเวลาดำเนินการ

ทำการทดลอง ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย
สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ โดยดำเนินการระหว่างเดือนมิถุนายน 2546 ถึง เดือนตุลาคม 2547

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

จากการวิจัยเพื่อทดสอบสูตรอาหารพืชกับระบบการปลูกพืชไร้ดิน โดยได้แบ่งการทดสอบในพื้นที่ที่แตกต่างกัน คือ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย และสถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ ได้ผลการวิจัยดังนี้

การทดลองที่ 1 ทำการทดลองที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ให้ผลการทดลองดังนี้

ระบบ NFT (Nutrient Film Technique)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 8.08 เซนติเมตร รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 24, 23, 25, 28, 27, 29, 30, 21 และ 22 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 7.74, 7.69, 7.31, 6.73, 6.57, 4.49, 4.39 และ 4.22 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 22 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด 4.17 เซนติเมตร (ตาราง 4)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 10.71 เซนติเมตร รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 24, 23, 25, 27, 28, 22, 29 และ 30 มีความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 10.58, 9.96, 9.62, 9.20, 8.28, 7.76, 7.46 และ 6.11 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 21 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 6.06 เซนติเมตร (ตาราง 4)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 15.20 เซนติเมตร รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 24, 25, 23, 27, 28, 22, 29 และ 21 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 14.29, 13.58, 13.16, 12.61, 12.31, 11.15 และ 9.47 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 8.80 เซนติเมตร (ตาราง 4)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เมื่ออายุ 28 วัน พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 23 มีความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 18.19 เซนติเมตร รองลงมา ปุ๋ยสูตร 25, 26, 24, 28, 27, 21, 22 และ 29 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 17.61, 17.61, 16.82, 16.11, 15.88, 15.11, 13.51 และ 13.04 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 11.54 เซนติเมตร (ตาราง 4)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น เมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 25 และ 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดเท่ากัน คือ 5.33 ใบ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 23, 24 และ 27 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากัน คือ 5.00 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 28, 21, 22 และ 30 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 4.67, 4.67 และ 4.33 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 29 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 4.00 ใบ (ตาราง 4)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 23 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 7.67 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 24, 26, 27, 25, 29 และ 28 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 7.33, 7.33, 7.00, 6.67, 6.33 และ 6.33 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 21, 22 และ 30 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 6.00 ใบ (ตาราง 4)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดไม่แตกต่างกัน คือ 11.33 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 25, 23, 24, 29, 28, 22, 27 และ 30 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 10.67, 10.33, 10.00, 9.67, 9.39, 9.00, 9.00 และ 7.67 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 21 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 7.33 ใบ (ตาราง 4)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 25 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 21.67 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 23, 26, 24, 28, 27, 29, 21 และ 22 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 21.33, 21.33, 19.67, 19.67, 16.33, 16.00, 13.00 และ 11.00 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ ระหว่าง 9.67 ใบ (ตาราง 4)

น้ำหนักก่อนตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 26 ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 247.33 กรัม รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 25, 28, 23, 24, 27, 22, 29 และ 21 ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 218.8, 208.67, 206.22, 171.78, 152.67, 115.11, 112.00 และ 98.45 กรัมตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 มีน้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 62.11 กรัม (ตาราง 5)

น้ำหนักหลังตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 26 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 220.89 กรัม รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 25, 23, 28, 24, 27, 29, 21 และ 22 ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 193.11, 174.44, 163.78, 142.89, 127.33, 88.00, 82.67 และ 59.20 กรัม ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุดคือ 54.55 กรัม (ตาราง 5)

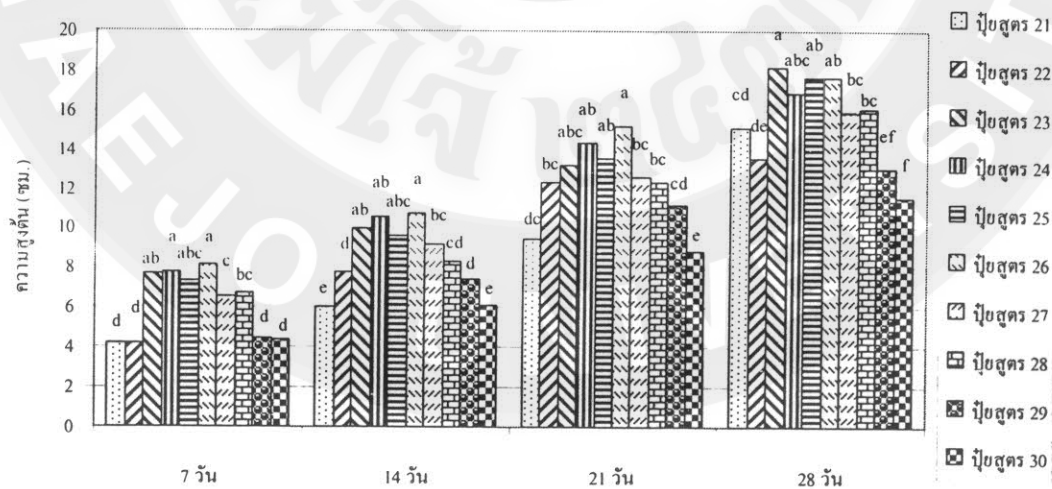
ตาราง 4 ผลการเจริญเติบโตที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปุ๋ยสูตร	ความสูงเฉลี่ยต่อต้น (ซม.)				จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น (ใบ)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
21	4.22 ^d	6.06 ^c	9.47 ^{de}	15.11 ^{cd}	4.33 ^{bc}	6.00 ^b	7.33 ^c	13.00 ^{cd}
22	4.17 ^d	7.76 ^d	12.31 ^{bc}	13.51 ^{de}	4.33 ^{bc}	6.00 ^b	9.00 ^{abc}	11.00 ^d
23	7.69 ^{ab}	9.96 ^{ab}	13.16 ^{abc}	18.19 ^a	5.00 ^{ab}	7.67 ^a	10.33 ^a	21.33 ^a
24	7.74 ^a	10.58 ^{ab}	14.29 ^{ab}	16.82 ^{abc}	5.00 ^{ab}	7.33 ^{ab}	10.00 ^{ab}	19.67 ^{ab}
25	7.31 ^{abc}	9.62 ^{bc}	13.58 ^{ab}	17.61 ^{ab}	5.33 ^a	6.33 ^{ab}	10.67 ^a	21.67 ^a
26	8.08 ^a	10.71 ^a	15.20 ^a	17.61 ^{ab}	5.33 ^a	7.33 ^{ab}	11.33 ^a	21.33 ^a
27	6.57 ^c	9.20 ^{bc}	12.61 ^{bc}	15.88 ^{bc}	5.00 ^{ab}	7.00 ^{ab}	9.00 ^{abc}	16.33 ^{bc}
28	6.73 ^{bc}	8.28 ^{cd}	12.34 ^{bc}	16.11 ^{bc}	4.67 ^{abc}	6.33 ^{ab}	9.33 ^{abc}	19.67 ^b
29	4.49 ^d	7.46 ^d	11.15 ^{cd}	13.04 ^{ef}	4.00 ^c	6.67 ^{ab}	9.67 ^{abc}	16.00 ^{bc}
30	4.39 ^d	6.11 ^c	8.80 ^c	11.54 ^f	4.33 ^{bc}	6.00 ^b	7.67 ^{bc}	9.67 ^d
CV%	8.71	8.74	9.97	6.09	9.36	11.58	14.00	13.67
F-Test	**	**	**	**	**	**	**	**

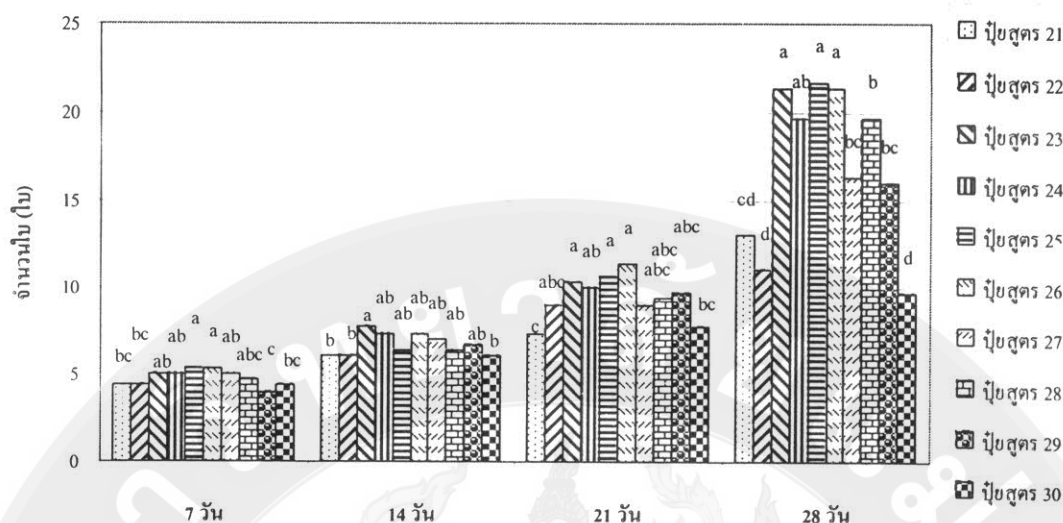
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพ 1 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมระบบ NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพ 2 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยของผักกาดหอมระบบ NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

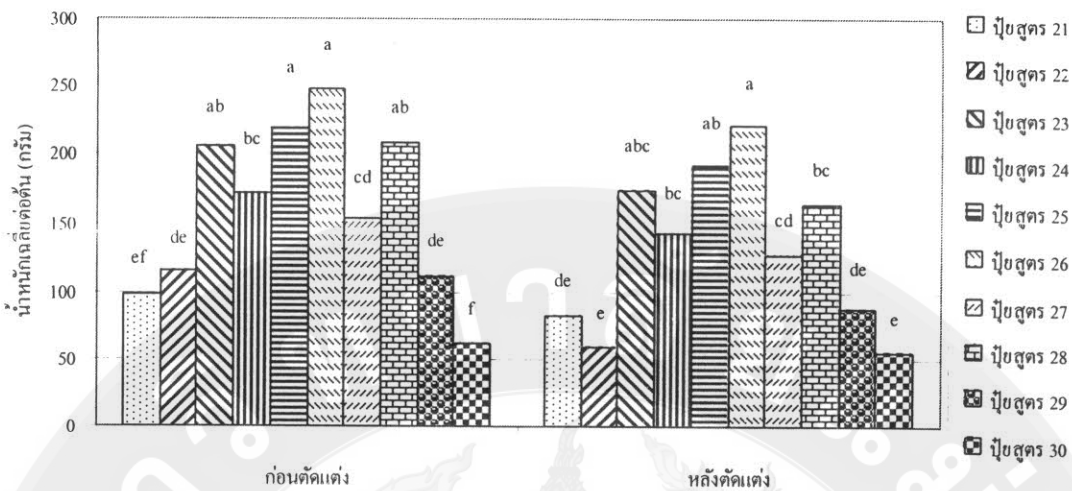
ตาราง 5 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปุ๋ยสูตร	ผลผลิตเฉลี่ย (กรัมต่อต้น)	
	น้ำหนักก่อนตัดแต่ง	น้ำหนักหลังการตัดแต่ง
21	98.45 ^{cl}	82.67 ^{dc}
22	115.11 ^{dc}	59.20 ^c
23	206.22 ^{ab}	174.44 ^{abc}
24	171.78 ^{bc}	142.89 ^{bc}
25	218.89 ^a	193.11 ^{ab}
26	247.33 ^a	220.89 ^a
27	152.67 ^{cd}	127.33 ^{cd}
28	208.67 ^{ab}	163.78 ^{bc}
29	112.00 ^{dc}	88.00 ^{dc}
30	62.11 ^f	54.55 ^c
CV%	15.52	22.24
F-Test	**	**

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพ 3 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระบบ DRF (Dynamic Root Floating)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 30 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 7.21 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 21, 27, 26, 24, 29, 25, 28 และ 22 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 6.53, 6.45, 6.17, 6.09, 5.56, 5.29, 4.95 และ 4.58 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 23 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุดคือ 4.47 เซนติเมตร (ตาราง 6)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 30 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 10.11 เซนติเมตร รองลงมา ปุ๋ยสูตร 27, 26, 25, 22, 29, 28, 21 และ 23 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 9.83, 9.51, 8.40, 8.35, 7.73, 7.12 และ 6.40 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 24 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 5.66 เซนติเมตร (ตาราง 6)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดย ปุ๋ยสูตร 27 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 13.77 เซนติเมตร รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 30, 26, 25, 22, 29, 28, 21 และ 23 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 13.45, 13.38, 12.66, 12.15, 12.10, 11.76, 11.14 และ 10.61 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 24 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 9.54 เซนติเมตร (ตาราง 6)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 17.98 เซนติเมตร รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 30, 27, 22, 25, 29, 28, 21 และ 23 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 17.46, 15.87, 16.83, 16.62, 16.03, 15.87, 15.40 และ 14.60 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 24 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 14.38 เซนติเมตร (ตาราง 6)

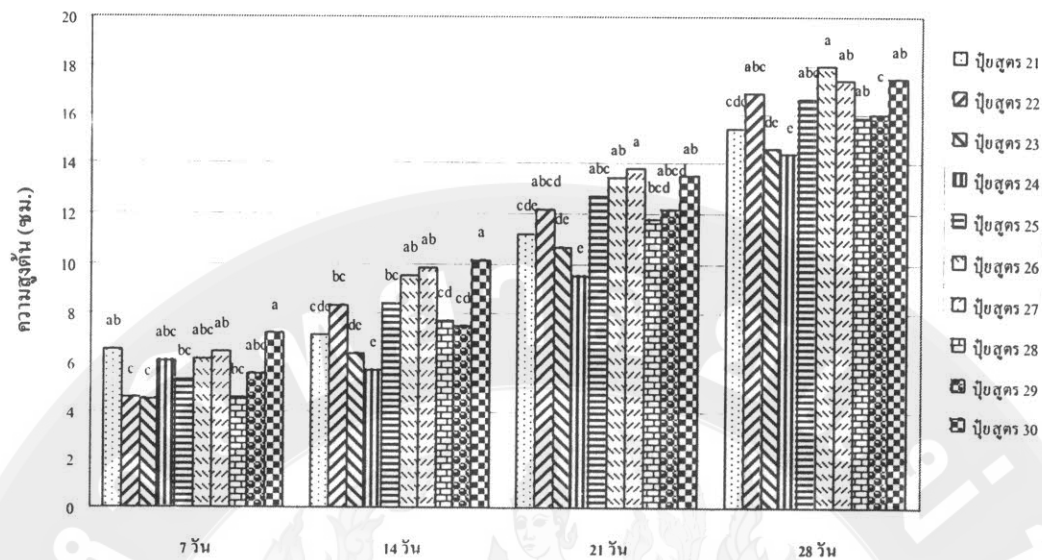
จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 27 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 5.00 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 26, 24, 30, 28, 29, 23, 21 และ 25 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 4.83, 4.67, 4.67, 4.50, 4.50, 4.33, 4.17 และ 4.00 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 22 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 3.83 ใบ (ตาราง 6)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 27 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 7.17 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 26, 30, 22, 25, 30, 28, 23 และ 21 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 7.00, 6.50, 6.17, 6.17, 6.17, 6.00 และ 5.83 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 28 และ 29 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 5.67 ใบ (ตาราง 6)

