ผลของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลา และเศษผักต่อปริมาณสารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณกรดแอสคอร์บิคของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

สุภาพร ราชา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาชีววิทยาศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
กรกฎาคม 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ สุภาพร ราชา ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษาของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

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. อนันต์ อธิพรชัย)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษาของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)
วันที่ 1 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งของ ดร.ศิริพรรณ บรรหาร อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุเทพ ภาสุระ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้องในการค้นคว้าหาความรู้ และประสบการณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน ช่วยตรวจทานแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ และคอยให้กำลังใจมาตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประวีณา มณีรัตนรุ่งโรจน์ ที่ได้สละเวลาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ศิริพรรณ บรรหาร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุเทพ ภาสุระ และ ดร.อนันต์ อธิพรชัย ที่ให้คำแนะนำตลอดจนตรวจทานข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการปรับแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาชีววิทยาทุกท่าน ที่คอยประสิทธิ์ประสาทวิชาและให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา รวมถึงเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุก ๆ คนที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเบิกและยืมอุปกรณ์ ให้คำแนะนำและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ สามี ครอบครัวและพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นความกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

สุภาพร ราชา

56920156: สาขาวิชา: วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต; วท.ม. (ชีววิทยาศึกษา)
คำสำคัญ: น้ำหมักชีวภาพ/ การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์/ ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

สุภาพร ราชา: ผลของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลา และเศษผักต่อปริมาณสารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณกรดแอสคอร์บิคของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ (EFFECTS OF BIOEXTRACT FROM FISH AND VEGETABLE RESIDUES ON PHOTOSYNTHETIC PIGMENT AND ASCORBIC ACID CONTENT IN GREEN OAK (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) GROWN IN HYDROPONIC CULTURE) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ศิริพรรณ บรรหาร, Ph.D., อนุเทพ ภาสุระ, Ph.D. 119 หน้า. ปี พ.ศ. 2559.

การวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากเศษผัก เศษปลา และสูตรผสมระหว่างสูตรเศษผัก และสูตรเศษปลาต่อสารละลายธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโต และลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกอยู่ในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ Nutrient Film Technique (NFT) โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพต่อปริมาตรของสารละลายธาตุอาหารแบบ half strength คือ 1: 500 และ 1: 1000 ศึกษาการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงของลำต้น พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้งรวม อัตราส่วนต้นต่อราก อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และน้ำหนักใบจำเพาะ รวมถึงการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยา ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ เบต้าแคโรทีน และปริมาณกรดแอสคอร์บิค บันทึกผลการทดลองทุก ๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 42 วัน พบว่า ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ความสูงของลำต้น พื้นที่ใบรวมต่อต้น และน้ำหนักแห้งรวมมีค่ามากที่สุด น้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 ทำให้อัตราส่วนต้นต่อรากมีค่ามากที่สุด และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์และน้ำหนักใบจำเพาะมีค่ามากที่สุด นอกจากนี้น้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมากที่สุด และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 ส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ เบต้าแคโรทีน และกรดแอสคอร์บิคในใบมีค่ามากที่สุด จากการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรผสม จากเศษผักและเศษปลามีผลต่อการเจริญเติบโต และเพิ่มปริมาณสารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมากที่สุด

56920139: MAJOR: MASTER OF SCIENCE; M.Sc. (BIOLOGY EDUCATION)
KEYWORDS: BIO-EXTRACT/ HYDROPONIC CULTURE/ GREEN OAK

SUPAPORN RACHA: EFFECTS OF BIOEXTRACT FROM FISH AND VEGETABLE RESIDUES ON PHOTOSYNTHETIC PIGMENT AND ASCORBIC ACID CONTENT IN GREEN OAK (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) GROWN IN HYDROPONIC CULTURE. ADVISORY COMMITTEE: SIRIPAN BANHAN, Ph.D., ANUTHEP PASURA, Ph.D. 119 P. 2016.

