ผลของน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาและหอยเชอรี่ต่อปริมาณสารสี ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณกรดแอสคอร์บิกในผักกาดขาวไดโตเกียว ภายใต้ระบบปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์

นางสาวกัลยาพร โพธิ์สลัก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาชีววิทยาศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กรกฎาคม 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ กัลยาพร โพธิ์สลัก ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร. ศิริพรรณ บรรหาร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุเทพ ภาสุระ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประวีณา มณีรัตนรุ่งโรจน์)

.....กรรมการ

(ดร. ศิริพรรณ บรรหาร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุเทพ ภาสุระ)

.....กรรมการ

(ดร.นิตยา ไชยเนตร)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษาของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 2 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา

จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)

ปีการศึกษา 2556

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.ศิริพรรณ บรรหาร อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุเทพ ภาสุระ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการทำการทดลอง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำการทดลอง และคอยให้กำลังใจมาตลอด ช่วยตรวจทานแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับบนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยมีความรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านอาจารย์ทั้งสอง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประวีณา มณีรัตนรุ่งโรจน์ ประธานสอบวิทยานิพนธ์ ดร. ศิริพรรณ บรรหาร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุเทพ ภาสุระ และ ดร.นิตยา ไชยเนตร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ในการปรับแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับบนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ได้มอบทุนการศึกษาโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ระดับปริญญาโทที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาและทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ให้ความรู้ ประสิทธิ์ประสาทวิชา และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์โดยตลอดมา รวมถึงพี่ ๆ เจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ทุก ๆ คน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเบิกและยืมอุปกรณ์ คอยให้คำแนะนำและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทั้งปริญญาตรี โท ทุก ๆ คนที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องราว ๆ ต่างในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุก ๆ คนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและคอยให้กำลังใจทุก ๆ ด้านตลอดมา

กัลยาพร โพธิ์สลัก

56920139: สาขาวิชา: ชีววิทยาศึกษา; วท.ม. (ชีววิทยาศึกษา)
คำสำคัญ: น้ำหมักชีวภาพ/ การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์/ ผักกาดขาวไดโตเกียว

กัลยาพร โพธิ์สลัก: ผลของน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาและหอยเชอรี่ต่อปริมาณสารสีที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณกรดแอสคอร์บิกในผักกาดขาวไดโตเกียวภายใต้ระบบปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ (Effects of bioextract from water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (C. Mart.) Solms) and golden apple snail (*Pomacea canaliculata* Lamarck) on photosynthetic pigment contents and ascorbic acid in Chinese cabbage (*Brassica chinensis* var. *pekinensis* Rupr.) grown in hydroponic culture) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ศิริพรรณ บรรหาร, Ph.D., อนุเทพ ภาสุระ, Ph.D. 124 หน้า. ปี พ.ศ. 2559

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ ผักตบชวา และสูตรผสม (น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ผสมกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา) ที่มีต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว (*Brassica chinensis* var. *pekinensis* Rupr.) ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ Nutrient Film Technique (NFT) โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพต่อปริมาตรของสารละลายธาตุอาหารดังนี้คือ 1: 500 และ 1: 1000 โดยศึกษาการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงของลำต้น น้ำหนักแห้งรวมต่อต้น พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักใบจำเพาะ อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น รวมถึงการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยา ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ เบต้าแคโรทีน และปริมาณกรดแอสคอร์บิก เก็บผลการทดลองที่ระยะเวลา 0, 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน พบว่าผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ น้ำหนักแห้งรวมต่อต้น พื้นที่ใบรวมต่อต้น อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นมีค่ามากที่สุด น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้น้ำหนักใบจำเพาะมีค่ามากที่สุด และสารละลายธาตุอาหารสูตรปกติทำให้มีความสูงมากที่สุด แต่ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ในอัตราส่วน 1: 500 นอกจากนี้น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบของผักกาดขาวไดโตเกียวมีค่าสูงที่สุด ส่วนน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาในอัตราส่วน 1: 500 ส่งผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกส์ในใบมีค่ามากที่สุด จากการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่า การใช้น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่มีผลต่อการเจริญเติบโต และปริมาณรงควัตถุในใบของผักกาดขาวไดโตเกียวมากที่สุด

56920139: MAJOR: BIOLOGY EDUCATION; M.Sc. (Biology Education)
KEYWORDS: BIO-EXTRACT/ HYDROPONIC CULTURE/ CHINESE CABBAGE

EFFECTS OF BIOEXTRACT FROM WATER HYCINTH (*Eichhornia crassipes* (C. Mart.) Solms) AND GOLDEN APPLE SNAIL (*Pomacea canaliculata* Lamarck) ON PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONTENTS AND ASCORBIC ACID IN CHINESE CABBAGE (*Brassica chinensis* var. *pekinensis* Rupr.) GROWN IN HYDROPONIC CULTURE. ADVISORY COMMITTEE: SIRIPAN BANHAN, Ph.D., ANUTHEP PASURA, Ph.D. 124 P. 2016.

The objective of this research was to compare the effects of bio-extract from golden apple snail (*Pomacea canaliculata*), bio-extract from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and the mixture bio-extract (bio-extract from golden apple snail and bio-extract from water hyacinth) on growth and some physiological characteristics on Chinese cabbage (*Brassica chinensis* var. *pekinensis* Rupr.) grown in Nutrient Film Technique (NFT) hydroponics culture. In this experiment, the ratio of the bio-extract per nutrient solution was investigated from 2 different levels, i.e. 1: 500 and 1: 1000 (ml of bio-extract: ml of nutrient solution). The growth responses were monitored by measuring height-above-ground, total dry weight, total leaf area, specific leaf weight, relative growth rate and shoot/ root ratio. The physiology responses were monitored by measuring photosynthetic pigment contents include chlorophyll, carotenoids, beta-carotene and ascorbic acid. Study recording involved data at 0, 7, 14, 21, 28 and 35 day after bio-extract treatment. Results of this study revealed that Chinese cabbage grown in bio-extract from golden apple snail at the ratio of 1: 1000 had the tendency of producing total dry weight, total leaf area, relative growth rate and shoot/ root ratio. It was found that mixed bio-extract at the ratio of 1: 500 had the tendency of producing specific leaf weight and nutrient solution had the tendency of producing height not significantly different statistically from bio-extract from golden apple snail at the ratio of 1: 500. In addition, bio-extract from golden apple snail at the ratio of 1: 500 had the tendency of producing photosynthetic pigment contents including chlorophyll, carotenoids and beta-carotene but bio-extract from water hyacinth at the ratio 1: 500 increased ascorbic acid. The results indicated that, the bio-extract from golden apple snail appropriated for Chinese cabbage on growth and photosynthetic pigment contents more than other treatments.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

สมมติฐานของการวิจัย..... 3

ขอบเขตการวิจัย..... 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 4

สถานที่ทำวิจัย..... 4

ระยะเวลาการวิจัย..... 5

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกาดขาวไดโตเกียว..... 10

วัตถุดิบในการผลิตน้ำหมักชีวภาพ 12

น้ำหมักชีวภาพ..... 17

การปลูกพืชไม่ใช้ดิน..... 24

การประยุกต์ใช้น้ำหมักชีวภาพในการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์..... 29

3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 29

วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี..... 31

วิธีดำเนินการวิจัย..... 34

บันทึกข้อมูลการทดลอง..... 34

บันทึกข้อมูลด้านการเจริญเติบโต.....

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย……...……	29
	บันทึกข้อมูลปริมาณสารสีและกรดแอสคอร์บิก……	35
	การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์ในใบ...……..	35
	วิเคราะห์การปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ…….	35
	การวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบ……	36
	การวิเคราะห์ข้อมูล……	39
4	ผลการวิจัย……..…….....	40
	ผลของน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียว…..……	40
	ความสูงของลำต้น……..……...	40
	น้ำหนักแห้งรวม……..	44
	พื้นที่ใบรวมต่อต้น……	48
	น้ำหนักใบจำเพาะ…….	52
	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์……..	56
	อัตราส่วนของน้ำหนักแห้งรากต่อต้น……..	60
	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ……..……	64
	ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ……..	68
	ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ……..……...	72
	ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบ……..……	76
5	อภิปรายและสรุปผล……..……...……...……...…...	80
	การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียว……..…….	80

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5	อภิปรายและสรุปผล……..……...……...…….…..	80
	การตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว……	82
	สรุปผลการทดลอง……	84
	ข้อเสนอแนะ……..	86
บรรณานุกรม……		87
ภาคผนวก……		92
ภาคผนวก ก……..		93
ภาคผนวก ข…….		95
ภาคผนวก ค…….		99
ภาคผนวก ง……..…….		104
ภาคผนวก จ……..…….		111
ภาคผนวก ฉ……		122
ประวัติย่อของผู้วิจัย……...		124

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ปริมาณอาหารหลักในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตโดยวัสดุหลักต่าง ๆ……..……...	15
2-2	ปริมาณฮอร์โมนพืชในน้ำหมักชนิดต่าง ๆ……..….	16
2-3	บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช…….……...	19
2-4	ช่วงความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุอาหารในสารละลาย…….……	22
2-5	ส่วนประกอบของสูตรอาหารโฮกแลนด์ (Hoagland's solution)…….…….....	23
3-1	ปริมาตรและสารต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก…….	38
4-1	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพ จากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลง ในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน…….....	42
4-2	น้ำหนักแห้งรวม (กรัม) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพ จากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน…….	46
4-3	พื้นที่ใบรวมต่อต้น (ตารางเซนติเมตร) ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพ จากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ที่ระดับในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน…….	50
4-4	น้ำหนักใบจำเพาะ (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพ สูตรผสมที่ เติมลงในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับในอัตราส่วนและระยะเวลา ที่แตกต่างกัน…….……...	54
4-5	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/ กรัม/ วัน) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลาย ธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน……..……..	58
4-6	อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสม ที่เติมลงในสารละลาย ธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน…….....	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-7 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน……..... 66

4-8 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน…….. 70

4-9 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน……... 74

4-10 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกส์ในใบ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน……. 78

ก-1 วิธีการเตรียม Stock solution ของสารละลายธาตุสูตร Hoagland's solution……. 94

ข-1 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ ……..……. 97

ข-2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา…….…..…..... 98

จ-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 0 วัน…….…….. 112

จ-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 7 วัน……. 113

จ-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 14 วัน…… 114

จ-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 21 วัน……...…….……... 116

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

จ-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 28 วัน..... 118

จ-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 35 วัน..... 120

ฉ-1 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยในระยะเวลาทำการทดลอง..... 123

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกาดขาวไดโตเกียว ……	6
2-2	โครงสร้างโมเลกุลของรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง..……	8
2-3	โครงสร้างโมเลกุลของกรดแอสคอร์บิก ……..……..	9
2-4	การปลูกพืชในระบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ...	17
3-1	รูปแบบกล่องปลูกที่ดัดแปลงจากระบบ NFT……...	33
4-1	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพ จากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน……	43
4-2	น้ำหนักแห้งรวม (กรัม) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพ จากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน……	47
4-3	พื้นที่ใบรวมต่อต้น (ตารางเซนติเมตร) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพ จากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน และระยะเวลาที่แตกต่างกัน……...	51
4-4	น้ำหนักใบจำเพาะ (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลาย ธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน……...	55
4-5	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/ กรัม/ วัน) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลาย ธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน……...	59
4-6	อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลาย ธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน……...	63
4-7	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาว ไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และ สูตรผสม ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน…...……..	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-8	ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน…….……..	71
4-9	ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงใน สารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน……..	75
4-10	ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน……..…	79
ค-1	การสร้างกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ……..….	100
ค-2	การสร้างกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบ……	102
ง-1	การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพผสม ที่ระยะเวลา 0 วัน……..	105
ง-2	การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพผสม ที่ระยะเวลา 7 วัน……..	106
ง-3	การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และ น้ำหมักชีวภาพผสม ที่ระยะเวลา 14 วัน……	107
ง-4	การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และ น้ำหมักชีวภาพผสม ที่ระยะเวลา 21 วัน……	108
ง-5	การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และ น้ำหมักชีวภาพผสม ที่ระยะเวลา 28 วัน…..……	109
ง-6	การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และ น้ำหมักชีวภาพผสม ที่ระยะเวลา 35 วัน……..……	110

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และการทำการเกษตรถือเป็นอาชีพหลักของคนไทย รายได้ส่วนหนึ่งของประเทศมาจากการส่งออกสินค้าทางการเกษตร เพื่อให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรตามที่ต้องการ เกษตรกรจำเป็นที่จะต้องใช้สารเคมีปรับปรุงคุณภาพผลผลิต ซึ่งการใช้สารเคมีอาจส่งผลในระยะยาวต่อสิ่งแวดล้อม มีเกษตรกรจำนวนมากที่คำนึงถึงความปลอดภัยของสภาพแวดล้อมและสุขภาพของผู้บริโภคจึงหันกลับมาทำเกษตรแบบอินทรีย์ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและฮอร์โมนต่าง ๆ ที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ เน้นการใช้อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยชีวภาพ รวมถึงน้ำหมักชีวภาพ โดยน้ำหมักชีวภาพเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่ง ที่เกษตรกรนำมาใช้ในการเพาะปลูกพืชเพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพของผลผลิตและยังเป็นการนำเศษวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตร จากอุตสาหกรรมเกษตรและวัสดุจากชุมชนของตนเองมาทำให้เกิดประโยชน์ โดยนำไปหมักกับน้ำตาลหรือกากน้ำตาลเข้มข้น ซึ่งจะมีจุลินทรีย์มาช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้อยู่ในรูปสารประกอบฮิวมัส กรดอะมิโน ธาตุอาหารในรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้น้ำหมักชีวภาพยังมีสารที่เร่งการเจริญเติบโตของพืช มีสารควบคุมแมลง และสารป้องกันกำจัดโรคพืช (อานัฐ ตันโช, 2556) มีการนำน้ำหมักชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น กำจัดกลิ่นเหม็นจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ช่วยบำบัดน้ำเสียจากการเกษตร ปศุสัตว์ การประมง โรงงานอุตสาหกรรม และชุมชน (ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์, 2550) รวมทั้งนำน้ำหมักชีวภาพมาช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของดิน ทำให้ดินร่วนซุย และทำให้ดินกลับมาอุดมสมบูรณ์ และนำมาใช้ในการปลูกพืชเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดี (อานัฐ ตันโช, 2556)

ปัจจุบันการปลูกพืชมีการพัฒนาจนมีหลากหลายรูปแบบเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มมากขึ้น การปลูกพืชแนวใหม่ที่เริ่มเข้ามามีบทบาทในปัจจุบันคือ การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน หรือไฮโดรโปนิกส์ เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูกแต่ปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารโดยตรง (อัมพา คำวงษา, 2553) ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการปลูกพืชให้มีคุณภาพ มีผลผลิตสูง สามารถวางแผนการปลูก กำหนดปริมาณการผลิตให้เป็นไปตามเป้าหมายหรือความต้องการของตลาดได้อย่างต่อเนื่อง (วารินี ธรรมชาติไพศาล, 2557) เหมาะสำหรับการปลูกพืชในพื้นที่ที่มีจำกัด สามารถพัฒนาการผลิตในเชิงการค้า แต่การปลูกพืชด้วยวิธีนี้ยังไม่ได้รับความนิยม

จากผู้บริโภคบางส่วนที่มีความกังวลเรื่องปุ๋ยเคมีหรือน้ำยาเคมีที่นำมาใช้ในกระบวนการปลูกพืช (มนูญ ศิรินุพงศ์, 2556) ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำน้ำหมักชีวภาพมาใช้ร่วมกับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้สารเคมี

จากแนวคิดนี้จึงมีความสนใจในการประยุกต์ใช้น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาและน้ำหมักชีวภาพหอยเชอรี่มาใช้ร่วมกับการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยผักตบชวาเป็นพืชลอยอยู่บนผิวน้ำหรือขึ้นบนดินชื้นแฉะ จัดว่าเป็นวัชพืชน้ำที่เจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ทุกฤดูกาล ทำให้ผักตบชวาสามารถแพร่ขยายไปยังแหล่งน้ำอื่น ๆ ได้อย่างรวดเร็ว เกิดการกีดขวางการสัญจรไปมาทางน้ำ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2545) และแพผักตบชวาที่ลอยอยู่เหนือผิวน้ำทำให้แสงสว่างไม่สามารถส่องผ่านลงไปในน้ำได้ ส่งผลให้เกิดการขาดออกซิเจน ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ดังนั้นแนวทางในการกำจัดผักตบชวาและสามารถนำผักตบชวามาใช้ให้เกิดประโยชน์คือการนำผักตบชวามาทำปุ๋ยอินทรีย์หรือน้ำหมักชีวภาพ เนื่องจากผักตบชวามีระบบรากฝอยเป็นจำนวนมากสามารถดูดซับอาหารพืชที่อยู่ในตะกอนน้ำมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ยังมีศัตรูพืชที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตทางการเกษตรนั่นคือหอยเชอรี่ ซึ่งหอยชนิดนี้กัดกินต้นข้าวในแปลงนาทำให้เกษตรกรได้รับความเสียหาย หอยเชอรี่มีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนได้รวดเร็วมากก่อให้เกิดความเสียหายทำลายต้นข้าว และทำลายพืชน้ำ เช่น ผักกระเฉดและผักบุ้ง ดังนั้นการนำหอยเชอรี่มาใช้ประโยชน์ในการทำน้ำหมักชีวภาพจึงเป็นการช่วยกำจัดและลดจำนวนศัตรูพืชได้ดีวิธีหนึ่ง และจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในหอยเชอรี่พบว่ามีปริมาณโปรตีนและแร่ธาตุค่อนข้างสูง (อานัฐ ตันโช, 2556) จึงมีการนำน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่มาใช้ในการเกษตรเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

จากคุณประโยชน์ของน้ำหมักชีวภาพที่มีต่อพืช รวมทั้งวิธีการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ที่เป็นที่นิยมกันในปัจจุบัน จึงได้มีแนวคิดที่จะนำน้ำหมักชีวภาพมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพทั้งสองชนิดที่ผลิตขึ้นเอง ที่มีต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ปลูกอยู่ในระบบไฮโดรโปนิกส์ ซึ่งข้อมูลการทดลองที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับเกษตรที่สนใจการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการลดการใช้สารเคมีและลดต้นทุนในการปลูกพืชในระบบนี้ รวมทั้งยังได้ผักที่ปลอดสารพิษอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม (น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ผสมกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา) ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารสี คือ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และ เบต้าแคโรทีน รวมทั้งปริมาณกรดแอสคอร์บิกของผักกาดขาวไดโตเกียวในการปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการนำน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม (น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ผสมกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา) เพื่อทดแทนสารละลายธาตุอาหารในการปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวที่ใช้ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ เพื่อเป็นข้อมูลให้เกษตรกรที่สนใจ และเป็นแนวทางในการลดต้นทุนและผลิตผักปลอดสารพิษ

สมมติฐานของการวิจัย

1. น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันมีผลทำให้การเจริญเติบโต ปริมาณสารสี และกรดแอสคอร์บิกของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แตกต่างกัน

2. เมื่อใช้น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ร่วมกับสารละลายธาตุอาหารมีผลทำให้การเจริญเติบโตและปริมาณสารสี กรดแอสคอร์บิกในผักกาดขาวไดโตเกียว แตกต่างจากน้ำหมักชีวภาพน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาและน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมร่วมกับสารละลายธาตุอาหาร

ขอบเขตการวิจัย

1. พืชที่ใช้ในการวิจัย คือ ผักกาดขาวไดโตเกียว (*Brassica chinensis* var. *pekinensis* Rupr.)

2. ระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT (Nutrient Film Technique)

3. น้ำหมักชีวภาพที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม (น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ผสมกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา)

4. บันทึกการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียว ได้แก่ ความสูงของลำต้น (height) น้ำหนักแห้งรวม (total dry weight) พื้นที่ใบ (leaf Area) น้ำหนักใบจำเพาะ (Specific Leaf Weight) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, RGR) และ อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น (root/ shoot ratio)

5. บันทึกลักษณะทางสรีรวิทยา ได้แก่ การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์รวมในใบ (total chlorophyll) และปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ (carotenoid) (ดัดแปลงมาจากวิธี Lichtenthaler, 1987) ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ (β-carotene) (ดัดแปลงจากวิธีของ Volker et al., 2002) รวมถึงปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบ (ascobic acid) (ดัดแปลงตามวิธีของนริศรา มืดนนท์, 2551)

6. บันทึกผลการทดลองด้านการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ระยะเวลา 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน

7. วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ และน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา โดยส่งตรวจที่ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของน้ำหมักแต่ละชนิดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

2. เป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับเกษตรกรที่มีความสนใจเกี่ยวกับการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ มาปลูกพืชร่วมกับสารละลายธาตุอาหาร หรือใช้ทดแทนสารละลายธาตุอาหาร ในการปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

สถานที่ดำเนินการวิจัย

ดาดฟ้าตึกวิทยาศาสตร์ชีวภาพ และห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาของพืช ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอบางแสน จังหวัดชลบุรี

ระยะเวลาของการวิจัย

ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2557-เดือนกรกฎาคม 2559

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกาดขาวไดโตเกียว

ผักกาดขาวไดโตเกียวเป็นพืชที่มีการพัฒนาสายพันธุ์มาจากผักกาดขาว จนมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะ และรูปร่างที่แตกต่างไปจากเดิม มีใบที่มีลักษณะหนาสีเขียวอมเหลือง ขอบใบเป็นหยักสวย ก้านสีขาวกรอบ

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกาดขาวไดโตเกียว

ชื่อสามัญ: Chinese White Cabbage

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Brassica chinensis* var. *pekinensis* Rupr.

วงศ์: Brassicaceae

ถิ่นกำเนิด: ตอนเหนือของประเทศจีน

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์: ผักกาดขาวเป็นพืชล้มลุก ลำต้นสั้น ใบสีเขียวอ่อนหยักงอหุ้มซ้อนกันเป็นกอ กาบใบหรือก้านใบกว้าง แบน สีขาว กรอบมีน้ำมาก ผักกาดชนิดนี้ไม่ห่อหัว (วารินี ธรรมชาติไพศาล, 2557)

แหล่งปลูก: ปลูกมากที่จังหวัดเชียงใหม่ นครปฐม ตาก และนครราชสีมา

ฤดูกาล: ตลอดปี

สรรพคุณทางยา: ช่วยย่อยอาหาร ขับปัสสาวะ ทำให้ขับถ่ายได้ง่าย แก้ไอ ขับเสมหะ แก้พิษจากสุรา ในตำรายาจีนผักกาดขาวใช้ในการรักษาโรคขาดวิตามินและแคลเซียมในเด็ก ช่วยป้องกันมะเร็งในลำไส้ได้ ในผักกาดขาวมีโฟเลต (folate) ซึ่งช่วยควบคุมระบบเส้นประสาทและ DNA ของทารกในครรภ์ในระยะ 3 เดือนแรก และมีผลต่อการสังเคราะห์สาร DNA ในร่างกาย และช่วยให้เม็ดเลือดแดงแข็งแรง มีคุณภาพดี (นิดดา หงษ์วิวัฒน์, 2548)

ภาพที่ 2-1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกาดขาวไดโตเกียว (อัมพา คำวงษา, 2553)

2.1.2 สารสีที่พบในผัก

2.1.2.1 คลอโรฟิลล์ (chlorophyll)

คลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่พบมากในพืช คลอโรฟิลล์มีหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ บี ซี และดี เป็นต้น คลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการดูดแสงช่วงคลื่นต่าง ๆ ของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดต่างกันด้วย คลอโรฟิลล์มีโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยส่วนหัวเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ทำหน้าที่ดูดพลังงานแสง มีโครงสร้างเป็นไพโรลแบบวงแหวน 4 วง โดยมีแมกนีเซียมไอออนเป็นศูนย์กลาง และมีส่วนหางที่เป็นไฮโดรคาร์บอนช่วยยึดสารสีกับระบบแสง คลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันเล็กน้อย ทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงต่างกัน (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548)

2.1.2.2 แคโรทีนอยด์ (carotenoid)

แคโรทีนอยด์เป็นสารสีที่พบในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) และโครโมพลาสต์ (chromoplast) ของผลไม้ ดอกไม้ และใบของพืช และยังพบในสัตว์ จุลชีพที่สังเคราะห์แสงได้ และสาหร่าย มีแคโรทีนอยด์กว่า 700 โมเลกุลที่ตรวจสอบโครงสร้างได้ และพบทั่วไปในธรรมชาติ แคโรทีนอยด์ในพืชจะดูดกลืนแสง เพื่อส่งให้คลอโรฟิลล์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และเป็นตัวจับรังสีอัลตราไวโอเลต จึงปกป้องการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ (free radical) (วีระศักดิ์ สามี, 2548) โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว

เป็นสารประกอบเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) ประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม ตัวอย่างเช่น แคโรทีน (carotene) และไลโคพีน (lycopene) เป็นแคโรทีนอยด์ที่ในโมเลกุลประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน ส่วนแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) และคริพโทแซนทิน (cryptroxanthin) เป็นแคโรทีนอยด์ที่ในโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน

แคโรทีนอยด์ประกอบด้วย 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1) แคโรทีน มีไฮโดรคาร์บอนเป็นโครงสร้าง โมเลกุลของแคโรทีนอยด์ ประกอบด้วย isoprenoid 8 กลุ่มต่อกัน โดยเมื่อถึงกลางโมเลกุล isoprenoid ที่ต่อกันจะต่อแบบกลับจากส่วนแรก แคโรทีนอยด์ในผักและผลไม้ สามารถเกิดเป็นอิสระในรูปของผลึกหรือของแข็ง ซึ่งรูปร่างไม่แน่นอน (ดนัย บุณยเกียรติ, 2556) เป็นสารสีที่ให้สีส้มแดง สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ β-carotene, ε-carotene และ lycopene โดยแคโรทีนส่วนใหญ่จะให้สารสีส้ม แคโรทีนที่สำคัญ คือ เบต้าแคโรทีน (β-carotene) เนื่องจากสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ แคโรทีนแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ

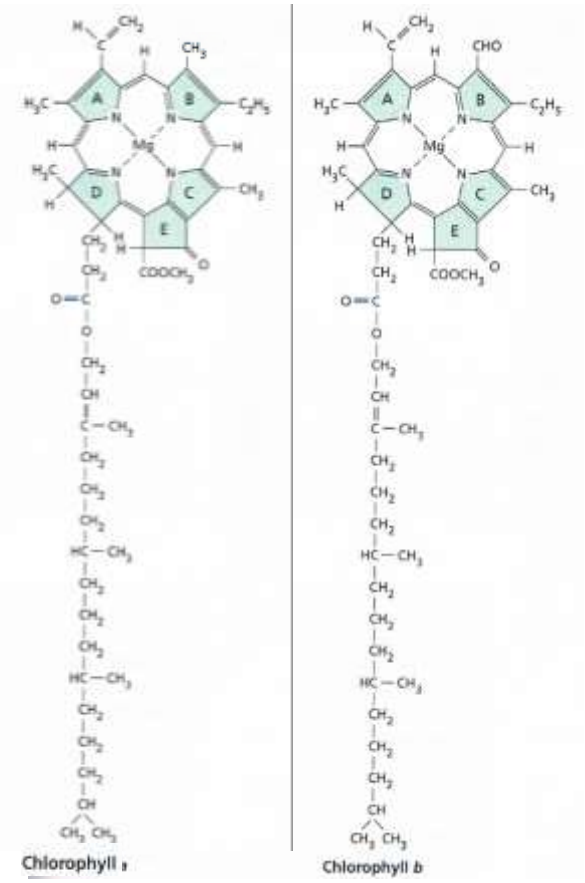
Acyclic เป็นแคโรทีนที่ไม่มีวงแหวนในโมเลกุล ได้แก่ ไลโคพีน (lycopene)

Monocyclic เป็นแคโรทีนที่มีวงแหวนในโมเลกุลที่ปลายด้านใดด้านหนึ่ง ได้แก่ แกมม่าแคโรทีน (γ-carotene) ทำให้โครงสร้างโมเลกุลครึ่งหนึ่งเหมือนกับไลโคพีน ส่วนอีกครึ่งหนึ่งเหมือนกับเบต้าแคโรทีน