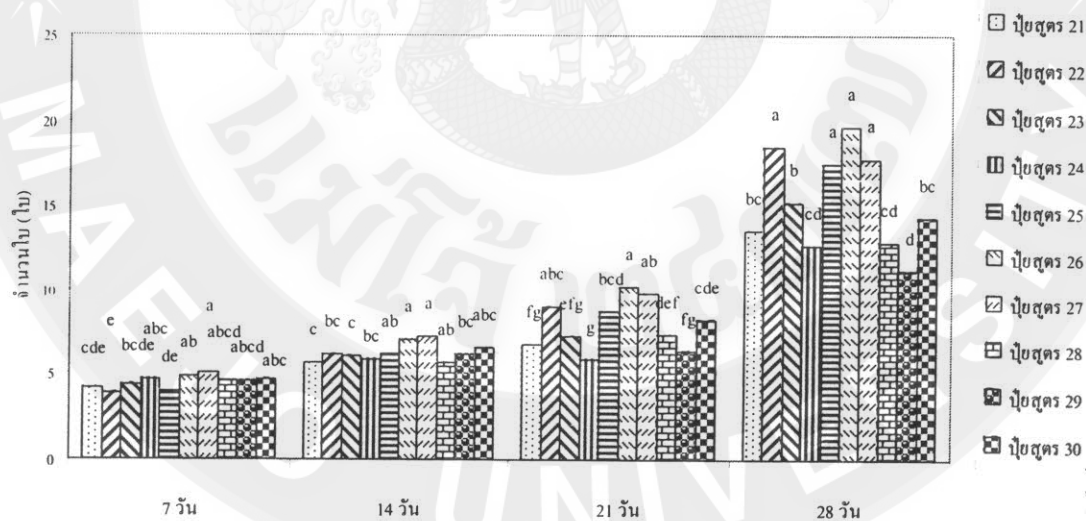
จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น เมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 10.17 ใบ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 27, 22, 25, 30, 28, 23, 21 และ 29 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 9.83, 9.00, 8.67, 8.17, 7.33, 7.17, 6.67 และ 6.63 ใบ ตามลำดับส่วนปุ๋ยสูตร 24 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 5.83 ใบ (ตาราง 6)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น เมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 19.67 ใบ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 22, 27, 25, 23, 30, 21, 28 และ 24 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 18.50, 17.83, 17.50, 15.17, 14.33, 13.50, 12.83 และ 12.67 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 29 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 11.17 ใบ (ตาราง 6)

น้ำหนักก่อนตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 26 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดคือ 185.89 กรัม รองลงมาคือปุ๋ยสูตร 27, 25, 22, 23, 30, 24, 21 และ 28 ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 171.28, 156.44, 154.61, 140.78, 129.12, 126.28 และ 119.67 กรัม ตามลำดับส่วนปุ๋ยสูตร 29 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 103.56 กรัม (ตาราง 7)



ภาพ 4 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมระบบ DRF ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพ 5 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมระบบ DRF ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

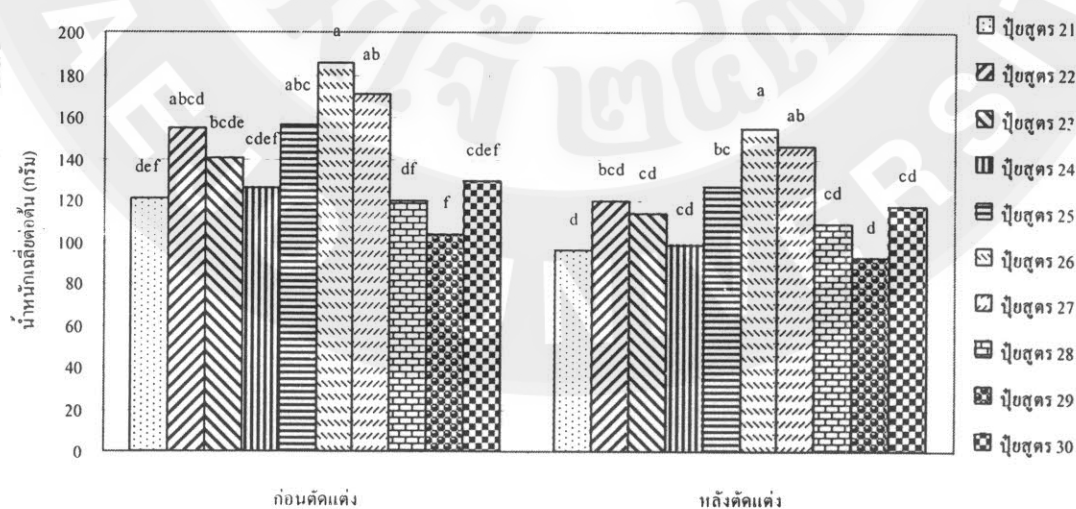
ตาราง 7 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ DRF ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปุ๋ยสูตร	ผลผลิตเฉลี่ย (กรัมต่อต้น)	
	น้ำหนักก่อนตัดแต่ง	น้ำหนักหลังการตัดแต่ง
21	120.72 ^{def}	96.50 ^d
22	154.61 ^{abcd}	119.83 ^{bcd}
23	140.78 ^{bcde}	113.67 ^{cd}
24	126.28 ^{cdef}	98.42 ^{cd}
25	156.44 ^{abc}	126.72 ^{bc}
26	185.89 ^a	154.61 ^a
27	171.28 ^{ab}	146.72 ^{ab}
28	119.67 ^{df}	109.33 ^{cd}
29	103.56 ^f	92.89 ^d
30	129.12 ^{cdef}	117.34 ^{cd}
CV%	18.59	18.71
F-Test	**	**

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพ 6 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ DRF ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระบบ Substrate

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 22 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 11.42 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 23, 21, 30, 25, 24, 29, 27 และ 28 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 11.41, 11.30, 10.59, 10.17, 10.01, 9.89, 8.36 และ 8.28 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 7.92 เซนติเมตร (ตาราง 8)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 21 ให้ความสูงเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 14.62 เซนติเมตรรองลงมาคือปุ๋ยสูตร 23, 22, 29, 30, 24, 25, 28 และ 27 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 13.72, 13.68, 12.94, 12.72, 12.39, 11.75, 11.38 และ 11.15 เซนติเมตรตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 10.44 เซนติเมตร (ตาราง 8)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า ทุกสูตรอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยปุ๋ยสูตร 24 ให้ความสูงเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 15.85 เซนติเมตรรองลงมาคือปุ๋ยสูตร 21, 22, 30, 29, 25, 27, 28 และ 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 15.53, 15.03, 14.97, 14.42, 14.24, 14.17, 13.56 และ 13.03 เซนติเมตรตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 23 ให้ความสูงเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 11.08 เซนติเมตร (ตาราง 8)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า ทุกสูตรอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยปุ๋ยสูตร 23 ให้ความสูงเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 17.35 เซนติเมตรรองลงมาคือปุ๋ยสูตร 21, 24, 25, 30, 29, 29, 27, 28 และ 22 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 17.30, 16.69, 16.08, 15.93, 15.87, 15.54 และ 15.06 เซนติเมตรตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 14.48 เซนติเมตร (ตาราง 8)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า ทุกสูตรอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 24 และ 21 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงสุด คือ 8 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 23, 22, 22, 30, 29, 25, 27 และ 28 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 7.67, 7.67, 7.33, 7.00, 6.67, 6.67 และ 6.33 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 6.33 ใบ (ตาราง 8)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 29 และ 30 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดเท่ากัน คือ 12 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 28, 21, 23, 24, 22, 27 และ 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 11.67, 10.67,

10.67, 10.33, 9.67, 9.67, 9.67 และ 9.33 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต้นต่ำที่สุด คือ 9.00 ใบ (ตาราง 8)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 23 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 14.33 ใบ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 30, 28, 21, 27, 29, 24, 26 และ 22 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 13.67, 13.33, 13.00, 13.00, 13.00, 12.67, 12.67 และ 12.33 ใบตามลำดับส่วนปุ๋ยสูตร 25 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 11.67 ใบ (ตาราง 8)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 24 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 22.67 ใบ รองลงมาคือปุ๋ยสูตร 23, 27, 28, 21, 22, 25, 29 และ 30 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 22.33, 21.33, 21.00, 20.00, 19.67, 18.33, 17.67 และ 17.33 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 16.33 ใบ (ตาราง 8)

น้ำหนักก่อนตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 28 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดคือ 241.44 กรัม รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 27, 29, 24, 26, 23, 30, 22 และ 25 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 221.33, 188.34, 185.45, 155.44, 150.22, 148.89, 113.72 และ 106.00 กรัม ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 21 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 93.61 กรัม (ตาราง 9)

น้ำหนักหลังตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 28 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 182.78 กรัม รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 27, 29, 24, 30, 26, 23, 25 และ 22 ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 165.55, 135.33, 132.56, 118.67, 114.11, 81.89, 75.11 และ 71.67 กรัม ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 21 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 56.50 กรัม (ตาราง 9)

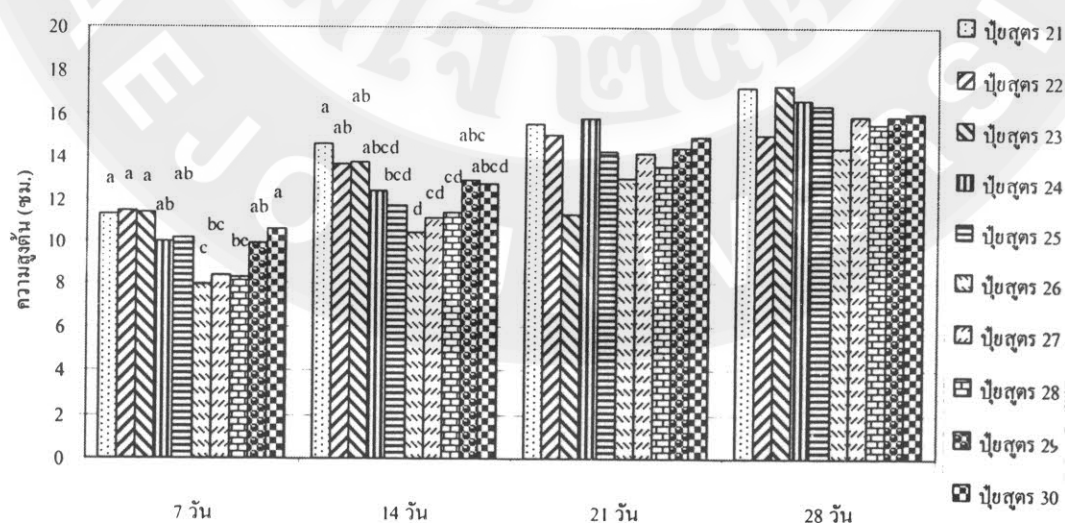
ตาราง 8 ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปุ๋ยสูตร	ความสูงเฉลี่ยต่อต้น (ซม.)				จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น (ใบ)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
21	11.30 ^a	14.62 ^a	15.53	17.30	8.00	10.67 ^{abc}	13.00 ^{abc}	20.00 ^{abc}
22	11.42 ^a	13.68 ^{ab}	15.03	15.06	7.67	9.67 ^{bc}	12.33 ^{bc}	19.67 ^{abc}
23	11.41 ^a	13.72 ^{ab}	11.28	17.35	7.67	10.67 ^{abc}	14.33 ^a	22.33 ^a
24	10.01 ^{ab}	12.39 ^{abcd}	15.85	16.69	8.00	10.33 ^{abc}	12.67 ^{bc}	22.67 ^a
25	10.17 ^{ab}	11.75 ^{bcd}	14.24	16.39	6.67	9.00 ^c	11.67 ^c	18.33 ^{bcd}
26	7.92 ^c	10.44 ^d	13.03	14.48	6.33	9.33 ^c	12.67 ^{bc}	16.33 ^d
27	8.36 ^{bc}	11.15 ^{cd}	14.17	15.87	6.67	9.67 ^{bc}	13.00 ^{ab}	21.33 ^{ab}
28	8.28 ^{bc}	11.38 ^{cd}	13.56	15.54	6.33	11.67 ^{ab}	13.33 ^{abc}	21.00 ^{ab}
29	9.89 ^{bc}	12.94 ^{abc}	14.42	15.93	7.00	12.00 ^a	13.00 ^{abc}	17.67 ^{cd}
30	10.59 ^a	12.72 ^{abcd}	14.94	16.08	7.33	12.00 ^a	13.67 ^{ab}	17.33 ^{cd}
CV%	10.64	9.56	14.15	9.94	9.53	8.18	6.35	8.75
F-Test	**	**	ns	ns	ns	**	**	**