This research was conducted to compare the effects of bio-extract from fish and vegetable residues, and the mixture bio-extract from fish and vegetable residues on growth and some physiological characteristics in green oak grown in Nutrient Film Technique (NFT) hydroponics culture. In this experiment, the ratio of the bio-extract per nutrient solution was investigated (half strength) 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, shoot/root ratio, relative growth rate and specific leaf weight. The physiological responses were monitored by measuring photosynthetic pigment contents including chlorophyll, carotenoids, beta-carotene and ascorbic acid. Study recording involved data every 7 days for 42 days after bio-extract treatment. Results of this study revealed that green oak grown in mixture bio-extract from fish and vegetable at the ratio of 1: 1000 had the tendency of producing height, total leaf area and total dry weight. It was found that bio- extract from vegetable residues at the ratio of 1: 500 had the tendency of producing shoot/root ratio and bio-extract from fish residues at the ratio of 1: 1000 had the tendency of producing relative growth rate and specific leaf weight. In addition bio-extract from fish and mixture bio- extract from fish and vegetable at the ratio of 1: 1000 had the tendency of producing photosynthetic pigment contents including chlorophyll mixture bio-extract from fish and vegetable at the ratio of 1: 1000 increased carotenoids, beta-carotene and ascorbic acid. The result indicated that, the mixture of bio-extract from fish and vegetable residues increased growth and photosynthetic pigment contents of green oak more than other treatments.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

สมมติฐานของการวิจัย 2

ขอบเขตการวิจัย 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

สถานที่ทำวิจัย 3

ระยะเวลาการวิจัย 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

พืชที่ใช้ในการทดลอง 4

น้ำหมักชีวภาพ 6

การปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์ ด้วยระบบ NFT 12

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ 13

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ 17

สารสีที่พบในผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค 18

กรดแอสคอร์บิค 21

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

3 วิธีดำเนินการวิจัย 25

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 25

วิธีดำเนินงานวิจัย 28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	บันทึกข้อมูลการทดลอง	30
	การวิเคราะห์ข้อมูล	34
4	ผลการวิจัย	35
	การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค	35
	ความสูงของลำต้น	35
	พื้นที่ใบรวมต่อต้น	39
	น้ำหนักแห้งรวม	43
	อัตราส่วนต้นต่อราก	47
	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์	51
	น้ำหนักใบจำเพาะ	55
	การวิเคราะห์ทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค	59
	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ	59
	ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ	63
	ปริมาณเบต้าแคโรทีนอยด์ในใบ	67
	ปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบ	71
5	อภิปรายและสรุปผลการวิจัย	75
	ผลของน้ำหมักชีวภาพที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค	75
	ผลของน้ำหมักชีวภาพที่มีต่อลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค	77
	สรุปผลการทดลอง	80
	ข้อเสนอแนะ	80
บรรณานุกรม		81

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ภาคผนวก 86

ภาคผนวก ก 87

ภาคผนวก ข 90

ภาคผนวก ค 93

ภาคผนวก ง 98

ภาคผนวก จ 106

ภาคผนวก ฉ 117

ประวัติของผู้วิจัย 119

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	คุณสมบัติทั่วไปของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตโดยใช้วัสดุหลักต่าง ๆ	9
2-2	ปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตโดยใช้วัสดุหลักต่าง ๆ	10
2-3	ปริมาณฮอร์โมนในน้ำหมักชีวภาพ	11
2-4	ปริมาณเอนไซม์บางชนิดในน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิด	12
3-1	ปริมาตรและสารต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิค	34
4-1	ความสูงของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (เซนติเมตร) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	37
4-2	พื้นที่ใบรวมต่อต้นของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (ตารางเซนติเมตร) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	41
4-3	น้ำหนักแห้งรวมของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (กรัม) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	45
4-4	อัตราส่วนของลำต้นต่อรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	49
4-5	อัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์ของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	53
4-6	น้ำหนักใบจำเพาะของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-7	ปริมาณ Total chlorophyll ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	61
4-8	ปริมาณ Carotenoids ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	65
4-9	ปริมาณ β-carotene ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	69
4-10	ปริมาณ Ascorbic acid ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	73
ก-1	วิธีการเตรียม Stock solution ของสารละลายธาตุอาหารพืช	88
ก-2	องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกต้นไม้	89
ข-1	ผลการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพจากเศษปลา	91
ข-2	ผลการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพจากเศษผัก	92
ค-1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีนกับค่าดูดกลืนแสงของใบผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค	94
ค-2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิคกับค่าดูดกลืนแสงของใบผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค	95
จ-1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 7 วัน)	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

จ-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 14 วัน) 108

จ-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 21 วัน) 109

จ-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะและอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 28 วัน) 110