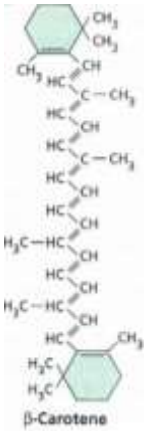
Bicyclic เป็นแคโรทีนที่มีวงแหวนในโมเลกุลที่ปลายทั้งสองด้าน ได้แก่ แอลฟาแคโรทีน (α-carotene) และเบต้าแคโรทีน (β-carotene) โดยทั้งสองชนิดมีโครงสร้างโมเลกุลแตกต่างกันที่ตำแหน่งพันธะคู่ในวงแหวนตำแหน่งที่ 2 (วีระศักดิ์ สามี, 2548)

2) แซนโทฟิลล์ เป็นสารสีเหลืองหรือสีน้ำตาล มีอะตอมของออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลจึงมีขั้วมากกว่าและละลายในไขมัน ได้น้อยกว่าแคโรทีนอยด์กลุ่มแรก ทำให้สารกลุ่มนี้ยึดกับสารตัวกลางได้ดีกว่า แคโรทีนอยด์กลุ่มนี้ได้แก่ lutein, zeaxanthin และ astaxanthin พบได้ในพืชและสาหร่ายทุกชนิด เป็นสารที่ช่วยบำรุงสายตา ป้องกันเลนส์ตาจากอนุมูลอิสระ ช่วยลดการเกิดโรคต้อกระจก การเสื่อมของสายตา รวมถึงยับยั้งการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ (ดนัย บุณยเกียรติ, 2556)

(A) คลอโรฟิลล์



(B) แคโรทีนอยด์

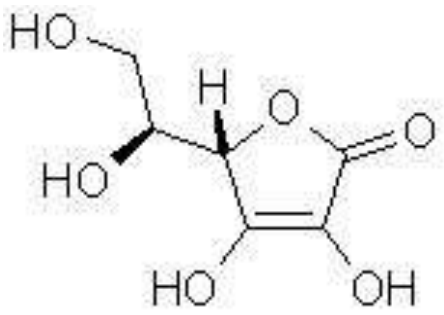


ภาพที่ 2-2 โครงสร้างโมเลกุลของสารสีในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

(Taiz & Zeiger, 1998)

2.1.3 กรดแอสคอร์บิก (ascobic acid)

กรดแอสคอร์บิก หรือวิตามินซี มีลักษณะเป็นโมเลกุลคล้ายน้ำตาลกลูโคส มีผลึกรูปเข็มและเกล็ดเล็ก ๆ มีสูตรโครงสร้างโมเลกุล คือ $C_6H_8O_6$ (ศิริวรรณ สุทธิจิตต์, 2550) เป็นสารละลายที่พบในยูคารีโอต โดยเฉพาะในพืช มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี โดยทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ ทำหน้าที่ร่วมกับกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเจริญและการแบ่งเซลล์ การต้านทานต่อความเครียดจากสภาพแวดล้อม การสังเคราะห์เอทีลีน จิบเบอเรลลิน แอนโทไซยานิน และไฮดรอกซีโพรลีน (Loewus and Loewus, 1987) วิตามินซีถูกสังเคราะห์ขึ้นในเนื้อเยื่อพืชทุกชนิด โดยเฉพาะในเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยมีรายงานระดับความเข้มข้นมากที่สุดอยู่ในบริเวณใบแก่ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุด (Smirnoff, 2005) ธรรมชาติของวิตามินซีเป็น L-ascorbic acid มีคุณสมบัติเป็นสารที่มีฤทธิ์รีดิวส์อย่างแรง เมื่อถูกออกซิไดส์แล้วจะเปลี่ยนเป็น L-dehydroascorbic acid ทั้ง ascorbic acid และ dehydroascorbic acid สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาระหว่างสารประกอบ 2 ชนิดได้ โดยอาศัยปฏิกิริยา oxidation-reduction ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของวิตามินซีเกิดขึ้นได้ง่าย โดยการเร่งปฏิกิริยาของสารออกซิไดส์ ซึ่งมักเป็นสารประกอบออกซิเจนที่ว่องไว เช่น สารไขมันเปอร์ออกไซด์ อิออนเหล็ก และอิออนทองแดง (ศิริวรรณ สุทธิจิตต์, 2550)



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างโมเลกุลของกรดแอสคอร์บิก (ศิริวรรณ สุทธิจิตต์, 2550)

2.2 วัตถุดิบในการผลิตน้ำหมักชีวภาพ

2.2.1 ผักตบชวา

การจำแนกทางชีววิทยา

ชื่อสามัญ: Water hyacinth

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Eichhornia crassipes*

วงศ์: Pontederiaceae

ลักษณะทั่วไปของผักตบชวา

ผักตบชวาเจริญเติบโตได้ ในพื้นที่ชุ่มน้ำ ในทุกสภาพน้ำไม่ว่าจะเป็นน้ำสกปรก หรือน้ำสะอาด และแหล่งน้ำนิ่งต่าง ๆ มีลำต้นสูงประมาณ 30-90 เซนติเมตร ลำต้นสั้น ลักษณะใบเป็นใบเดี่ยว แผ่นใบกว้างมนโค้ง ใบมีรูปร่างค่อนข้างกลม ก้านใบยาวอวบน้ำ ส่วนของก้านใบจะพองออก ภายในมีรูพรุนช่วยให้ผักตบชวาลอยเหนือน้ำได้ ดอกมีลักษณะเป็นช่อแบบช่อเชิงลด (spike) มีสีน้ำเงิน สีม่วง หรือสีขาว ผลเป็นแบบผลแห้งแตก (capsule) แบ่งเป็น 3 พู มีเมล็ดที่มีอายุยาวนาน รากแตกออกจากลำต้นบริเวณข้อ รากมักมีสีม่วงดำ สามารถหยั่งรากลงในโคลนได้ มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูง (Jafari, 2010) ผักตบชวาเป็นวัชพืชน้ำที่แพร่กระจายไปยังภูมิภาคเขตร้อน และในประเทศแอฟริกา เอเชีย อเมริกาเหนือ สามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วในระบบนิเวศ เป็นวัชพืชที่ขึ้นหนาแน่น สามารถคุกคามพืชสายพันธุ์พื้นเมืองหลากหลายสายพันธุ์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทางกายภาพ ทางเคมีของแหล่งน้ำ และเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบนิเวศ กระทบกับห่วงโซ่อาหารและการหมุนเวียนของธาตุอาหาร การเจริญเติบโตของผักตบชวาที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง นำไปสู่การตายของปลา และสัตว์น้ำ ทำให้น้ำเน่าเสีย **(**Aboul-Enein et al, 2011)

2.2.2 หอยเชอรี่

การจำแนกทางชีววิทยา

ชื่อสามัญ: Golden apple snail

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Pomacea canaliculata* Lamarck

วงศ์: Mollusca

ลักษณะทั่วไปของหอยเชอรี่

หอยเชอรี่ที่โตเต็มวัยมีเปลือกบางและเรียบลื่น เมื่อโตเต็มที่มีขนาดประมาณ 80 มิลลิเมตร การหมุนของเปลือกเป็นเกลียววนขวา (dextal) ตัวเมียที่โตเต็มที่จะมีขนาดใหญ่กว่าตัวผู้ จำแนกได้ 2 กลุ่ม คือ พวกเปลือกสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อและหนวดสีเหลือง และเปลือกสีเขียวเข้มปนดำ มีแถบสีดำพาด เนื้อ และหนวดมีสีน้ำตาลอ่อน มีฝาปิด (operculum) สามารถหลบเข้าไป

ในเปลือกแล้วปิดฝาเพื่อป้องกันอันตราย ถ้าฝาปิด (operculum) นูนมากเป็นหอยเพศผู้ เนื่องจากมีอวัยวะสืบพันธุ์ (gonad) ติดอยู่ อวัยวะสืบพันธุ์มีลักษณะยืดออกสำหรับสอดส่งอสุจิ เข้าไปผสมกับไข่ ส่วนเพศเมียมีฝาปิด (operculum) ที่เรียบสม่ำเสมอ จะมีเพียงเยื่อบาง ๆ แผ่ติดอยู่เท่านั้น การสืบพันธุ์จะเริ่มจากการจับคู่เพื่อถ่าย sperm เข้าสู่ตัวเมีย หลังจากนั้น 1-2 วัน ตัวเมียจะคลานขึ้นไปวางไข่เหนือน้ำ ไข่มีสีชมพูสดจะซีดจางเกือบขาวภายใน 7-12 วัน หลังจากนั้นไข่จะแตกแล้วฟักออกเป็นลูกหอย หอยเชอรี่สามารถวางไข่ได้ตลอดทั้งปี การเคลื่อนที่ใช้เท้าเป็นกล้ามเนื้อหยาบหนา สามารถยืดยาวเป็นแผ่นกว้าง ส่วนหัวสั้นมีลักษณะเป็นแผ่น มีหนวดที่ยาวปลายเรียวเล็ก ทางด้านข้างปากมีหนวดยื่นออกจากแผ่นปากข้างละหนึ่งเส้นถัดออกมามีตาเล็ก ๆ ตั้งบนก้านตาที่มีลักษณะสั้น มีริมผีปากยืนเป็นแผ่นออกทางด้านข้างของปากทั้ง 2 ข้าง ส่วนปลายเรียวเล็กลงคล้ายหนวดใช้รับความรู้สึก ภายในปากมีกรามใหญ่ใช้ในการกัดกินอาหาร ถัดจากกรามเข้าไปภายในมี radula ซึ่งมีลักษณะคล้ายฟันซี่เล็ก ๆ เรียงซ้อนอยู่ 5 แถว ใช้บดอาหาร (Hayes et al., 2012) หอยเชอรี่อยู่ในพื้นที่ชุ่มน้ำ ที่มีน้ำท่วมในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งพบตาม คลอง บึง และหอยเชอรี่เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการปรับตัวเพื่อความอยู่รอด มีอัตราการเจริญเติบโตสูงและมีวงชีวิตวงจรสั้น มีการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเป็นศัตรูพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำทางการเกษตรโดยเฉพาะในนาข้าวที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตข้าว (Ngernsoungnern & Ngernsoungnern, 2016)

2.3 น้ำหมักชีวภาพ

น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยน้ำหมักพืช และปุ๋ยน้ำชีวภาพ เป็นปุ๋ยชนิดเดียวกันที่ หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แตกต่างในกรรมวิธีการผลิต (ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์, 2550) ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ เป็นของเหลวที่ได้จากการนำเอาชิ้นส่วนของพืช เช่น ต้น ใบ ดอกและผล หรือชิ้นส่วนของสัตว์ เช่น ปลามาหมักในภาชนะที่มีน้ำอยู่ ในกระบวนการหมักอาจเติมกากน้ำตาล (molasses) ลงไปเพื่อเร่งปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ ทำให้กระบวนการหมักเสร็จสิ้นเร็วขึ้น น้ำหมักดังกล่าวมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยน้ำชีวภาพ หรือถ้าใช้ปลามาทำการหมัก เรียก ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจากปลา หรือชื่ออื่น ๆ ที่มักจะลงท้ายด้วยชีวภาพ เมื่อพิจารณาสารดังกล่าวในด้านวิชาการแล้ว ไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มของปุ๋ยชีวภาพ แต่สามารถจัดเข้ากลุ่ม ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ เพราะ ธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำหมักเกิดจากกระบวนการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจากพืชและสัตว์ที่ใช้ในกระบวนการหมักและปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ที่มีขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาหมัก เช่น วัสดุที่ใช้มาจากสัตว์จะให้ธาตุอาหารสูงกว่าที่มาจากพืช (วิจิตร วังใน, 2552)

2.3.1 ประเภทของน้ำหมักชีวภาพ

2.3.1.1 น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพืช เป็นปุ๋ยที่ได้จากการหมักดองพืชอวบน้ำ เช่น ผัก ผลไม้ด้วยน้ำตาล น้ำหมักชีวภาพที่ได้จะประกอบด้วย จุลินทรีย์และสารอินทรีย์หลากหลายชนิด จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นพวกยีสต์ แบคทีเรียสร้างกรดแลกติก และพวกรา ขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากเพียงแค่การหมักเศษพืชสดในภาชนะที่มีฝาปากกว้าง นำเศษผักมาผสมกับน้ำตาล จัดเรียงผักเป็นชั้นโดยน้ำตาลทับสลับกับพืชผัก อัตราส่วนของน้ำตาลต่อเศษผักเท่ากับ 1: 3 หมักในสภาพไม่มีอากาศ โดยบรรจุผักลงภาชะให้แน่น แล้วปิดฝาภาชนะ นำไปตั้งไว้ในที่ร่ม ประมาณ 3-7 วัน จะเกิดของเหลวข้นสีน้ำตาลมีกลิ่นหอม ของเหลวนี้เป็นน้ำสกัดจากเซลล์พืช ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน เอนไซม์ และอื่น ๆ น้ำหมักชีวภาพจากพืชนั้นจะแบ่งย่อยได้เป็น

1) น้ำหมักชีวภาพจากพืชสีเขียว (fermented plant juice) น้ำหมักชีวภาพจากพืชจะประกอบด้วยน้ำเลี้ยงจากพืช คลอโรฟิลล์ และไฟเบอร์ โดยปกติบนใบพืช 1 ตารางเซนติเมตร จะมีจุลินทรีย์อาศัยประมาณ 100,000 เซลล์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลกติก และยีสต์

2) น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ (fermented fruit juice) น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้เป็นน้ำหมักชีวภาพประเภทเดียวกันกับน้ำหมักชีวภาพจากพืช เพียงแต่ทำมาจากผลไม้ ใช้ในช่วงพืชเข้าสู่ระยะการออกดอกและช่วงออกผล

3) น้ำหมักชีวภาพจากสมุนไพร (oriental herbal nutrient) น้ำหมักชีวภาพจากสมุนไพรทำมาจากพืชสมุนไพรที่เป็นที่รู้จักกันดี เช่น ตังกุย ชะเอมเทศ อบเชย ขิง กระเทียม ฯลฯ ช่วยป้องกันโรค และแมลง ทำให้ต้นและรากพืชแข็งแรง ช่วยในการติดดอกออกผลได้ดี มีขนาดใหญ่ขึ้น น้ำหมักชีวภาพสมุนไพรเป็นส่วนสำคัญในการนำไปผสมเพื่อปัจจัยการผลิตสูตรต่าง ๆ สำหรับการทำเกษตรธรรมชาติ (อานัฐ ตันโช, 2556)

วิธีการทำน้ำหมักชีวภาพจากพืชสีเขียว (อานัฐ ตันโช, 2556)

1. เลือกเก็บและรวบรวมพืชสีเขียวที่จะใช้เป็นส่วนประกอบในการหมัก
2. เลือกเอาสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนออก ถ้าชิ้นส่วนพืชมีขนาดใหญ่ หั่นให้มีขนาดพอเหมาะ (ประมาณ 5-10 เซนติเมตร) เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส และส่งเสริมแรงดันออสโมติก
3. ชั่งน้ำหนักของส่วนประกอบพืชที่จะใช้หมัก และน้ำหนักของน้ำตาลทรายหรือกากน้ำตาลประมาณ 1/3-1/2 ของน้ำหนักพืช
4. ผสมชิ้นส่วนพืชและกากน้ำตาลด้วยมือในภาชนะปากกว้างแล้วคลุมด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์หรือกระดาษสา 1-2 ชั่วโมง

5. นำชิ้นส่วนพืชและกากน้ำตาลที่ผสมแล้วใส่ลงในถัง หรือโอ่งดิน ไม่ควรใส่จนเต็มภาชนะบรรจุ เพราะต้องเว้นที่ไว้ให้อากาศสามารถหมุนเวียนได้

6. วางของทับเพื่อไล่อากาศ และปิดปากโอ่งด้วยกระดาษและมัดเชือก

7. ทิ้งไว้ 1-2 วัน แล้วจึงเปิดถังนำเอาสิ่งที่ทับไว้ออก ปล่อยให้อากาศถ่ายเทอีกครั้งก่อนปิดปากถังด้วยกระดาษและมัดปากถังด้วยเชือก

8. เก็บถังหมักไว้ในที่ร่มและอากาศเย็น

2.3.1.2. น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่

วิธีการทำน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ (ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์, 2550)

1. นำหอยเชอรี่ทั้งตัวมาทุบหรือบดให้ละเอียด จะได้เนื้อหอยเชอรี่พร้อมเปลือกและน้ำ

2. นำไปผสมกับน้ำตาลโมลาส และน้ำหมักหัวเชื้อจุลินทรีย์ คนให้เข้ากัน

3. นำไปบรรจุในถังหมักขนาด 30 ลิตร หรือ 200 ลิตร ปิดฝาทิ้งไว้งน้ำหนักพืช

4. อาจคนให้เข้ากันหากมีการแบ่งชั้นให้สังเกตดูว่ามีกลิ่นเหม็นหรือไม่ ถ้ามีกลิ่นเหม็นให้ใส่น้ำตาลโมลาสเพิ่มขึ้น และคนให้เข้ากันจนกว่าจะหายเหม็น ทำอย่างนี้ไปเรื่อยจนกว่าจะไม่เกิดแก๊สให้เห็นบนผิวหน้าของน้ำหมักชีวภาพ แต่เห็นความระยิบระยับที่ผิวหน้าของน้ำหมักชีวภาพ ถ้าพบตัวหนอนลอยอยู่บนผิวหน้า ควรรอจนกว่าตัวหนอนจะมีขนาดใหญ่เต็มที่และตายไป ถือว่าการหมักหอยเชอรี่ทั้งตัวเสร็จสิ้นขบวนการกลายเป็นปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่

2.3.2 คุณลักษณะของน้ำหมักชีวภาพ (อานัฐ ตันโช, 2556)

2.3.2.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีความสัมพันธ์กับชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ โดยค่า pH ของน้ำหมักชีวภาพมักจะมีความเป็นกรด (ค่าน้อยกว่า 4) ซึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดอะซิติกหรือกรดแลกติก ออกมาในกระบวนการหมัก การที่ค่า pH ของน้ำหมักชีวภาพเป็นกรด แสดงว่ามีการเกิดกระบวนการหมักขึ้น และหากค่า pH ของน้ำหมักชีวภาพอยู่ระหว่าง 3.0-4.0 แสดงว่ากระบวนการหมักสมบูรณ์ เมื่อทิ้งน้ำหมักชีวภาพไว้ พบว่า น้ำหมักชีวภาพที่เก็บไว้จะมีค่า pH เป็น 4.0-4.8 ในน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์ พบว่า น้ำหมักชีวภาพจากปลาจะมีค่าความเป็นกรดสูงกว่า น้ำหมักชีวภาพจากหอย เนื่องจากหอยมีส่วนประกอบจากเปลือกหอยที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบจึงทำให้เกิดความเป็นด่าง น้ำหมักชีวภาพจากหอยจึงมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.0-6.5 ค่อนข้างคงที่ ส่วนน้ำหมักชีวภาพจากปลามีค่า pH ประมาณ 4.0 เมื่อหมักเสร็จสมบูรณ์แล้วค่า pH จะเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 5.0-5.2

2.3.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของธาตุอาหาร และสารประกอบอนินทรีย์ต่าง ๆ มีอยู่ในน้ำหมักชีวภาพ แต่เป็นปริมาณโดยรวม

ค่าการนำไฟฟ้านี้ไม่สามารถบอกถึงปริมาณของธาตุหรือสารตัวใดตัวหนึ่งได้ว่ามีปริมาณเท่าใด ถ้ามีค่าการนำไฟฟ้าสูงแสดงว่ามีปริมาณธาตุอาหารอยู่มาก ค่าการนำไฟฟ้ามักจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก โดยน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์จะมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าน้ำหมักชีวภาพจากเศษพืช

2.3.2.3 กรดฮิวมิก (humic acid) น้ำหมักชีวภาพทุกชนิดมีกรดฮิวมิกเป็นองค์ประกอบและมีปริมาณแตกต่างกัน โดยพบว่าน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่มีปริมาณกรดฮิวมิกสูงกว่าน้ำหมักชีวภาพชนิดอื่นโดยมีปริมาณระหว่างร้อยละ 3.07-4.45 ส่วนน้ำหมักชีวภาพจากพืช มีกรดฮิวมิกร้อยละ 0.48-1.07 กรดฮิวมิกมากจะมีปริมาณฮอร์โมนออกซินอยู่มาก ซึ่งจะช่วยเร่งการเจริญเติบโตของรากและลำต้นได้ดี

2.3.2.4 กรดอินทรีย์ (organic acid) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักชีวภาพ ถ้ามีค่าเป็นกรดสูงแสดงว่าในน้ำหมักชีวภาพมีกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เกิดขึ้นมากในระหว่างกระบวนการหมัก กรดอินทรีย์ดังกล่าวได้แก่ กรดอะซิติกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรดอะซิติก และกรดแลคติกที่เกิดจากจุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรดแลคติก โดยกรดอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในการหมัก

2.3.2.5 ปริมาณธาตุอาหารพืช ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมีอยู่ 16 ชนิด แต่มีเพียง 13 ธาตุเท่านั้นที่ต้องการจากดิน เนื่องจากอีก 3 ธาตุ คือ ออกซิเจน ไฮโดรเจน และคาร์บอน เป็นธาตุที่ได้จากอากาศและน้ำ โดยพืชต้องการธาตุแต่ละตัวในปริมาณที่ต่างกัน แบ่งตามกลุ่มธาตุอาหารพืชตามความต้องการได้เป็น 2 กลุ่ม

2.3.2.5.1 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก (Macro Elements) แบ่งได้เป็น

ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งธาตุ 3 ธาตุนี้ถือว่าเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก แต่พืชนำไปใช้ได้น้อย เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ การะเหย การชะล้าง และการเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์กับพืช

ธาตุอาหารรอง ได้แก่ ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เป็นธาตุที่พืชต้องการรองมาจากธาตุอาหารหลัก

2.3.2.5.2 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย (Micro Elements) หรือที่เรียกว่าธาตุอาหารเสริมหรือจุลธาตุ เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย แต่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต ธาตุอาหารในกลุ่มนี้มี 7 ธาตุ คือธาตุเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl)

ตารางที่ 2-1 ปริมาณอาหารหลักในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตโดยวัสดุหลักต่าง ๆ

ธาตุอาหารพืช	น้ำหมักชีวภาพจากวัสดุต่าง ๆ				
	พืช	สมุนไพร	ปลา	หอย	ผสม
N (%)	0.05-1.65	0.10-1.80	0.32-2.00	0.28-1.29	0.06-1.82
	(พบ 75%)	(พบ 45%)	(พบ 100%)	(พบ 87%)	(พบ 74%)
P_2O_5 (%)	0.01-0.26	0.01-0.26	0.01-3.78	0.003-0.35	0.01-3.41
	(พบ 85%)	(พบ 59%)	(พบ 100%)	(พบ 78%)	(พบ 92%)
K_2O (%)	0.02-1.89	0.03-3.38	0.38-1.72	0.04-1.53	0.02-4.93
	(พบ 100%)	(พบ 100%)	(พบ 100%)	(พบ 100%)	(พบ 100%)
แคลเซียม (%)	0.008-0.95	0.007-0.87	0.09-1.08	0.02-2.26	0.013-2.57
	(พบ 100%)	(พบ 98%)	(พบ 100%)	(พบ 98%)	(พบ 100%)
แมกนีเซียม (%)	0.001-0.22	0.006-0.33	0.05-0.25	0.01-0.84	0.002-0.22
	(พบ 100%)	(พบ 100%)	(พบ 100%)	(พบ 100%)	(พบ 100%)
กำมะถัน (%)	0.006-0.38	0.01-0.26	0.07-0.35	0.01-0.28	0.01-0.58
	(พบ 85%)	(พบ 75%)	(พบ 100%)	(พบ 91%)	(พบ 78%)
เหล็ก (ppm)	10-730	13-100	48-530	7-980	10-1,100
	(พบ 100%)	(พบ 98%)	(พบ 100%)	(พบ 100%)	(พบ 100%)
แมงกานีส (ppm)	1-120	1-100	8-72	1-750	4-200
	(พบ 95%)	(พบ 95%)	(พบ 90)	(พบ 96%)	(พบ 100%)
สังกะสี (ppm)	3-230	1-74	15-35	2-30	4-150
	(พบ 95%)	(พบ 93%)	(พบ 90%)	(พบ 96%)	(พบ 98%)
โบรอน (ppm)	3-40	2-95	5-19	3-40	2-40
	(พบ 95%)	(พบ 91%)	(พบ 100%)	(พบ 100%)	(พบ 93%)
โมลิบดินัม (ppm)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
คลอรีน (ppm)	0.01-1.70	0.02-1.28	0.13-8.52	0.09-0.58	0.03-1.01
	(พบ 95%)	(พบ 87%)	(พบ 90%)	(พบ 96%)	(พบ 90%)

ที่มา: อานัฐ ตันโช (2556)

2.3.2.6 ฮอร์โมน เป็นสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช พืชต้องการฮอร์โมนในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดี ฮอร์โมนพืชได้จากน้ำหมักชีวภาพจากพืชและน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์ ที่สำคัญแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

2.3.2.6.1 ออกซิน (auxin) มีผลในการเพิ่มการขยายของเซลล์ กระตุ้นการแบ่งเซลล์ การเกิดราก การเจริญของรากและลำต้น เพิ่มการออกดอก การติดผลและการสุกของผลและเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ ตัวอย่าง ฮอร์โมนกลุ่มนี้ เช่น กรดอินโดลอะซิติก (indoleacetic acid: IAA)

2.3.2.6.2 จิบเบอเรลลิน (gibberellin) มีผลในการกระตุ้นการยืดตัวของลำต้น กระตุ้นการแบ่งเซลล์ ชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดพืช เร่งการออกดอก เพิ่มการติดผลและพัฒนาตาข้าง มักพบในรูป กรดจิบเบอเรลลิก (gibberellic acid: GA_3)

2.3.2.6.3 ไซโตไคนิน (cytokinin) มีผลกระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์ การเจริญด้านข้างของลำต้น กระตุ้นการเจริญตาข้างให้เจริญเป็นกิ่งแขนง เพิ่มอัตราการเกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ป้องกันคลอโรฟิลล์ให้ถูกทำลายช้าลง ทำให้ใบพืชเขียวนานขึ้น ตัวอย่างฮอร์โมนกลุ่มนี้ เช่น ซีอะทีน (zeatin) ไคนีทิน (kinetin) เป็นต้น (อานัฐ ตันโช, 2556)

ตารางที่ 2-2 ปริมาณฮอร์โมนพืชในน้ำหมักชีวภาพชนิดต่าง ๆ

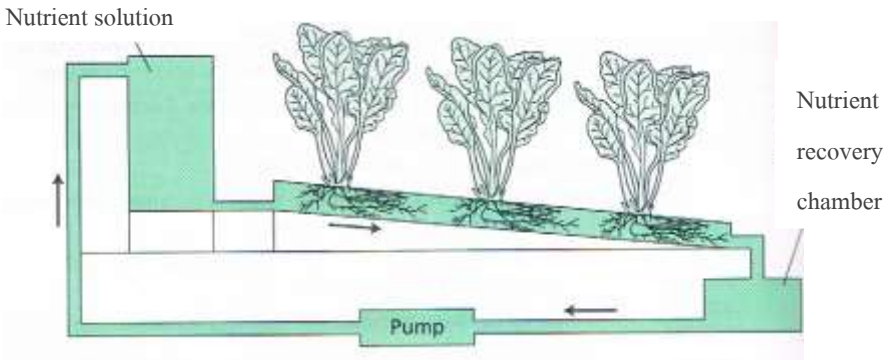
ชนิดน้ำหมักชีวภาพ	ปริมาณฮอร์โมน (ppm)			
	IAA	GA_3	ซีอะทิน	ไคนีทิน
น้ำหมักจากพืช	0.1-3.5	0.4-241.7	0.1-9.8	0.1-18.5
	(พบ 90%)	(พบ 85%)	(พบ 69%)	(พบ 51%)
น้ำหมักจากพืชสมุนไพร	0.1-1.5	1.0-25.7	0.1-5.5	0.1-28.9
	(พบ 80%)	(พบ 80%)	(พบ 39%)	(พบ 68%)
น้ำหมักจากปลา	0.1-3.4	3.2-124.5	0.1-4.0	1.0-134
	(พบ 100%)	(พบ 70%)	(พบ 90%)	(พบ 60%)
น้ำหมักจากหอย	0.1-9.0	0.9-127.6	0.1-9.9	0.2-22.1
	(พบ 83%)	(พบ 65%)	(พบ 61%)	(พบ 70%)
น้ำหมักจากวัสดุผสม	0.1-7.4	1.0-149.6	0.1-9.3	0.1-11.0
	(พบ 83%)	(พบ 82%)	(พบ 61%)	(พบ 56%)