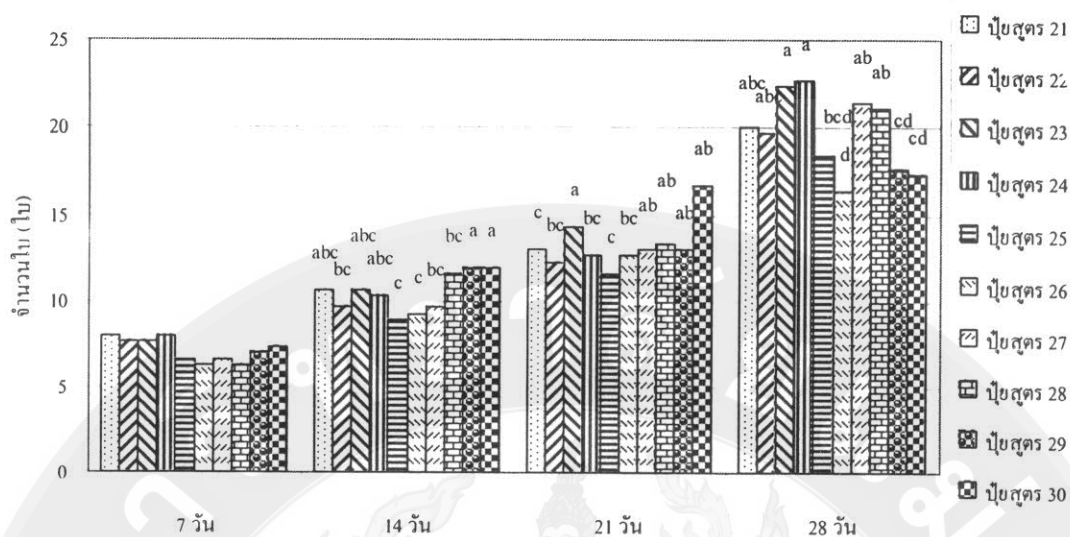
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพ 7 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมระบบ Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพ 8 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมระบบ Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

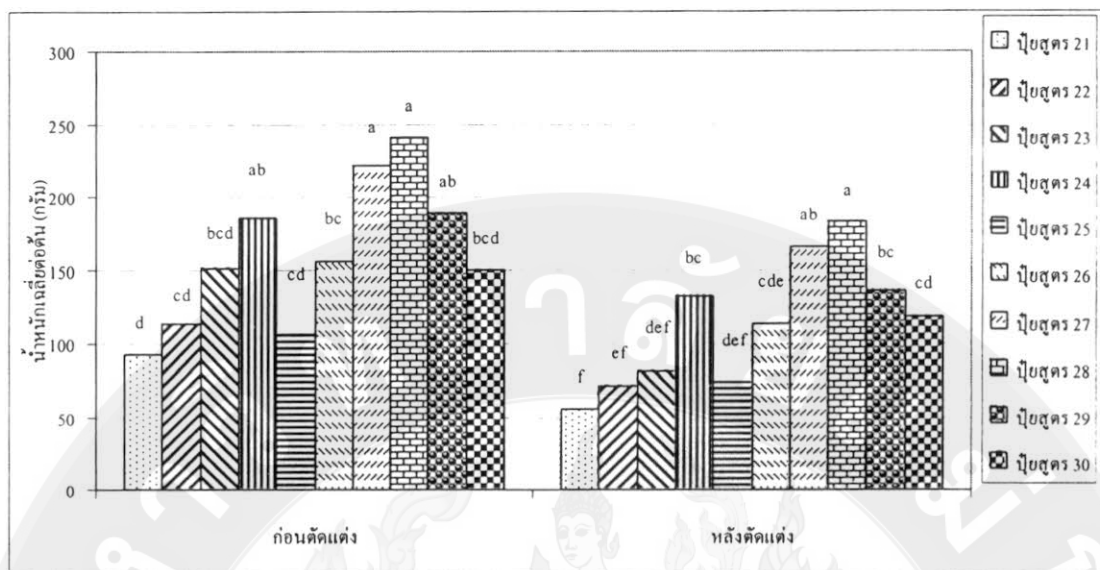
ตาราง 9 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปุ๋ยสูตร	ผลผลิตเฉลี่ย (กรัมต่อต้น)	
	น้ำหนักก่อนตัดแต่ง	น้ำหนักหลังการตัดแต่ง
21	93.61 ^d	56.50 ^f
22	113.72 ^{cd}	71.67 ^{ef}
23	150.22 ^{bcd}	81.89 ^{def}
24	185.45 ^{ab}	132.56 ^{bc}
25	106.00 ^{cd}	75.11 ^{def}
26	155.44 ^{bc}	114.11 ^{cd}
27	221.33 ^a	165.55 ^{ab}
28	241.44 ^a	182.78 ^a
29	188.34 ^{ab}	135.33 ^{bc}
30	148.89 ^{bcd}	118.67 ^{cd}
CV%	19.47	20.90
F-Test	**	**

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพ 9 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วิจารณ์ผลการทดลองที่ 1

จากการศึกษาสูตรธาตุอาหารพืชและระบบที่เหมาะสมที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยทดสอบสูตรธาตุอาหาร 10 คำรับทดลองคือ สูตรธาตุอาหารที่ 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 และ 30 กับระบบ NFT ระบบ DRF และระบบ Substrate พบว่า

ระบบการปลูกพืชไร้ดิน

ระบบ NFT และ DRF ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน แต่ระบบ NFT จะเกิดปัญหาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 35 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นระบบที่สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบาง ๆ (นิพนธ์, 2542) ทำให้อุณหภูมิของสารละลายเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืชอยู่ในช่วง 15-40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตพืชคือ 20-25 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมากกว่า 29 องศาเซลเซียส ทำให้ระบบรากชะงักการเจริญเติบโต แม้ว่ามีรากที่แช่อยู่ในน้ำ แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นก็จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) มีค่าลดลงรากพืชไม่สามารถดูดสารละลายได้เป็นเวลานาน ทำให้รากพืชอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรคพืชและเน่าตายได้ (อานันท์, 2542) อาจแก้ไขได้โดยลดความยาวของรางปลูกพืชลง หรือมีการเติมอากาศในถังผสมสารละลาย เพื่อเป็นการแก้ปัญหารากขาดออกซิเจน (อานันท์, 2548) และจากการทดลองระบบ NFT จะมีข้อเสียคือ เมื่อเกิด

ไฟฟ้าขัดข้องปั้มน้ำจะหยุดทำงาน ทำให้พืชขาดน้ำเป็นเวลานาน ปลายยอดเหี่ยว รากแห้ง และทำให้ตายได้ สอดคล้องกับการรายงานของ โสระยา (2544) ที่ว่าระบบ NFT เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้อง ระบบการไหลเวียนของสารละลายหุ้ดชะงัก ทำให้รากพืชขาดน้ำ ส่งผลให้พืชตายได้ ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่มีความสม่ำเสมอ และยังพบอีกว่า ผลผลิตในบางสูตรอาหารในระบบนี้มีลักษณะ ต้นเหลือง ชิด ไม่ตรงตามความต้องการของตลาด และจากการวิจัยพบว่าปุ๋ยสูตรเหมาะสมกับระบบนี้ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 26 และ 27

ระบบ DRF เป็นระบบที่มีการไหลเวียนของสารละลายธาตุอาหารพืช โดยปล่อยให้ มีช่องว่างระหว่างรากและอากาศ เพื่อให้รากพัฒนาเป็นรากอากาศขึ้นมา ทำให้พืชได้รับ ออกซิเจนอย่างเพียงพอ ซึ่งเมื่อพืชได้รับออกซิเจนที่เพียงพอ รากพืชจะมีขาวและมีรากฝอยมาก (อาร์กย์, 2544) ทำให้ไม่เกิดปัญหาการขาดออกซิเจน ในกรณีที่อุณหภูมิของสารละลายสูงเกินไป เพราะอุณหภูมิมีผลต่อการพัฒนาของราก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกพืชในสารละลายโดยตรง อุณหภูมิของรากจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสารละลาย ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของ พืช (โสระยา, 2544) ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความสม่ำเสมอ เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ง่าย และในกรณีที่เกิ ดปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้อง ไม่พบว่าเกิดปัญหาระบบรากขาดน้ำ และแห้งตาย เพราะว่าระบบนี้ราก พืชแช่อยู่ในน้ำ และมีรากบางส่วนสัมผัสกับอากาศทำให้พืชสร้างรากอากาศขึ้นมาได้เอง และเหตุนี้เองรากพืชจึงได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณของผลผลิตโดยตรง สอดคล้องกับการรายงานของ Kao (2546) ที่ว่าผลผลิตผักในระบบ DRF จะมีความสม่ำเสมอตลอด ปี ทั้งในสภาพอุณหภูมิต่ำจนถึงอุณหภูมิสูง โดยให้ผลเหมือนกันกับสภาพพื้นที่ภายนอก อุณหภูมิ ของสารละลาย จะสามารถรักษาระดับให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งระบบนี้เป็นระบบที่สามารถใช้ได้ ดีในเขตกึ่งร้อนและในเขตร้อน และจากการวิจัยพบว่าปุ๋ยสูตรเหมาะสมกับระบบนี้ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 26 และ 27

ระบบการปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate) ในการวิจัยใช้ทรายเป็นวัสดุปลูก พบว่า ผลผลิตที่ได้มีความสม่ำเสมอ รากของพืชที่ปลูกสามารถใช้ทรายยึดลำต้นได้ จึงช่วยลดปริมาณการ ใช้โฟมลงได้มาก มีช่องว่างระหว่างเม็ดทราย ซึ่งเป็นช่องระบายอากาศของราก ทำให้ได้รับ ออกซิเจนอย่างเพียงพอ แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของการใช้ทรายเป็นวัสดุปลูกก็คือ ต้องเสียเวลาทำ ความสะอาดราก และลำต้นพืช เนื่องจากการปนเปื้อนของทรายตามลำต้นและราก สอดคล้องกับ รายงานของ นพดล (2538) ที่ว่าข้อเสียของการใช้ทรายเป็นวัสดุปลูก คือต้องเสียเวลาทำความสะอาดทรายทุกครั้งก่อนที่จะนำไปใช้ ทรายเป็นวัสดุที่หนัก ไม่สะดวกต่อการใช้ปลูกเพื่อผลิตพืช จำนวนมาก และจากการวิจัยพบว่าปุ๋ยสูตรเหมาะสมกับระบบนี้ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 28 และ 27

สูตรธาตุอาหารพืช

จากการทดลองจะเห็นได้ชัดว่าปุ๋ยสูตรที่เหมาะสมในการผลิตคือปุ๋ยสูตร 26 และ 27 ซึ่งมีการเติม FeSO_4 ปริมาณ 500 กรัม และ $\text{Fe} - \text{EDTA}$ 0.75, FeSO_4 125 กรัม มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากเหล็กเป็นส่วนหนึ่งของเอนไซม์และโปรตีนหลายชนิดที่ทำหน้าที่ในการขนส่งอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงและหายใจ (นิตย์, 2541) ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ดียิ่งขึ้นส่วนในปุ๋ยสูตร 21, 22 และ 23 ที่มีการเติมแคลเซียมในอัตราในปริมาณ 0.25, ไม่เติม และ 0.5 เท่าของสูตรเดิม จากการทดลองพืชตอบสนองได้ไม่ดีนัก โดยให้ผลผลิตเฉลี่ย เท่ากับ 96.50, 119.83 และ 113.67 กรัม ตามลำดับ แสดงว่าในสูตรธาตุอาหารเดิมมีปริมาณแคลเซียมที่เพียงพอ ต่อความต้องการของพืชในปริมาณที่เหมาะสม ดังนั้น การเติมแคลเซียมในอัตราที่มากเกินไปความพอดีไม่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืชและทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงด้วยเนื่องจากไปขัดขวางการดูดซึมธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์บางชนิด เช่น แมกนีเซียม และ โพแทสเซียมสอดคล้องกับ นพดล (2538) กล่าวว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมที่มากเกินไปจะมีผลต่อการนำโพแทสเซียมและแมกนีเซียมมาใช้

จากตารางภาคผนวก ข 2 เห็นได้ชัดว่าต้นทุนการผลิตปุ๋ยสูตร 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 และ 30 มีต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 22.7, 20.8, 24.6, 27.24, 37.3, 32.8, 33.7, 32.08 และ 32.44 บาท ตามลำดับ ถึงแม้ว่าต้นทุนในการผลิตปุ๋ยสูตร 26 และ 27 จะอยู่ที่ 32.8 และ 33.7 บาท ตามลำดับแต่เมื่อดูผลผลิตโดยรวมจากการทดลองนับว่าคุ้มค่ากับการลงทุนเป็นอย่างยิ่ง และจากการใช้ปุ๋ย FeSO_4 ทดแทน $\text{Fe} - \text{EDTA}$ ในปุ๋ยสูตรที่ 26 และ 27 ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตไปได้มาก เนื่องจาก $\text{Fe} - \text{EDTA}$ มีราคาแพงและจากการที่ละลายน้ำได้ดี ทำให้ไปขัดขวางการดูดซึมธาตุอาหารพืชบางตัว เช่น ฟอสฟอรัสในพืชลดลงจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้พืชขาดธาตุอาหารได้

ดังนั้นการเลือกใช้สูตรธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมในการผลิต มีสัดส่วนของธาตุอาหารที่พอเหมาะไม่มากหรือน้อยเกินไป และปัจจัยในการผลิตพืชที่เหมาะสมนับว่าเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตพืชในระบบไร่นาเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นสูตรธาตุอาหารพืชและระบบที่เหมาะสมในการผลิตผักกาดหอมในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ คือ ปุ๋ยสูตร 26, 27 และ ระบบ DRF ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 การทดสอบที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย ให้ผลการทดลองดังนี้

ระบบ NFT (Nutrient Film technique)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 24 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 6.21 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 27, 23, 28, 22, 29, 26 และ 21 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 6.16, 6.13, 5.87, 5.82, 5.81, 5.73, 5.70 และ 5.50 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 5.01 เซนติเมตร (ตาราง 10)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 23 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 10.72 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 28, 22, 27, 25, 24, 21, 26 และ 29 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 10.63, 9.96, 9.68, 9.62, 9.60, 9.18, 8.58 และ 8.40 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 7.31 เซนติเมตร (ตาราง 10)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 28 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 15.82 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 22, 23, 27, 24, 21, 25, 29 และ 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 15.22, 15.20, 15.14, 14.75, 14.48, 13.86, 13.62 และ 13.40 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 11.32 เซนติเมตร (ตาราง 10)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 28 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 18.32 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 24, 27, 23, 29, 22, 26, 21 และ 25 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 17.22, 17.17, 17.11, 16.99, 16.70, 15.82, 15.81 และ 15.39 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 13.94 เซนติเมตร (ตาราง 10)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 24 และ 23 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดเท่ากัน คือ 3.33 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 21, 29, 28, 27, 26, 25 และ 22 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างกันคือ 3.00 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุดคือ 2.00 ใบ (ตาราง 10)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 28 และ 23 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดเท่ากัน คือ 5.33 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 25, 24, 22 และ 21 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างกันคือ 5.00 ใบ ปุ๋ย