จ-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 35 วัน) 111

จ-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 42 วัน) 112

จ-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll) ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β-carotene) และปริมาณกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid) (ระยะเวลา 21 วัน) 113

จ-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll) ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β-carotene) และปริมาณกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid) (ระยะเวลา 28 วัน) 114

จ-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll) ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β-carotene) และปริมาณกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid) (ระยะเวลา 35 วัน) 115

จ-10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll) ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β-carotene) และปริมาณกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid) (ระยะเวลา 42 วัน) 116

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค 4

2-2 ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค 6

2-3 ระบบการปลูกแบบ NFT 13

2-5 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ ($R=CH_3$) และคลอโรฟิลล์บี (R=CHO) 19

2-6 สูตรโครงสร้างของเบต้าแคโรทีน 21

2-7 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิค 22

4-1 ความสูงของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (เซนติเมตร) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน 38

4-2 พื้นที่ใบรวมต่อต้นของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (ตารางเซนติเมตร) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน 42

4-3 น้ำหนักแห้งรวมของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (กรัม) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน 46

4-4 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (กรัม/ กรัม/ วัน) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน 50

4-5 น้ำหนักใบจำเพาะของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัม/ ตารางเซนติเมตร) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน 54

4-6 อัตราส่วนของลำต้นต่อรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน 58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-7 ปริมาณ Total chlorophyll ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน 62

4-8 ปริมาณ Carotenoids ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน 66

4-9 ปริมาณ β-carotene ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน 70

4-10ปริมาณ Ascorbic acid ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน 74

ค-1 การสร้างกราฟมาตรฐานเบต้าแคโรทีนในการวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค 94

ค-2 การสร้างกราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิคในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค 96

ง-1 การเจริญของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ระยะเวลา 0 วัน 99

ง-2 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักเศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลาต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 7 วัน 100

ง-3 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักเศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลาต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 14 วัน 101

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ง-4 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลา ต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 21 วัน 102

ง-5 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลา ต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 28 วัน 103

ง-6 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลา ต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 35 วัน 104

ง-7 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลา ต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 42 วัน 105

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันกระแสการบริโภคผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพื่อสุขภาพมีมากขึ้น ผักกาดหอมจัดเป็นผักชนิดหนึ่งที่มีผู้นิยมบริโภคกันมาก จนได้รับสมญานามว่าเป็น The king of salad plant เนื่องจากเป็นผักที่ให้คุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะไฟเบอร์ แคลเซียม วิตามินซี วิตามินเอ และยังอุดมไปด้วยสารเบต้าแคโรทีนในปริมาณสูง ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) (George Matelian Foundation, 2006) ผักกาดหอมมีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียและยุโรปแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน เป็นผักที่บริโภคส่วนใบ นิยมนำมาบริโภคเป็นผักสลัดที่มีคุณค่าทางอาหารสูง (เมฆ จันทน์ประยูร, 2541)

จากการที่ผักกาดหอมเป็นหนึ่งในตระกูลผักสลัดที่ได้รับความนิยม ปลูกไว้กินเองมาก โดยส่วนใหญ่ที่ขายในตลาดเป็นผักที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) เพื่อให้ได้ผักที่สด สะอาด ปลอดภัย และสามารถเพิ่มผลผลิตได้ตลอดทั้งปี (ลลนา แสงอาทิตย์, 2557) ซึ่งระบบไฮโดรโปนิกส์เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูก กล่าวคือ จะปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารโดยให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ได้รับการพัฒนามาใช้ในระบบการผลิตพืชเชิงพาณิชย์รวมทั้งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กโดยเฉพาะในชุมชนเมือง แต่การปลูกพืชแบบนี้อาจมีการใช้สารเคมีหรือปุ๋ยเคมีในการปลูกเป็นปริมาณมาก โดยพืชจะเจริญเติบโตอยู่ในสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมจากสารเคมีหลายชนิด อาจทำให้ผู้บริโภคมีความวิตกกังวลในเรื่องสารพิษตกค้างจากสารเคมีได้ (จิรวัฒน์ ภู่เสริมภูมิ, 2552) ซึ่งระบบไฮโดรโปนิกส์ต้องใช้ฮอร์โมนหรือปุ๋ยสังเคราะห์เป็นธาตุอาหารทำให้พืชเจริญเติบโต ถ้าใช้มากเกินกว่าความต้องการจะทำให้เกิดการสะสมสารไนเตรทเมื่อรับประทานเข้าไปก็จะเกิดการสะสมในร่างกาย ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง จึงมีการคิดค้นนำปุ๋ยที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำหมักชีวภาพมาใช้ร่วมกับสารละลายสังเคราะห์หรือสารเคมี เพื่อเป็นการลดการใช้ปริมาณสารละลายสังเคราะห์ในการปลูกพืชให้น้อยลง (วิภาภรณ์ วรรณกรี, 2555) รวมถึงน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ ประกอบด้วย ธาตุอาหารพืช เชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในท้องถิ่น สารเร่งการเจริญเติบโตของพืช สารป้องกันแมลง แร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ ซึ่งสารประกอบดังกล่าวจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับวัสดุอินทรีย์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการหมัก ดังนั้นในการผลิตน้ำหมักชีวภาพจึงควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์เป็นหลัก (อานัฐ ตันโช, 2556)

จากคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ของน้ำหมักชีวภาพ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตเองจากเศษผักและเศษปลา ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากบ้านเรือน ตลาด และชาวประมง รวมถึงเป็นประโยชน์ในการกำจัดเศษพืช เศษสัตว์เหล่านี้ที่เหลือใช้จากการเกษตรให้มีคุณค่ามากขึ้นโดยนำน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตขึ้นเองมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำหมักแต่ละชนิดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) ที่เจริญเติบโตอยู่ในระบบไฮโดรโปนิกส์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับแนวทางการผลิตพืชแบบปลอดสารพิษที่มีการผนวกเอาเกษตรอินทรีย์เข้ามาร่วมด้วย อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการลดการใช้สารเคมีและลดต้นทุนในการปลูกพืชในระบบนี้ รวมถึงได้ผักที่ปลอดสารพิษและปลอดภัยต่อผู้บริโภคอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลาและน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักและสูตรเศษปลา ต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่มีผลต่อการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโต และลักษณะทางสรีรวิทยาในด้านการสร้างปริมาณสารสีในใบ และปริมาณกรดแอสคอร์บิคของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

สมมติฐานของการวิจัย

น้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และสูตรผสมระหว่างน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักและสูตรเศษปลาต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน มีผลต่อการตอบสนองทางด้านเจริญเติบโต และลักษณะทางสรีรวิทยาในด้านการสร้างปริมาณสารสีในใบ และปริมาณกรดแอสคอร์บิคของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คได้แตกต่างกัน

ขอบเขตการวิจัย

1. พืชที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.)
2. ปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ Nutrient Film Technique (NFT) ในน้ำหมักชีวภาพชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก น้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาและน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม (น้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักและน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลา) ร่วมกับสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000

4. บันทึกการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ได้แก่ ความสูงของลำต้น พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้งรวม อัตราส่วนต้นต่อราก อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และน้ำหนักใบจำเพาะ

5. บันทึกลักษณะทางสรีรวิทยาในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ แคโรทีนอยด์ในใบ เบต้าแคโรทีนในใบ และกรดแอสคอร์บิคในใบ

6. เก็บตัวอย่างวิเคราะห์และบันทึกผลทุก ๆ 7 วัน คือ วันที่ 0, 7, 14, 21, 28, 35 และ 42

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิด รวมถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้น้ำหมักชีวภาพร่วมกับสารละลายธาตุอาหาร กับการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

2. เพื่อเป็นแนวทางในการทดลองเกี่ยวกับน้ำหมักชีวภาพ แก่เกษตรกรและบุคคลที่สนใจในการใช้น้ำหมักชีวภาพร่วมกับสารละลายธาตุอาหาร เพื่อลดการใช้สารเคมีในการปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คในระบบไฮโดรโปนิกส์

สถานที่ในการวิจัย

เรือนเพาะชำภาควิชาชีววิทยา และห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาของพืช ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

ระยะเวลาของการวิจัย

ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558-เดือนกรกฎาคม 2559

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พืชที่ใช้ในการทดลอง

ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* var. *crispa* L. จัดอยู่ในกลุ่มของผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) หรือผักสลัด ซึ่งอยู่ในวงศ์ Asteraceae ลักษณะเด่นคือมียางสีขาวคล้ายน้ำนม (latex) อันเป็นสาเหตุของรสขม เจริญเติบโตได้ดีในอากาศหนาวเย็น (มนูญ ศิรินุพงศ์, 2544)