ที่มา: อานัฐ ตันโช (2556)

2.4 การปลูกพืชไม่ใช้ดิน (Hydroponics)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน มาจากภาษาอังกฤษคือ hydroponics เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูก (nonsubstrate หรือ water culture) กล่าวคือ จะทำการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารพืชโดยให้รากสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง คำว่า hydroponics มาจากการรวมคำในภาษากรีกสองคำ คือคำว่า hydro หมายถึง น้ำ และ ponos หมายถึง งาน เมื่อรวมคำทั้งสองคำเข้าด้วยกันแล้วความหมายก็คือ water working หรือหมายถึง การทำงานของน้ำที่มีสารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืช (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

2.4.1 การปลูกพืชในระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบาง ๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique, NFT) เป็นการปลูกพืชโดยให้รากพืชแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายธาตุอาหารจะไหลผ่านรากเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ในรางปลูกพืชกว้างตั้งแต่ 5-35 เซนติเมตร สูงประมาณ 5-10 เซนติเมตร ความกว้างของรางขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูก ความยาวของราง ตั้งแต่ 5-20 เมตร การไหลของสารละลายอาจเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบสลับก็ได้โดยทั่วไปสารละลายจะไหลแบบต่อเนื่อง อัตราการไหลอยู่ในช่วง 1-2 ลิตร/ นาที/ ราง รางอาจจะทำจากแผ่นพลาสติกสองหน้าขาวและดำ หนา 80-200 ไมครอน หรือจาก PVC ขึ้นรูปเป็นรางสำเร็จรูป หรือทำจากโลหะ เช่น สังกะสี หรืออะลูมิเนียม และบุด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารละลาย โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรางและรากพืช และเวียนกลับมายังถังเก็บสารละลาย (อำพา คำวงษา, 2553) ในปัจจุบันมีการดัดแปลงกล่องโฟมเพื่อนำมาใช้ในการปลูกพืชในระบบนี้



ภาพที่ 2-4 การปลูกพืชในระบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ (Taiz & Zeiger, 1998)

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์

การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ให้สำเร็จต้องเข้าใจปัจจัยในด้านการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัยหลัก (มนูญ ศิรินุพงศ์, 2556) ได้แก่

2.4.2.1 ปัจจัยภายในพืช เป็นปัจจัยทางด้านพันธุกรรม ซึ่งพันธุกรรมจะเป็นตัวกำหนดลักษณะต่าง ๆ ของพืช ซึ่งมีการแสดงออกให้เห็น (phenotype) เช่น ขนาดต้น โต เล็ก สูง เตี้ย ตามแต่ละชนิดพันธุ์ของพืชนั้น ๆ ซึ่งควบคุมด้วยยีน (genotype) ดังนั้นควรมีความรู้เรื่องพันธุกรรมพืชที่จะปลูก ทราบลักษณะพิเศษของพันธุ์พืช อายุในการเก็บผลผลิต ความเหมาะสมในการปรับตัวเมื่อนำพืชมาปลูกโดยไม่ใช้ดินมีการตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศ ซึ่งพืชที่ปลูกแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกัน เช่น ปวยเล้งมีการเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอุณหภูมิ 15.5-18.5 องศาเซลเซียส หอม กระเทียม เจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 12.5-24.0 องศาเซลเซียส แต่ปัจจุบันมีการปรับปรุงพันธุ์พืชให้สามารถปลูกได้ทุกสภาพอากาศ

2.4.2.2 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วย

2.4.2.2.1 แสง ตามธรรมชาตินั้นพืชใช้แสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้แสงยังเป็นตัวกระตุ้น และควบคุมกระบวนการพื้นฐานของการเจริญเติบโตในระดับต่าง ๆ ทั้งนี้คุณภาพของแสง ความเข้มแสง ความยาวของช่วงแสง หรือระยะเวลาที่พืชได้รับแสงต่างก็มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งสิ้น

2.4.2.2.2 อุณหภูมิ มีผลโดยตรงกับการดูดน้ำ และธาตุอาหารในการสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ การคายน้ำ และกิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ ดังนั้นอัตราการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยตรง อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชทั่วไปอยู่ระหว่าง 15-40 องศาเซลเซียส

2.4.2.2.3 องค์ประกอบของอากาศ พืชใช้ออกซิเจนในการหายใจ ในการหายใจส่วนของพืชที่อยู่เหนือดินจะไม่ประสบปัญหา เพราะในบรรยากาศมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 20 การปลูกพืชบนดินมีการเติมอากาศให้กับรากพืชด้วยวิธีการพรวนดิน หรือใช้วัสดุปลูกที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เพื่อให้อากาศแทรกตัวเข้าไป ส่วนการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารจึงต้องมีการเลือกหรือสร้างระบบปลูกเพื่อเติมอากาศให้กับสารละลาย

2.4.2.2.4 คุณภาพน้ำ คุณภาพน้ำมีความสำคัญมากในการปลูกพืชด้วยวิธีนี้ เนื่องจากพืชที่ปลูกได้รับธาตุอาหารจากสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งต้องใช้น้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ ถ้าน้ำมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ โรคจะสามารถแพร่กระจายได้อย่าง

รวดเร็ว จึงต้องมีความจำเป็นที่จะต้องฆ่าเชื้อก่อนการนำไปใช้ ซึ่งอาจใช้คลอรีนหรือโซเดียมไฮเปอร์คลอไรด์ หรือแคลซียมไฮโดรคลอไรด์ก็ได้ (อำพา คำวงษา, 2553)

2.4.2.2.5 ธาตุอาหารพืช ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์นั้นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ น้ำ และธาตุอาหาร เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ผู้ปลูกจัดหาให้แก่พืชโดยตรง โดยการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดให้เหมาะสมต่อความต้องการของพืชแต่ละชนิดได้ (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) โดยทั่วไปธาตุอาหารที่พืชต้องการมีทั้งสิ้น 16 ชนิด จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ตามปริมาณของธาตุอาหารแต่ละชนิดที่พืชต้องการคือ

มหธาตุ (macronutrients) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการเพื่อการเจริญเติบโตในปริมาณมาก โดยต้องการในปริมาณมากกว่า 1000 ไมโครกรัม/ น้ำหนักแห้งของต้นพืช 1 กรัม มี 9 ธาตุ ได้แก่ C, H, O, N, P, K, Ca, Mg และ S

จุลธาตุ (micronutrients essential element หรือ trace elements) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเพื่อการเจริญเติบโตและพัฒนาเพียงเล็กน้อย โดยมีความต้องการน้อยกว่า 100 ไมโครกรัม/ น้ำหนักแห้งของพืช 1 กรัม ธาตุอาหารพืชเหล่านี้ ได้แก่ B, Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Cl, และ Ni (ลิลลี่ กาวิตั๊ะ และคณะ, 2556) ซึ่งธาตุอาหารแต่ละชนิดมีบทบาทและหน้าที่ ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

ธาตุอาหาร	ความสำคัญ
ธาตุคาร์บอน (C)	เป็นธาตุจำเป็นต่อองค์ประกอบหลักในโครงสร้างของพืช ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
ธาตุออกซิเจน (O)	พืชมีจำเป็นในการใช้ในกระบวนการหายใจ เพื่อนำไปออกซิไดส์สารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต ย่อยให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก และได้พลังงาน เพื่อให้พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต
ธาตุไฮโดรเจน (H)	เป็นธาตุที่มีความจำเป็นในการสังเคราะห์ด้วยแสง

ตารางที่ 2-3 บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช (ต่อ)

ธาตุอาหาร	ความสำคัญ
ธาตุไนโตรเจน (N)	เป็นองค์ประกอบโครงสร้างของสารอินทรีย์โดยเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของพืช เช่น คลอโรฟิลล์ กรดอะมิโน และองค์ประกอบของโปรตีน เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช หากขาด จะทำให้ลำต้นแคระแกร็น ใบอ่อน เล็กเรียว ใบล่างแก่จะมีสีเหลืองซีด บทบาทของไนโตรเจนถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมาก จะทำให้ต้นพืช มีการสะสมอาหารเพื่อให้ผลผลิตลดลง จึงจำเป็นต้องศึกษาในระดับที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ตาม พืชผักที่นิยมปลูกโดยไม่ใช้ดิน เป็นชนิดกินใบและเก็บเกี่ยวผลผลิตระยะสั้น จึงนิยมให้ธาตุไนโตรเจนปริมาณสูงเป็นส่วนใหญ่
ธาตุโพแทสเซียม(K)	เป็นธาตุที่เกี่ยวข้องในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารอื่น ๆ และเป็นธาตุที่มีคุณสมบัติการเคลื่อนย้ายได้สะดวก เช่น เคลื่อนย้ายจากบริเวณปลายยอดไปยังปลายราก หากขาดธาตุโพแทสเซียมจะมีผลทำให้ต้นพืชเล็กบอบบาง และหักล้มง่าย
ธาตุฟอสฟอรัส (P)	เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก สารพลังงานสูง เช่น ATP, ADP และฟอสโฟไลปิด มีบทบาทต่อกระบวนการเผาผลาญสารอาหาร หากขาดฟอสฟอรัสจะมีผลทำให้พืชติดผลน้อยลง และพืชให้หัวจะมีผลการสะสมอาหารในหัวน้อยลง
ธาตุกำมะถัน (S)	เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์กรดอะมิโนพวก cysteine, methionine ซึ่งมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตในพืช หากขาดใบพืชจะมีใบเหลือง
ธาตุเหล็ก (Fe)	ช่วยพืชในการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเป็นตัวนำพาอะตอมออกซิเจนในกระบวนการหายใจ และมีบทบาทในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และเป็นสารประกอบของ Flavoprotein มีความจำเป็นในการสร้างน้ำตาลและแป้ง หากขาดจะทำให้ใบพืชเหลืองซีดทั้งใบอ่อนและใบแก่
ธาตุคลอรีน (Cl)	มีบทบาทต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ช่วยเพิ่มความเป็นกรดในเซลล์ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์
ธาตุโบรอน (B)	เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ช่วยส่งเสริมให้พืชใช้ธาตุแคลเซียมได้ดีขึ้น ในการสร้างผนังเซลล์ และส่งเสริมการเคลื่อนย้ายสารอาหาร หากขาดทำให้การสร้างน้ำตาลลดลง ในพืชบางชนิดมีลำต้นกลวง

ตารางที่ 2-3 บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช (ต่อ)

ธาตุอาหาร	ความสำคัญ
ธาตุแมงกานีส (Mn)	มีบทบาทในกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสง ช่วยกระตุ้นเอนไซม์ในการสังเคราะห์กรดไขมัน และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด DNA และ RNA หากขาดทำให้ธาตุในรูป Fe^{2+} เกิดเป็นพิษแก่ต้นพืชและทำให้ใบมีลักษณะด่างในพืชตระกูลถั่ว หากมากเกินไปทำให้อยู่ในรูป Fe^{3+} ถูกนำไปใช้ได้น้อยลงและทำให้เกิดการขาดธาตุเหล็ก
ธาตุทองแดง (Cu)	เป็นตัวคะตะไลส์และเป็นตัวนำของอิเล็กตรอนในการตรึงไนโตรเจน หากขาดทำให้ต้นพืชอ่อนแอใบเหลืองซีด
ธาตุโมลิบดินัม (Mo)	เป็นธาตุที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนไนเตรท (NO^{-}_{3}) ไปเป็นแอมโมเนียม (NH^{+}_{4}) เพื่อไปสร้างเป็นกรดอะมิโนในเซลล์ มีความจำเป็นในการตรึงไนโตรเจน หากขาดทำให้พืชตระกูลถั่วตรึงไนโตรเจนน้อยลง

ที่มา: มนูญ ศิรินุพงศ์ (2556)

2.4.3 สารละลายธาตุอาหารพืช

สารละลายธาตุอาหารพืชเป็นหัวใจสำคัญของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพราะพืชจะได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ จากสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งผู้ปลูกเตรียมขึ้นจากการนำปุ๋ยหรือสารเคมีมาละลายน้ำจึงสามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้เป็นไปตามที่พืชต้องการได้ (อำพา คำวงษา, 2553) ซึ่งสูตรสารละลายธาตุอาหารพืชมีทั้งที่เป็นสูตรมาตรฐานและถูกดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับพืชชนิดต่าง ๆ เช่น Knop's 1865, Sach's 1860, Shive's และ Hoagland's ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารต้องยึดหลักช่วงความเข้มข้น และค่าเฉลี่ยของธาตุอาหารตามความต้องการของพืช (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ช่วงความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุอาหารในสารละลาย

ธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหารในสารละลาย (ppm)	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
ไนโตรเจน (N)	150-1000	300
แคลเซียม (Ca)	300-500	400
แมกนีเซียม (Mg)	50-100	75
ฟอสฟอรัส (P)	50-100	75
โพแทสเซียม (K)	100-400	250
กำมะถัน (S)	200-1000	400
ทองแดง (Cu)	0.1-0.5	0.5
โบรอน (B)	0.5-5.0	1
เหล็ก (Fe)	2.0-10.0	5
โมลิบดินัม (Mo)	0.001-0.002	0.001
สังกะสี (Zn)	0.5-1.0	0.5
คลอรีน (Cl)	0.1-1.0	0.5

ที่มา: ดิเรก ทองอร่าม (2550)

สูตรสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์ (Hoagland's solution)

สูตรสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์เป็นสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่โฮกแลนด์ และอาร์นอน (Hoagland and Arnon) นักวิทยาศาสตร์ชาวสหรัฐอเมริกาคิดค้นและพัฒนาขึ้นมาในช่วงปี พ.ศ. 2482-2488 ซึ่งเป็นสูตรพื้นฐานที่นักวิทยาศาสตร์รุ่นหลังใช้ในการศึกษาและพัฒนา โดยมีความเข้มข้นของธาตุอาหารดังตารางที่ 2-5 (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

ตารางที่ 2-5 ส่วนประกอบของสูตรสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์ (Hoagland's solution)

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร (ppm)
ไนโตรเจน (N)	210
ฟอสฟอรัส (P)	31
โพแทสเซียม (K)	231
แคลเซียม (Ca)	200
แมกนีเซียม (Mg)	48
กำมะถัน (S)	-
เหล็ก (Fe)	5
แมงกานีส (Mn)	2
โบรอน (B)	1.5
ทองแดง (Cu)	0.06
สังกะสี (Zn)	0.06
โมลิบดินัม (Mo)	0.007

ที่มา: ดิเรก ทองอร่าม (2550)

2.4.4 การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบปิด (closed system) การจัดการสารละลายธาตุอาหารเพื่อดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการรักษาหรือควบคุม pH และ EC ในสารละลายธาตุอาหารเพื่อให้พืชสามารถดูดใช้ปุ๋ยหรือสารละลายธาตุอาหารได้ดี โดยจะเน้นควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหาร (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) ดังนี้

2.4.4.1 การจัดการค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสาระลาย

ค่า pH ของสารละลายโดยทั่วไปควรอยู่ในช่วง 5.5-6.5 เมื่อค่า pH ต่ำกว่า 4 จะเป็นอันตรายต่อรากพืช ในทางตรงกันข้ามหากค่า pH สูงกว่า 7 นานติดต่อกัน 2-3 วัน จะทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัส เหล็ก และแมงกานีส ผิดปกติ เมื่อเตรียมสารละลายใหม่ ค่า pH จะเท่ากับ 6 แต่เมื่อเวลาผ่านไป ค่า pH จะสูงขึ้น เนื่องจากการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) พืชจะมีการดูดไนเตรทไอออนมากขึ้น นั้นเป็นการดูดใช้ประจุลบมากกว่าประจุบวก จึงปล่อยอนุมูล

ไบคาร์บอเนตออกมาในปริมาณเท่ากันทำให้ค่า pH ของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นในการปลูกพืชระบบปิดจึงต้องวัดค่า pH อย่างสม่ำเสมอให้อยู่ในระดับคงที่ที่ 6 โดยใช้กรดไนตริก กรดฟอสฟอริก ซึ่งจะเป็นการเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้สารละลาย ส่วนการลดค่า pH นั้นทำได้โดยการเพิ่มแอมโมเนียมไอออน หากมีแอมโมเนียมไอออนเพิ่มขึ้น พืชจะปล่อยอนุมูลไฮโดรเจนออกมาทำให้ค่า pH ต่ำลง แต่ไม่ควรให้มีแอมโมเนียมไอออนในสารละลายเกินร้อยละ 10 ของความเข้มข้นของอนุมูลไนเตรทไอออนในสารละลาย เพราะอาจเป็นอันตรายต่อพืชได้

2.4.4.2 การจัดการค่าสภาพนำไฟฟ้าของสารละลาย

ค่าสภาพนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) เป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของสารละลายมีหน่วยเป็น มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร (mmhos/ cm) หรือมิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/ cm) หากค่า EC สูงแสดงว่าสารละลายมีความเข้มข้นสูง คือ มีธาตุอาหารละลายอยู่มาก ค่าสภาพนำไฟฟ้าในการปลูกพืชไม่ใช้ดินจะแตกต่างกันแต่ละพื้นที่ และชนิดของพืชที่ปลูก ข้อจำกัดคือ ค่า EC เป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของสารละลายโดยรวม ไม่สามารถบอกความเข้มข้นของธาตุแต่ละตัวได้ ค่า EC จะแปรผันตามอุณหภูมิ จึงกำหนดเป็นมาตรฐานที่ต้องระบุค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิของสารละลายที่ต้องการวัดแตกต่างไปจากนี้ จะต้องใช้การคำนวณเพื่อเปลี่ยนค่าที่วัดได้ที่อุณหภูมิใด ๆ มาเป็นค่าที่ 25 องศาเซลเซียส เครื่อง EC meter ปัจจุบันสามารถปรับค่าได้อย่างอัตโนมัติ ดังนั้นก่อนการใช้งานควรตั้งค่าทดสอบความเที่ยงตรงก่อนทุกครั้ง (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

2.5 การประยุกต์ใช้น้ำหมักชีวภาพในการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

จันทร์เพ็ญ ชัยมงคล, ดนัย วรรณวนิช และ วิชาบูลย์ ศีตะโกเศศ (2552) ศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำหมักชีวภาพปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยใช้ปุ๋ยเคมี เพียงอย่างเดียว และการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วน 3: 1, 1: 1 และ 1: 3 นำมาเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ ผลการทดลองพบว่าการใช้สารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักมีค่าสูงสุด อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มให้ผลผลิตทัดเทียมกับสารละลายมาตรฐานอนินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผักฮ่องเต้ ผักกาดขาว และผักสลัดเรดคลอรัล รองลงมาคือ การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วน 3: 1 และ 1: 1 นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำหมักชีวภาพทำให้ Total N ที่สะสมในต้นพืชมีค่าต่ำ

ดนัย วรรณวนิช (2552) ศึกษาการใช้สารอินทรีย์ทดแทนสารเคมีในการปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิกส์น้ำตื้น โดยทำการปลูกผักคะน้าใบ ผักกวางตุ้งดอก ผักคื่นฉ่าย ผักกาดหอมเรดโอ๊ค ในสารละลายธาตุอาหาร 5 สูตร ดังนี้สูตรที่ 1 สูตรสารอาหารมาตรฐานอนินทรีย์ (control) 100 % สูตรที่ 2 สารอาหารมาตรฐาน อนินทรีย์ 75 % + สารอินทรีย์ 25 % สูตรที่ 3 สูตรสารอาหารมาตรฐานอนินทรีย์ 50 % + สารอินทรีย์ 50 % สูตรที่ 4 สูตรสารอาหารมาตรฐานอนินทรีย์ 25 % + สารอินทรีย์ 75 % สูตรที่ 5 สารอินทรีย์ 100 % ผลการทดลอง พบว่า ผักคะน้า ผักกวางตุ้ง ผักคื่นฉ่าย ผักกาดหอมเรดโอ๊ค ให้ผลผลิตสูงที่สุดในเรื่องของน้ำหนักสด ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความยาวรากน้ำหนักรากแห้ง เมื่อใช้กับสารละลายธาตุอาหาร สูตรที่ 2 สารอาหารมาตรฐาน อนินทรีย์ 75 % + สารอินทรีย์ 25 % และรองลงมาคือการใช้สารละลายสูตรที่ 3 สารอาหารมาตรฐานอนินทรีย์ 50 % + สารอินทรีย์ 50 % ตามลำดับ ส่วนการใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ 5 สูตรสารอินทรีย์ 100 % ให้ผลผลิตต่ำที่สุด

นฤมล วาจาหวาน (2552) ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากผักและปลาที่มีต่อการเจริญเติบโต และลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของผักกาดเขียวกวางตุ้ง (*Brassica chinensis* var. *parachinensis* L.) ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยระดับความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ 4 ระดับ คือ น้ำหมักชีวภาพ 1 มิลลิลิตรต่อปริมาตรสารละลายธาตุอาหารในปริมาตร 500, 1000, 3000 และ 5000 มิลลิลิตร (1: 500, 1: 1000, 1: 3000 และ 1: 5000) พบว่าน้ำหมักชีวภาพจากผักที่ความเข้มข้น 1: 500 ทำให้การเจริญเติบโตด้านความสูงของลำต้นมีค่ามากสุด น้ำหมักชีวภาพที่ความเข้มข้น 1: 3000 มีผลต่อจำนวนใบเพิ่มมากที่สุด น้ำหมักชีวภาพที่ความเข้มข้น 1: 5000 มีผลต่อน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด ส่วนน้ำหมักชีวภาพจากปลาที่ความเข้มข้น 1: 1000 มีผลต่อความเขียวของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมากที่สุด การใช้น้ำหมักชีวภาพจากผักและปลาที่ความเข้มข้น 1: 1000 มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวกวางตุ้งมากที่สุด

ราตรี หาญนอก (2552) ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากผักที่มีต่อการเจริญเติบโต และลักษณะบางประการของผักกาดเขียวปลี (*Brassica juncea* var. *rugosa* L.) ที่ปลูกอยู่ในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยใช้ระดับความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ ในอัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพต่อสารละลายธาตุอาหาร สูตร Hongland ในปริมาตร 1: 500, 1: 1000, 1: 3000 และ 1: 5000 มิลลิลิตร พบว่าน้ำหมักชีวภาพ 1 มิลลิลิตร ต่อสารละลายธาตุอาหารปริมาตร 5000 มิลลิลิตร (1: 5000) มีผลทำให้ผักกาดเขียวปลีมีการเจริญเติบโตดีที่สุดพิจารณาได้จากความสูงของลำต้น อัตราส่วนของน้ำหนักแห้งของต้นต่อราก ค่าความเขียวของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ที่สูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และน้ำหมักชีวภาพ 1 มิลลิลิตร ต่อสารละลายธาตุอาหารปริมาตร 3000 มิลลิลิตร (1: 3000) มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของต้นและน้ำหนักแห้งของรากเพิ่มสูงขึ้น

ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นแต่มีค่าต่ำว่าชุดควบคุม ดังนั้นการใช้น้ำหมักชีวภาพที่ระดับความเข้มข้นต่ำ คือ ระดับ 1: 3000 และ 1: 5000 ทำให้ผักกาดเขียวปลีมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพ ที่ระดับความเข้มข้นสูงคือ ที่ระดับ 1: 500 และ 1: 1000

สมัย สังข์ทองงาม (2553) ทดลองเปรียบเทียบการเจริญของผัก เมื่อใช้สารละลายอินทรีย์และสารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ โดยการปลูกแบบ Nutrient Film Technique (NFT) ในระบบไฮโดรโปนิกส์ การศึกษาประกอบด้วยการทดลองที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตของผักคะน้า กวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ ผักกาดขาวปลี และผักสลัด โดยใช้น้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิด (มูลสัตว์ มูลค้างคาว นมสด พืช โบกาฉิ และดินระเบิด) เปรียบเทียบกับการใช้สารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ การทดลองที่ 2 ศึกษาการเจริญเติบโตของผักในน้ำหมักชีวภาพหลายชนิดผสมกัน เปรียบเทียบกับการใช้สารละลายอินทรีย์มาตรฐาน การทดลองที่ 3 ศึกษาการเจริญของผักโดยใช้น้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิดร่วมกับสารละลายมาตรฐานใน Stock A ในสัดส่วน 1: 1 โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานอย่างเดียว ผลการทดลองพบว่า การทดลองที่ 1 และ 2 น้ำหมักชีวภาพจากสารอินทรีย์ไม่สามารถเพิ่มผลผลิต และการเจริญเติบโตทัดเทียมกับการใช้สารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ได้ ในการทดลองที่ 3 พบว่า ให้ผลผลิตไม่แตกต่างจากการใช้สารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ในผักบางชนิด

รัชนีพร สุทธิภาศิลป์ (2554) การปลูกผักสลัดคอส (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) ด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์อินทรีย์ การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ เพื่อเป็นธาตุอาหารให้แก่พืชแทนสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในระบบไฮโดรโปรนิกส์ทั่วไป มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพเพื่อทดแทนสารละลายมาตรฐาน (ปุ๋ยเคมี) ประกอบด้วย สารละลายมาตรฐาน น้ำหมักชีวภาพสูตรกวาวเครือขาว น้ำหมักชีวภาพสูตรพืชผัก น้ำหมักชีวภาพสูตรผลไม้และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลา ใช้อัตราส่วน 1: 3 ผลการทดลองพบว่า การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาให้การเจริญเติบโต การดูดใช้ธาตุอาหารและให้น้ำหนักผลผลิตสดของผักสลัดคอสมากกว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรอื่น ๆ แม้ว่าจะมีการเจริญเติบโตน้อยกว่าการใช้สารละลายมาตรฐานก็ตาม

วิชบูลย์ ศีตะโกเศศ (2555) การใช้ปุ๋ยเคมีและน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบางชนิดที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ผลการทดลองพบว่า การใช้สารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ ทำให้ผลผลิตของผักมีค่าสูงสุด อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวมีแนวโน้มผลผลิตทัดเทียมกับสารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ โดยเฉพาะในผักฮ่องเต้ ผักสลัดบัตเตอร์เฮด ผักสลัดกรีนโอ๊ค ผักกาดขาว และผักสลัดเรดโอ๊ค ส่วนการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วน 3: 1 ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ยกเว้นคะน้าและผักสลัดเรดโอ๊ค

บัญชา รัตนีทู (2556) ศึกษาการใช้น้ำหมักชีวภาพจากมูลวัวมีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักกาดเขียวกวางตุ้ง ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งวิธีการใส่ปุ๋ยออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ใช้น้ำหมักชีวภาพและใช้น้ำหมักชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมี ทดลองในแปลงปลูกพืชไร้ดิน พบว่า ความสูงเฉลี่ยต่อต้นมีความแตกต่างกัน โดยการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว มีความสูงเฉลี่ยสูงสุด และไม่แตกต่างกับการใช้น้ำหมักชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใช้น้ำหมักชีวภาพเพียงอย่างเดียว มีความสูงน้อยที่สุด น้ำหนักสดของผลผลิตเฉลี่ย พบว่า โดยการใช้ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ การใช้น้ำหมักชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใช้น้ำหมักชีวภาพมีน้ำหนักสดน้อยที่สุด

ปิยะภรณ์ จิตรเอก (2556) การทดลองเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัด คือ กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค เรดคอรัล บัตเตอร์เฮด ในการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ Nutrient Film Technique (NFT) โดยใช้น้ำหมักชีวภาพผสมกับสารสกัดจากพืช กับสารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยทดลองใช้สูตรอาหารมาตรฐานของเวสโก้ เปรียบเทียบกับการใช้น้ำหมักชีวภาพ 2 ชนิด คือ น้ำหมักชีวภาพจากกากถั่วเหลืองและน้ำหมักชีวภาพจากมูลไส้เดือน ร่วมกับสารสกัดสมุนไพร 3 ประเภท คือ สับปะรด สะเดา และสมุนไพรผสม ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัด พบว่า การใช้น้ำหมักชีวภาพจากกากถั่วเหลืองร่วมกับสารสกัดสับปะรดมีแนวโน้มให้ผลผลิตที่สูงในกรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค ส่วนการใช้น้ำหมักชัวภาพจากกากถั่วเหลืองร่วมกับสารสกัดสะเดาให้ผลผลิตสูงในบัตเตอร์เฮด

ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ และโสระยา ร่วมรังษี (2557) การศึกษาผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพเพื่อเป็นแหล่งของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยทำการปลูกผักสลัดในระบบ Dynamics Root Floating (DRF) วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD มี 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 สูตรของน้ำหมักชีวภาพ 2 สูตร (สูตรน้ำหมักชีวภาพจากพืช และสูตรน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์) และปัจจัยที่ 2 อัตราส่วนของความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพต่อน้ำ 3 ระดับ (1: 250 1: 500 และ 1: 1000) จากผลการศึกษาพบว่าที่ระยะเก็บเกี่ยว (45 วันหลังปลูก) จำนวนใบ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม และพื้นที่ใบ ของกรรมวิธีที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์ ให้ค่าที่สูงกว่ากรรมวิธีที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากพืช อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอัตราส่วนความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพต่อน้ำ ที่ 1: 250ให้ความสูงต้น และพื้นที่ใบ มากกว่ากรรมวิธีที่ได้รับ อัตราส่วน 1: 1000 สำหรับปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหมักชีวภาพกับอัตราส่วนความเข้มข้น พบว่าผักสลัดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์ อัตราส่วนความเข้มข้นที่ 1: 250 และ 1: 500 ให้น้ำหนักสดของพืชสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ

ทัตพล พุ่มดารา, อาคม คิดสง่า และ นิสาชล เทศศรี (2559) ศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมกรีนคอส (*Lactuca sativa* L.) ในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำนิ่งเติมอากาศ โดยใช้สารละลายธาตุอาหารเป็นปุ๋ยอนินทรีย์เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์แบ่งวิธีการใส่ปุ๋ยเป็น 4 ชุดการทดลอง ๆ 3 ซ้ำ ได้แก่ สารละลายมาตรฐาน AB สารละลายมูลค้างคาว สารละลายมูลไก่ และสารละลายมูลรวม เก็บผลผลิตเมื่ออายุครบ 28 วัน พบว่าน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อต้นของผักกาดหอมกรีนคอส มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยผักกาดหอมกรีนคอสที่ปลูกในสารละลายมาตรฐาน AB ให้น้ำหนักสดมากที่สุด คือ 177.47±8.25 กรัมต่อต้น รองลงมาคือ สารละลายมูลไก่ และสารละลายมูลรวม มีน้ำหนักสด 69.42±7.02 กรัม และ 43.26±5.91 กรัมต่อต้น ตามลำดับ เป็นทางเลือกหนึ่งในการนำสารละลายมูลไก่มาใช้ทดแทนสารเคมีในการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ได้

Surachai Phatthanaphibun (2005) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากปลาต่อการเจริญเติบโตของผักกาดจีน ผักกาดหอม และพริกหวาน ในระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน โดยใช้น้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วนเจือจาง 1: 1000 และ 1: 500 สารละลายธาตุอาหารแบบสมบูรณ์ สารละลายธาตุอาหารแบบสมบูรณ์ผสมน้ำหมักชีวภาพ พบว่า พืชการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน และการได้รับสารละลายธาตุอาหารสมบูรณ์มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด ส่วนการได้รับน้ำหมักชีวภาพผสมสารละลายธาตุอาหารสมบูรณ์ พืชมีการเจริญเติบโตที่ได้กว่าได้รับสารละลายธาตุอาหารสมบูรณ์อย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอัตราส่วนเจือจางน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากปลา 1: 1000 มีผลต่อการเจริญเติบโตมากกว่าอัตราส่วนเจือจาง 1: 500

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำน้ำหมักชีวภาพ

1.1 ผักตบชวา

1.2 หอยเชอรี่

1.3 น้ำเปล่า

1.4 กากน้ำตาล

1.5 สารเร่ง พด.2 กรมพัฒนาที่ดิน

1.6 ไม้พาย

1.7 ผ้าขาวบาง

1.8 ถังพลาสติกพร้อมฝาปิด

2. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกพืช

2.1 กล่องโฟมสำหรับปลูก

2.2 เครื่องปั๊มน้ำ

2.3 พลาสติกกันน้ำ

2.4 ท่อ PVC

2.5 กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร

2.6 เมล็ดผักกาดขาวไดโตเกียว ยี่ห้อ เพื่อนเกษตร

2.7 ฟองน้ำ (วัสดุเพาะ)

2.8 สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland's solution (ใช้ half strenght) นันทนา อังกินันทน์ และ ศุภจิตรา ชัชวาลย์ (2543) (ภาคผนวก ก)

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

3.1 ไม้บรรทัด

3.2 สมุดจดบันทึก

3.3 ดินสอและปากกาเคมี

3.4 กระดาษหนังสือพิมพ์

3.5 ตู้อบตัวอย่างพืช

3.6 คอมพิวเตอร์

3.7 เครื่องสแกน (Scanner) ยี่ห้อ canon LIDE 110

3.8 กล้องถ่ายภาพดิจิตอล ยี่ห้อ sony รุ่น nex 5n

3.9 เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 5 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius

4. สารเคมีและวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารสีและกรดแอสคอร์บิก

ก. การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

1. Acetone
2. กรรไกร
3. จุกยาง
4. หลอดทดลอง (test tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร
5. คิวเวทท์ (cuvette) ขนาด 1 มิลลิลิตร
6. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ยี่ห้อ biochrom รุ่น Libra S11

ข. การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน

1. Hexane
2. Ethanol
3. Acetone
4. Chloroform
5. β-carotene standard
6. โกร่งบดสาร (mortar and pestle)
7. หลอดทดลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร
8. ขวดแก้วเล็ก (vial) ขนาด 2 มิลลิลิตร
9. คิวเวทท์ ขนาด 1 มิลลิลิตร
10. หลอดเซนทริฟิวส์ (Falcon tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร
11. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น Wise Spin บริษัท DHIHAN SCIENTIFIC
12. เครื่องเขย่าสาร (vortex) รุ่น Vortex-Genie 2 บริษัท Scientific Industries
13. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ยี่ห้อ biochrom รุ่น Libra S11

ค. การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

1. Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA)

2. Oxalic acid
3. L-ascobic acid
4. Sulfuric acid 96.1%
5. Metaphosphoric acid
6. Ammonium molybdate
7. Acetic acid glacial 99.9%
8. โกร่งบดสาร
9. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร
10. คิวเวทท์ (ขนาด 1 มิลลิลิตร)
11. แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์
12. กระดาษกรองเบอร์ 1 (Filter paper Whatman No.1)
13. ไมโครปิเปต (Micropipet) รุ่น Gilson
14. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร
15. เครื่องชั่งสารเคมี (balance) ยี่ห้อ sartorius
16. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ยี่ห้อ biochrom รุ่น Libra S11

วิธีดำเนินงานวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 7 ชุดการทดลอง แบ่งชุดการทดลองดังนี้

1.1 สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland (สารละลายธาตุอาหารชุดควบคุม)

1.2 น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่: สารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500

1.3 น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่: สารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000

1.4 น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา: สารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500

1.5 น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา: สารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000

1.6 น้ำหมักชีวภาพสูตรผสม (น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ผสมกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา): สารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500

1.7 น้ำหมักชีวภาพสูตรผสม (น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ผสมกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา): สารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000

โดยเตรียมอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพจาก น้ำหมักชีวภาพ 1 มิลลิลิตรต่อปริมาตรสารละลายธาตุอาหาร (half strenght) ในปริมาตร 500 และ 1000 มิลลิลิตร

2. การผลิตน้ำหมักชีวภาพ

2.1 การเตรียมน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา (ดัดแปลงจากอานัฐ ตันโช, 2556)

1) นำผักตบชวาที่เตรียมไว้ 6 กิโลกรัมมาทำความสะอาดและหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วบรรจุลงในถังพลาสติกที่เตรียมไว้

2) เติมกากน้ำตาล 2 กิโลกรัม น้ำเปล่า 20 ลิตร และสารเร่ง พด. 2 50 กรัม (อัตราส่วน 3: 1: 10)

3) คลุกเคล้าให้เข้ากัน คลุมด้วยผ้าขาวบางมัดด้วยเชือกแล้วปิดฝาถังหมัก จากนั้นเปิดฝาถังคน หมักไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือน

4) เมื่อต้องการนำไปใช้ให้แยกกากและน้ำออกจากกัน นำเอาเฉพาะของเหลวสีน้ำตาลเข้มไปให้เจือจางในระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

1.2 การผลิตน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ (ดัดแปลงจากมนตรี แสนสุข, 2557)

1) ชั่งน้ำหนักหอยเชอรี่ 3 กิโลกรัม ล้างให้สะอาด นำมาทุบให้ละเอียด บรรจุลงในถังพลาสติก

2) เติมกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม น้ำเปล่า 10 ลิตร และ พด. 2 25 กรัม (อัตราส่วน 3: 1: 10)

3) คลุกเคล้าให้เข้ากัน คลุมด้วยผ้าขาวบางมัดด้วยเชือกแล้วปิดฝาถังหมัก จากนั้นเปิดฝาถังคน หมักทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือน ก่อนนำไปใช้เมื่อครบกำหนด

4) เมื่อต้องการนำไปใช้ให้แยกกากและน้ำออกจากกัน นำเอาเฉพาะของเหลวสีน้ำตาลเข้มไปให้เจือจางในระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

3. วิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิด

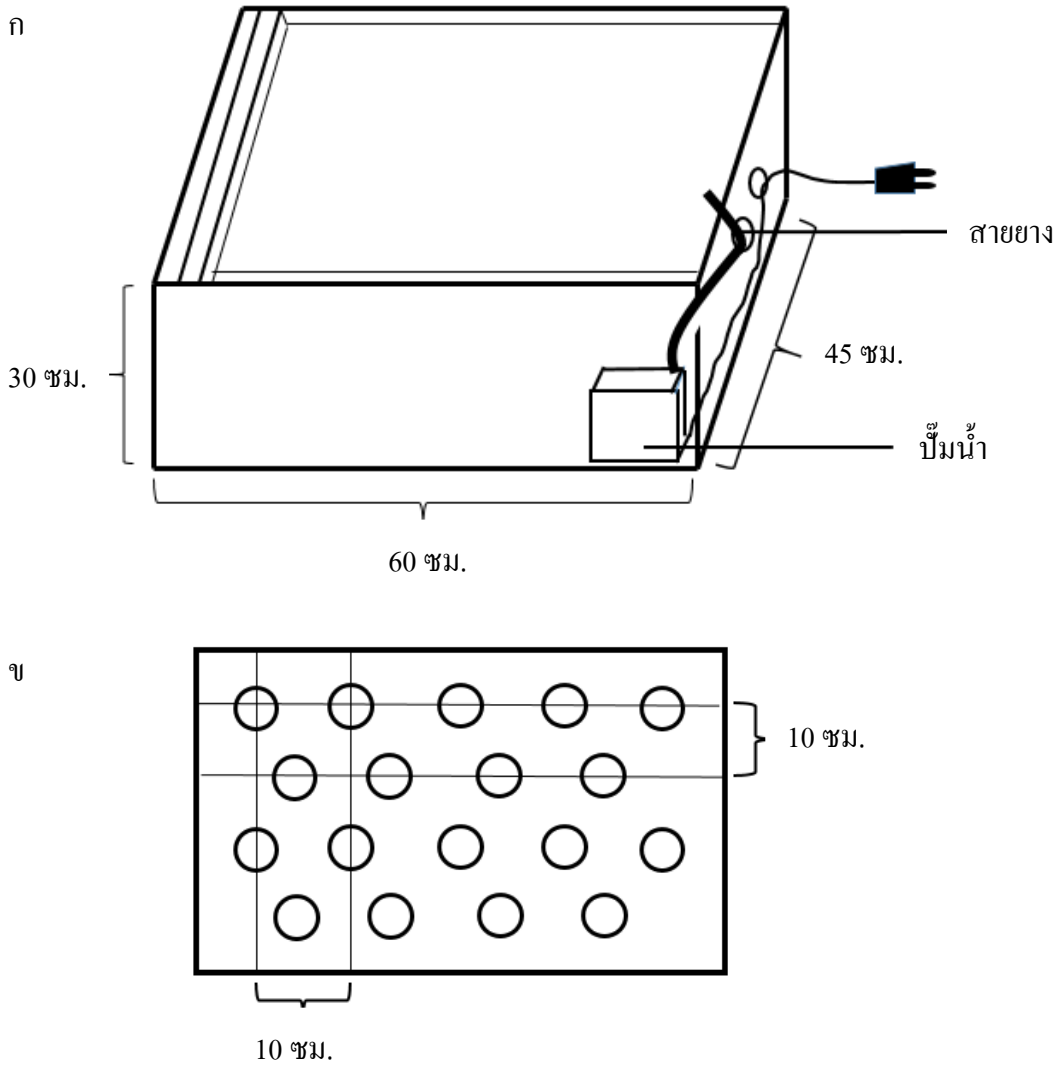
วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ในน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ และผักตบชวา โดยส่งไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

4. การเตรียมระบบปลูกพืชแบบ NFT (Nutrient Film Technique) ตามวิธีการของ (มนูญ ศิรินุพงศ์, 2556)

4.1 ประกอบอุปกรณ์ระบบปลูก แบบ NFT แบบกล่องโฟมจำนวน 21 กล่อง แต่ละกล่องที่ใช้ปลูกจะมีช่องปลูกจำนวน 18 ช่อง ดังแสดงในภาพที่ 3-1

4.2 ติดตั้งระบบการให้น้ำในแต่ละกล่องโฟม โดยใส่สารละลายธาตุอาหารลงในกล่อง จากนั้นติดตั้งเครื่องปั๊มน้ำให้น้ำไหลเวียนภายในกล่อง ของแต่ละชุดการทดลอง

4.3 นำต้นกล้าที่เพาะบนฟองน้ำ อายุ ประมาณ 14 วัน มาใส่ลงในช่องในกล่องโฟมที่จัดเตรียมไว้ในแต่ละชุดการทดลอง



ภาพที่ 3-1 รูปแบบกล่องปลูกที่ดัดแปลงจากระบบ NFT ก. กล่องปลูกที่ติดตั้งระบบน้ำ
ข. รูปแบบการเจาะช่องที่ฝากล่อง จำนวน 18 ช่อง

5. การเตรียมต้นกล้า

5.1 นำเมล็ดผักกาดขาวไดโตเกียวไปแช่น้ำ เพื่อคัดแยกเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ออก แล้วจึงใส่ฟองน้ำขนาด 1 นิ้ว ×1 นิ้ว × 1 นิ้ว ใส่เมล็ดบริเวณตรงกลางของช่องปลูก โดยหยอดเมล็ดผักกาดขาวไดโตเกียวลงในฟองน้ำหลุมละ 2-3 เมล็ด ลึกประมาณ 1 เซนติเมตร ใส่ฟองน้ำไว้ในถาดเติมน้ำ

5.2 เมื่อต้นกล้ามีอายุได้ 14 วัน และสูงประมาณ 1-2 เซนติเมตร ย้ายปลูกลงในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland (ใช้ half strength) โดยเตรียมจากวิธีการของนันทนา อังคินันทน์ และ ศุภจิตรา ชัชวาลย์ (2543) ในระบบไฮโดรโปนิกส์

6. ขั้นตอนการปลูก

6.1 เมื่อปลูกต้นกล้าลงในสารละลายธาตุอาหารอายุได้ 7 วัน ทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหาร และเติมน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วนต่าง ๆ ลงในสารละลายธาตุอาหาร ปรับค่า pH ให้อยู่ประมาณ 6 ค่า EC ประมาณ 1.5-2.3 (มนูญ ศิรินุพงศ์, 2556) เก็บผลการทดลองทุก 7 วัน คือที่ระยะเวลา 0, 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชทุก 7 วัน

บันทึกข้อมูลการทดลอง

1. บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต

1.1 ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) โดยเก็บตัวอย่างต้นผักกาดขาวไดโตเกียว แต่ละชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ต้น จากนั้นวัดความสูงของลำต้นเหนือรากขึ้นมาจนถึงปลายยอดของแต่ละต้น และหาค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นแต่ละชุดการทดลอง

1.2 วิเคราะห์น้ำหนักแห้ง โดยสุ่มตัวอย่างแต่ละชุดการทดลอง ซึ่งจะเก็บข้อมูลน้ำหนักแห้งแยกส่วนออกเป็นราก ลำต้น และใบ นำตัวอย่างแต่ละส่วนมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผล

1.3 พื้นที่ใบรวมต่อต้น นำใบผักกาดขาวไดโตเกียวมาสแกนด้วยเครื่องสแกน ภาพที่ได้นำมาวัดพื้นที่ของใบโดยใช้โปรแกรม image J

1.4 น้ำหนักใบจำเพาะ ซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของใบรวมทั้งต้นต่อพื้นที่ใบรวมทั้งต้น (Beadle, 1993) หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

1.5 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนน้ำหนักแห้งต่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ตามวิธีการของ Beadle (1993)

$$RGR = \frac{InW_2 - InW_1}{t_2 - t_1}$$ หน่วย กรัม/ กรัม/ วัน

W_2 และ W_1 = น้ำหนักแห้งต้นเก็บครั้งที่ 1 และ 2

t_1 และ t_2 = ระยะเวลาในการเก็บครั้งที่ 1 และ 2

1.6 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งรวมต้นและใบ

2. บันทึกข้อมูลปริมาณสารสีและกรดแอสคอร์บิก

2.1 วิเคราะห์ปริมาณสารสี ได้แก่ คลอโรฟิลล์รวมในใบ และแคโรทีนอยด์ในใบ ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Lichtenthaler (1987) ดังนี้

2.1.1 นำใบผักกาดขาวไดโตเกียวมาชั่ง 0.5 กรัม ตัดใบผักเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ในหลอดทดลองที่มี acetone 80% โดยปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปิดหลอดด้วยจุกยางนำไปไว้ในที่มืด 24 ชั่วโมง

2.1.2 นำสารสะลายที่สกัดได้มาวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 663.2, 646.8 และ 470 นาโนเมตร ไปคำนวณหาปริมาณสารสีจากสมการของ Lichtenthaler (1987) ดังนี้

Chl *a*	=	$12.25A_{663.2} - 2.79A_{646.8}$
Chl *b*	=	$21.50A_{646.8} - 5.10A_{663.2}$
Total Chl	=	$7.15A_{663.2} + 18.71A_{646.8}$
Carotenoids	=	$(1000A_{470} - 1.82C_a - 85.02C_b)/198$

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ (ดัดแปลงจาก Volker et al., 2002)

2.2.1 เตรียมตัวอย่าง โดยนำใบผักกาดขาวไดโตเกียวมาบดด้วยโกร่งบดสาร นำผักกาดขาวไดโตเกียวที่บดแล้วจำนวน 1.5 กรัม ใส่ลงใน Falcon tube

2.2.2 เตรียมสารสกัด โดยดูดสาร Hexane: Ethanol: Acetone ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร: 0.75 มิลลิลิตร: 0.75 มิลลิลิตร ใส่ใน test tube

2.2.3 เทสารสกัดจาก test tube ใส่ลงใน Falcon tube ที่มีผักกาดขาวไดโตเกียวบด 1.5 กรัม ทำการผสมโดยใช้เครื่อง vortex 1 นาที ที่ความเร็วระดับ 6

2.2.4 นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ความเร็ว 5000 rpm นาน 10 นาที แล้วใช้ micropipette ดูดสารส่วนที่อยู่ชั้นบนสุดปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ใน vial แล้วเติม Hexane 0.9 มิลลิลิตร เตรียมทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 449 nm

2.2.5 เตรียม Stock ใช้ β-carotene 5 มิลลิกรัม เติม Chloroform 5 มิลลิลิตร (เตรียม 1000 ppm) จนได้ความเข้มข้น 1000 ppm

2.2.6 คำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ที่ต้องการโดยใช้ สูตร $C_1V_1 = C_2V_2$ * ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่สูงสุดต้องมีค่าการดูดกลืนแสงมากกว่าตัวอย่าง*

2.2.7 ตั้งค่าเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 449 nm ตั้งค่า blank จากความเข้มข้นของ β-carotene standard ที่ 0 (Hexane)

2.2.8 วัดค่า β-carotene standard จากความเข้มข้นต่ำสุดจนถึงสูงสุด แล้วจดบันทึกค่า β-carotene standard

2.2.9 วัดค่า β-carotene ในตัวอย่างผักโดยเทสารจาก vial ใส่ cuvette นำไปใส่ในเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อวัด และจดบันทึก

2.2.10 การคำนวณสารเบต้าแคโรทีนในผักกาดขาวไดโตเกียว นำค่าดูดกลืนแสงของ β-carotene standard มาสร้างกราฟ และนำค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ได้มาคำนวณเทียบกับ Standard curve

2.3 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบ (ดัดแปลงจาก นริศรา มืดนนท์, 2551)

2.3.1 การเตรียมตัวอย่างผัก โดยนำผักกาดขาวไดโตเกียวชั่ง 100 กรัม บดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดสาร แล้วใส่ตัวอย่างที่บดลงในบีกเกอร์แล้วปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.3.2 เตรียมสารเคมี

2.3.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 1000 ppm โดยการชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.1 กรัม ละลายในสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA สารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นอื่น ๆ เจือจางตามความเหมาะสม

2.3.2.2 การเตรียมสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA โดยเตรียมสารละลาย 0.02 mM EDTA โดยชั่ง EDTA 0.0074 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร จากนั้นชั่ง oxalic acid 8.8249 กรัม ละลายในสารละลาย 0.02 mM EDTA ที่เตรียมไว้

2.3.2.3 การเตรียมสารละลายผสม 3% metaphosphoric acid ในสารละลาย 8% acetic acid โดยเตรียมสารละลาย 8% acetic acid โดยปิเปต acetic acid ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นอยู่พอประมาณ แล้วเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร 500 มิลลิลิตร จากนั้นชั่ง metaphosphoric acid 15 กรัม ละลายใน 8% acetic acid เสร็จแล้วกรองผ่านกระดาษกรองลงในขวดเก็บสารเคมี เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.3.2.4 การเตรียมสารละลาย 5% (v/ v) sulfuric acid โดย ปิเปต sulfuric acid 5.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นอยู่พอประมาณ แล้วเจือจางด้วยน้ำจนครบ 100 มิลลิลิตร

2.3.2.5 การเตรียมสารละลาย 5% (w/ v) ammonium molybdate โดยชั่ง ammonium molybdate หนัก 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

2.3.3 การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณกรดแอสคอร์บิก

2.3.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก โดยการปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตรต่าง ๆ ตามตารางที่ 3-1 และสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA จากนั้นเติมสารละลายผสม 3% metaphosphoric acid ใน 8% acetic acid, 5% (v/ v) sulfuric acid และ 5% (w/ v) ammonium - molybdate ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที ได้สารละลายที่มีสีน้ำเงินเข้ม วัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 727 nm และสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกตามความเข้มข้น 0-24 ppm ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ปริมาตรและสารต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก

สารละลาย	0 ppm	4 ppm	8 ppm	12 ppm	16 ppm	20 ppm	24 ppm
1000 ppm ascorbic acid (มิลลิลิตร)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.07 M oxalic acid/สารละลาย 0.02 mM EDTA (มิลลิลิตร)	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4
3% metaphosphoric acid-8%acetic acid (มิลลิลิตร)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5% (v/ v) Sulfuric acid (มิลลิลิตร)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5% (w/ v) ammonium molybdate (มิลลิลิตร)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้วนำไปวัด A_{727nm}							

ที่มา: นริศรา มืดนนท์ (2551)

2.3.3.2 การสกัดกรดแอสคอร์บิกในผักกาดขาวไดโตเกียว ทำโดย

1) ชั่งตัวอย่างผักที่บดละเอียดแล้ว ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ห่อด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA 50 มิลลิลิตร

2) นำไปเขย่าด้วยเครื่อง shaker ที่อัตราเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

3) นำสารสกัดมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำสารสกัดที่กรองได้ปรับปริมาตรด้วยสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA ให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เก็บสารสกัดไว้วิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิก

2.3.3.3 การหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกด้วยเทคนิค Molybdenum blue method (อัญชนา เจนวิถีสุข, 2547)

1) ปิเปตสารสกัดที่กรองได้ 2.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

2) เติมสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร

3) เติมสารละลายผสม 3% metaphosphoric acid ในสารละลาย 8% acetic acid ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร

4) เติมสารละลาย 5% (v/ v) sulfuric acid ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร

5) เติมสารละลาย 5% (w/ v) ammonium molybdate ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร

6) เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

7) นำสารละลายจากข้อ (6) ที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 727 nm

8) หาปริมาณกรดแอสคอร์บิก โดยนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดผักเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลทั้งหมดตามแผนการทดลอง CRD ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี One-way Anova และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการศึกษาการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม (น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ผสมกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร เปรียบเทียบกับสารละลายธาตุอาหารสูตรปกติ โดยศึกษาการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว ตามระยะเวลาของการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น เก็บผลที่ระยะเวลา 0, 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ความสูงของลำต้นผักกาดขาวไดโตเกียว

เมื่อปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวจากเริ่มทำการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง โดยวัดความสูงของลำต้นผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้ผลการทดลอง ดังนี้ (ตารางที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.1) จากการทดลองที่ระยะเวลา 7 วัน เมื่อผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับสารละลายธาตุอาหาร ทำให้มีความสูงของลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 1.96 เซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และ 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีความสูงของลำต้นรองลงมา เท่ากับ 1.89 เซนติเมตร และ 1.75 เซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อผักกาดขาวไดโตเกียวได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีความสูงของลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 2.89 เซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ กับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีความสูงของลำต้นรองลงมา เท่ากับ 2.74 เซนติเมตร และ 2.68 เซนติเมตร ตามลำดับ

หลังจากการปลูกผักกาดขาวไดโตเกียว เป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีความสูงของลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 3.85 เซนติเมตร ซึ่งให้ผลการไม่แตกต่างกันทางสถิติจากการได้รับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม

ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีความสูงของลำต้นรองลงมา เท่ากับ 3.54 เซนติเมตร และ 3.52 เซนติเมตร ตามลำดับ

ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีความสูงของลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 4.93 เซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีความสูงของลำต้นรองลงมาเท่ากับ 4.55 เซนติเมตร และ 4.27 เซนติเมตร ตามลำดับ