สูตร 26, 29 และ 27 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างกันคือ 4.67 ใบ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต้นต่ำที่สุด คือ 4.00 ใบ (ตาราง 10)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 28 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 7.33 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 23, 22, 21, 25, 26, 24 และ 27 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 7.00, 6.67, 6.67, 6.33, 6.00, 6.00, 6.00 และ 6.00 ใบ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 และ 29 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต้นต่ำที่สุด คือ 5.67 ใบ (ตาราง 10)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยปุ๋ยสูตร 28 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 12.33 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 23, 22 และ 21 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างกันคือ 11.00 ใบ ปุ๋ยสูตร 24, 27, 25, 29 และ 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 10.67, 10.00, 9.67, 9.67 และ 8.33 ใบ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต้นต่ำที่สุด คือ 8.00 ใบ (ตาราง 10)

น้ำหนักก่อนตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 27 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดคือ 256.11 กรัม รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 28, 23, 22, 24, 29, 21, 26 และ 25 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 246.78, 232.22, 216.11, 211.11, 175.55, 163.22, 159.44 และ 146.67 กรัม ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 110.00 กรัม (ตาราง 11)

น้ำหนักหลังตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 28 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 199.45 กรัม รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 22, 23, 24, 27, 21, 29, 25 และ 26 ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 177.78, 173.89, 163.33, 160.00, 132.78, 130.55, 125.00 และ 117.78 กรัม ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 30 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 78.33 กรัม (ตาราง 11)

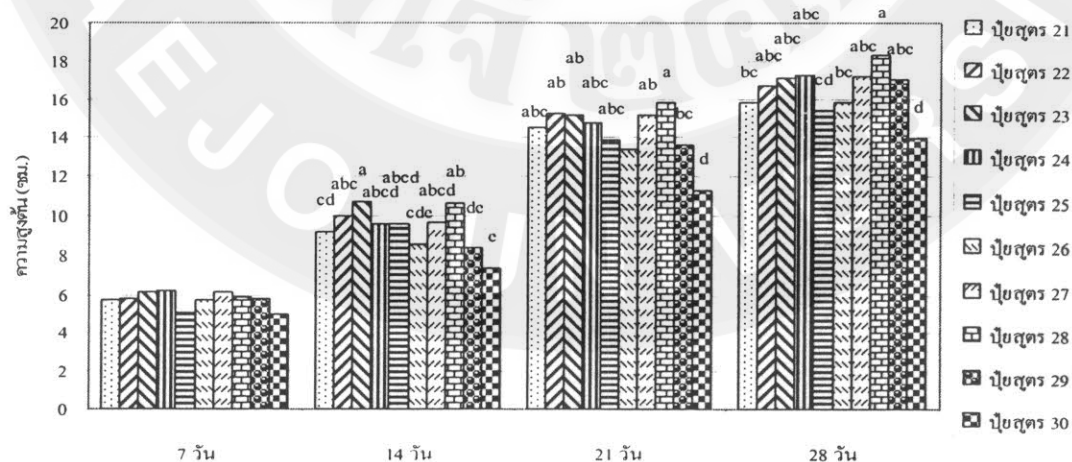
ตาราง 10 ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ NFT ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

ปุ๋ยสูตร	ความสูงเฉลี่ยต่อต้น (ซม.)				จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น (ใบ)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
21	5.70	9.18 ^{cd}	14.48 ^{abc}	15.81 ^{bc}	3.00 ^a	5.00 ^a	6.67 ^{abc}	11.00 ^{ab}
22	5.82	9.96 ^{abc}	15.22 ^{ab}	16.70 ^{abc}	3.00 ^a	5.00 ^a	6.67 ^{abc}	11.00 ^{ab}
23	6.13	10.72 ^a	15.20 ^{ab}	17.11 ^{abc}	3.33 ^a	5.33 ^a	7.00 ^{ab}	11.00 ^{ab}
24	6.21	9.60 ^{abcd}	14.75 ^{abc}	17.22 ^{ab}	3.33 ^a	5.00 ^a	6.00 ^{cd}	10.67 ^b
25	5.05	9.62 ^{abcd}	13.86 ^{abc}	15.39 ^{cd}	3.00 ^a	5.00 ^a	6.33 ^{bcd}	9.67 ^{bc}
26	5.73	8.58 ^{cde}	13.40 ^c	15.82 ^{bc}	3.00 ^a	4.67 ^{ab}	6.00 ^{cd}	8.33 ^{cd}
27	6.16	9.68 ^{abcd}	15.14 ^{ab}	17.17 ^{abc}	3.00 ^a	4.67 ^{ab}	6.00 ^{cd}	10.00 ^b
28	5.87	10.63 ^{ab}	15.82 ^a	18.32 ^a	3.00 ^a	5.33 ^a	7.33 ^a	12.33 ^a
29	5.81	8.40 ^{de}	13.62 ^{bc}	16.99 ^{abc}	3.00 ^a	4.67 ^{ab}	5.67 ^d	9.67 ^{bc}
30	5.01	7.31 ^c	11.32 ^d	13.94 ^d	2.00 ^b	4.00 ^b	5.67 ^d	8.00 ^d
CV%	8.86	8.25	6.28	5.72	8.21	8.75	6.59	7.85
F-test	ns	**	**	**	**	*	**	**

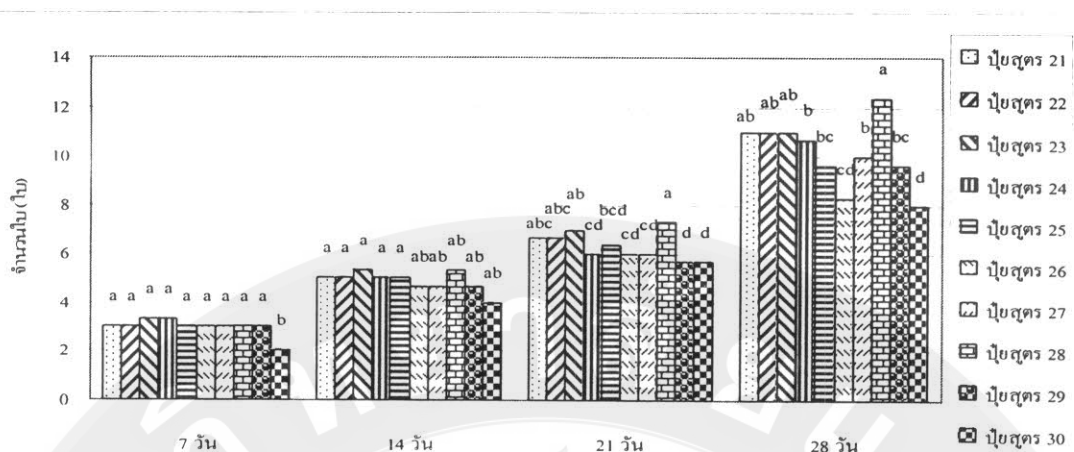
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพ 10 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมระบบ NFT ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย



ภาพ 11 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมระบบ NFT ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

ตาราง 11 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ NFT

ปุยสูตร	ผลผลิตเฉลี่ย (กรัมต่อต้น)	
	น้ำหนักก่อนตัดแต่ง	น้ำหนักหลังการตัดแต่ง
21	163.22 ^{bcd}	132.78 ^{bc}
22	216.11 ^{abcd}	177.78 ^{ab}
23	232.22 ^{abc}	173.89 ^{ab}
24	211.11 ^a	163.33 ^{ab}
25	146.67 ^{de}	125.00 ^{bc}
26	159.44 ^{cde}	117.78 ^{bc}
27	256.11 ^a	160.00 ^{ab}
28	246.78 ^{ab}	199.45 ^a
29	175.55 ^{abcd}	130.55 ^{bc}
30	110.00 ^c	78.33 ^c
CV%	22.76	22.62
F-Test	**	*

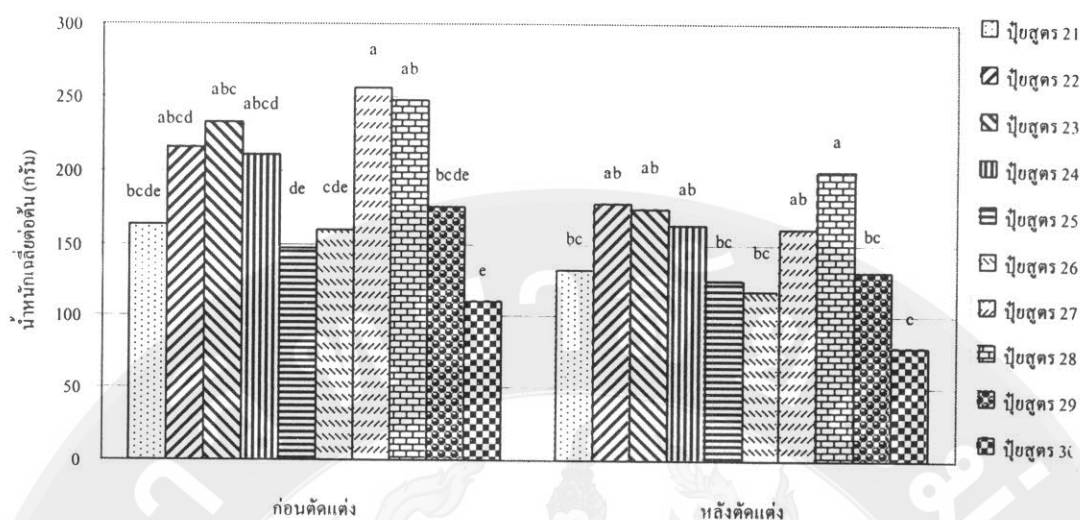
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพ 12 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ NFT ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

ระบบ Substrate

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 32 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 6.38 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 35, 34, 36 และ 31 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 6.07, 5.98, 5.91 และ 5.59 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 33 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 5.42 เซนติเมตร (ตาราง 12)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 35 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 9.44 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 34, 36, 32 และ 33 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 9.14, 9.09, 9.09 และ 8.84 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 31 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 8.64 เซนติเมตร (ตาราง 12)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 35 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 13.78 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 32, 33, 36 และ 34 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 13.64, 13.46, 13.37 และ 13.29 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 31 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 12.48 เซนติเมตร (ตาราง 12)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 36 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 17.06 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 33, 35, 32 และ 34 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 16.22, 15.99, 15.50 และ 15.42

เซนติเมตร ตามลำดับส่วนปุ๋ยสูตร 31 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 14.58 เซนติเมตร (ตาราง 12)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คือมีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นอยู่ระหว่าง 1.50 – 3.00 ใบ (ตาราง 12)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คือมีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นอยู่ระหว่าง 4.50 – 4.88 ใบ (ตาราง 12)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คือมีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นอยู่ระหว่าง 4.50 – 4.88 ใบ (ตาราง 12)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คือมีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นอยู่ระหว่าง 9.63 – 11.25 ใบ (ตาราง 12)

ตาราง 12 แสดงผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ

Substrate ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

ปุ๋ยสูตร	ความสูงเฉลี่ยต่อต้น (ซม.)				จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น (ใบ)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
31	5.59	8.61	12.48 ^b	14.58 ^c	2.50	4.50	6.38	10.50
32	6.38	9.09	13.64 ^a	15.50 ^{bc}	2.88	4.75	6.38	10.63
33	5.42	8.84	13.46 ^a	16.22 ^{ab}	2.75	4.63	6.00	9.63
34	5.98	9.14	13.29 ^a	15.42 ^{bc}	3.00	4.88	6.50	10.63
35	6.07	9.44	13.78 ^a	15.99 ^{ab}	2.88	4.88	6.25	10.63
36	5.91	9.09	13.37 ^a	17.06 ^a	3.00	4.88	6.63	11.25
CV%	12.53	8.93	5.90	4.74	11.81	8.95	8.40	9.49
F-test	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	ns

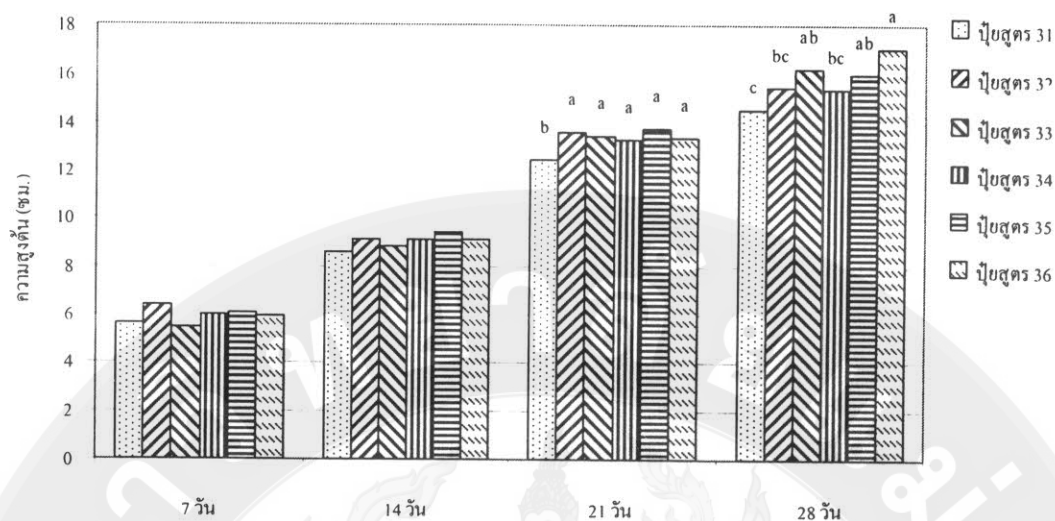
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

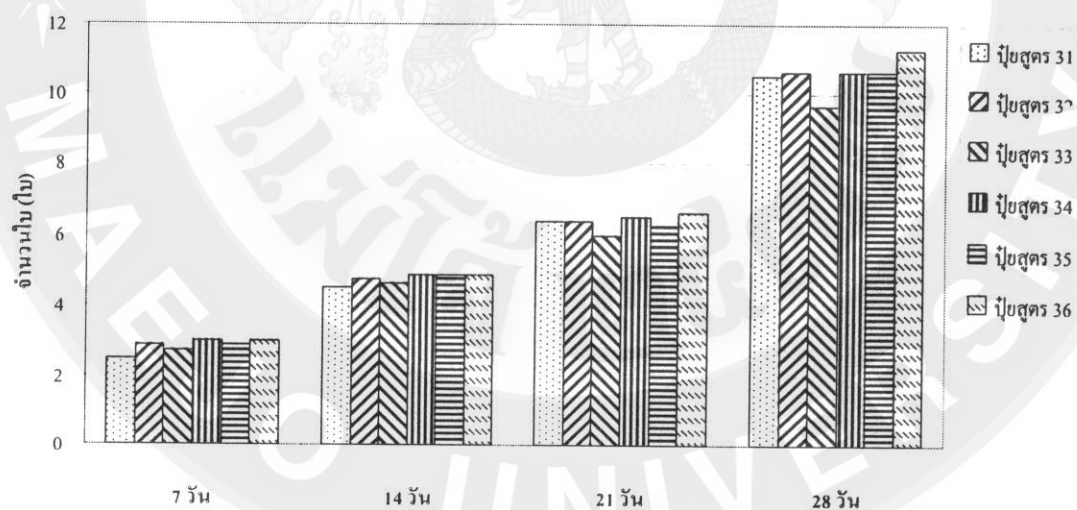
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพ 13 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมระบบ Substrate ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย



ภาพ 14 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมระบบ Substrate ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

ตาราง 13 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ Substrate ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

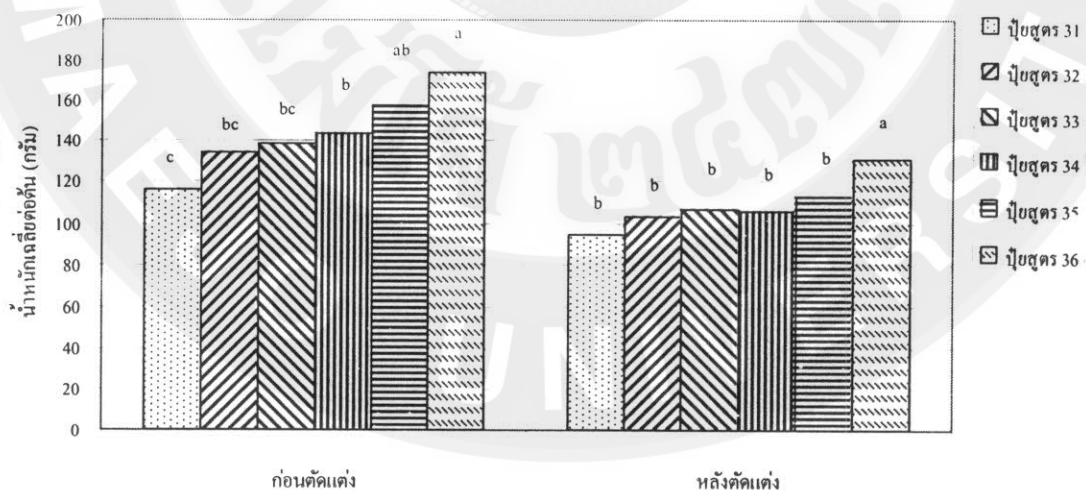
ปุ๋ยสูตร	ผลผลิตเฉลี่ย (กรัมต่อดิน)	
	น้ำหนักก่อนตัดแต่ง	น้ำหนักหลังการตัดแต่ง
31	115.67 ^a	94.58 ^b
32	134.58 ^{bc}	103.12 ^b
33	138.12 ^{bc}	106.87 ^b
34	143.96 ^b	106.04 ^b
35	157.92 ^{ab}	112.29 ^{ab}
36	173.96 ^a	130.62 ^a
CV%	15.12	17.15
F-Test	**	*

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพ 15 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ Substrate ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

น้ำหนักก่อนตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 36 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดคือ 173.96 กรัม รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 35, 34, 33 และ 32 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 157.92, 143.96, 138.12 และ 134.58 กรัม ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 31 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 115.67 กรัม (ตาราง 13)

น้ำหนักหลังตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 36 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 130.62 กรัม รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 35, 33, 34 และ 32 ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 112.29, 106.87, 106.04 และ 103.12 กรัม ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 31 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 94.58 กรัม (ตาราง 13)

ระบบ DRF (Dynamic Root Floating)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 40 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 5.19 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 38 และ 39 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 4.30 และ 4.27 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 37 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 4.20 เซนติเมตร (ตาราง 14)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 40 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 7.77 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 38 และ 39 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 6.32 และ 6.19 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 37 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 5.95 เซนติเมตร (ตาราง 14)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 40 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 11.21 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 38 และ 39 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 10.05 และ 9.91 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 37 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 9.10 เซนติเมตร (ตาราง 14)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 40 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 14.30 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 39 และ 38 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 13.61 และ 13.17 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 37 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 12.27 เซนติเมตร (ตาราง 14)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 40 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 3 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 39 และ 37 ให้น้ำหนักใบเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างกันคือ 2.67 ใบ ส่วนปุ๋ยสูตร 38 ให้น้ำหนักใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 2 ใบ (ตาราง 14)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยปุ๋ยสูตร 40 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 5 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 39 และ 38 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นคือ 4.67 และ 4.33 ใบตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 38 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 4 ใบ (ตาราง 14)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยปุ๋ยสูตร 40 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 7 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 39 และ 37 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นคือ 6 ใบ ส่วนปุ๋ยสูตร 38 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 5.67 ใบ (ตาราง 14)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยปุ๋ยสูตร 40 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 12 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 39 และ 37 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นรองลงมาคือ 10.00 และ 9.33 ใบ ส่วนปุ๋ยสูตร 38 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 8.67 ใบ (ตาราง 14)

น้ำหนักก่อนตัดแต่ง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 39 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดคือ 179.33 กรัม รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 40 และ 38 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 173.67 และ 152.67 กรัม ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 37 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 138.33 กรัม (ตาราง 15)

น้ำหนักหลังตัดแต่ง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 40 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 131.00 กรัม รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 39 และ 38 ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 126.67 และ 109.67 กรัม ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 37 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 104.67 กรัม (ตาราง 15)

ตาราง 14 แสดงผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูกในระบบ DRF ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

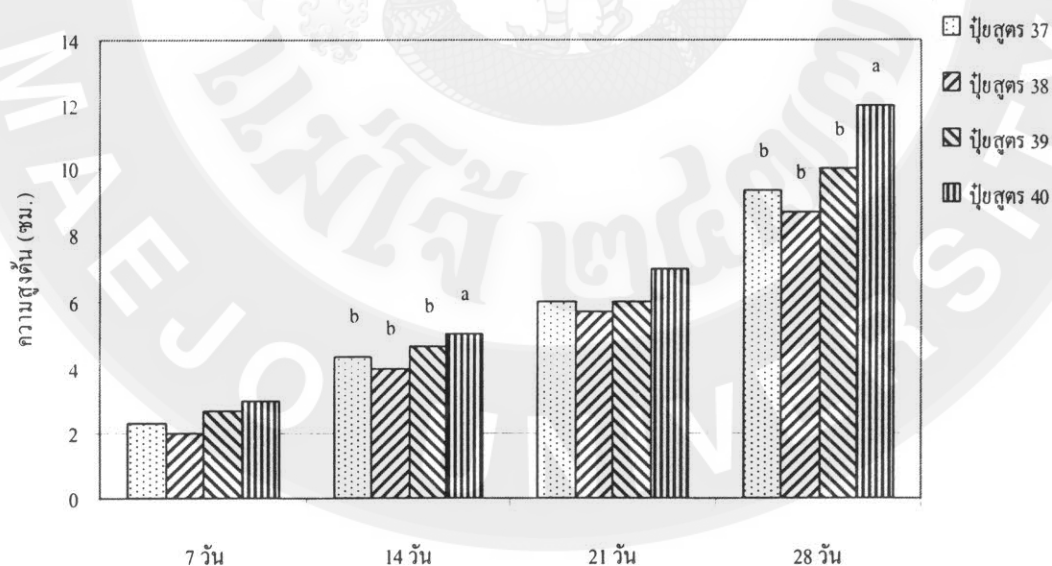
ปุ๋ยสูตร	ความสูงเฉลี่ยต่อต้น (ซม.)				จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น (ใบ)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
37	4.20	5.95 ^b	9.10	12.27 ^b	2.33	4.33	6.00	9.33
38	4.30	6.32 ^b	10.05	13.17 ^{ab}	2.00	4.00	5.67	8.67
39	4.27	6.19 ^b	9.91	13.61 ^a	2.67	4.67	6.00	10.00
40	5.19	7.77 ^a	11.21	14.30 ^a	3.00	5.00	7.00	12.00
CV%	12.14	9.28	9.78	4.96	14.91	8.28	10.47	14.04
F-test	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

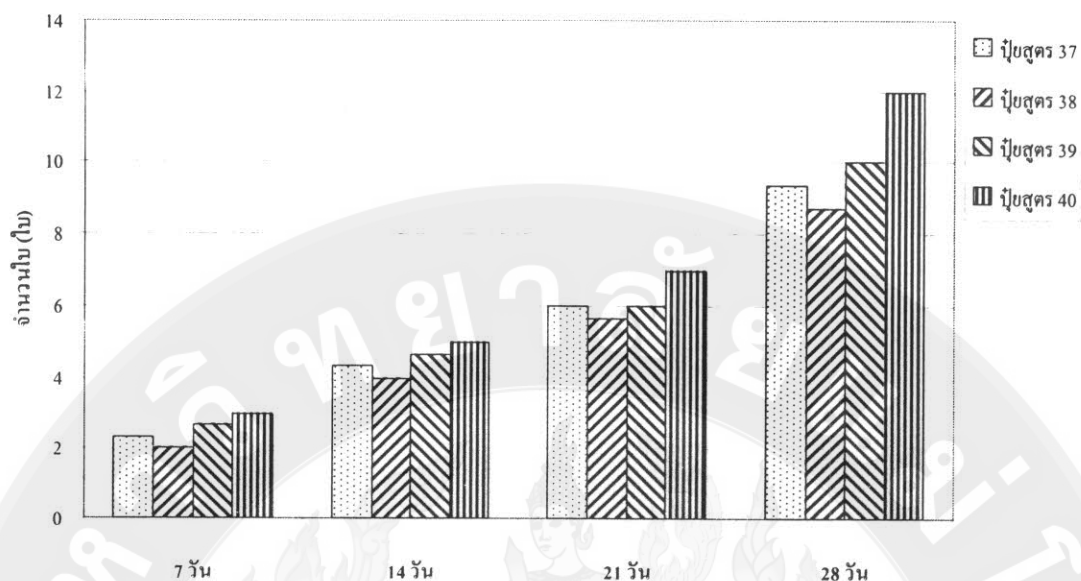
ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพ 16 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมระบบ DRF ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย



ภาพ 17 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมระบบ DRF ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

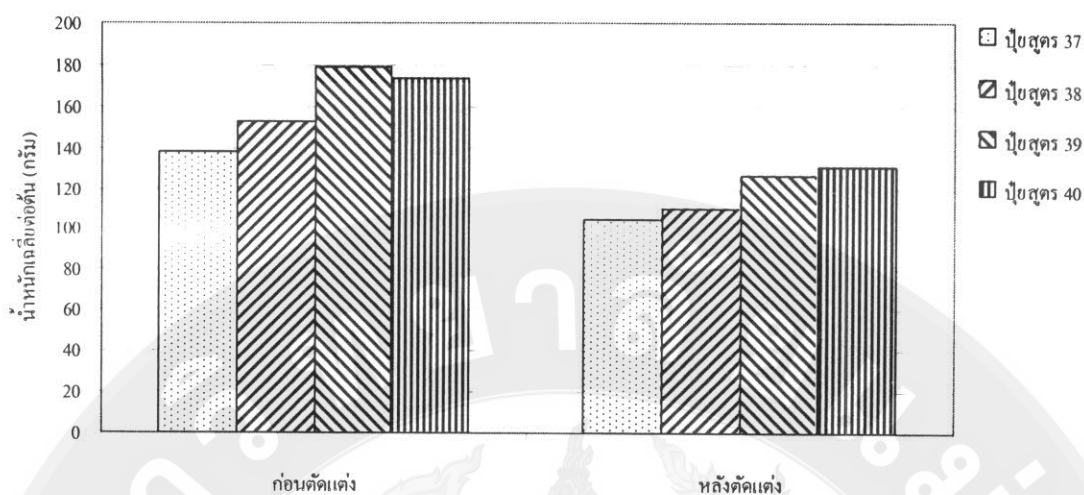
ตาราง 15 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ DRF ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

ปุ๋ยสูตร	ผลผลิตเฉลี่ย (กรัมต่อต้น)	
	น้ำหนักก่อนตัดแต่ง	น้ำหนักหลังการตัดแต่ง
37	138.33	104.67
38	152.67	109.67
39	179.33	126.67
40	173.67	131.00
CV%	18.52	22.07
F-Test	ns	ns

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพ 18 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ DRF ที่ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการหลวงหนองหอย

วิจารณ์ผลการทดลองที่ 2

การทดสอบสูตรอาหารพืช 10 สูตร คือ ปุ๋ยสูตร 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 และ 30 กับระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ NFT พบว่า ให้ผลผลิตที่สม่ำเสมอมากกว่าการทดลองที่ 1 และไม่พบว่าพืชแสดงอาการขาดธาตุอาหารพืช ทั้งนี้อาจมีผลมาจากอุณหภูมิที่หนาวเย็นตลอดทั้งปี จึงไม่พบปัญหาในเรื่องของอุณหภูมิที่สูงมาก จนไปมีผลต่อการละลายของออกซิเจนในสารละลาย (DO) พืชจึงไม่แสดงอาการเหี่ยวเฉา และ ขาดธาตุอาหารในพื้นที่ทดลอง ดังนั้นความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการผลิตพืชในระบบ NFT อย่างชัดเจน แสดงว่าอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการผลิตพืช มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างยิ่ง โดยพืชจะมีความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารพืชได้แตกต่างกันไป เนื่องมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป (อานัฐ, 2546) และสูตรธาตุอาหารที่เหมาะสมในการปลูกพืชไร้ดินในระบบนี้ ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 28 และ 27

การทดสอบสูตรอาหารพืช 6 สูตร คือ ปุ๋ยสูตร 31, 32, 33, 34, 35 และ 36 กับระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ Substrate โดยเป็นสูตรที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ พบว่า ผลผลิตที่ได้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูก ไม่ว่าจะเป็นความชื้นแสง โรคและแมลง โดยพบว่าพืชที่ปลูกอยู่ด้านริมสุด จะถูกโรคและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย ไม่ว่าจะเป็นหนอน แมลงหี้ยขาว ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่มีคุณภาพ มีตำหนิ และไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร ซึ่ง พายัพ (2543) กล่าวว่าโรคและแมลงเป็นปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มีชีวิต คอยเข้ามา