ภาพที่ 2-1 ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่นิยมปลูกในไทยมี 2 แบบ คือ

1) พันธุ์ใบ (Oak Leaf) เช่น Green Oak, Red Oak, Red Coral, Frilled Iceberg และ Cos อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 21-26 องศาเซลเซียส (มนูญ ศิรินุพงศ์, 2544)

2) พันธุ์ห่อหัว (Head type) เช่น Butter Head ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 15.5-21 องศาเซลเซียส (มนูญ ศิริพงศ์, 2544)

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก มีระบบรากแก้วที่เจริญหยั่งลึกลงไปในดินอย่างรวดเร็ว ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสามารถเติบโตได้ถึง 1 นิ้วต่อวันและเจริญลึกลงไปถึง 6 ฟุต รากแขนงจะอยู่อย่างหนาแน่นในระดับความลึก 30 เซนติเมตร (เมฆ จันทน์ประยูร, 2541)

ลำต้น ในระยะแรกจะมองไม่ค่อยเห็น เนื่องจากใบมักจะปกคลุมไว้จะเห็นชัดก็ต่อเมื่อระยะแทงช่อดอก ลักษณะลำต้นผักกาดหอมจะตั้งตรงสูงชะลูดขึ้นจนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ลำต้นมีลักษณะอวบอ้วน ถ้าปลูกในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก ๆ จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 2 นิ้ว ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อสั้น แต่ละข้อจะเห็นที่เกิดของใบ (เมฆ จันทน์ประยูร, 2541)

ใบ จะแตกออกมาจากลำต้นโดยรอบ มีลักษณะรูปร่างใบเรียบหรือมีหยักหรือบิดงอ มีใบอ่อนนิ่มมีสีเขียวอ่อนจนถึงสีเขียวเข้ม (เมฆ จันทน์ประยูร, 2541)

ดอกและช่อดอก มีลักษณะเป็นช่อแบบที่เรียกว่า panicle สูง 2-4 ฟุต ประกอบด้วยกลุ่มดอกที่อยู่เป็นกระจุกตรงยอด แต่ละกลุ่มดอกประกอบด้วยดอกย่อย 10-25 ดอกต่อช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลืองหรือขาวปนเหลือง (เมฆ จันทน์ประยูร, 2541)

เมล็ด เป็นชนิดเมล็ดเดียว (achene) ซึ่งเจริญมาจากรังไข่อันเดียว เมล็ดจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง เปลือกเมล็ดจะไม่แตก เมื่อเมล็ดแห้งเมล็ดมีลักษณะยาวหัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มีเส้นเล็ก ๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่ผิวเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีสีเทาปนครีม ความยาวของเมล็ดประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร (เมฆ จันทน์ประยูร, 2541)

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอม

ในผักกาดหอม 100 กรัมให้พลังงาน 15 กิโลแคลอรี่ และพบคาร์โบไฮเดรต 2.87 กรัม น้ำ 94.98 กรัม น้ำตาล 0.78 กรัม เส้นใย 1.3 กรัม ไขมัน 0.15 กรัม โปรตีน 1.36 กรัม วิตามินเอ 7,405 หน่วยสากล วิตามินบี 1 0.07 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.08 มิลลิกรัม วิตามินบี 3 0.375 มิลลิกรัม วิตามินบี 6 0.09 มิลลิกรัม วิตามินบี 9 38 ไมโครกรัม วิตามินซี 9.2 มิลลิกรัม วิตามินอี 0.22 มิลลิกรัม วิตามินเค 126.3 ไมโครกรัม ธาตุแคลเซียม 36 มิลลิกรัม ธาตุเหล็ก 0.86 มิลลิกรัม ธาตุแมกนีเซียม 13 มิลลิกรัม ธาตุฟอสฟอรัส 29 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 194 มิลลิกรัม ธาตุโซเดียม 28 มิลลิกรัม ธาตุสังกะสี 0.18 มิลลิกรัม (USDA Nutrient database, 2016)