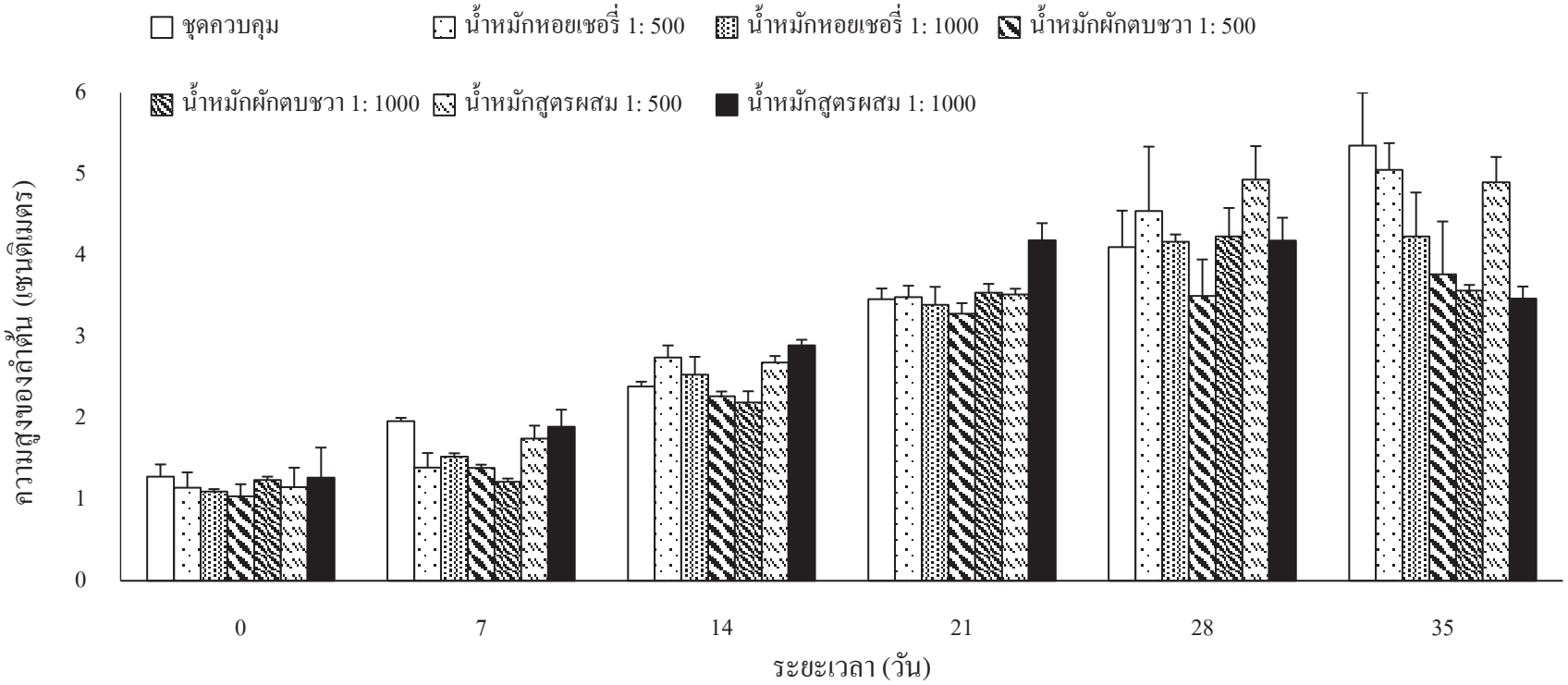
เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ที่ระยะเวลา 35 วัน พบว่า ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรปกติทำให้มีความสูงของลำต้นมากที่สุดเท่ากับ 5.35 เซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีความสูงของลำต้นรองลงมา เท่ากับ 5.05 เซนติเมตร และ 4.90 เซนติเมตร ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ความสูงของลำต้นผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน ความสูงของลำต้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดการทดลองอื่น ๆ แต่ที่ระยะเวลา 21, 28 และ 35 วัน จะเห็นได้ว่าความสูงของลำต้นผักกาดขาวไดโตเกียว ในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้น เมื่อพิจารณาการตอบสนองที่ระยะเวลา 14 วัน มีการตอบสนองที่เด่นชัด โดยจะเห็นได้ว่า น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อความสูงลำต้นของผักกาดขาวไดโตเกียวมากที่สุด หลังจากนั้นการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของลำต้นผักกาดขาวไดโตเกียวมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-1 ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ชุดทดลอง	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) (Mean±Standard error)					
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
ชุดควบคุม	1.28±0.24	1.96±0.04^{D}	2.39±0.06^{AB}	3.46±0.13	4.10±0.45	5.35±0.85
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 500	1.14±0.19	1.39±0.18^{AB}	2.74±0.15^{BC}	3.49±0.14	4.55±0.79	5.05±0.33
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 1000	1.10±0.03	1.53±0.05^{ABC}	2.53±0.22^{ABC}	3.39±0.22	4.27±0.09	4.23±0.54
น้ำหมักผักตบชวา 1: 500	1.04±0.07	1.39±0.04^{AB}	2.27±0.09^{A}	3.28±0.18	3.50±0.18	3.77±0.32
น้ำหมักผักตบชวา 1: 1000	1.24±0.04	1.22±0.04^{A}	2.19±0.14^{A}	3.54±0.11	4.23±0.35	3.57±0.07
น้ำหมักสูตรผสม 1: 500	1.15±0.24	1.75±0.16^{BCD}	2.68±0.08^{BC}	3.52±0.07	4.93±0.41	4.90±0.31
น้ำหมักสูตรผสม 1: 1000	1.27±0.37	1.89±0.21^{CD}	2.89±0.07^{C}	3.85±0.21	4.18±0.28	3.47±0.15

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-1 ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.2 น้ำหนักแห้งรวมของผักกาดขาวไดโตเกียว

จากการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งรวมของผักกาดขาวไดโตเกียวจากเริ่มทำการทดลองจนสิ้นสุดการทดลองตามระยะเวลาที่แตกต่างกัน ได้ผลการทดลอง ดังนี้ (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2) ที่ระยะเวลา 7 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุด เท่ากับ 0.070 กรัม รองลงมา คือ ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร อัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีน้ำหนักแห้งรวม เท่ากับ 0.064 กรัม และ 0.058 กรัม ตามลำดับ ซึ่งผลให้การทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อให้ผักกาดขาวไดโตเกียวได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุด เท่ากับ 0.595 กรัม รองลงมา คือ ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีน้ำหนักแห้งรวม เท่ากับ 0.476 กรัม และ 0.414 กรัม ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุด เท่ากับ 2.035 กรัม รองลงมา คือ ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีน้ำหนักแห้งรวม เท่ากับ 1.881 กรัม และ 1.833 กรัม ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุด เท่ากับ 4.068 กรัม รองลงมา คือ ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีน้ำหนักแห้งรวม เท่ากับ 3.658 กรัม และ 3.594 กรัม ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

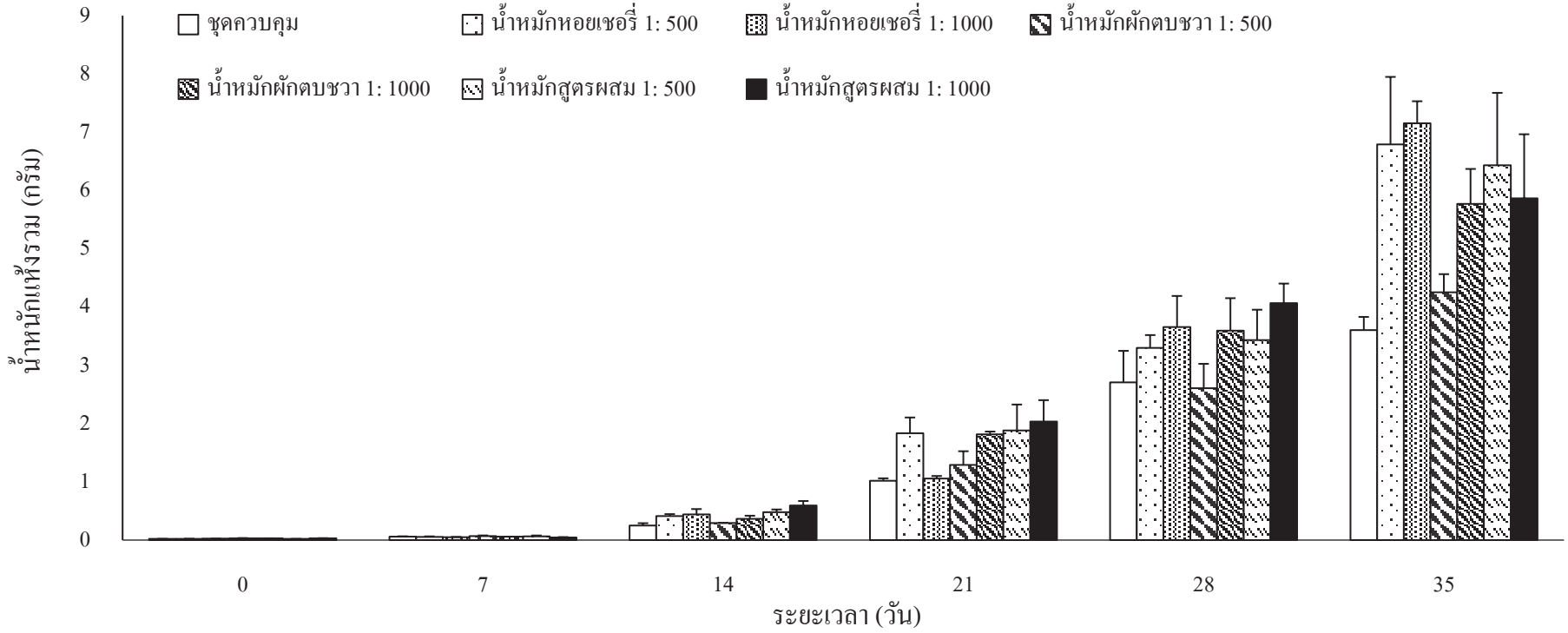
หลังจากปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุด เท่ากับ 7.152 กรัม รองลงมา คือ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และ น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีน้ำหนักแห้งรวม เท่ากับ 6.792 กรัม และ เท่ากับ 6.433 กรัม ซึ่งผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งรวมของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพทุกสูตร พบว่า ที่ระยะเวลา 14 วัน น้ำหนักแห้งรวมของผักกาดขาวไดโตเกียวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดการทดลองอื่น ๆ แต่ที่ระยะเวลา 7, 21, 28 และ 35 วัน จะเห็นได้ว่า น้ำหนักแห้งรวมของผักกาดขาวไดโตเกียว ในทุกชุดการไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้น เมื่อพิจารณาที่การตอบสนองที่ระยะเวลา 14 วัน มีการตอบสนองที่เด่นชัดที่สุด โดยจะเห็นได้ว่า น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุด ซึ่งให้ผลการทดลองเหมือนกับความสูงของลำต้น หลังจากนั้นผักกาดขาวไดโตเกียวมีแนวโน้มของน้ำหนักแห้งที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-2 น้ำหนักแห้งรวม (กรัม) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ชุดทดลอง	น้ำหนักแห้งรวม (กรัม) (Mean±Standard error)					
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
ชุดควบคุม	0.021±0.001^{A}	0.057±0.008	0.250±0.040^{A}	1.016±0.044	2.704±0.543	3.601±0.229
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 500	0.023±0.001^{A}	0.055±0.009	0.414±0.031^{ABC}	1.833±0.271	3.298±0.228	6.792±1.256
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 1000	0.025±0.001^{AB}	0.051±0.004	0.439±0.093^{BC}	1.057±0.043	3.658±0.531	7.152±0.379
น้ำหมักผักตบชวา 1: 500	0.033±0.002^{C}	0.070±0.010	0.292±0.005^{AB}	1.291±0.234	2.604±0.420	4.251±0.312
น้ำหมักผักตบชวา 1: 1000	0.029±0.008^{BC}	0.058±0.001	0.366±0.053^{AB}	1.812±0.050	3.594±0.557	5.768±0.601
น้ำหมักสูตรผสม 1: 500	0.021±0.000^{A}	0.064±0.015	0.476±0.049^{BC}	1.881±0.445	3.430±0.523	6.433±1.441
น้ำหมักสูตรผสม 1: 1000	0.029±0.004^{BC}	0.047±0.005	0.595±0.076^{C}	2.035±0.366	4.068±0.334	5.864±1.100

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ตามอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-2 น้ำหนักแห้งรวม (กรัม) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.3 พื้นที่ใบรวมของผักกาดขาวไดโตเกียว

เมื่อปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวจากเริ่มต้นทำการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง วัดพื้นที่ใบรวมของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้ผลการทดลองดังนี้ (ตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3) พื้นที่ใบรวมของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ ระยะเวลา 7 วัน เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีพื้นที่ใบรวมมากที่สุด เท่ากับ 32.553 ตารางเซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีพื้นที่ใบรวม รองลงมา เท่ากับ 27.653 ตารางเซนติเมตร และ 27.517 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพหลังจากการปลูกเป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่า มีพื้นที่ใบรวมมากที่สุด เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 มีค่าเท่ากับ 187.363 ตารางเซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และ 1: 500 ทำให้มีพื้นที่ใบรวม เท่ากับ 149.120 ตารางเซนติเมตร และ 139.157 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

พื้นที่ใบรวมของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ ระยะเวลา 21 วัน เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีพื้นที่ใบรวมมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 507.733 ตารางเซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และ น้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีพื้นที่ใบรวม รองลงมา เท่ากับ 376.433 ตารางเซนติเมตร และ 364.257 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

พื้นที่ใบรวมของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ระยะเวลา 28 วัน เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีพื้นที่ใบรวมมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 617.067 ตารางเซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีพื้นที่ใบรวมรองลงมา เท่ากับ 563.620 ตารางเซนติเมตร และ 555.070 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

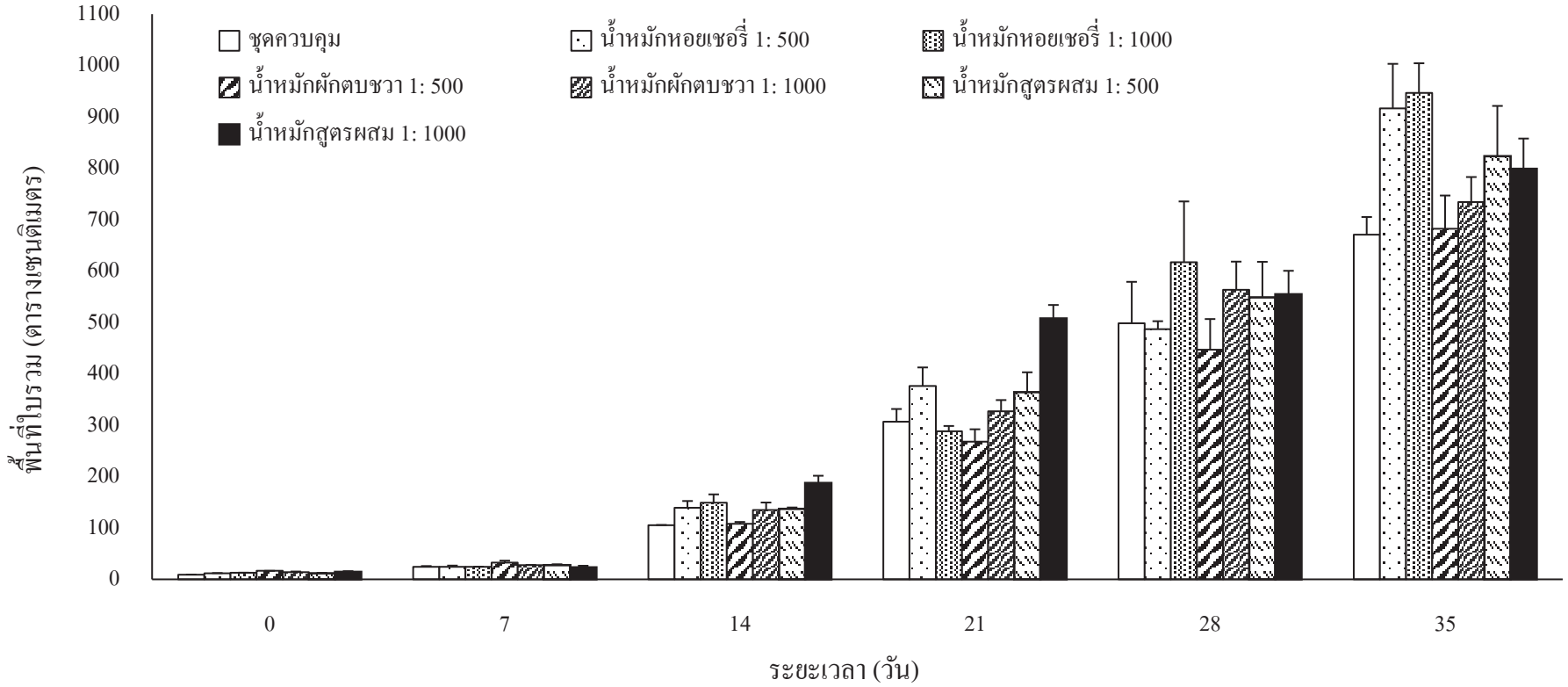
เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 35 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีพื้นที่ใบรวมมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 947.003 ตารางเซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีพื้นที่ใบรวมรองลงมา เท่ากับ 916.783 ตารางเซนติเมตร และ 823.440 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์พื้นที่ใบรวมของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ที่ระยะเวลา 14 และ 21 วัน มีการตอบสนองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการทดลองชุดอื่น แต่ที่ระยะเวลา 7, 28 และ 35 วัน จะเห็นได้ว่าพื้นที่ใบรวมของผักกาดขาวไดโตเกียวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้น เมื่อพิจารณาที่การตอบสนองที่ระยะเวลา 21 วัน มีการตอบสนองที่เด่นชัด และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อพื้นที่ใบรวมมากที่สุด ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับความสูง ของลำต้น น้ำหนักแห้งรวม หลังจากนั้นพื้นที่ใบรวมของผักกาดขาวไดโตเกียวมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-3 พื้นที่ใบรวม (ตารางเซนติเมตร) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ชุดทดลอง	พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร) (Mean ±Standard error)					
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
ชุดควบคุม	9.007±0.333^{A}	24.623±1.251	105.220±0.605^{A}	306.817±24.734^{AB}	498.307±80.791	670.600±34.630
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 500	11.663±0.586^{AB}	24.563±2.226	139.157±13.303^{BC}	376.433±36.024^{B}	486.687±15.737	916.783±86.549
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 1000	12.840±0.151^{B}	24.473±0.277	149.120±16.273^{C}	287.960±10.567^{AB}	617.067±118.493	947.003±57.472
น้ำหมักผักตบชวา 1: 500	16.567±0.336^{C}	32.553±3.806	108.117±3.549^{AB}	268.237±23.881^{A}	447.123±59.510	682.240±64.795
น้ำหมักผักตบชวา 1: 1000	13.840±1.363^{BC}	27.653±0.405	134.830±14.720^{BC}	326.927±22.001^{AB}	563.620±54.764	734.107±48.913
น้ำหมักสูตรผสม 1: 500	11.803±0.884^{AB}	27.517±1.840	136.947±2.862^{BC}	364.257±38.762^{B}	548.590±69.397	823.440±98.010
น้ำหมักสูตรผสม 1: 1000	14.370±1.550^{BC}	23.353±3.139	187.363±14.263^{D}	507.733±26.273^{C}	555.070±45.461	799.010±58.908

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-3 พื้นที่ใบรวม (ตารางเซนติเมตร) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน และระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.4 น้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดขาวไดโตเกียว

จากการวิเคราะห์น้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้ผลการทดลองดังนี้ (ตารางที่ 4.4 และ ภาพที่ 4.4) เมื่อปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า สารละลายธาตุอาหาร ทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด เท่ากับ 1.980 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีน้ำหนักใบจำเพาะ รองลงมา เท่ากับ 1.836 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 1.810 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ผักกาดขาวไดโตเกียวเมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 14 วัน พบว่า สารละลายธาตุอาหารทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด เท่ากับ 2.033 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีน้ำหนักใบจำเพาะ รองลงมา เท่ากับ 2.005 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 1.998 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เมื่อปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวที่ระยะเวลา 21 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด เท่ากับ 4.957 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และ 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีน้ำหนักใบจำเพาะรองลงมา เท่ากับ 4.477 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 4.381 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวต่อไปที่ระยะเวลา 28 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด เท่ากับ 6.302 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีผักกาดขาวไดโตเกียวมีน้ำหนักใบจำเพาะรองลงมา เท่ากับ 5.995 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 5.547 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

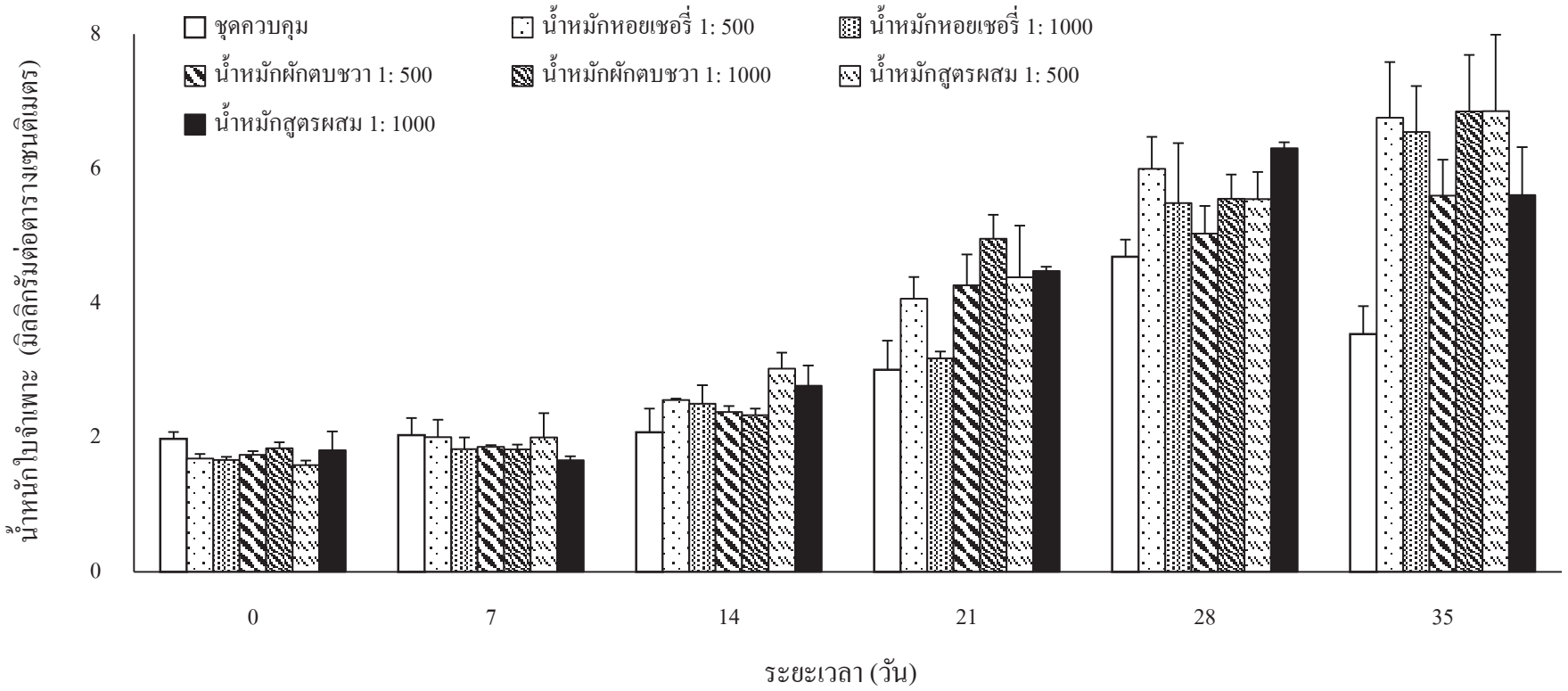
ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ปลูกจนสิ้นสุดการทดลอง ที่ระยะเวลา 35 วัน เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด เท่ากับ 6.853 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะรองลงมา เท่ากับ 6.851 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 6.546 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์น้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดขาวไดโตเกียว เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลา 21 วัน มีการตอบสนองที่เด่นชัดที่สุด เห็นได้จากการตอบสนองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกันทางสถิติจากการทดลองชุดอื่น ๆ หลังจากนั้นที่ระยะเวลา 7, 14, 28 และ 35 วัน น้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดขาวไดโตเกียวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และพบว่า ที่ระยะเวลา 21 วัน น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ส่งผลต่อน้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดขาวไดโตเกียวมากที่สุด

ตารางที่ 4-4 น้ำหนักใบจำเพาะ (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ชุดทดลอง	น้ำหนักใบจำเพาะ (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) (Mean ±Standard error)					
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
ชุดควบคุม	1.980±0.101^{C}	2.033±0.253	2.077±0.352	3.005±0.434^{A}	4.688±0.254	4.586±0.416
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 500	1.686±0.069^{AB}	2.005±0.260	2.556±0.019	4.065±0.324^{ABC}	5.995±0.479	6.293±0.830
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 1000	1.662±0.048^{AB}	1.824±0.176	2.499±0.278	3.178±0.099^{AB}	5.485±0.893	6.546±0.682
น้ำหมักผักตบชวา 1: 500	1.739±0.057^{AB}	1.860±0.026	2.379±0.087	4.264±0.458^{ABC}	5.035±0.411	5.599±0.532
น้ำหมักผักตบชวา 1: 1000	1.836±0.090^{BC}	1.822±0.071	2.330±0.098	4.957±0.355^{ABC}	5.552±0.359	6.851±0.941
น้ำหมักสูตรผสม 1: 500	1.588±0.065^{A}	1.998±0.363	3.021±0.238	4.381±0.770^{ABC}	5.547±0.403	6.853±1.338
น้ำหมักสูตรผสม 1: 1000	1.809±0.281^{ABC}	1.660±0.057	2.766±0.303	4.477±0.064^{BC}	6.302±0.088	6.078±0.714

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-4 น้ำหนักใบจำเพาะ (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสม ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.5 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาดขาวไดโตเกียว

จากการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาดขาวไดโตเกียว ตามระยะเวลาที่แตกต่างกันได้ผลการทดลอง ดังนี้ (ตารางที่ 4.5 และ ภาพที่ 4.5) ที่ระยะเวลา 7 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับสารละลายธาตุอาหาร ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์มากที่สุด เท่ากับ 0.133 กรัม/ กรัม/ วัน และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ เท่ากับ 0.127 กรัม/ กรัม/ วัน และ 0.101 กรัม/ กรัม/ วัน ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการทดลองที่ระยะเวลา 14 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์มากที่สุด เท่ากับ 0.296 กรัม/ กรัม/ วัน รองลงมา คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และ 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ เท่ากับ 0.295 กรัม/ กรัม/ วัน และ 0.288 กรัม/ กรัม/ วัน ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการทดลองที่ ระยะเวลา 21 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 000 ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์มากที่สุด เท่ากับ 0.227 กรัม/ กรัม/ วัน รองลงมา คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 และ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ เท่ากับ 0.223 กรัม/ กรัม/ วัน และ 0.192 กรัม/ กรัม/ วัน ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

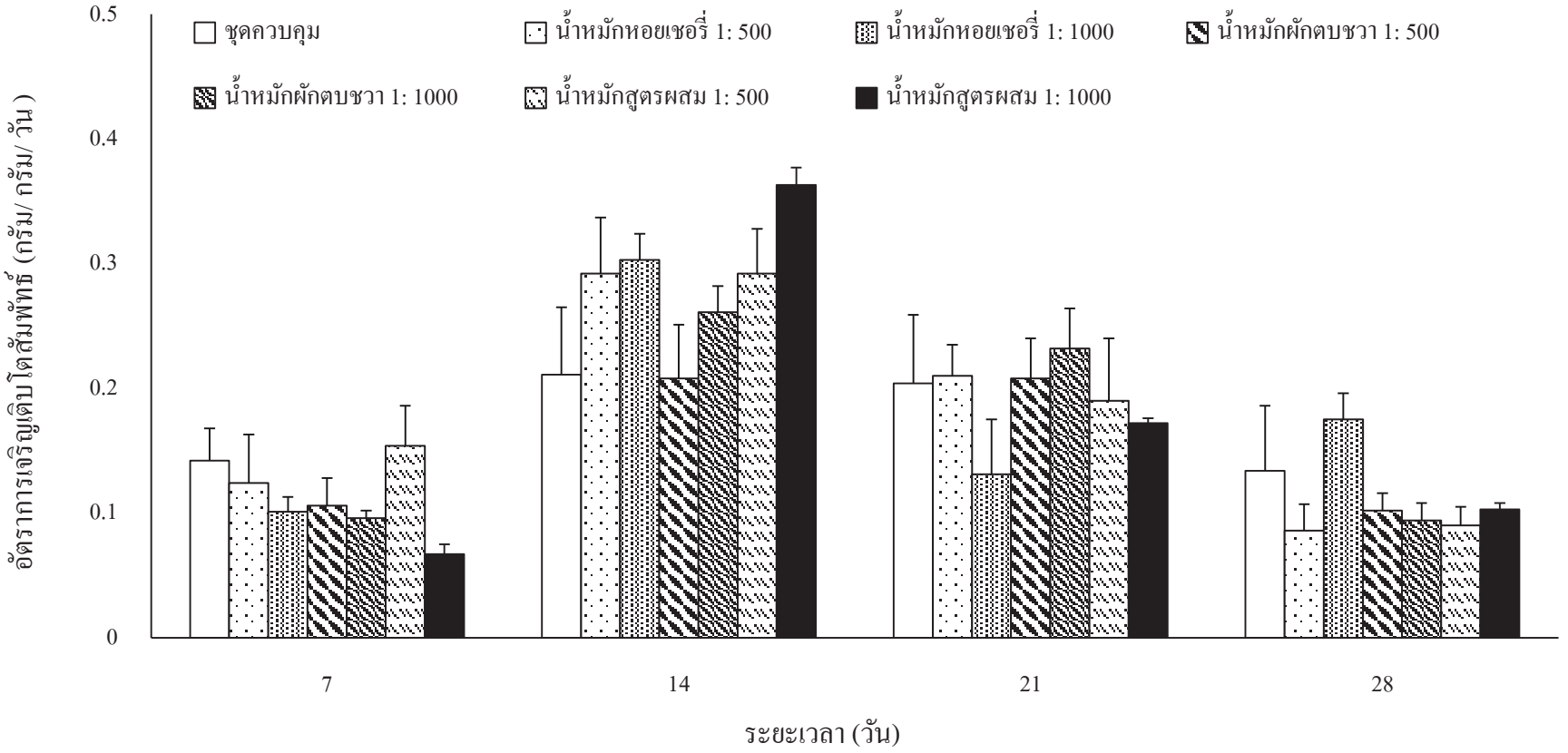
จากการทดลองที่ ระยะเวลา 28 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 000 ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์มากที่สุด เท่ากับ 0.1817 กรัม/ กรัม/ วัน รองลงมา คือ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ เท่ากับ 0.170 กรัม/ กรัม/ วัน และ 0.154 กรัม/ กรัม/ วัน ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาดขาวไดโตเกียว เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน มีการตอบสนองที่เด่นชัดที่สุด เห็นได้จากอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่ระยะเวลา 21 และ 28 วัน อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาดขาวไดโตเกียวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 14 วัน น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาดขาวไดโตเกียวมากที่สุด ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับความสูงของลำต้น น้ำหนักแห้งรวม และพื้นที่ใบรวมของผักกาดขาวไดโตเกียว