ทำลายส่วนประกอบของพืช โดยอาจเป็นการหาอาหารหรืออาศัยในช่วงการเจริญเติบโต ดังนั้นการที่มีการรบกวนจากโรคและแมลงเหล่านี้ ถ้ามีในปริมาณมากพืชก็จะถูกจำกัดการเจริญเติบโต และทำให้ผลผลิตลดลง ดังนั้นเพื่อขจัดสิ่งสกปรกและอื่น ๆ ที่เกาะติดอยู่ให้ออกไป ควรทำการล้างทำความสะอาดระบบปลูก หรือวัสดุปลูกในทุก 2-3 เดือน (ถวัลย์, 2534) และจากการที่เป็นสูตรธาตุอาหารที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ อาจจะมีสัดส่วนของธาตุอาหารที่ไม่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบและพัฒนาสูตรธาตุอาหารให้มีความเหมาะสมกับระบบต่อไป และสูตรธาตุอาหารที่เหมาะสมในการปลูกพืชไร่นาในระบบนี้ ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 36

การทดสอบสูตรอาหารพืช 4 สูตร คือ ปุ๋ยสูตร 37, 38, 39 และ 40 กับระบบการปลูกพืชไร่นาแบบ DRF พบว่า ผลผลิตที่ได้มีความสม่ำเสมอ แต่ในฤดูร้อนพืชที่เจริญเติบโตในสูตรอาหารบางสูตรแสดงอาการขาดธาตุอาหาร โดยแสดงอาการใบเหี่ยว เหลือง ชิด ลำต้นแคระแกร็น การเจริญเติบโตผิดปกติ ปริมาณและผลผลิตที่ได้ไม่มีคุณภาพ ทั้งนี้อาจเกิดจากการขาดธาตุอาหารบางตัวหรือได้รับธาตุอาหารมากเกินไปในสูตรอาหารสูตรนี้ ทำให้ไปยับยั้งการดูดซึมของธาตุอาหารตัวอื่นในปุ๋ยสูตร 39 มีการเพิ่มแคลเซียมในสูตร 025 เท่าจากสูตรเดิมพบว่ากรณีที่เพิ่มแคลเซียมมากเกินไปจนทำให้ขาดช่วงการดูดซึม แมกนีเซียม และ โพแทสเซียมในผักกาดหอมทำให้เกิดอาการคันเหลืองชิด เส้นใบเขียว ระหว่างเส้นใบเหลือง ซึ่ง คณะจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544) กล่าวว่า การใส่แคลเซียมที่มากเกินไปอาจทำให้พืชดูดซับโพแทสเซียมและแมกนีเซียมได้ลดลงทำให้พืชแสดงอาการขาดธาตุอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ อานันท์ (2548) กล่าวว่า ธาตุอาหารบางตัวที่มีมากเกินไปจะมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารบางตัวของพืช เช่น ในกรณีที่ธาตุโพแทสเซียมมากเกินไป จะไปรบกวนการนำแคลเซียมและแมกนีเซียมมาใช้ ทำให้พืชแสดงอาการขาดธาตุอาหารได้

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าสภาพพื้นที่ผลิตพืช และสูตรธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมมีอิทธิพลต่อการดูดซึมธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ และ การเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างยิ่ง แม้ว่าระบบการผลิตและสูตรธาตุอาหารพืชจะเหมือนกับการทดลองที่ 1 แต่ปัจจัยในด้านสภาพแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นระดับความสูงจากน้ำทะเล อุณหภูมิ แสง โรคและแมลง ล้วนมีผลต่อการผลิตพืชแทบทั้งสิ้น ดังนั้นสูตรธาตุอาหารพืชและระบบที่เหมาะสมในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอยคือระบบ NFT และ DRF เนื่องจากในระบบ NFT ไม่เกิดปัญหาในเรื่องอุณหภูมิสูงของพื้นที่ เพราะอากาศที่เย็นเกือบทั้งปีจึงไม่มีอิทธิพลต่อการผลิตพืชในระบบนี้ และปุ๋ยสูตรที่เหมาะสมในการผลิตคือ ปุ๋ยสูตร 28 และ 27

การทดลองที่ 3 การทดสอบสูตรธาตุอาหารและระบบที่เหมาะสมในสถานีวิจัยโครงการหลวง อินทนนท์ ปรากฏผลการทดลองดังนี้

ระบบ DRF (Dynamic Root Floating)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 7.35 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 27 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 6.15 เซนติเมตร ส่วนปุ๋ยสูตร 1 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 5.85 เซนติเมตร (ตาราง 16)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 9.97 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 27 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 9.85 เซนติเมตร ส่วนปุ๋ยสูตร 1 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 7.73 เซนติเมตร (ตาราง 16)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 27 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 12.05 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 10.95 เซนติเมตร ส่วนปุ๋ยสูตร 1 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 10.07 เซนติเมตร (ตาราง 16)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 15.07 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 27 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 12.33 เซนติเมตร ส่วนปุ๋ยสูตร 1 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 11.51 เซนติเมตร (ตาราง 16)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 26 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 5.33 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 27 ให้นับจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น คือ 5 ใบ ส่วนปุ๋ยสูตร 1 ให้นับจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 4.67 ใบ (ตาราง 16)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 26 และ 27 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 7.67 ใบ ส่วนปุ๋ยสูตร 1 ให้นับจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 6.33 ใบ (ตาราง 16)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 26 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 11.00 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 27 ให้นับจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น คือ 9.33 ใบ ส่วนปุ๋ยสูตร 1 ให้นับจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 9.00 ใบ (ตาราง 16)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยปุ๋ยสูตร 26 มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 13.57 ใบ รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 1 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น คือ 12.83 ใบ ส่วนปุ๋ยสูตร 27 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 12.43 ใบ (ตาราง 16)

น้ำหนักก่อนตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 27 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดคือ 182.33 กรัม รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 26 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 130.00 กรัม ส่วนปุ๋ยสูตร 1 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 121.17 กรัม (ตาราง 17)

น้ำหนักหลังตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 27 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 153.50 กรัม รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 26 ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 119.17 กรัม ส่วนปุ๋ยสูตร 1 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 104.33 กรัม (ตาราง 17)

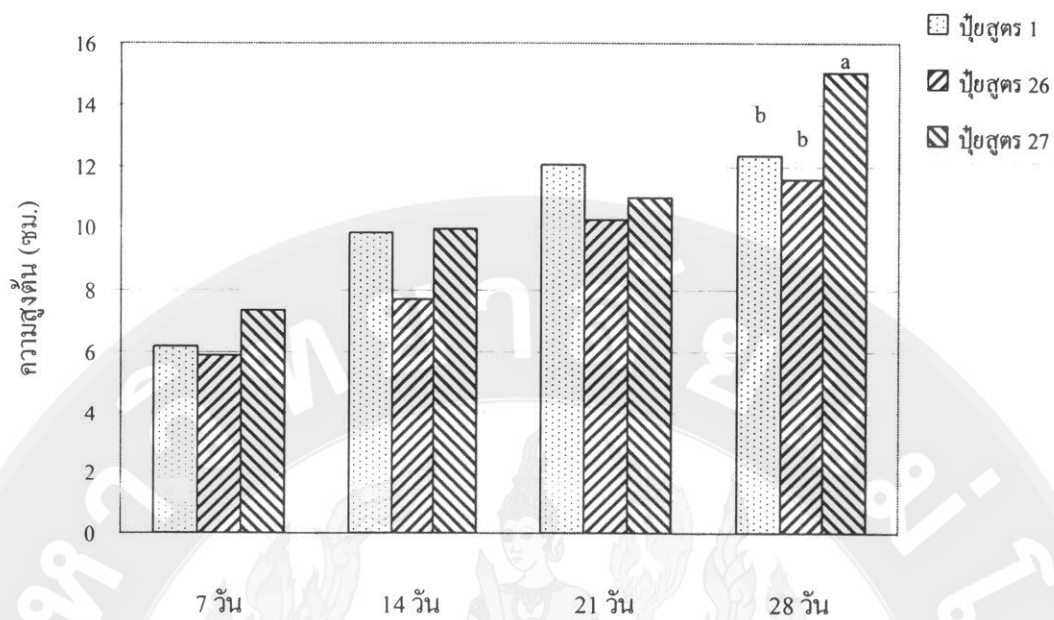
ตาราง 16 แสดงผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังการย้ายปลูกในระบบ DRF ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์

ปุ๋ยสูตร	ความสูงเฉลี่ยต่อต้น (ซม.)				จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น (ใบ)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
1	6.15	9.85	12.05	12.33 ^b	5.00	4.67 ^b	7.67	9.33
26	5.85	7.73	10.27	11.57 ^b	4.67	5.67 ^a	6.33	9.00
27	7.35	9.97	10.95	15.07 ^a	5.33	5.33 ^{ab}	7.67	11.00
CV%	9.62	10.50	8.84	6.16	8.17	6.38	10.82	10.78
F-test	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns

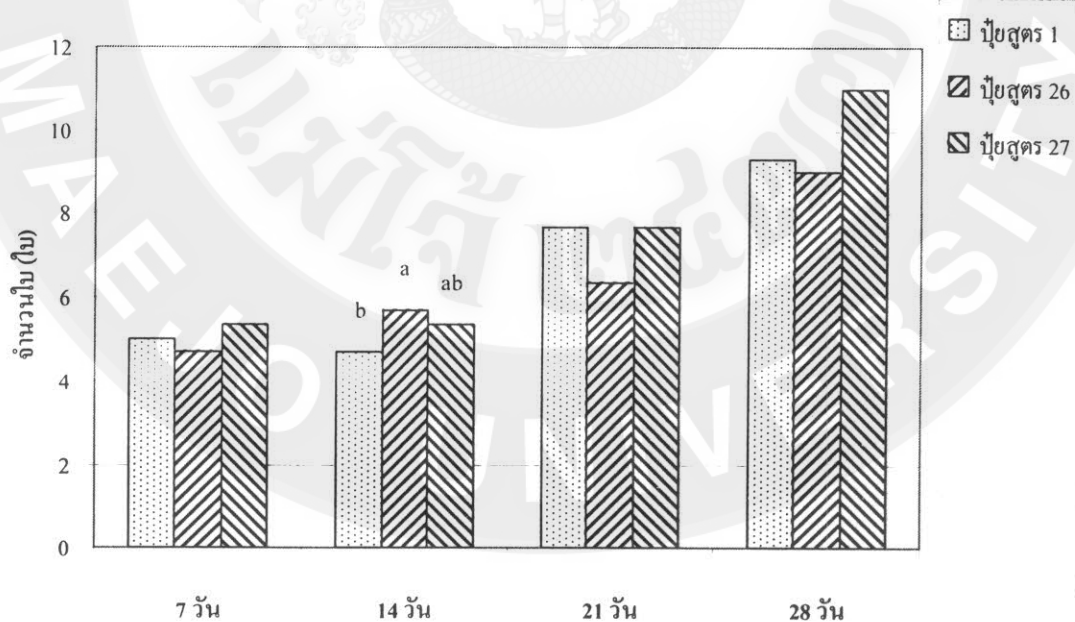
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
 = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพ 19 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ DRF ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์



ภาพ 20 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้านของผักกาดหอมระบบ DRF ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์

ตาราง 17 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ DRF ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์

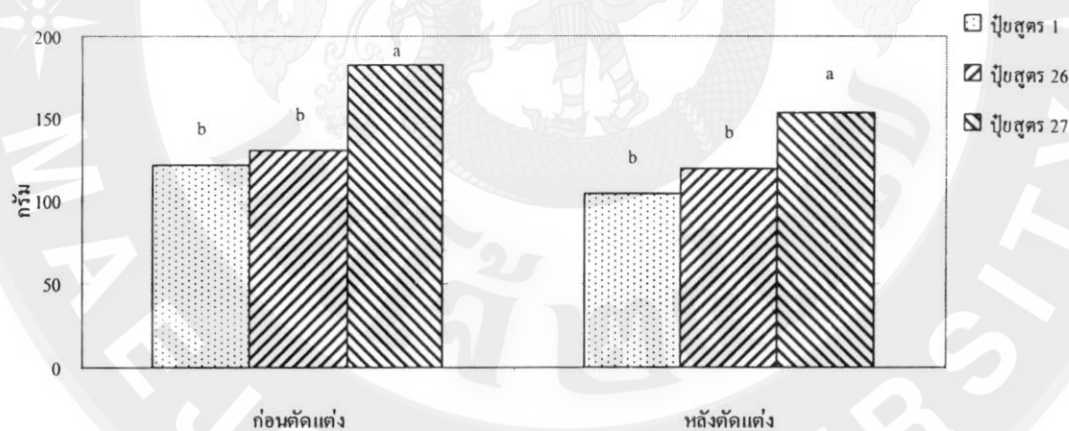
ปุ๋ยสูตร	ผลผลิตเฉลี่ย (กรัมต่อต้น)	
	น้ำหนักก่อนตัดแต่ง	น้ำหนักหลังการตัดแต่ง
1	121.16 ^b	104.33 ^b
26	130.20 ^b	119.17 ^b
27	182.33 ^a	153.50 ^a
CV%	7.86	11.45
F-Test	*	*

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%



ภาพ 21 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ DRF ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์

របប DFT (Deep Floating Technique)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้านเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติโดย
 ปุ๋ยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้านสูงสุดที่สุด คือ 8.49 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 27 ให้ความสูง
 เฉลี่ยต่อต้านเท่ากับ 6.89 เซนติเมตร ส่วนปุ๋ยสูตร 1 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้านต่ำที่สุด คือ 5.49
 เซนติเมตร (ตาราง 18)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้านเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปั๊พอสูตร 1 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้านสูงสุดที่สุด คือ 11.46 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปั๊พอสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้านเท่ากับ 8.44 เซนติเมตร ส่วนปั๊พอสูตร 27 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้านต่ำที่สุด คือ 8.53 เซนติเมตร (ตาราง 18)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้านเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุยสูตร 27 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้านสูงสุดที่สุด คือ 13.85 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้านเท่ากับ 13.10 เซนติเมตร ส่วนปุยสูตร 1 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้านต่ำที่สุด คือ 12.15 เซนติเมตร (ตาราง 18)

ความสูงเฉลี่ยต่อต้านเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุยสูตร 27 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้านสูงสุด คือ 16.87 เซนติเมตร รองลงมาคือ ปุยสูตร 1 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้านเท่ากับ 14.53 เซนติเมตร ส่วนปุยสูตร 26 ให้ความสูงเฉลี่ยต่อต้านต่ำที่สุด คือ 13.17 เซนติเมตร (ตาราง 18)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 7 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปฏิกูสูตร 27 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 6.00 ใบ รองลงมาคือ ปฏิกูสูตร 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นคือ 5.67 ใบ ส่วนปฏิกูสูตร 1 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุดคือ 4.67 ใบ (ตาราง 18)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยปุยสูตร 27 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 8.67 ใบ รองลงมาคือ ปุยสูตร 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น คือ 7.67 ใบ ส่วนปุยสูตร 1 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุดคือ 7.00 ใบ (ตาราง 18)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 21 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยปุ๋ยสูตร 1 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 10.33 ใบ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นคือ 10.22 ใบ ส่วนปุ๋ยสูตร 27 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุดคือ 9.53 ใบ (ตาราง 18)