2.1.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกผักกาดหอมโอ๊คลีฟ

ผักกาดหอมโอ๊คลีฟเป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 10-24 องศาเซลเซียส ซึ่งในสภาพอุณหภูมิสูง เป็นสาเหตุทำให้พืชมีการ

เจริญเติบโตทางใบลดลง และพืชสร้างสารคล้ายน้ำนม หรือยาง เส้นใยสูง เหนียว และมีรสขมสภาพดินที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกควรเป็นดินร่วน มีความอุดมสมบูรณ์ และมีอินทรีย์วัตถุสูง หน้าดินลึก และอุ้มน้ำได้ดีปานกลาง สภาพความเป็นกรดด่างของดินอยู่ระหว่าง 6.0-6.5 พื้นที่ปลูกควรเป็นพื้นที่โล่ง และได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่ เนื่องจากใบผักกาดหอมมีลักษณะบาง ไม่ทนต่อฝน ดังนั้นในช่วงฤดูฝนควรปลูกในโรงเรือน ส่วนสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ระดับความเข้มข้นของสารละลาย EC (Electrical Conductivity) มีค่าเท่ากับ 0.8-1.0 mS/cm ระดับ pH ของสารละลาย มีค่าเท่ากับ 6.0-6.8 ต้องการแสงเต็มที่ตลอดเวลา ในพวกที่เป็นใบต้องการอุณหภูมิ 21-26 องศาเซลเซียส (มนูญ ศิริพงศ์, 2544)

(a) (b) (c)

(d) (e)

ภาพที่ 2-2 ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (a) ราก (b) ลำต้น (c) ใบ (d) ดอก (e) เมล็ด (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2554)

2.2 น้ำหมักชีวภาพ

กรมวิชาการเกษตร (2549) ได้ให้ความหมายของน้ำหมักชีวภาพไว้ว่า น้ำหมักชีวภาพเป็นวิธีการสกัดน้ำเลี้ยงจากเซลล์พืชหรือเซลล์สัตว์ ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์โดยใช้น้ำตาลหรือกากน้ำตาล (Molasses) ใส่ลงไป จะได้น้ำเลี้ยงที่สกัดออกมาเป็นสีน้ำตาล โดยกระบวนการพลาสโมไลซิส (Plasmolysis) และน้ำเลี้ยงที่ได้จะถูกจุลินทรีย์ในธรรมชาติ และที่ติด

มากับวัสดุที่นำมาหมักดำเนินกระบวนการหมักต่อไปโดยใช้กากน้ำตาลและสารประกอบอินทรีย์จากวัสดุเหล่านั้นเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะทำการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ให้มีโมเลกุลขนาดเล็กลงตามลำดับ น้ำหมักที่ได้นี้จะมีทั้งจุลินทรีย์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างหลากหลายชนิด รวมทั้งมีสารประกอบที่สกัดได้จากเซลล์พืชหรือเซลล์สัตว์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน และเอนไซม์ เป็นต้น ปริมาณที่ได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำเลี้ยงในต้นพืช โดยปกตินำ้เลี้ยงในต้นพืชสดจะมีอยู่ประมาณ 90-98 % ถ้าส่วนของพืชมีน้ำมาก น้ำสกัดก็จะเกิดขึ้นมาก

พันธิตร์ มะลิสุวรรณ (2549) กล่าวว่าน้ำหมักชีวภาพคือ สารละลายเข้มข้นที่ได้จากการหมักเศษพืชหรือสัตว์ ซึ่งจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ โดยใช้กากน้ำตาลเป็นคาร์บอน ซึ่งใช้เป็นพลังงานให้แก่จุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก กระบวนการหมักมี 2 แบบ คือ แบบต้องการออกซิเจน (แบบเปิดฝา) และแบบไม่ต้องการออกซิเจน (แบบปิดฝา) ในกระบวนการหมักที่สมบูรณ์จะได้สารต่าง ๆ ที่สามารถพบได้ในน้ำหมัก ได้แก่ สารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน เอนไซม์ ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาหมัก

ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์ และศิริธรรม สิงห์โต (2550) กล่าวว่าน้ำหมักชีวภาพหมายถึงสารละลายหรือน้ำที่ได้จากการย่อยสลายเศษวัสดุเหลือใช้จากส่วนต่าง ๆ ของพืชหรือสัตว์ให้กลายเป็นธาตุอาหารพืช กรดอะมิโน และฮอร์โมนพืชชนิดต่าง ๆ โดยผ่านกระบวนการหมักในสภาพไร้อากาศ