ตารางที่ 4-5 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/ กรัม/ วัน) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ชุดทดลอง	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/ กรัม/ วัน) (Mean ±Standard error)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
ชุดควบคุม	0.142±0.023^{B}	0.211±0.041^{A}	0.204±0.031	0.134±0.032
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 500	0.124±0.030^{AB}	0.292±0.032^{AB}	0.210±0.012	0.086±0.019
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 1000	0.101±0.010^{AB}	0.303±0.038^{AB}	0.131±0.034	0.175±0.025
น้ำหมักผักตบชวา 1: 500	0.106±0.020^{AB}	0.208±0.022^{A}	0.208±0.028	0.102±0.017
น้ำหมักผักตบชวา 1: 1000	0.096±0.000^{AB}	0.261±0.019^{A}	0.232±0.024	0.094±0.024
น้ำหมักสูตรผสม 1: 500	0.154±0.029^{B}	0.292±0.035^{AB}	0.190±0.033	0.090±0.028
น้ำหมักสูตรผสม 1: 1000	0.067±0.025^{A}	0.363±0.002^{B}	0.172±0.046	0.103±0.033

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-5 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/ กรัม/ วัน) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.6 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นของผักกาดขาวไดโตเกียว

เมื่อปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวจากเริ่มทำการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง ตามระยะเวลาที่แตกต่างกันได้ผลการทดลอง ดังนี้ (ตารางที่ 4.6 และ ภาพที่ 4.6) พบว่า เมื่อผักกาดขาวไดโตเกียวได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 7 วัน น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นมากที่สุด เท่ากับ 0.129 ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และ น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น รองลงมา เท่ากับ 0.102 และ 0.094 ตามลำดับ

ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 14 วัน น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.115 ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นรองลงมา เท่ากับ 0.110 และ 0.106 ตามลำดับ

อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นของผักกาดขาวไดโตเกียว เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพที่ระยะเวลา 21 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.137 ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น รองลงมา เท่ากับ 0.102 และ 0.099 ตามลำดับ

อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นของผักกาดขาวไดโตเกียว เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพที่ระยะเวลา 28 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.102 ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสารละลายธาตุอาหารสูตรปกติ และน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น รองลงมา เท่ากับ 0.083 และ 0.080 ตามลำดับ

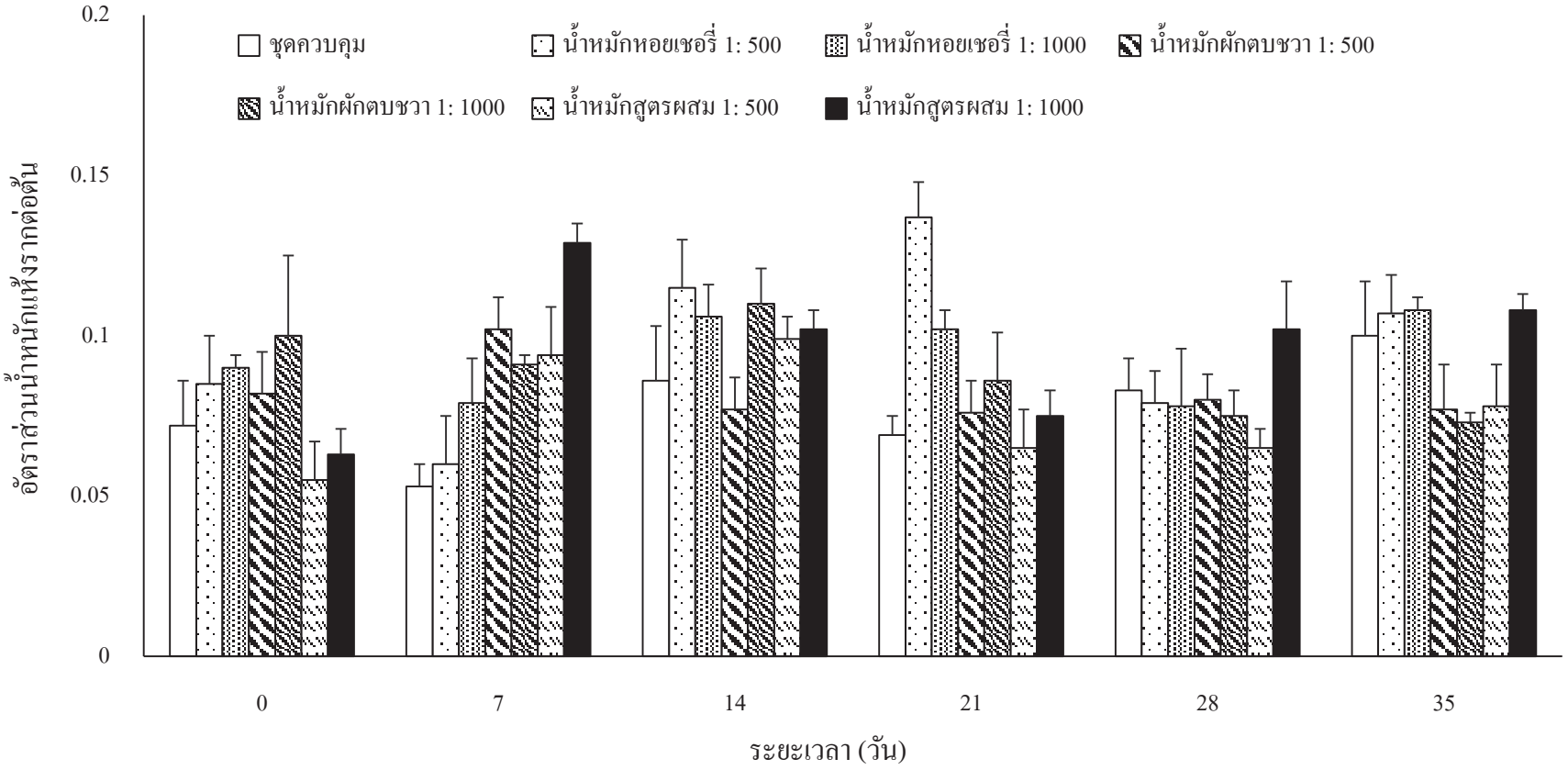
เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ที่ระยะเวลา 35 วัน อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 1000 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.108 ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และสารละลายธาตุอาหารสูตรปกติ ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น เท่ากับ 0.108 และ 0.100 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นของผักกาดขาวไดโตเกียว เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ที่ระยะเวลา 7 และ 21 วัน มีการตอบสนองที่เด่นชัดที่สุด เห็นได้จากการตอบสนองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากชุดการทดลองอื่น ๆ แต่ที่ระยะเวลา 14, 28 และ 35 วัน อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นของผักกาดขาวไดโตเกียวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติจากชุดการทดลองอื่น ๆ และพบว่าที่ระยะเวลา 21 วัน น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นมีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 4-6 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสม ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ชุดทดลอง	อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น (Mean±Standard error)					
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
ชุดควบคุม	0.072±0.014	0.053±0.007^{A}	0.086±0.017	0.069±0.006^{A}	0.083±0.010	0.100±0.017
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 500	0.085±0.015	0.060±0.015^{A}	0.115±0.015	0.137±0.011^{B}	0.079±0.010	0.107±0.012
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 1000	0.093±0.004	0.079±0.014^{ABC}	0.106±0.010	0.102±0.006^{A}	0.078±0.018	0.108±0.004
น้ำหมักผักตบชวา 1: 500	0.082±0.013	0.102±0.010^{CD}	0.077±0.010	0.076±0.010^{A}	0.080±0.008	0.077±0.014
น้ำหมักผักตบชวา 1: 1000	0.10±0.025	0.091±0.003^{BC}	0.110±0.011	0.086±0.015^{A}	0.075±0.008	0.073±0.003
น้ำหมักสูตรผสม 1: 500	0.055±0.012	0.094±0.015^{BCD}	0.097±0.007	0.099±0.120^{A}	0.065±0.006	0.078±0.013
น้ำหมักสูตรผสม 1: 1000	0.063±0.008	0.129±0.006^{D}	0.102±0.006	0.075±0.008^{A}	0.102±0.015	0.108±0.005

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-6 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.7 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของผักกาดขาวไดโตเกียว

เมื่อปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวจากเริ่มทำการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง ตามระยะเวลาที่แตกต่างกัน ได้ผลการทดลอง ดังนี้ (ตารางที่ 4.7 และ ภาพที่ 4.7) เมื่อทดลองปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวเป็นระยะเวลา 14 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมากที่สุด เท่ากับ 0.427 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบรองลงมา เท่ากับ 0.351 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.288 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

เมื่อผักกาดขาวไดโตเกียวได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมากที่สุด เท่ากับ 0.336 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และสารละลายธาตุอาหารสูตรปกติ ที่ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบรองลงมา เท่ากับ 0.329 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.300 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

เมื่อผักกาดขาวไดโตเกียวได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่า สารละลายธาตุอาหารทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมากที่สุด เท่ากับ 0.242 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบรองลงมา เท่ากับ 0.226 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.222 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

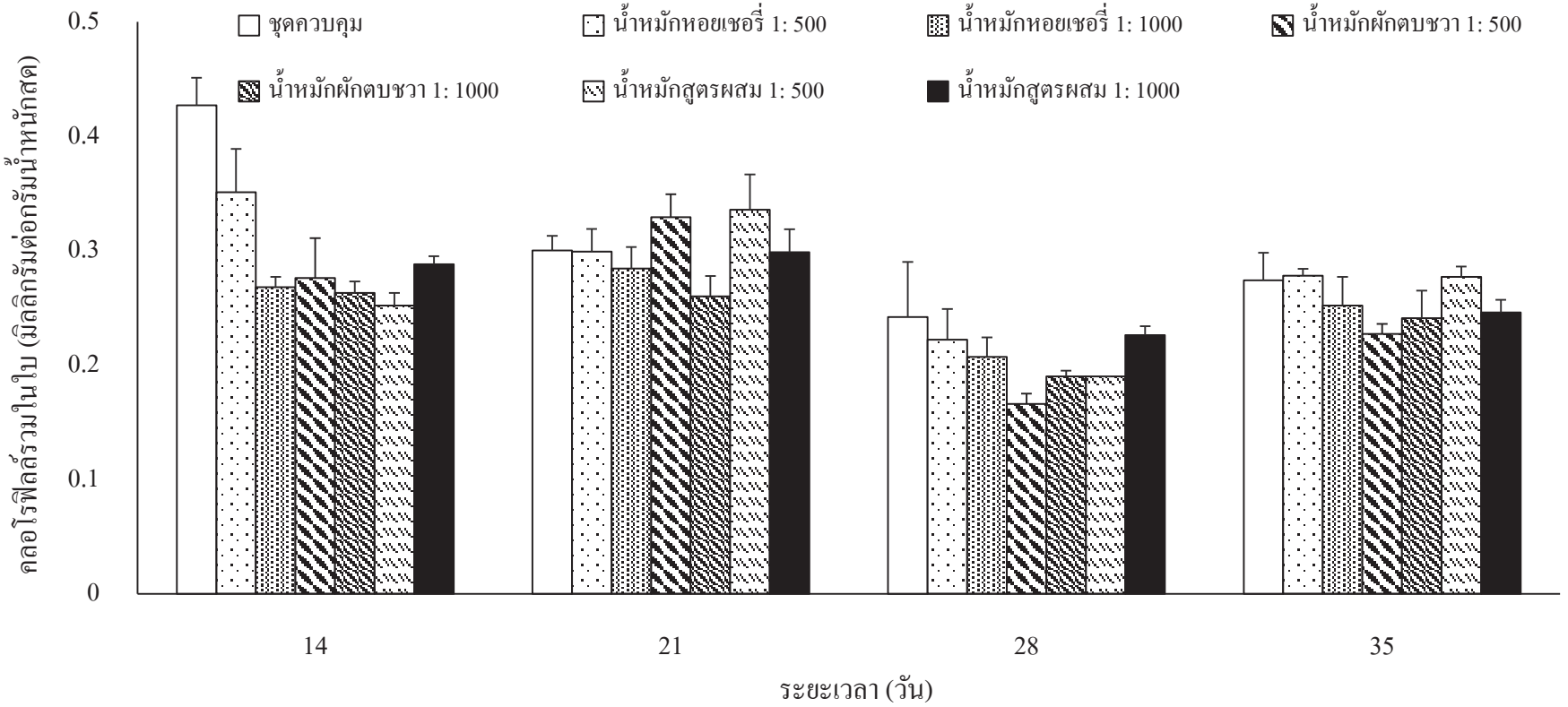
ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ปลูกจนสิ้นสุดการทดลอง เป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมากที่สุด เท่ากับ 0.278 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และสารละลายธาตุอาหารสูตรปกติ ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ รองลงมา เท่ากับ 0.277 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.274 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลา 14 วัน ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของผักกาดขาวไดโตเกียวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดการทดลองอื่น ๆ แต่ที่ระยะเวลา 21, 28 และ 35 วัน ในทุกชุดการทดลองผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้น เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลา 14 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมีการตอบสนองที่เด่นชัดที่สุด โดยจะเห็นได้ว่า สารละลายธาตุอาหารสูตรปกติ ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมากที่สุด หลังจากนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-7 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ชุดทดลอง	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (Mean±Standard error)			
	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
ชุดควบคุม	0.427±0.024^{C}	0.300±0.013	0.242±0.048	0.274±0.024
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 500	0.351±0.038^{B}	0.299±0.020	0.222±0.027	0.278±0.006
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 1000	0.268±0.009^{A}	0.284±0.019	0.207±0.017	0.252±0.031
น้ำหมักผักตบชวา 1: 500	0.276±0.035^{A}	0.329±0.020	0.166±0.009	0.227±0.009
น้ำหมักผักตบชวา 1: 1000	0.263±0.010^{A}	0.260±0.018	0.190±0.005	0.241±0.024
น้ำหมักสูตรผสม 1: 500	0.252±0.011^{A}	0.336±0.020	0.160±0.000	0.277±0.009
น้ำหมักสูตรผสม 1: 1000	0.288±0.007^{A}	0.290±0.031	0.226±0.008	0.246±0.011

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-7 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.8 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบผักกาดขาวไดโตเกียว

จากการวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของผักกาดขาวไดโตเกียว ตามระยะเวลาที่แตกต่างกัน ได้ผลการทดลองดังนี้ (ตารางที่ 4.8 และ ภาพที่ 4.8) ที่ระยะเวลา 14 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรปกติทำให้มีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบมากที่สุด เท่ากับ 0.134 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และ น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบรองลงมา เท่ากับ 0.131 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.125 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

จากการปลูกผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 21 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบมากที่สุด เท่ากับ 0.126 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ เท่ากับ 0.119 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ส่วนน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม และทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ เท่ากับ 0.106 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

จากการปลูกผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 28 วัน พบว่า สารละลายธาตุอาหารทำให้มีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบมากที่สุด เท่ากับ 0.080 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ รองลงมา เท่ากับ 0.079 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.072 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ปลูกจนสิ้นสุดการทดลอง ที่ระยะเวลา 35 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบมากที่สุด เท่ากับ 0.094 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร

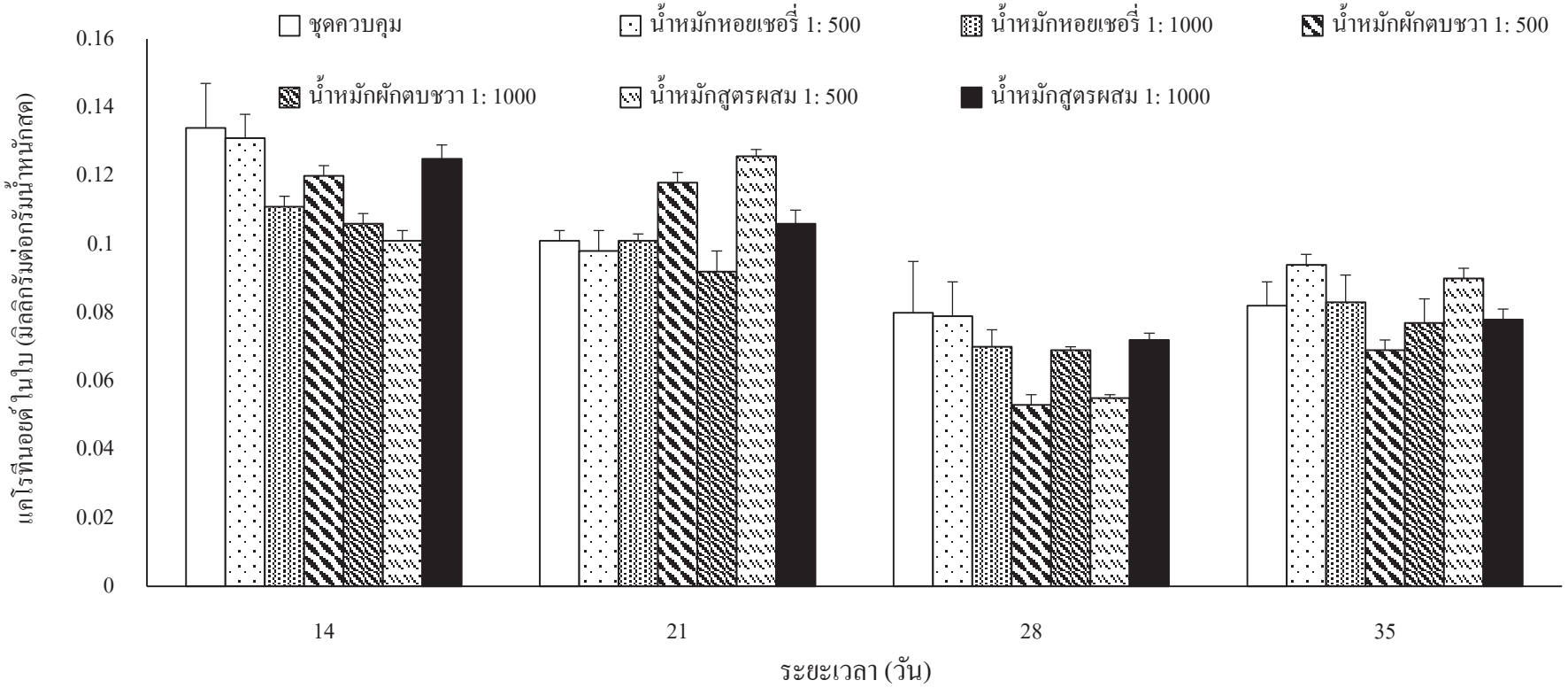
ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณแคโรนอยด์ในใบรองลงมา เท่ากับ 0.090 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และ 0.083 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของผักกาดขาวไดโตเกียว จะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลา 14 และ 21 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบมีการตอบสนองที่เด่นชัดที่สุด เนื่องจากให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดการทดลองอื่น แต่ที่ระยะเวลา 28 และ 35 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดการทดลอง เมื่อพิจารณาการตอบสนองที่ระยะเวลา 21 วัน น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบมากที่สุด หลังจากนั้นปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของผักกาดขาวไดโตเกียวมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-8 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ชุดทดลอง	ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (Mean±Standard error)			
	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
ชุดควบคุม	0.134±0.013 ^{D}	0.101±0.004^{A}	0.080±0.015	0.082±0.007
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 500	0.131±0.007^{CD}	0.099±0.009^{A}	0.079±0.010	0.094±0.003
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 1000	0.111±0.003^{ABC}	0.101±0.003^{A}	0.070±0.005	0.083±0.008
น้ำหมักผักตบชวา 1: 500	0.120±0.003^{ABCD}	0.119±0.004^{BC}	0.053±0.003	0.069±0.003
น้ำหมักผักตบชวา 1: 1000	0.106±0.003^{AB}	0.092±0.006^{A}	0.069±0.001	0.080±0.007
น้ำหมักสูตรผสม 1: 500	0.101±0.003^{A}	0.126±0.002^{C}	0.055±0.001	0.090±0.003
น้ำหมักสูตรผสม 1: 1000	0.125±0.004^{BCD}	0.106±0.005^{AB}	0.072±0.002	0.078±0.003

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-8 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.9 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบผักกาดขาวไดโตเกียว

จากการวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบของผักกาดขาวไดโตเกียว ตามระยะเวลาที่แตกต่างกัน ได้ผลการทดลองดังนี้ (ตารางที่ 4.9 และ ภาพที่ 4.9) พบว่า หลังจากการปลูกผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 14 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบมากที่สุด เท่ากับ 1.361 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบรองลงมา เท่ากับ 1.268 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ เท่ากับ 1.264 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000

หลังจากปลูกผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 21 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบมากที่สุดเท่ากับ 1.303 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ เท่ากับ 1.253 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และ 1.244 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนัก ตามลำดับ

ผักกาดขาวไดโตเกียวเมื่อปลูก ที่ระยะเวลา 28 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบมากที่สุด เท่ากับ 1.316 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสารละลายธาตุอาหารสูตรปกติ ทำให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ เท่ากับ 1.295 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ เท่ากับ 1.233 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ ในอัตราส่วน 1: 1000

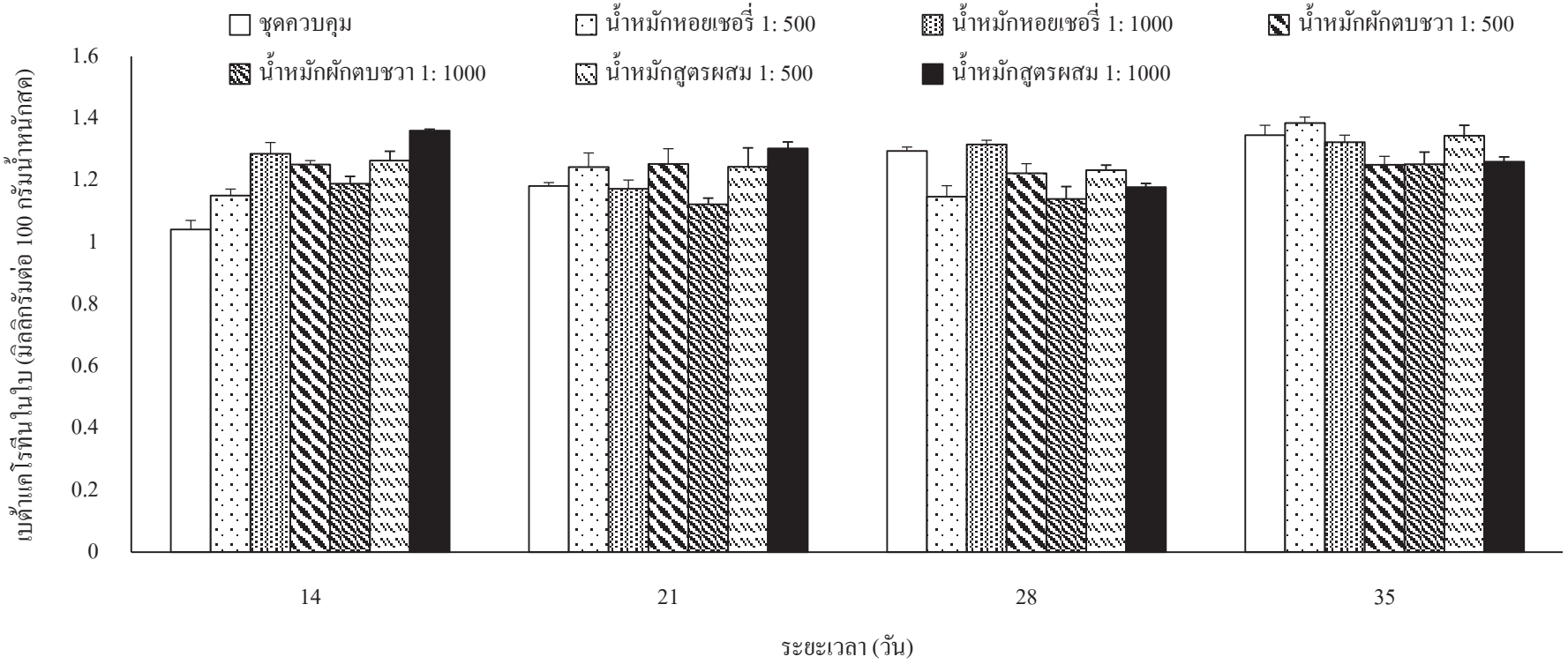
หลังจากปลูกผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 35 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนมากที่สุด เท่ากับ 1.385 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสารละลายธาตุอาหารสูตรปกติ และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ เท่ากับ 1.346 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และ 1.344 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 14, 28 และ 35 วัน ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบของผักกาดขาวไดโตเกียวมีการตอบสนองที่เด่นชัด เนื่องจากผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดการทดลองอื่น แต่พบว่าที่ระยะเวลา 21 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการทดลองชุดอื่น ๆ ดังนั้น เมื่อพิจารณาที่การตอบสนองที่ระยะเวลา 35 วัน น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวปริมาณเบต้าแคโรทีนมากที่สุด

ตารางที่ 4-9 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และ สูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ชุดทดลอง	ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) (Mean±Standard error)			
	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
ชุดควบคุม	1.042 ± 0.029^{A}	1.182 ± 0.011	1.295 ± 0.013^{CD}	1.346 ± 0.032^{BC}
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 500	1.151 ± 0.021^{B}	1.243 ± 0.046	1.147 ± 0.036^{A}	1.385 ± 0.019^{C}
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 1000	1.286 ± 0.036^{DE}	1.173 ± 0.028	1.316 ± 0.014^{D}	1.323 ± 0.023^{ABC}
น้ำหมักผักตบชวา 1: 500	1.251 ± 0.013^{CD}	1.253 ± 0.049	1.223 ± 0.031^{ABC}	1.250 ± 0.028^{A}
น้ำหมักผักตบชวา 1: 1000	1.189 ± 0.024^{BC}	1.123 ± 0.020	1.140 ± 0.040^{A}	1.252 ± 0.039^{A}
น้ำหมักสูตรผสม 1: 500	1.264 ± 0.030^{CD}	1.244 ± 0.061	1.233 ± 0.016^{BC}	1.344 ± 0.034^{ABC}
น้ำหมักสูตรผสม 1: 1000	1.361 ± 0.004^{E}	1.303 ± 0.021	1.178 ± 0.012^{AB}	1.260 ± 0.016^{AB}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-9 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.10 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบผักกาดขาวไดโตเกียว

เมื่อปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวจากเริ่มทำการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง วิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลาต่างกัน ได้ผลการทดลอง ดังนี้ (ตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.10) หลังจากที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 14 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบมากที่สุด เท่ากับ 21.491 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก เท่ากับ 18.597 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และ 18.070 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

หลังจากที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 21 วัน พบว่า ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบมากที่สุด เท่ากับ 35.175 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก เท่ากับ 28.509 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และ 27.281 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 28 วัน พบว่า น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบมากที่สุด เท่ากับ 45.088 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร อัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีปริมาณกรดแอสคอร์บิก เท่ากับ 39.504 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก เท่ากับ 34.439 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด

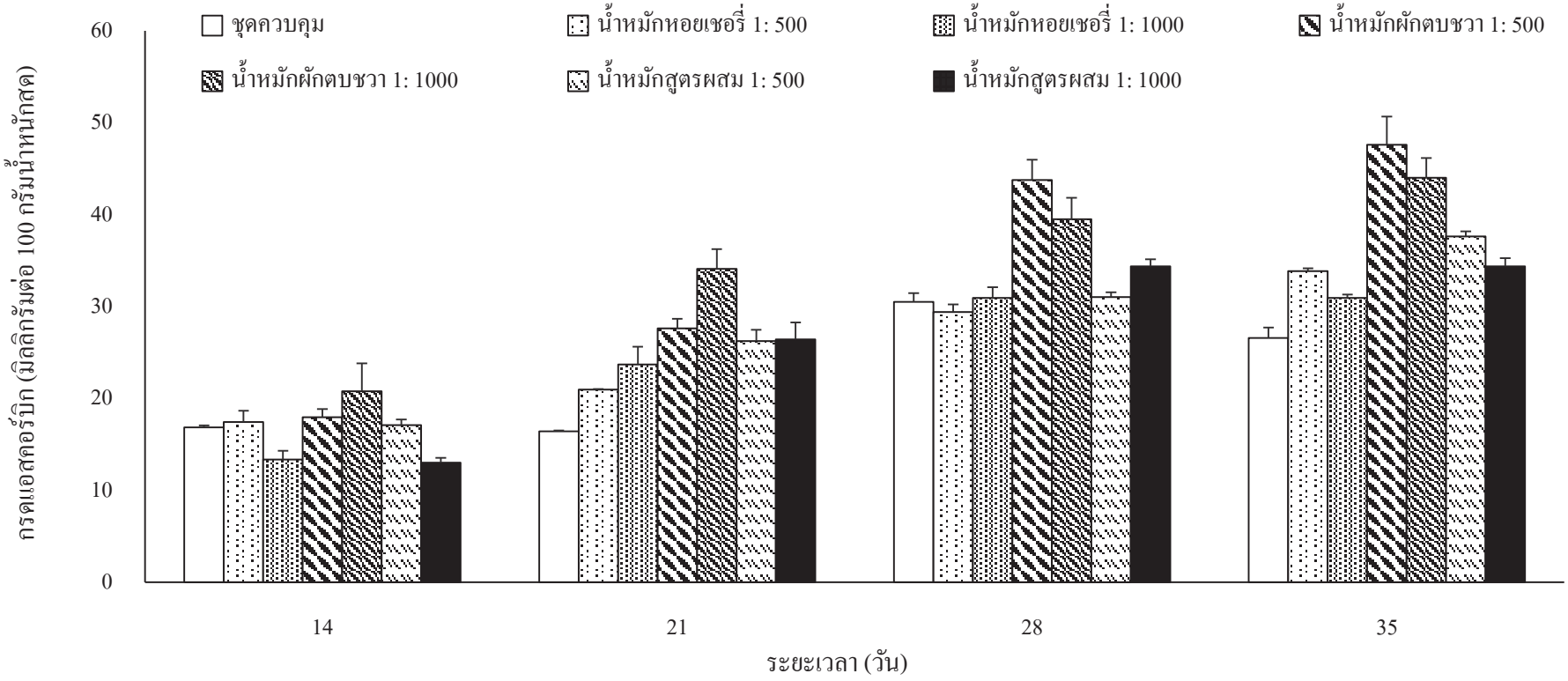
เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ที่ระยะเวลา 35 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบมากที่สุด เท่ากับ 49.035 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้มีปริมาณกรดแอสคอร์บิก เท่ากับ 45.351 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบผักกาดขาวไดโตเกียว มีค่า เท่ากับ 38.772 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งให้ผลการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบของผักกาดขาวไดโตเกียว จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 14, 21, 28 และ 35 วัน มีการตอบสนองที่เด่นชัดที่สุด เห็นได้จากผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น และน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบมากที่สุดในทุกสัปดาห์

ตารางที่ 4-10 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ชุดทดลอง	ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) (Mean±Standard error)			
	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
ชุดควบคุม	17.456±0.232^{AB}	17.018±0.088^{A}	31.491±0.965^{AB}	27.456±1.160^{A}
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 500	18.070±1.237^{AB}	21.667±0.088^{B}	30.351±0.837^{A}	34.912±0.316^{BC}
น้ำหมักหอยเชอรี่ 1: 1000	13.860±0.989^{A}	24.474±1.993^{BC}	31.930±1.180^{AB}	31.930±0.351^{AB}
น้ำหมักผักตบชวา 1: 500	18.597±0.916^{B}	28.509±1.067^{C}	45.088±2.276^{C}	49.035±3.137^{D}
น้ำหมักผักตบชวา 1: 1000	21.491±3.115^{B}	35.175±2.203^{D}	40.702±2.385^{C}	45.351±2.198^{D}
น้ำหมักสูตรผสม 1: 500	17.719±0.633^{AB}	27.105±1.244^{C}	32.018±0.534^{AB}	38.772±0.575^{C}
น้ำหมักสูตรผสม 1: 1000	13.509±0.534^{A}	27.281±1.887^{C}	35.439±0.780^{B}	35.439±0.916^{BC}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-10 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

บทที่ 5
อภิปรายผลการทดลองและสรุป

5.1 อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดสอบผลของน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม (น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ผสมกับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา) ต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว (*Brassica chinensis* var. *pekinensis* Rupr.) ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่า

5.1.1 การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียว ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนถึงสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ที่ระยะเวลา 14-21 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ในอัตราส่วน 1: 1000 มีการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตที่เด่นชัดที่สุด และเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 35 วัน พบว่า ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ น้ำหนักแห้งรวม พื้นที่ใบ อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นมีค่ามากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติจากชุดการทดลองอื่น และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้น้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดขาวไดโตเกียวมีค่ามากที่สุด ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติจากชุดการทดลองอื่น นอกจากนี้สารละลายธาตุอาหารสูตรปกติ มีผลทำให้ความสูงของลำต้นมีค่ามากที่สุด และให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกับชุดการทดลองอื่น ๆ

จากการทดลอง พบว่า เมื่อผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้เกิดการเจริญเติบโตมากที่สุด เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่เป็นน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์เมื่อผ่านกระบวนการหมักแล้วได้น้ำหมักที่มีธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก (ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์, 2550) ซึ่งไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างสารอินทรีย์ โดยเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างพืช เช่น คลอโรฟิลล์ กรดอะมิโน และองค์ประกอบของโปรตีน ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช (มนูญ ศิรินุพงศ์, 2556) และน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่มีปริมาณกรดฮิวมิก (humic acid) สูงกว่าน้ำหมักชีวภาพชนิดอื่น โดยมีปริมาณระหว่างร้อยละ 3.07-4.45 การที่มีกรดฮิวมิกมากทำให้มีปริมาณฮอร์โมนออกซินอยู่มากด้วย ซึ่งในน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่มีฮอร์โมนในกลุ่มออกซิน

เช่น กรดอิโดลอะซิติก (Indoleacetic Acid: IAA) อยู่ร้อยละ 0.1-9.0 (อานัฐ ตันโช, 2556) ซึ่งฮอร์โมนออกซินเป็นฮอร์โมนที่สามารถกระตุ้นการแบ่งเซลล์ โดยสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก และโปรตีน ช่วยให้เกิดการขยายขนาดของผนังเซลล์ กระตุ้นการสังเคราะห์สารที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เพื่อนำไปสร้างผนังเซลล์ใหม่ ทำให้เซลล์ขยายขนาดอย่างถาวร ทำให้พืชเกิดการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ควบคุมและเร่งการแตกของราก (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548) สอดคล้องกับ ประวัติ บัวศรี, ประชุมพร เลาห์ประเสริฐ และ ธีรยุทธ อุดมพร (2553) ที่ทดลองประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่ต่อการเจริญเติบโตของถั่วเขียว พบว่า น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่บดพร้อมเปลือก ทดลองปลูกถั่วเขียวพันธุ์อู่ทอง 1 พบว่า ต้นถั่วเขียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วน 1: 1000 มีการเจริญเติบโตทั้งทางด้านความสูง และผลผลิตสูงที่สุด และชัยอาทิตย์ อิ่นคำ และโสระยา ร่วมรังษี (2557) ศึกษาการใช้น้ำหมักชีวภาพจากสัตว์ในการปลูกผักสลัดด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ ความสูงต้น กว้างพุ่ม และพื้นที่ใบ ที่สูงกว่าการปลูกด้วยน้ำหมักชีวภาพจากพืช อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อสิ้นสุดการการทดลอง ที่ระยะเวลา 35 วัน น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหาร ในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้น้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดขาวไดโตเกียวมีค่ามากที่สุด ซึ่งน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมประกอบด้วยน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ และน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา ซึ่งในผักตบชวาที่นำมาทำน้ำหมักชีวภาพมีส่วนประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมค่อนข้างสูง (ธงชัย มาลา, 2546) ทำให้มีธาตุอาหารที่มีผลการสร้างใบและน้ำหนักใบแห้ง จึงมีผลต่อน้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดขาวไดโตเกียว สอดคล้องกับ Peiris and Weerakkody (2015) ศึกษาการใช้ น้ำหมักชีวภาพจากปุ๋ยอินทรีย์ น้ำหมักชีวภาพจากมูลสัตว์ และน้ำหมักชีวภาพจากแคฝรั่ง ต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ในระบบปลูกแบบไฮโดรโปร์นิกส์ พบว่า น้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อน้ำหนักใบจำเพาะไม่แตกต่างกันทางสถิติ น้ำหนักใบจำเพาะบ่งบอกถึงน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ใบรวมของเนื้อเยื่อภายในใบ ซึ่งน้ำหมักชีวภาพจากพืช และจากมูลสัตว์ส่งผลต่อน้ำหนักใบจำเพาะเหมือนกัน

นอกจากนี้การเจริญเติบโตในด้านความสูงลำต้นของผักกาดขาวไดโตเกียว เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ที่ระยะเวลา 35 วัน สารละลายธาตุอาหาร มีผลทำให้ความสูงของลำต้นผักกาดขาวไดโตเกียวมีค่ามากที่สุด ซึ่งสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์ มีการกำหนดสัดส่วนของธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) จึงมีผลทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรปกติแต่เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการผสมน้ำหมักชีวภาพเข้าไปก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่ในการทดลองที่มีการเติมน้ำหมักชีวภาพจาก

หอยเชอรี่ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมลงในสารละลายธาตุอาหาร ก็จะทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีการเจริญเติบโตที่ดีเพิ่มมากขึ้น

5.1.2 การตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนถึงสิ้นสุดการการทดลอง ที่ระยะเวลา 14-21 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารในสูตรปกติ มีการตอบสนองต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่เด่นชัดที่สุด เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ที่ระยะเวลา 35 วัน พบว่า ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติจากชุดการทดลองอื่น นอกจากนี้น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบมีค่ามากที่สุด ซึ่งให้ผลการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการทดลองชุดอื่น และน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบมากที่สุด ซึ่งให้ผลการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดการทดลองอื่น

จะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ในอัตราส่วน 1: 500 มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ แคโรทีนอยด์ในใบ และเบต้าแคโรทีนในใบ เนื่องจาก น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ ในอัตราส่วน 1: 500 มีปริมาณธาตุอาหารที่เข้มข้นกว่าน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ในอัตราส่วน 1: 1000 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวได้รับธาตุอาหารเพื่อนำไปใช้ในการสร้างสารสี และพบว่าน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม เท่ากับ 0.168, 0.035, 0.413 และ 0.188 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ (Mungkunkamchaoa, Kesmala, Pimratchb, Toomsana, & Jothityangkoon, 2013) ซึ่งน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่เป็นน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์ ทำให้มีโปรตีนสูงกว่าพืช เมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายสุดท้ายจึงเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญ (อานัฐ ตันโช, 2556) โดยไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักของ กรดอะมิโน โปรตีน โคเอนไซม์ นิวคลีอิค และคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารสีหลักที่สำคัญในการดูดพลังงานแสงและกระตุ้นปฏิกิริยาแสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง คลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่มีสีเขียวที่พบในพืช มีหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ บี ซี และดี เป็นต้น คลอโรฟิลล์มีสารสีประกอบพวกแคโรทีนอยด์ (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548) ซึ่งแคโรทีนอยด์ เป็นสารสีที่อยู่ร่วมกับคลอโรฟิลล์ในคลอโรพลาสต์ เป็นสารสีที่มีสีเหลืองถึงสีแดง พบทั่วไปในพืช สิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสง และสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสง จำพวกแบคทีเรีย เห็ด รา นอกจากนี้แคโรทีนอยด์ยังประกอบด้วยโมเลกุลของเบต้าแคโรทีน (Ruiz-Sola & Rodriguez-Concepcion,

2012) หน้าที่ของแคโรทีนอยด์ช่วยดูดซับพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่คลอโรฟิลล์เอไม่สามารถดูดซับได้ แล้วส่งพลังงานดังกล่าวให้คลอโรฟิลล์เอ ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และช่วยป้องกันไม่ให้แสงทำลายคลอโรฟิลล์ (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548)

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดจากสารสีชนิดต่าง ๆ ที่มีความสามารถในการดูดซับพลังงานแสง และทำให้สารสีเหล่านี้ซึ่งปกติเมื่อไม่ได้รับแสงจะอยู่ในระดับพลังงานต่ำ เปลี่ยนไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า และทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปให้สารต่าง ๆ ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานนำมาใช้ในการผลิต ATP และ NADPH ถูกนำไปใช้ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสร้างน้ำตาลเป็นอาหาร (ลิลลี่ กาวีต๊ะ และคณะ, 2556) ดังนั้น ถ้าพืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมาก ปริมาณแคโรทีนอยด์และเบต้าแคโรทีนในใบ ก็จะมีปริมาณมากขึ้นด้วย ซึ่งช่วยเพิ่มกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงส่งผลให้พืชมีประสิทธิภาพในการสร้างอาหารที่นำไปใช้ในการเจริญเติบโต สอดคล้อง Mungkunkamchaoa et al. (2013) และ ทัณฑิกา มุงคุณคำชาว, ดรุณี โชติษฐยางกูร, สำราญ พิมราช และบรรยง ทุมแสน (2553) ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ และน้ำส้มควันไม้ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศพันเดลต้า โดยนำน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่มารดและฉีดพ่นทางใบ พบว่า น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ อัตราส่วน 1: 500 (น้ำหมักชีวภาพ: น้ำ) และ น้ำส้มควันไม้ อัตราส่วน 1: 800 (น้ำส้มควันไม้: น้ำ) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้น้ำหมักชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตของมะเขือเทศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไม่ว่าจะเป็นน้ำหมักชีวภาพเพียงชนิดเดียว หรือ ทั้ง 2 ชนิดผสมกัน แสดงการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งรวมต่อต้น จำนวนผล น้ำหนักผลสด และน้ำหนักผลแห้ง แต่เมื่อฉีดพ่นน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ทางใบเพียงอย่างเดียว ทำให้ค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) สูงกว่าการไม่ได้ฉีดพ่น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบมีค่ามากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าผักตบชวามีทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง และในกลุ่มของธาตุอาหารองนั้นประกอบด้วย แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) จุลธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) (Wanapat, Wanapat, & Chanchai, 1984) ซึ่งแมกนีเซียม เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ และเป็น cofactor ของเอนไซม์ Rubisco และ PEP carboxylase แคลเซียม เป็น cofactor ของเอนไซม์ในกระบวนการไฮโดรไลซีส ATP เหล็ก เป็นองค์ประกอบของ iron-sulfur protein ferredoxin และ cytochrome ซึ่งทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน และมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และทองแดง เป็นองค์ประกอบของ plastocyanin ซึ่งทำหน้าที่ ในการ

เคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน (ลิลลี่ กาวีต๊ะ และคณะ, 2556) ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้ถือเป็นตัวขับเคลื่อนที่ทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีการสร้างน้ำตาล รวมทั้งผลิตออกซิเจนออกมาจากกระบวนการนี้ โดยทั่วไปพืชสามารถสังเคราะห์กรดแอสคอร์บิกได้จากน้ำตาลเฮกโซส เช่น น้ำตาลกลูโคส (ดนัย บุญยเกียรติ, 2556) ดังนั้น หากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงดำเนินไปได้ด้วยดีก็จะทำให้มีการสร้างกรดแอสคอร์บิกมากขึ้น และกรดแอสคอร์บิกยังมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย ในกรณีที่พืชได้รับสภาวะเครียด (Smirnoff, 1996) จึงเป็นผลทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวามีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับ Zodape, Kawarkhe, Patolia, and Warade (2008) ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากสาหร่าย K*appaphycus alvarezii* ฉีดพ่นทางใบ ของต้นกระเจี๊ยบ (*Abelmoschus esculentus* L.) พบว่าน้ำหมักชีวภาพจากสาหร่ายความเข้มข้น 25% ให้ผลผลิตสูงสุด และคุณภาพของสารอาหารในฝัก รวมถึงปริมาณวิตามินซีที่เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากผลของน้ำหมักชีวภาพมีสารที่ส่งเสริมการทำงานทางด้านสรีรวิทยารวมถึงกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงให้เพิ่มขึ้น

การทดลองปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์มีการปลูกบนดาดฟ้าและตลอดช่วงเวลาที่ปลูกเป็นช่วงฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงประมาณ 34.6-36.1 องศาเซลเซียส (ภาคผนวกที่ ฉ) ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นผักกาดขาวไดโตเกียว ทำให้เกิดอาการไหม้ของใบ อุณหภูมิที่สูงทำให้พืชเกิดความแปรปรวนและความไม่สมดุลของกระบวนการเมตาบอลิซึม ทำให้การเจริญเติบโตของพืชหยุดชะงัก (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) จึงทำให้กระบวนการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวลดลง และการเก็บผลการทดลอง ผู้ทดลองเก็บผลการทดลองแบบสุ่มทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของต้นผักกาดไดโตเกียวที่นำมาเก็บข้อมูล จึงทำให้ผลการทดลองที่ออกมามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองผลของน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของผักกาดขาวไดโตเกียว (*Brassica chinensis* var. *pekinensis* Rupr.) ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่า

5.2.1 เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะเห็นได้ว่า ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ ในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรวม พื้นที่ใบ อัตราการเจริญเติบโต

สัมพัทธ์ และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้นมีค่ามากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองชุดอื่น ๆ

5.2.2 เมื่อสิ้นสุดการทดลองผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองชุดอื่น ๆ

5.2.3 นอกจากนี้ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับสารละลายธาตุอาหาร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีผลทำให้ความสูงของลำต้นมีค่ามากที่สุด แต่ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองชุดอื่น ๆ

5.2.4 ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ในอัตราส่วน 1: 500 ที่ระยะเวลาสิ้นสุดการทดลอง มีผลทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุด แต่ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองชุดอื่น ๆ นอกจากนี้น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณเบต้าแคโรทีนมากที่สุด และให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองชุดอื่น ๆ

5.2.5 เมื่อสิ้นสุดการทดลองผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวาในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้ผักกาดขาวไดโตเกียวมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกมากที่สุด และให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองชุดอื่น ๆ

5.2.6 จากการทดลองเสนอแนะได้ว่าระยะเวลาของการปลูกผักกาดขาวไดโตเกียวในแต่ละช่วงเวลาให้ผลการตอบสนองที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลา 14-21 วัน ผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ในอัตราส่วน 1: 1000 มีการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาที่เด่นชัดที่สุด หลังจากนั้นที่ระยะเวลา 28-35 วัน การตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่าที่ระยะเวลา 35 วัน หรือสิ้นสุดการทดลองน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่มีผลทำให้การเจริญเติบโต และลักษณะทางสรีรวิทยามากที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 สถานที่ปลูกพืชในครั้งนี้ประสบปัญหาด้านแมลงศัตรูพืช และอุณหภูมิที่สูง ซึ่งในการปลูกครั้งต่อไปควรปลูกในระบบปิด ควบคุมปริมาณความเข้มของแสงและอุณหภูมิในการปลูกพืชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม และเป็นการป้องกันศัตรูพืชด้วย

5.3.2 ควรมีการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว เช่น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ค่าความต้านทานการปิดเปิดปากใบ และอัตราการคายน้ำ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การตอบสนองทางสรีรวิทยาในเชิงลึกมากขึ้น

5.3.3 ควรมีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก เช่น N, P และ K หรือธาตุอาหารรอง เช่น Ca ,Mg และ S ในอวัยวะต่าง ๆ ของต้นพืช เช่น ราก ลำต้น ใบ เพื่อศึกษาการดูดซับธาตุอาหารที่ได้รับจากน้ำหมักชีวภาพไปใช้ในการสะสมน้ำหนักแห้งของต้นพืช

5.3.4 ควรมีการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ที่ใช้ในการกำจัดสารอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในต้นผักกาดขาวไดโตเกียว เช่น กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD), Ascorbate peroxidases (APX) และ catalase (CAT)

บรรณานุกรม

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2559, 29 มีนาคม). *รายงานสภาพอากาศในเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม 2558.* ใบรายงาน.

จันทร์เพ็ญ ชัยมงคล, ดนัย วรรณวนิช และชาบูลย์ ศีตะโกเศศ. (2552). *การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำสกัดชีวภาพปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์.* สาขาเกษตรศาสตร์, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ และโสระยา ร่วมรังษี. (2557). ผลของการใช้สารสกัดชีวภาพเป็นแหล่งของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์. *แก่นเกษตร. 42*, 906-911.

ดนัย บุณยเกียรติ. (2556). *สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวน.* กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ดนัย วรรณวนิช. (2552). *การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำสกัดชีวภาพปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์.* งานวิจัยประยุกต์, สาขาเกษตรศาสตร์, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ดิเรก ทองอร่าม. (2550). *การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ทัณฑิกา มุงคุณคำชาว, ดรุณี โชติษฐยางกูร, สำราญ พิมราช และบรรยง ทุมแสน. (2553). น้ำหมักชีวภาพและน้ำส้มควันไม้เพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศ. *แก่นเกษตร. 38,* 225-236.

ทัตพล พุ่มดารา, อาคม คิดสง่า และ นิสาชล เทศศรี. (2559). การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปลูกผักกาดหอมกรีนคอสในระบบไฮโดรโปนิกส์. *แก่นเกษตร. 44*(1), 892-897 .

ธงชัย มาลา. (2546). *ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นริศรา มืดนนท์. (2551). *การหาปริมาณวิตามินซีในผักบางชนิดจากตลาดที่ปลูกแบบอินทรีย์และแบบเกษตรดั้งเดิม.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเคมีศึกษา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นฤมล วาจาหวาน. (2552). *การศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากผักและปลาที่มีต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของผักกาดเขียวกวางตุ้ง* (*Brassica chinensis* var. *parachinensis* L.) ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

นันทนา อังกินันทน์ และสุภจิตรา ชัชวาลย์. (2543). *เอกสารประกอบการสอนปฏิบัติการสรีรวิทยาของพืช*. ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิดดา หงษ์วิวัฒน์. (2548). *ผัก 333 ชนิด: คุณค่าอาหารและการกิน*. กรุงเทพฯ: แสงแดด.

บัญชา รัตนีทู. (2556). ผลของน้ำสกัดชีวภาพจากมูลวัวต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์. *Princess of Naradhiwas University Journal. 5*(2), 76-82.

ประวัติ บัวศรี, ประชุมพร เลาห์ประเสริฐ และ ธีรยุทธ อุดมพร. (2553). ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอรี่ต่อการเจริญเติบโตของถั่วเขียว. วิจัยสาธารณสุขศาสตร์. *มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 3(2), 37-44.

ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์. (2550). *108 สูตรการผลิตปุ๋ยชีวภาพ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เพชรกะรัต.

ปิยะภรณ์ จิตรเอก (2556). *ผลของน้ำหมักชีวภาพร่วมกับสมุนไพรต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัด 4 ชนิดในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์*. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี.

มนตรี แสนสุข. (2557). *ผักปลอดสารพิษ เพื่อสุขภาพชีวิตและธุรกิจ*. กรุงเทพฯ: นานา สำนักพิมพ์.

มนูญ ศิรินุพงศ์. (2556). *การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: วารสารเคหการเกษตร.

มุกดา สุขสวัสดิ์. (2545). *เกษตรธรรมชาติ*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

รสสุคนธ์ พุ่มพันธุ์วงศ์. (2548). *เกษตรอินทรีย์: ทางเลือกใหม่ของเกษตร*. กรุงเทพฯ: ประสานมิตร.

รัชนี คงคาฉุยฉาย และริญ เจริญศิริ. (2554). *โภชนาการกับผัก*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สารคดี.

รัชนีพร สุทธิภาศิลป์. (2554). การปลูกผักสลัดคอสด้วยระบบไฮโดรโปรนิกส์อินทรีย์. *แก่นเกษตร 39*, 398-402.

ราตรี หาญนอก. (2552). *ผลของน้ำหมักชีวภาพจากผักที่มีต่อการเจริญเติบโต และลักษณะบางประการของผักกาดเขียวปลี (Brassica juncea var rugosa* L.*) ที่ปลูกอยู่ในระบบไฮโดรโปนิกส์นิกส์*. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์, สุริยา ตันติวิวัฒน์ และ ณรงค์ วงศ์กันทรากร. (2556). *สรีรวิทยาของพืช*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วารินี ธรรมชาติไพศาล. (2557). *ปลูกพืชไร้ดิน Amazing Hydroponics*. กรุงเทพฯ: ไทยควอลิตี้บุ๊ค.

วิชบูลย์ ศีตโกเศศ. (2555). *ผลของปุ๋ยเคมีและน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของบางชนิดในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์*. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี.

วิจิตร วังใน. (2552). *อาหารกับการผลิตพืชผล*. กรุงเทพฯ: วี. บี. บุ๊คเซ็นเตอร์.

วีระศักดิ์ สามี. (2548). แคโรทีนอยด์: โครงสร้างทางเคมีและกลไกที่มีผลต่อการทำหน้าที่ของร่างกาย. *Srinakharinwirot Journal of Pharmaceutical Science. 10*(1), 58-61.

ศิริวรรณ สุทธิจิตต์. (2550). *วิตามิน*. กรุงเทพฯ: The Knowledge Center.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. (2548). *สรีรวิทยาของพืช* พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.

สมัย สังข์ทองงาม. (2553). *การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย). (2558, 17 กรกฎาคม). *ใบรายงานผลการทดสอบ. TR58/26841*. ใบรายงานผลการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพ.

อัญชนา เจนวิถีสุข. (2547). *การตรวจหาและบ่งชี้ชนิดสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้านและสมุนไพรไทย*. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อานัฐ ตันโช. (2556). *เกษตรธรรมชาติประยุกต์*. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

อำพา คำวงษา. (2553). *แนวทางการผลิตและลงทุนผักไฮโดรโปนิกส์เพื่อทำเงิน*. กรุงเทพฯ: นาคาอินเตอร์มีเดีย.

Aboul-Enein, AM., Al-Abd, AM., Shalaby, E., Abul-Ela, F., Nasr-Allah, AA., Mahmoud, AM., & El-Shemy, HA. (2011). *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms from water parasite to potential medicinal remedy. *Plant Signal Behav. 6*(6), 834-836.

Beadle, C. L. (1993). Growth Analysis. In D.O. Hall, H.R. Bolhar Norden kampf, R.C. Leegood, S.P. Long (Eds.), *Photosynthesis and Production in a changing Environment*: A Field and Laboratory Manual. London: Chapman and Hall.

Hayes, K. A., Cowie, R. H., Thiengo, S. C., & Strong, E. E. (2012). Comparing apples with apples: clarifying the identities of two highly invasive Neotropical *Ampullariidae* (*Caeno gastropoda*). *Zoological Journal of the Linnean Society. 166*, 723-753.

Lichtenthaler, HK. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Methods Enzymol. 148*, 350-382.

Loewus, F. A., & Loewus, M. W. (1987). Biosynthesis and metabolism of ascorbic acid in plants. *Critical Review Plant Science 5*, 101-119.

Mungkunkamchaoa, T., Kesmala, T., Pimratchb, S., Toomsana, B., & Jothityangkoon, D. (2013). Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae, 154*, 66-72.

Ngernsoungnern, A., & Ngernsoungnern, P. (2016). Localization of ghrelin-like peptide in the gastrointestinal tract of the golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) and changing of itsconcentration during fasting Apichart. *Acta Histochemica, 118,* 244-251.

Peiris, P. U. S. and Weerakkody, W. A. P. (2015). Effect of Organic Based Liquid Fertilizers on Growth Performance of Leaf Lettuce (*Lactuca Sativa* L.). In *International Conference on Agricultural (AEMS-2015) April 7-8* (pp. 39-41). Ecological and Medical Sciences. Thailand: Phuket.

Phatthanaphibun, S. (2005). Efficiency of fish bioextract on growth of Chinese Cabbage, lettuce and sweet pepper in soilless culture system. *Thai Journal of Soils and Fertilizers (Thailand). 27*(1), 26-35.