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นเมื่ออายุ 28 วันหลังปลูก พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยปุยสูตร 26 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 16.60 ใบ รองลงมาคือ ปุยสูตร 1 ให้

จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น คือ 15.53 ใบ ส่วนปุ๋ยสูตร 27 ให้จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุดคือ 14.33 ใบ (ตาราง 18)

น้ำหนักก่อนตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยปุ๋ยสูตร 1 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุดคือ 186.50 กรัม รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตร 27 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 153.00 กรัม ส่วนปุ๋ยสูตร 26 ให้น้ำหนักก่อนตัดแต่งเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 135.67 กรัม (ตาราง 19)

น้ำหนักหลังตัดแต่ง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ยสูตร 1 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 168.33 กรัม รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตร 27 ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 136.83 กรัม ส่วนปุ๋ยสูตร 26 ให้น้ำหนักหลังตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นต่ำที่สุด คือ 120.67 กรัม (ตาราง 19)

ตาราง 18 แสดงผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ช่วงอายุต่าง ๆ หลังการย้ายปลูกในระบบ DFT ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์

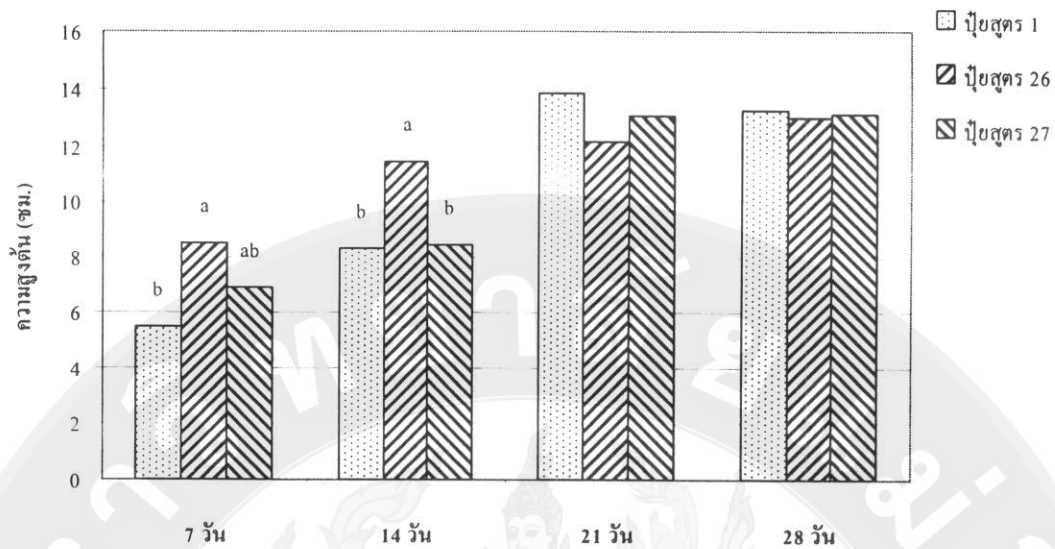
ปุ๋ยสูตร	ความสูงเฉลี่ยต่อต้น (ซม.)				จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น (ใบ)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
1	5.49 ^b	8.35	13.85	13.27	6.00	5.33	8.67	9.53
26	8.49 ^a	11.46	12.15	13.01	4.67	4.67	7.00	10.23
27	6.89 ^{ab}	8.44	13.10	13.11	5.67	4.33	7.67	10.21
CV%	11.08	13.97	17.52	7.87	9.68	11.03	22.06	12.13
F-test	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

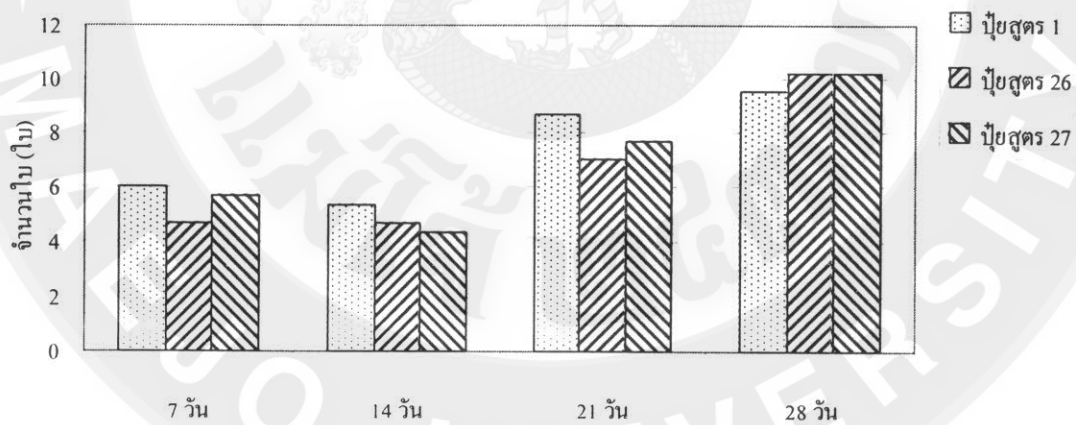
ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพ 22 แสดงความสูงเฉลี่ยต่อต้นของฝักกาดหอมระบบ DFT ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์



ภาพ 23 แสดงจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นของฝักกาดหอมระบบ DFT ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์

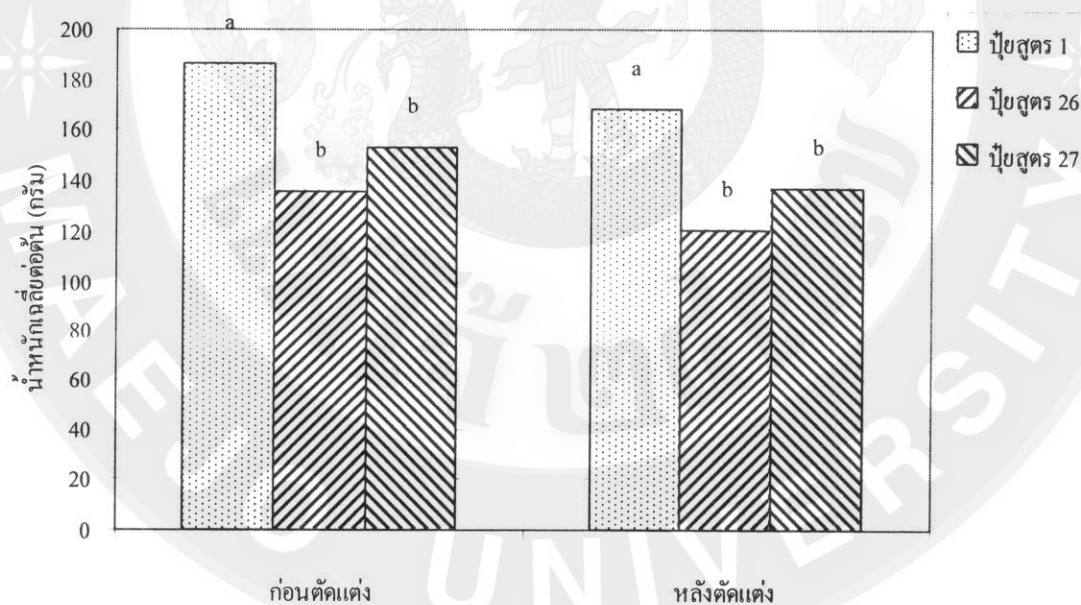
ตาราง 19 ผลผลิตเฉลี่ยของผักกาดหอมในระบบ DFT ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์

ปุ๋ยสูตร	ผลผลิตเฉลี่ย (กรัมต่อต้น)	
	น้ำหนักก่อนตัดแต่ง	น้ำหนักหลังการตัดแต่ง
1	186.50 ^a	168.33 ^a
26	135.67 ^b	120.67 ^b
27	153.00 ^b	136.83 ^b
CV%	19.34	18.51
F-Test	**	**

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพ 24 แสดงผลผลิตเฉลี่ยผักกาดหอมระบบ DFT ที่สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์

วิจารณ์ผลการทดลองที่ 3

การทดสอบสูตรอาหารพืช 3 สูตร คือ ปุ๋ยสูตรที่ 1, 26 และ 27 กับระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DRF และ DFT พบว่า ระบบ DRF คุณภาพและปริมาณของผลผลิตมีความสม่ำเสมอ พืชไม่แสดงอาการขาดธาตุอาหาร เนื่องจากผักกาดหอม เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพพื้นที่ ๆ มีอากาศเย็นเฉลี่ย 22.5 องศาเซลเซียส (ตารางภาคผนวก ข 1) สอดคล้องกับรายงานของ สุนทร (2540) ที่ว่าผักกาดหอมเป็นพืชฤดูเดียวที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศ ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 21-26 องศาเซลเซียส ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมมีอิทธิพลต่อการผลิตพืชอย่างมาก

ในระบบ DFT เป็นระบบที่ปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร ระบบนี้ไม่มีความลาดเอียง เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลาย โดยใช้ปั๊มดูดสารละลายขึ้นมาในระบบเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ ระบบนี้จะใช้ในการผลิตผักในรูปแบบอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น (Kao, 2546) จากการวิจัยจะเห็นได้ว่าน้ำนักผลิตที่ได้จากทั้ง 2 ระบบ ไม่แตกต่างกันนักทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่บนคอกอินทนนท์มีอากาศหนาวเย็นตลอดปี จึงไม่ได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมมากนัก เช่น อิทธิพลจากอุณหภูมิของน้ำและอากาศ โรคและแมลงน้ำฝน เป็นต้น ซึ่งอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช แต่ในพื้นที่ของสถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ไม่ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อม ทำให้ผลผลิตทั้ง 2 ระบบ ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าสูตรอาหารที่ต่างกันทำให้ได้ผลผลิตที่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยสูตรธาตุอาหารที่เหมาะสมกับทั้ง 2 ระบบนี้ ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 1

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสูตรธาตุอาหารพืชและระบบที่เหมาะสมในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ใน 3 พื้นที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณธาตุอาหารพืชที่ต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช เป็นอย่างยิ่งและจากการทดลองจะเห็นว่าปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชที่เหมาะสมเช่น อุณหภูมิ แสง และระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลที่ต่างกัน มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก เนื่องจากพืชที่ปลูกในระบบนี้ส่วนใหญ่เป็นพืชเมืองหนาวจึงชอบอุณหภูมิต่ำ และในพื้นที่ ๆ ต่างกันการดูดซึมแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืชต่างกันออกไป เช่นเดียวกันกับระบบการผลิตที่แตกต่างกันก็ มีผลต่อการผลิตพืชด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นสูตรธาตุอาหารพืชและระบบที่เหมาะสมในการผลิตพืช ที่ทดสอบที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ คือ ปุ๋ยสูตร 26 และ ระบบ DRF พื้นที่ของศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการ หลวงหนองหอย ปุ๋ยสูตรที่เหมาะสมกับระบบ NFT คือ สูตรที่ 28 ในระบบ Substrate ปุ๋ยสูตรที่ เหมาะสม คือ สูตรที่ 36 และในระบบ DRF ปุ๋ยสูตรที่เหมาะสม คือ สูตรที่ 40 และในพื้นที่ของ สถานีวิจัยโครงการหลวงอินทนนท์ ปุ๋ยสูตรที่เหมาะสมกับระบบ DRF และ DFT คือ สูตรที่ 1

ดังนั้นในการเลือกสูตรธาตุอาหารและระบบรวมทั้งสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูกให้ เหมาะสมต่อการผลิตพืชย่อมส่งผลถึงปริมาณและคุณภาพของผักที่ตรงตามความต้องการของตลาด และผู้ปลูกควรที่จะมีความรู้พื้นฐานทางด้านเคมี น้ำ สรีรวิทยาของพืช เทคนิคในการออกแบบ เครื่องมือ รวมทั้งการจัดการระบบที่ดี เพื่อความสำเร็จในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินอย่างมี ประสิทธิภาพ

บรรณานุกรม

กองบรรณาธิการ. 2541. การปลูกพืชปลอดสารพิษแบบไม่ใช้ดินที่ปากท่อ. **เมืองเกษตร**. 11(120):

32 – 40.

กองบรรณาธิการฐานเกษตรกรรม. 2541. **รวมเรื่องผัก**. กรุงเทพฯ: ฐานเกษตรกรรม. 143 น.

กระบวน วัฒนปรีชานันท์ และ เอกสิทธิ์ วัฒนปรีชานันท์. 2542. การปลูกผักกาดหอม คั้นฉ่าย

ผักชี โดยไม่ใช้ดิน. **เมืองเกษตร**. 12(134): 73-76.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีศาสตร์เบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ:

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 528 น.

ดิเรก ทองอร่าม. 2542. เปิดโลกเทคโนโลยี การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย พื้นฐาน

ความเป็นมา. **เกษตรเกษตร**. 23(8): 159-164.

2547. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิต**

เชิงธุรกิจในประเทศไทย เล่มที่ 2. ราชบุรี: ธรรมรักษ์การพิมพ์. 724 น.

ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวงศ์. 2543. **สตรอเบอรี่: พืชเศรษฐกิจตัวใหม่**. กรุงเทพฯ:

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 158 น.

ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์. 2534. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. กรุงเทพฯ: พรวนการพิมพ์. 127 น.

นพดล เรียบเลิศหิรัญ. 2538. **การปลูกพืชไร้ดิน**. กรุงเทพฯ: สหมิตรพรินต์ติ้ง. 99 น.

ทักษพงษ์ โพธิ์ภักดี. 2545. เจาะเวลาหาไฮโดรโพนิกส์. **ส่งเสริมการลงทุน**. 13(5): 21-24.

นิติย์ สกุนรักษ์. 2541. **สรีรวิทยาของพืชประยุกต์**. เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์. 237 น.

นิพนธ์ ไชยมงคล. 2542. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. เชียงใหม่: ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัย

แม่โจ้. 50 น.

บรรพต ดันติเสรี. 2527. **ปฐพีศาสตร์เบื้องต้น**. เชียงใหม่: ภาควิชาดินและปุ๋ย สถาบัน

เทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. 382 น.