จากความหมายที่ได้กล่าวมาข้างต้นอาจสรุปได้ว่า น้ำหมักชีวภาพ หรือน้ำสกัดชีวภาพ หรือปุ๋ยหมักชีวภาพ เป็นคำที่มีความหมายเดียวกัน หมายถึง เป็นสารละลายเข้มข้นที่ได้จากการหมักเศษวัสดุเหลือใช้จากส่วนต่าง ๆ ของพืชหรือสัตว์ในลักษณะสด โดยใช้น้ำตาล หรือกากน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานแก่จุลินทรีย์ ในกระบวนการหมักในสภาพไร้อากาศ สารละลายเข้มข้นที่ได้อาจมีสีน้ำตาลเข้มกรณีที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวหมัก หรือมีสีน้ำตาลอ่อนเมื่อใช้น้ำตาลชนิดอื่นเป็นตัวหมัก หากผ่านกระบวนการหมักที่สมบูรณ์จะพบสารประกอบคาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน เอนไซม์ ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทและส่วนประกอบของพืชและสัตว์ที่ใช้

2.2.1 ประเภทของน้ำหมักชีวภาพ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพืช น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพืชที่ได้จากส่วนประกอบต่าง ๆ ของพืช เช่น กาบใบ ก้านใบ กิ่ง ราก เมล็ดและเปลือกผล โดยนำเศษพืชสดใส่ในภาชนะมีฝาปิดปากกว้าง นำกากน้ำตาลมาผสมกับเศษผักที่เตรียมไว้ จัดเรียงเศษผักเป็นชั้น ๆ โดยใส่น้ำตาลทับสลับกันกับเศษผัก อัตราส่วนของน้ำตาลต่อเศษผักเท่ากับ 1: 3 หมักในสภาพไม่มีอากาศโดย

บรรจุลงในภาชนะให้แน่น และปิดฝาภาชนะ ตั้งในที่ร่ม ประมาณ 3-7 วันจะเกิดของเหลวสีน้ำตาล มีกลิ่นหอม ของเหลวที่ได้เป็นน้ำสกัดจากเซลล์พืชผัก ซึ่งประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน เอนไซม์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำพืชสมุนไพรมาผลิตให้ได้สารสกัดที่มีฤทธิ์ทางสมุนไพรในการดูแลรักษา หรือช่วยในการเจริญเติบโตของพืช เช่น การป้องกันแมลง หรือโรคพืช ซึ่งวิธีการนำปุ๋ยน้ำชีวภาพไปใช้ก็จะแตกต่างกันออกไป (ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์, 2551)

2) น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากสัตว์ ได้จากการย่อยสลาย เศษอวัยวะ ได้แก่ หัวปลา ก้างปลา หางปลา พุงปลา และเลือด โดยใช้เอนไซม์ ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ วัตถุดิบจากสัตว์ที่นำมาทำปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพนั้นจะเป็นส่วนประกอบของสัตว์ที่เหลือจากการแปรรูป เช่น เศษปลาสดตามท้องตลาดที่แม่ค้าขายปลาคัดทิ้ง นอกจากนี้ยังมีปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอร์รี่ที่เป็นปัญหาของเกษตรกร เพื่อนำมาทำน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากหอยเชอร์รี่สามารถบดเนื้อหอยรวมกับเปลือกได้เช่นเดียวกับการทำปุ๋ยน้ำชีวภาพจากเปลือกไข่ หรือเปลือกหอยอื่น ๆ ซึ่งปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ได้ก็จะมีองค์ประกอบที่ได้จากเปลือกเหล่านี้ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส โดยที่พืชสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตได้ (ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์, 2551)

2.2.2 คุณลักษณะของน้ำหมักชีวภาพ

2.2.2.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีความสัมพันธ์กับชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ โดยค่า pH ของน้ำหมักมักจะมีความเป็นกรด ซึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดอะซิติกหรือกรดแลกติกออกมาในกระบวนการหมัก การที่ค่า pH ของน้ำหมักเป็นกรดแสดงว่ามีการหมักเกิดขึ้นและหากค่า pH ของน้ำหมักอยู่ระหว่าง 3.0-4.0 แสดงว่ากระบวนการหมักสมบูรณ์ ดังตารางที่ 2-1 (อานัฐ ตันโช, 2549)