Jafari, N. (2010). Ecological and socio-economic utilization of water hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) Mart Solms). *J. Appl. Sci. Environ. Manage. 6*(14), 43-49.

Ruiz-Sola, M.A., & Rodriguez-Concepcion, M. (2012). Carotenoid Biosynthesis in Vrabidopsis : A Colorful Pathway. *The Arabidopsis Book. 10*. Retrieved from http:// www.ncbi. nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3350171/.

Smirnoff, N. (1996). The function and metabolism of ascorbic acid in plants. *Annuals Botany, 78*, 661-669.

Smirnoff, N. (2005). Ascorbate, tocopherol and carotenoids: metabolism, pathway engineering and functions. Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.

Taiz, L. and Zeiger, E., (1998). *Plant Physiology* (2th ed.). Sunderland, U.S.A: Sinauer Associates.

Volker, B., Puspitasari-Nienaber, N.L., Ferruzzi, M.G., & Schwartz, S.J. (2002). Trolox equivalent antioxidant capacity of different geometrica isomers of α -Carotene, β- Carotene, Lycopene and Zeaxanthin. *Agric. Food Chem. 50*, 221-226.

Wanapat, M., Wanapat, S. & Chanchai, S. (1984). Variation in the chemical composition and in vitro digestibility of water hyacinth. In *Paper presented at the 22nd National Animal Science Annual Conference* (pp. 46-49). Bangkok: Kasetsart University.

Zodape, ST., Kawarkhe, V J., Patolia, J S., & Warade. A D. (2008). effect of liquid seaweed fertilizer on yield and quality of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) *Journal of Scientific & Industrial Research. 67*(12), 1115-1117.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland’s solution

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 วิธีการเตรียม Stock solution ของสารละลายธาตุสูตร Hoagland's solution

Stock solution	สารเคมีที่ใช้	ปริมาณ	ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น
1 M calcium Chloride	$CaCl_2 2H_2O$	147.03 กรัม	1 ลิตร
1 M calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2 4H2O$	236.1 กรัม	1 ลิตร
1 M magnesium Chloride	$MgCl_2$	95.23 กรัม	1 ลิตร
1 M magnesium sulfate	$MgSO_4 7H_2O$	246.5 กรัม	1 ลิตร
1 M potassium Chloride	KCl	74.56 กรัม	1 ลิตร
1 M potassium dihydrogen phosphate	KH_2PO_4	136.09 กรัม	1 ลิตร
1M potassium nitrate	KNO_3	101.1 กรัม	1 ลิตร
1M sodium dihydrogen phosphate	NaH_2PO_4	119.97 กรัม	1 ลิตร
1M sodium nitrate	$NaNo_3$	84.99 กรัม	1 ลิตร
1M sodium sulfate	Na_2SO_4	142.04 กรัม	1 ลิตร
Fe-EDTA	EDTA disodium salt $(C_{10}H_{14}O_8Na_2 2H_2O)$ $FeCl_3 6H_2O$	22.4 กรัม 13.5 กรัม	227 มิลลิลิตร 728 มิลลิลิตร เทสารละลายทั้งสองผสมกันทีละน้อยและคนไปเรื่อยๆจนกระทั้งเป็นเนื่อเดียวกัน
Micronutrient	H_2BO_3 $CuCl_2 4H_2O$ $MnCl_2 4H_2O$ $ZnCl_2$ $Na_2MO_4 2H_2O$	2.86 กรัม 0.05 กรัม 1.81 กรัม 0.11 กรัม 0.025 กรัม	1 ลิตร

ที่มา: นันทนา อังกินันทน์ และศุภจิตรา ชัชวาลย์. (2543)

ภาคผนวก ข

การเตรียม และการวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพ

ภาคผนวกที่ ข-1 วัสดุ อุปกรณ์ในการเตรียมน้ำหมักชีวภาพ

ก. น้ำหมักชีวภาพหอยเชอรี่ (อัตราส่วน 3: 1: 10)

1. หอยเชอรี่	3	กิโลกรัม
2. กากน้ำตาล	1	กิโลกรัม
3. น้ำเปล่า	10	ลิตร
4. สารเร่ง พด.2 กรมพัฒนาที่ดิน	25	กรัม
5. ถังพลาสติก	1	ถัง
6. ไม้พาย	1	อัน
7. ผ้าขาวบาง	1	ผืน

ข. น้ำหมักชีวภาพผักตบชวา (อัตราส่วน 3: 1: 10)

1. ผักตบชวา	6	กิโลกรัม
2. กากน้ำตาล	2	กิโลกรัม
3. น้ำเปล่า	20	ลิตร
4. สารเร่ง พด.2 กรมพัฒนาที่ดิน	50	กรัม
5. ถังพลาสติก	1	ถัง
6. ไม้พาย	1	อัน
7. ผ้าขาวบาง	1	ผืน

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Total Nitrogen (Total N)	<0.5	%	-	In-house method TE-CH-211 based on AOAC(2012) 993.13
Total Phosphate	Not Detected	%	0.29	In house method TE-CH-183 based on AOAC(2012) 958.01
Potassium	0.35	%	-	In house method TE-CH-191 based on Official Methods of Analysis of Fertilizers. JAPAN (1987)

ที่มา: ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) (2558)

ตารางภาคผนวกที่ ข-2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Total Nitrogen (Total N)	<0.5	%	-	In-house method TE-CH-211 based on AOAC(2012) 993.13
Total Phosphate	Not Detected	%	0.29	In house method TE-CH-183 based on AOAC(2012) 958.01
Potassium	0.38	%	-	In house method TE-CH-191 based on Official Methods of Analysis of Fertilizers. JAPAN (1987)

ที่มา: ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) (2558)

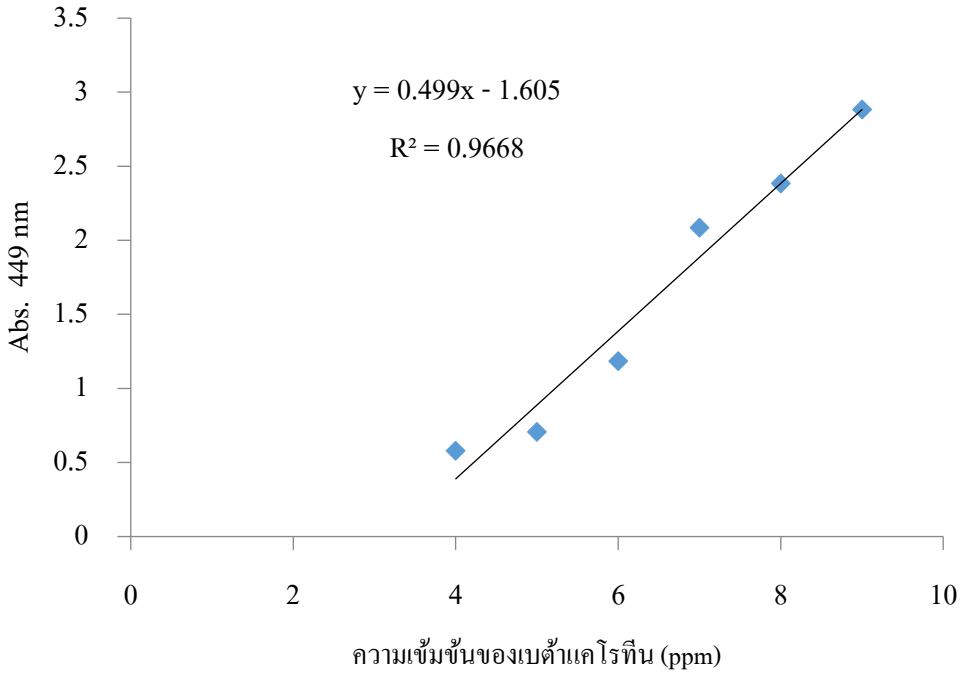
ภาคผนวก ค

การสร้างกราฟมาตรฐาน และการคำนวณ

ปริมาณเบต้าแคโรทีนและกรดแอสคอร์บิก

การสร้างกราฟมาตรฐานของเบต้าแคโรทีน

เข้มข้นของเบต้าแคโรทีน (ppm)	Abs. (449 นาโนเมตร)
4	0.578
5	0.706
6	1.184
7	2.084
8	2.383
9	2.882



ภาพผนวกที่ ค-1 การสร้างกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ

จาก Standard curve สมการเส้นตรงที่ได้ คือ y = 0.499x - 1.605

โดยค่า y = ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จาก Spectrophotometer

x = ค่าความเข้มข้นของสารในตัวอย่าง

หาค่า x จาก y = 0.499x - 1.605

x = y + 1.605/ 0.499

ยกตัวอย่าง y = 0.94 x = 0.94+1.605/ 0.499

x = 5.100

ค่า x = 5.100 ppm (mg/ l, µg/ ml)

นำค่า x ที่ได้มาหาปริมาณเบต้าแคโรทีน

ถ้า สารสกัด 1 ml มีเบต้าแคโรทีน 5.100 µg

สารสกัด 3 ml มีเบต้าแคโรทีน 5.100 x 3/ 1 = 15.3 µg

(ใช้สารสกัด 3 ml ในขั้นตอนการสกัด)

มีเบต้าแคโรทีน 15.3 µg ในตัวอย่างผักกาดขาวไดโตเกียว 1.5 กรัม (ในขั้นตอนบดผักกาดขาวไดโตเกียว 1.5 กรัม ใส่ Flacon tube)

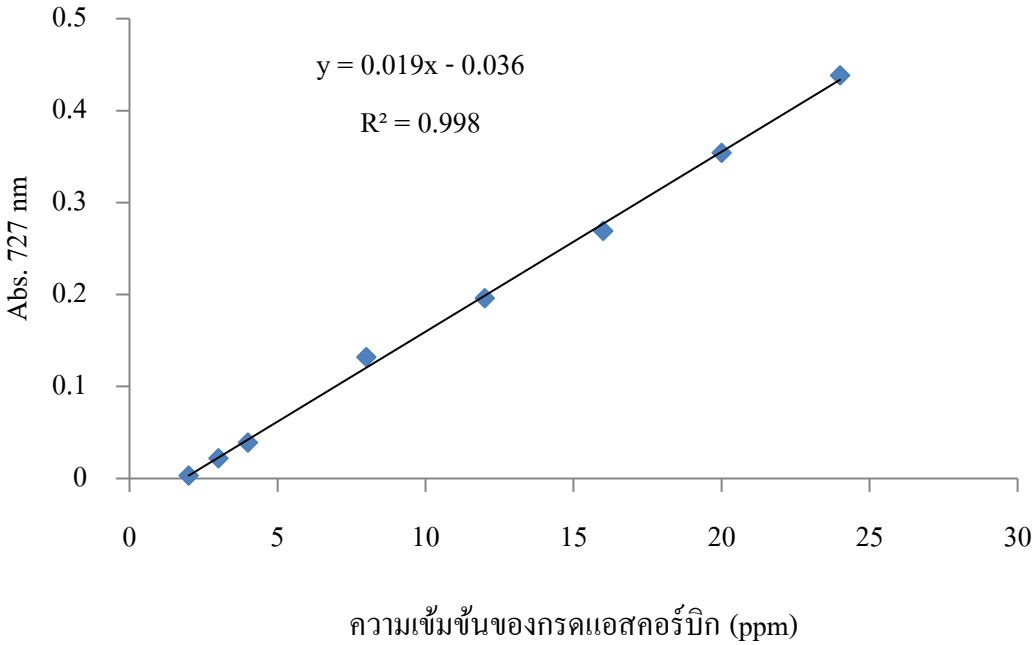
ตัวอย่างผัก 1.5 กรัม มีเบต้าแคโรทีน 15.3 µg

ตัวอย่างผัก 100 กรัม มีเบต้าแคโรทีน 15.3 x 100/ 1.5 = 1,020 µg หรือ 1.020 mg

ดังนั้น ตัวอย่างผักกาดขาวไดโตเกียวมีเบต้าแคโรทีน 1.020 mg/ 100g น้ำหนักสด

การสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก

เข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (ppm)	Abs. (727 นาโนเมตร)
2	0.003
3	0.022
4	0.039
8	0.132
12	0.196
16	0.269
20	0.354
24	0.438



ภาพภาคผนวกที่ ค-2 การสร้างกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิกส์ในใบ

จาก Standard curve สมการเส้นตรงที่ได้ คือ y = 0.019x-0.036

โดยค่า y = ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จาก Spectrophotometer

x = ค่าความเข้มข้นของสารในตัวอย่าง

หาค่า x จาก y = 0.019x-0.036

x = y + 0.036/0.019

ยกตัวอย่าง y = 0.08 x = 0.08+0.036/0.019

x = 6.106

ค่า x =6.105 ppm (mg/ l, µg/ ml)

นำค่า x ที่ได้มาหาปริมาณกรดแอสคอร์บิก

ถ้า สารสกัด 1000 ml มีกรดแอสคอร์บิก 6.105 mg

สารสกัด 25 ml มีกรดแอสคอร์บิก = 6.105 x 25/ 1000

สารสกัด 50 ml มีกรดแอสคอร์บิก = (6.105 x 25x50/ 1000x25) =0.305

มีกรดแอสคอร์บิก 0.305 mg ในตัวอย่างผักกาดขาวไดโตเกียว 1 กรัม (ในขั้นตอนบดผักกาดขาวไดโตเกียว 1 กรัม ใส่ flask)

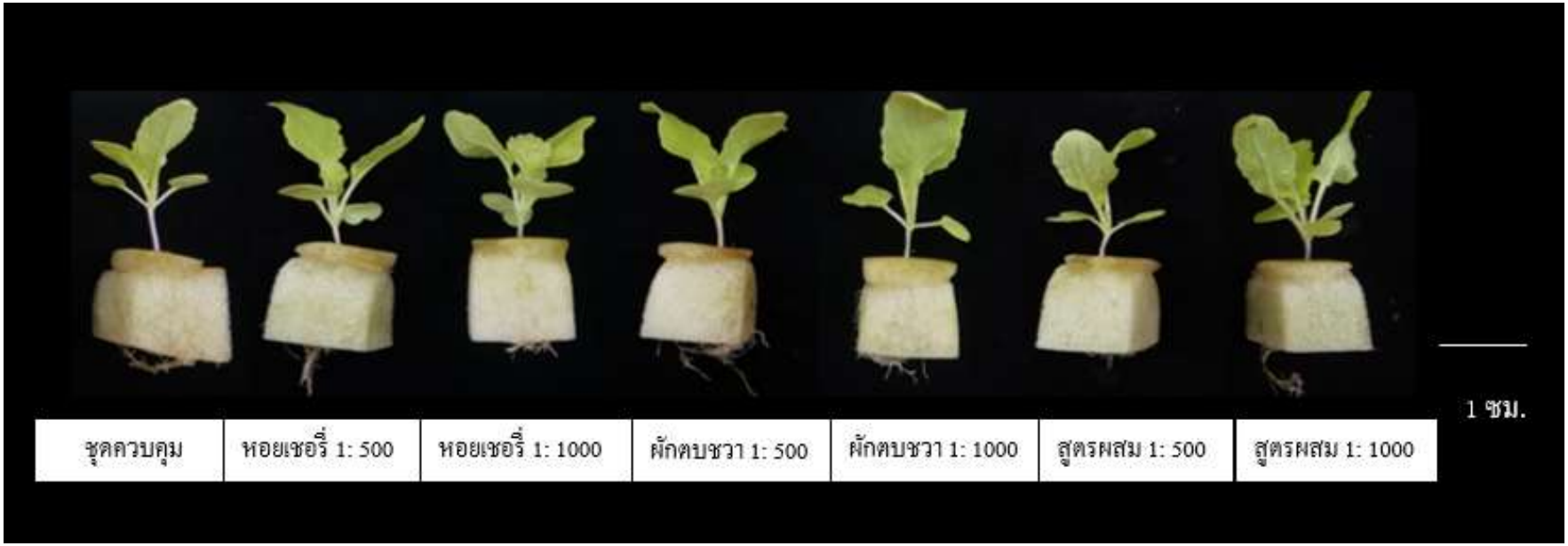
ตัวอย่างผัก 1 กรัม มีกรดแอสคอร์บิก 0.305 mg

ตัวอย่างผัก 100 กรัม มีกรดแอสคอร์บิก 0.305 x 100/ 1 = 30.526 mg

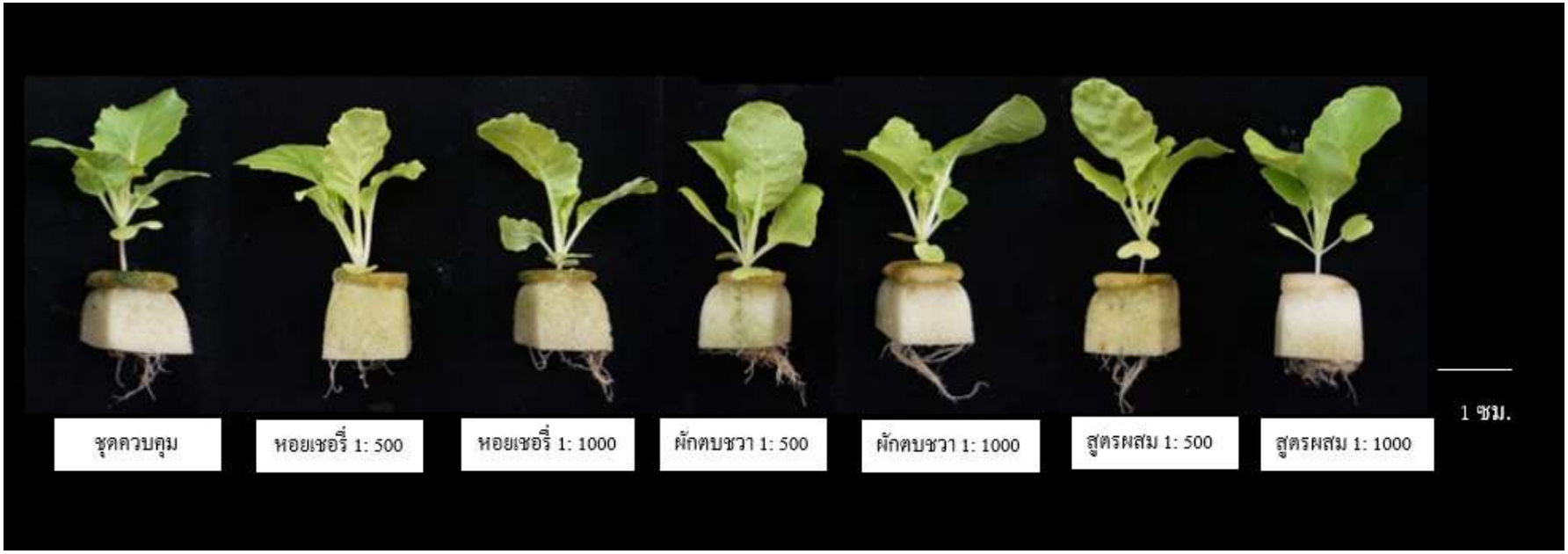
ดังนั้น ตัวอย่างผักกาดขาวไดโตเกียวมีกรดแอสคอร์บิก 30.526 mg/ 100g น้ำหนักสด

ภาคผนวก ง

ภาพการทดลองของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน



ภาคผนวกที่ ง-1 การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ที่ระยะเวลา 0 วัน



ภาคผนวกที่ ง-2 การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ที่ระยะเวลา 7 วัน

ภาคผนวกที่ ง-3 การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพ สูตรผสม ที่ระยะเวลา 14 วัน

ภาคผนวกที่ ง-4 การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ที่ระยะเวลา 21 วัน

ภาคผนวกที่ ง-5 การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ที่ระยะเวลา 28 วัน

ภาคผนวกที่ ง-6 การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียวที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ จากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพ สูตรผสม ที่ระยะเวลา 35 วัน

ภาคผนวก จ

ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและการเปรียบเทียบผลของน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ น้ำหมักชีวภาพจากผักตบชวา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ที่เติมลงในสารละลายธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดขาวไดโตเกียว

ตารางภาคผนวกที่ จ-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 0 วัน

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความสูง	Between Group	.140	6	.023	.407	.861
	Within Groups	.743	13	.057		
	Total	.882	19			
น้ำหนักแห้งรวม	Between Group	.000	6	.000	8.097	.001
	Within Groups	.000	14	.000		
	Total	.001	20			
พื้นที่ใบ	Between Group	103.129	6	17.188	7.122	.001
	Within Groups	33.789	14	2.413		
	Total	136.918	20			
น้ำหนักใบจำเพาะ	Between Group	.304	6	.051	3.526	.024
	Within Groups	.201	14	.014		
	Total	.505	20			
อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น	Between Group	.005	6	.001	1.254	.338
	Within Groups	.009	14	.001		
	Total	.013	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 7 วัน

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความสูง	Between Group	1.442	6	.240	5.165	.005
	Within Groups	.651	14	.047		
	Total	2.093	20			
น้ำหนักแห้งรวม	Between Group	.001	6	.000	.815	.576
	Within Groups	.003	14	.000		
	Total	.004	20			
พื้นที่ใบ	Between Group	180.615	6	30.102	2.029	.129
	Within Groups	207.731	14	14.838		
	Total	388.346	20			
น้ำหนักใบจำเพาะ	Between Group	.323	6	.054	.415	.857
	Within Groups	1.818	14	.130		
	Total	2.142	20			
อัตราส่วนการเจริญเติบโตสัมพัทธ์	Between Group	.016	6	.003	1.765	.179
	Within Groups	.021	14	.001		
	Total	.036	20			
อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น	Between Group	.012	6	.002	5.609	.004
	Within Groups	.005	14	.000		
	Total	.017	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 14 วัน

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความสูง	Between Group	1.220	6	.203	4.217	.012
	Within Groups	.675	14	.048		
	Total	1.894	20			
น้ำหนักแห้งรวม	Between Group	.242	6	.040	4.264	.012
	Within Groups	.133	14	.009		
	Total	.375	20			
พื้นที่ใบ	Between Group	13609.497	6	2268.249	5.994	.003
	Within Groups	5298.269	14	378.448		
	Total	18907.765	20			
น้ำหนักใบจำเพาะ	Between Group	1.697	6	.283	1.796	.172
	Within Groups	2.205	14	.158		
	Total	3.902	20			
อัตราส่วนการเจริญเติบโตสัมพัทธ์	Between Group	.054	6	.009	3.349	.029
	Within Groups	.038	14	.003		
	Total	.092	20			
อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น	Between Group	.003	6	.001	1.354	.298
	Within Groups	.006	14	.000		
	Total	.009	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 14 วัน (ต่อ)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณคลอโรฟิลล์	Between Group	.020	6	.003	3.192	.034
	Within Groups	.015	14	.001		
	Total	.034	20			
ปริมาณแคโรทีนอยด์	Between Group	.003	6	.000	4.315	.011
	Within Groups	.002	14	.000		
	Total	.004	20			
ปริมาณเบต้าแคโรทีน	Between Group	.193	6	.032	17.590	.000
	Within Groups	.026	14	.002		
	Total	.219	20			
ปริมาณกรดแอสคอร์บิก	Between Group	138.682	6	23.114	3.911	.017
	Within Groups	82.732	14	5.909		
	Total	221.414	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 21 วัน

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความสูง	Between Group	.552	6	.092	1.202	.361
	Within Groups	1.072	14	.077		
	Total	1.625	20			
น้ำหนักแห้งรวม	Between Group	3.266	6	.544	2.725	.057
	Within Groups	2.797	14	.200		
	Total	6.063	20			
พื้นที่ใบ	Between Group	116081.450	6	19346.908	8.569	.000
	Within Groups	31609.192	14	2257.799		
	Total	147690.643	20			
น้ำหนักใบจำเพาะ	Between Group	9.042	6	1.507	2.844	.050
	Within Groups	7.418	14	.530		
	Total	16.461	20			
อัตราส่วนการเจริญเติบโตสัมพัทธ์	Between Group	.019	6	.003	1.092	.414
	Within Groups	.041	14	.003		
	Total	.060	20			
อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น	Between Group	.010	6	.002	5.368	.005
	Within Groups	.004	14	.000		
	Total	.014	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 21 วัน (ต่อ)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณคลอโรฟิลล์	Between Group	.012	6	.002	1.609	.217
	Within Groups	.018	14	.001		
	Total	.030	20			
ปริมาณแคโรทีนอยด์	Between Group	.003	6	.000	6.453	.002
	Within Groups	.001	14	.000		
	Total	.003	20			
ปริมาณเบต้าแคโรทีน	Between Group	.067	6	.011	2.592	.067
	Within Groups	.060	14	.004		
	Total	.127	20			
ปริมาณกรดแอสคอร์บิก	Between Group	585.155	6	97.526	15.081	.000
	Within Groups	90.536	14	6.467		
	Total	675.690	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 28 วัน

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความสูง	Between Group	3.435	6	.572	1.086	.417
	Within Groups	7.378	14	.527		
	Total	10.813	20			
น้ำหนักแห้งรวม	Between Group	4.952	6	.825	1.283	.326
	Within Groups	9.006	14	.643		
	Total	13.958	20			
พื้นที่ใบ	Between Group	58284.264	6	9714.044	.662	.681
	Within Groups	205432.193	14	14673.728		
	Total	263716.458	20			
น้ำหนักใบจำเพาะ	Between Group	5.302	6	.884	1.322	.311
	Within Groups	9.358	14	.668		
	Total	14.660	20			
อัตราส่วนการเจริญเติบโตสัมพัทธ์	Between Group	.018	6	.003	1.481	.255
	Within Groups	.029	14	.002		
	Total	.047	20			
อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น	Between Group	.002	6	.000	.968	.481
	Within Groups	.006	14	.000		
	Total	.008	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 28 วัน (ต่อ)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณคลอโรฟิลล์	Between Group	.017	6	.003	1.940	.144
	Within Groups	.021	14	.001		
	Total	.038	20			
ปริมาณแคโรทีนอยด์	Between Group	.002	6	.000	2.037	.128
	Within Groups	.002	14	.000		
	Total	.004	20			
ปริมาณเบต้าแคโรทีน	Between Group	.085	6	.014	7.168	.001
	Within Groups	.028	14	.002		
	Total	.113	20			
ปริมาณกรดแอสคอร์บิก	Between Group	558.390	6	93.065	14.691	.000
	Within Groups	88.689	14	6.335		
	Total	647.079	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 35 วัน

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความสูง	Between Group	10.615	6	1.769	3.070	.039
	Within Groups	8.067	14	.576		
	Total	18.682	20			
น้ำหนักแห้งรวม	Between Group	31.119	6	5.186	2.194	.106
	Within Groups	33.102	14	2.364		
	Total	64.221	20			
พื้นที่ใบ	Between Group	211949.149	6	35324.858	2.603	.066
	Within Groups	189959.143	14	13568.510		
	Total	401908.292	20			
น้ำหนักใบจำเพาะ	Between Group	11.733	6	1.956	.952	.491
	Within Groups	28.768	14	2.055		
	Total	40.501	20			
อัตราส่วนการเจริญเติบโตสัมพัทธ์	Between Group	.008	6	.001	.724	.638
	Within Groups	.027	14	.002		
	Total	.035	20			
อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อต้น	Between Group	.005	6	.001	2.095	.119
	Within Groups	.005	14	.000		
	Total	.010	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาผักกาดขาวไดโตเกียว ที่ระยะเวลา 35 วัน (ต่อ)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณคลอโรฟิลล์	Between Group	.007	6	.001	1.140	.390
	Within Groups	.015	14	.001		
	Total	.021	20			
ปริมาณแคโรทีนอยด์	Between Group	.001	6	.000	2.398	.083
	Within Groups	.001	14	.000		
	Total	.002	20			
ปริมาณเบต้าแคโรทีน	Between Group	.053	6	.009	3.696	.021
	Within Groups	.033	14	.002		
	Total	.086	20			
ปริมาณกรดแอสคอร์บิก	Between Group	1017.427	6	169.571	22.722	.000
	Within Groups	104.478	14	7.463		
	Total	1121.905	20			

ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยในระยะเวลาทำการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ ฉ-1 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยในระยะเวลาทำการทดลอง

ระยะเวลา	วัน/ เดือน/ ปี	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
0	20-26/ 04/ 2558	34.6
7	27-3/ 05/ 2558	36.1
14	4-10/ 05/ 2558	35.5
21	11-17/ 05/ 2558	35.5
28	18-24/ 05/ 2558	36.5
35	25-31/ 05/ 2558	36.5
อุณหภูมิเฉลี่ย		35.88

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดชลบุรี (2558)