ประสิทธิ์ โนรี. 2541. **หลักการผลิตผักเบื้องต้น**. เชียงใหม่: ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

241 น.

พรรณนีย์ วิชชาชู. 2546. ปลูกผักในอากาศ. **กสิกร**. 72(2): 51-58.

พรรณผกา รัตนโกศล. 2540. ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินไม่ยากอย่างที่คิด. **กสิกร**. 70 (6): 587-592.

พรหมมาศ คูหากาญจน์, ถนิมนันต์ เจนอักษร และ สุขชัย รตโนภาส. 2541. ศักยภาพการปลูก

แตงกวายุโรปในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. **เกษตรพระจอมเกล้า**. 16(1): 33-40.

- พชัย ยังปักยี. 2543. คู่มือการปลูกพืชไร้ดินเชิงพาณิชย์ไฮโดรโพนิกส์. กรุงเทพฯ: โฟว์อิดีเตอร์. 129 น.
- พิศมัย จูทะมงคล. 2534. ผลของเครื่องปลูก ชนิด อัตราและวิธีการใช้ปุ๋ยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของแตงกวาในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 140 น.
- มนูญ ศิริบุพผะ. 2544. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสู่การปฏิบัติโดยในประเทศไทย. สงขลา: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. 90 น.
- เมฆ จันทร์ประยูร. 2544. ผักสวนครัว. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ไททรรศ์. 144 น.
- ขงยุทธ โอสดสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 424 น.
- วรพจน์ ริมพณินิล. 2529. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย. กรุงเทพฯ: ยูไนเต็คบุคส์. 215 น.
- วรางคณา นกอยู่ และ ถนิมนันต์ เจนอักษร. 2541. บทบาทของสารละลายซิลิกอนในการพัฒนา ศักยภาพการปลูกแตงกวายุโรปในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. เกษตรพระจอมเกล้า. 16(2): 8-14.
- วาริ ยินดิชาติ. 2543. “รู้จักไฮโดรโพนิกส์” ปลูกพืชไม่ใช้ดิน: ตอน 1. เกษตรกรรมธรรมชาติ. 7: 41-43.
- วิจิตร ดันมาละ. 2535. การศึกษาการตอบสนองของแตงเทศต่อความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และวิธีการจัดการในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 132 น.
- วิเชียร ฝอยพิกุล. 2536. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สุรินทร์: ภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสุรินทร์. 238 น.
- ระพีพรรณ ใจภักดี. 2544. ผักใบ. กรุงเทพฯ: แสงแดดเพื่อนเด็ก. 72 น.
- สมชาย องค์กรประเสริฐ. 2535. ปฐพีศาสตร์ประยุกต์. เชียงใหม่: ภาควิชาดินและปุ๋ย มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 444 น.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2546. สรีรวิทยาของพืช. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 237 น.
- สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. 2538. แร่ธาตุอาหารพืชสวน. ขอนแก่น: โรงพิมพ์ศิริภักษ์ออฟเซ็ท. 604 น.
- สุนทร เรืองเกษม. 2540. ผักกินใบ. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ. 88 น.

- สุรินทร์ นิลสำราญจิต. 2542. ประมวลผลงานวิชาการด้านการเกษตรเนื่องในวโรกาสมหามงคลเฉลิมพระชนพรรษา 6 รอบ. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 373 น.
- โสระยา ร่วมรังษี. 2544. การผลิตพืชสวนแบบไม่ใช้ดิน. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 88 น.
- อภิรักษ์ หลักชัยกุล. 2540. การศึกษาวัสดุอินทรีย์เป็นวัสดุปลูกพืชในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 116 น.
- อภิเทพ ดันติเสวี. 2541. ไฮโดรโปนิกส์เทคโนโลยีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. เกษการเกษตร. 22(4): 133-137.
- อานัฐ ดันโซ. 2542. ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. โครงการหลวง. 3(1): 1 - 4.
- อานัฐ ดันโซ. 2546. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ ครั้งที่ 3 ไฮโดรโปนิกส์. เชียงใหม่: ภาควิชาการจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 60 น.
- อานัฐ ดันโซ. 2548. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. เชียงใหม่: ทริโอแอนิเมเดีย. 167 น.
- อาภรณ์ ธรรมเขต. 2534. อิทธิพลของอุณหภูมิต่อกาแฟอาราบิก้า. วิชาการเกษตร. 9(1): 55-61.
- อารักษ์ ชีรอำพน. 2544. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 130 น.
- Al- Redhaiman, K. N. 2001. Nitrate accumulation and metabolism in lettuce cultivar as influenced by ammonium: nitrate ratio in recirculating nutrient solution. **Indian Journal of Agricultural Research**. 35(4): 219-225.
- Charles, D. B. and V. Jack. 1982. **Soil and Soil Management**. Reston, Va.: Reston. Co., 312 p.
- FAO. 1990. **Soilless Culture for Horticultural Crop Production**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome. 188 p.
- Hartmann, H. T. 1988. **Plant Science: Growth, Development, and Utilization of Cultivated Plant**, Englewood. Cliffs, N. J.: Prentice -Hall. 678 p.
- Kao Te Chen. 2546. **Practical Hydroponics in Tropics: เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ เรื่อง ไฮโดรโปนิกส์รูปและสูตรอาหารที่เหมาะสมของประเทศไทย**. เชียงใหม่: ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม. คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. จังหวัดเชียงใหม่. 60 น.

- Roorda van Eysinga, J. P. N. L and K. W. Smilde. 1981 **Nutrient Disorders in Glasshouse Tomato, Cucumbers and Lettuce**. Wageningen: Center for Agriculture Publishing and Documentation. 130 p.
- Shuangxi, F. and I. Tadashi. 2002. Effect of calcium on nutrient absorption and growth and development of *lactuca sativa* var. *longifolia* lam. in nutrient film technique culture. **Acta Horticulture Sinica**. 29(2): 149-152.





ภาคผนวก





ภาพผนวก ก 1 ลักษณะของต้นกล้าที่ใช้ปลูก
ในระบบ



ภาพผนวก ก 2 ผลผลิตผักกาดหอมในระบบ
NFT ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพผนวก ก 3 ผลผลิตผักกาดหอมในระบบ
DRF ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพผนวก ก 4 ผลผลิตผักกาดหอมในระบบ
Substrate ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพผนวก ก 5 ลักษณะโรงเรือนที่
มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพผนวก ก 6 ลักษณะรากสีขาวที่แข็งแรง
สมบูรณ์



ภาพผนวก ก 7 แปลงผลผลิตระบบ NFT
ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการ
หลวงหนองหอย



ภาพผนวก ก 8 แปลงผลผลิตในระบบ DRF
ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการ
หลวงหนองหอย



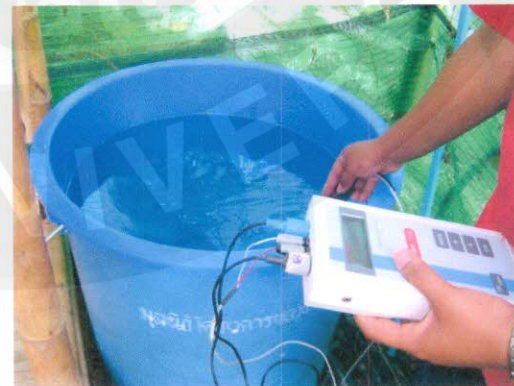
ภาพผนวก ก 9 แปลงผลผลิตระบบ Substrate ที่
ศูนย์พัฒนาพืชผักโครงการ
หลวงหนองหอย



ภาพผนวก ก 10 แปลงผลผลิตในสถานีวิจัย
โครงการหลวงอินทนนท์



ภาพผนวก ก 11 ลักษณะของสารละลาย A
และสารละลาย B



ภาพผนวก ก 12 การวัดค่าการนำไฟฟ้า
และ ค่าความเป็นกรดด่าง
ของสารละลาย



ภาคผนวก ข

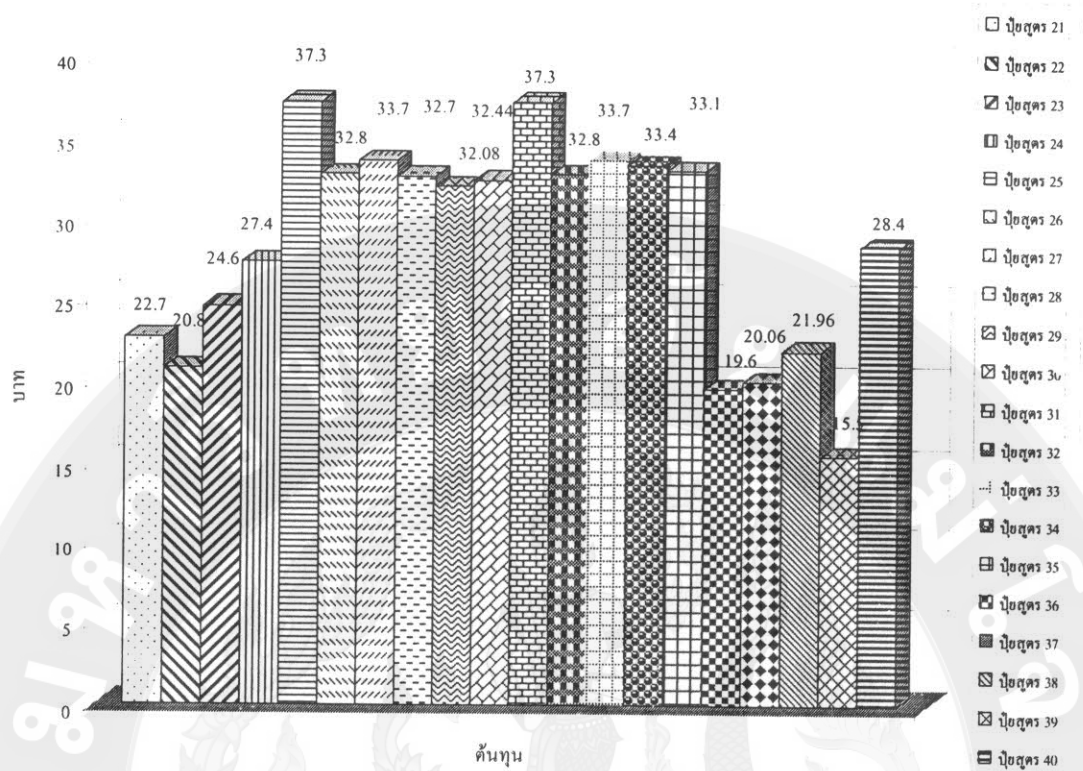
อุณหภูมิประจำวันของพื้นที่ทดลอง และ ต้นทุนการผลิตสูตรธาตุอาหาร

ตารางภาคผนวก ข 1 แสดงอุณหภูมิประจำวันโดยเฉลี่ยของพื้นที่ทดลองทั้ง 3 แห่ง

วันที่	แม่โจ้		หนองหอย		วันที่	อินทนนท์	
	สูงสุด °C	ต่ำสุด °C	สูงสุด °C	ต่ำสุด °C		สูงสุด °C	ต่ำสุด °C
15/10/46	30.5	22.2	-	-	3/9/47	31	18
16/10/46	31.9	23.0	-	-	4/9/47	30	18
17/10/46	32.5	20.9	23.0	20	5/9/47	30	16
17/10/46	33.5	21.1	24.5	18	6/9/47	29	16
18/10/46	31.2	22.2	21	18	7/9/47	29	16
19/10/46	29.6	22.8	23	18	8/9/47	26	18
20/10/46	31.8	21.6	24	19	9/9/47	30	18
21/10/46	31.7	23.0	23	18	10/9/47	29	16
22/10/46	30.1	21.5	-	-	11/9/47	32	16
23/10/46	31.8	20.7	-	-	12/9/47	28	17
24/10/46	32.3	19.9	23	18	13/9/47	29	18
25/10/46	31.9	19.9	23	18	14/9/47	31	19
26/10/46	32.6	19.9	23	18	15/9/47	30	16
27/10/46	33	20.0	22	18	16/9/47	29	18
28/10/46	31.3	20.8	25	17	17/9/47	29	18
29/10/46	31.5	20.8	23	15	18/9/47	29	18
30/10/46	31.2	20.7	25	15	19/9/47	30	17
31/10/46	33.4	23.0	25	15	18/9/47	33	18
1/11/46	33.6	20.7	26	15	19/9/47	27	18
2/11/46	33.1	23.5	24	15	20/9/47	29	16
3/11/46	32.7	22.6	25	14.5	21/9/47	34	15
4/11/46	32.5	22.5	22.5	15	22/9/47	29	16
5/11/46	32.6	21.6	22	14.5	23/9/47	30	15
6/11/46	32.1	22.6	22	14	24/9/47	28	15
7/11/46	32.3	22.8	21	16	25/9/47	29	16
8/11/46	32.9	22.4	23	12	26/9/47	29	16
9/11/46	33.2	23.3	25	14.5	27/9/47	30	17
10/11/46	29.9	23.4	-	-	28/9/47	29	14
11/11/46	31.4	23.3	-	-	29/9/47	-	-
12/11/46	32.5	23.7	-	-	30/9/47	-	-
เฉลี่ย	33.12	21.19	23.39	17.06	เฉลี่ย	29.57	16.75

ตารางภาคผนวก ข 2 แสดงต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นในแต่ละสูตรอาหาร

สูตรอาหาร	ราคา	หน่วย
21	22.7	บาท
22	20.8	บาท
23	24.6	บาท
24	27.4	บาท
25	37.3	บาท
26	32.8	บาท
27	33.7	บาท
28	32.7	บาท
29	32.08	บาท
30	32.44	บาท
31	37.3	บาท
32	32.8	บาท
33	33.7	บาท
34	33.4	บาท
35	33.1	บาท
36	19.6	บาท
37	20.06	บาท
38	21.96	บาท
39	15.5	บาท
40	28.4	บาท



ภาพผนวก ข 1 แสดงต้นทุนการผลิตสูตรปุ๋ยต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง



ภาคผนวก ค
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล

นางสาวพัชรินทร์ พุทธฤทธิ์

เกิดเมื่อ

13 มีนาคม 2522

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2535 ประถมศึกษา จากโรงเรียนอนุบาลจังหวัดกาญจนบุรี จังหวัด
กาญจนบุรี

พ.ศ. 2541 มัธยมศึกษา จากโรงเรียนเคหะปัตตานานุกูล จังหวัดปัตตานี

พ.ศ. 2545 ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต จากคณะผลิตกรรมการเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