2.2.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของธาตุอาหาร และสารประกอบอนินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำหมักชีวภาพ แต่เป็นปริมาณโดยรวม ค่าการนำไฟฟ้านี้ไม่สามารถบอกถึงปริมาณของธาตุ หรือสารตัวใดตัวหนึ่งได้ว่ามีปริมาณเท่าใด ถ้ามีค่าการนำไฟฟ้าสูงแสดงว่ามีปริมาณธาตุอาหารอยู่มากค่าการนำไฟฟ้ามักจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก โดยน้ำหมักจากเศษสัตว์จะมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าน้ำหมักจากเศษพืช และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักจากพืชสีเขียวจากมีค่าสูงกว่าน้ำหมักจากผลไม้ ดังตารางที่ 2-1 (อานัฐ ตันโช, 2549)

2.2.2.3 กรดฮิวมิก (Humic Acid) ในน้ำหมักจากหอยเชอร์รี่มีปริมาณกรดฮิวมิกสูงกว่าน้ำหมักชนิดอื่น มีปริมาณระหว่างร้อยละ 3.07-4.45 ส่วนน้ำหมักจากพืชมีกรดฮิวมิกร้อยละ 0.48-1.07 ดังแสดงในตารางที่ 2-1 กรดฮิวมิกมีคุณสมบัติคล้ายกับฮอร์โมนพืช บริเวณดินที่มี

อินทรียวัตถุสูง หรือมีกรดฮิวมิกมากจะมีปริมาณฮอร์โมนออกซินอยู่มาก ซึ่งจะช่วยเร่งการเจริญเติบโตของรากและลำต้นได้ดี (อานัฐ ตันโช, 2549)

2.2.2.4 กรดอินทรีย์ (Oganic Acid) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำหมักถ้ามีค่าเป็นกรดสูงแสดงว่าในน้ำหมักมีกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เกิดขึ้นมากในระหว่างการหมัก กรดอินทรีย์ดังกล่าวได้แก่ กรดอะซิติก และกรดแลคติกที่เกิดจากจุลินทรีย์ โดยกรดอินทรีย์เหล่านี้มีประโยชน์ เช่น เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก ช่วยควบคุมการเจริญของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย ช่วยละลายสารประกอบอนินทรีย์ของแร่ธาตุบางชนิดให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ เช่น สารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตพวกแคลเซียมฟอสเฟตในดิน กรดอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำหมักชีวภาพจะช่วยละลายธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสออกมาสู่สารละลายดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (อานัฐ ตันโช, 2549)

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตโดยใช้วัสดุหลักต่าง ๆ

คุณสมบัติ	พืช	สมุนไพร	ปลา	หอย	ผสม
ค่า pH	3.30-5.10	3.50-8.80	3.60-6.20	3.40-8.40	3.70-9.00
การนำไฟฟ้า (dS/ m)	0.12-8.54	0.17-9.85	3.10-33.80	0.24-10.92	0.63-12.52
อินทรีย์คาร์บอน (%)	0.14-18.88	0.04-21.49	3.20-19.40	0.12-20.59	1.02-14.25
กรดฮิวมิก (%)	0.03-0.98	0.03-0.50	0.01-0.35	0.004-0.42	0.03-0.18

ที่มา: อานัฐ ตันโช (2556)

2.2.2.5 ปริมาณธาตุอาหารพืช

1) ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก แบ่งเป็น ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นธาตุที่มีความจำเป็นที่พืชต้องการในปริมาณมาก แต่พืชมีอัตราการนำไปใช้ได้น้อย ส่วนธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณรองลงมาจากธาตุอาหารหลัก ดังตารางที่ 2-2 (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

2) ธาตุอาหารเสริม (จุลธาตุ) พืชต้องการในปริมาณน้อยแต่ก็มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช ถ้าหากพืชขาดธาตุอาหารเหล่านี้พืชจะไม่เจริญเติบโตทำให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตพืชต่ำลงแต่ถ้ามากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อพืช ธาตุในกลุ่มนี้ได้แก่

เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดินัม และคลอรีนดังตารางที่ 2-2 (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

ตารางที่ 2-2 ปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตโดยใช้วัสดุหลักต่าง ๆ

ธาตุอาหารพืช	น้ำหมักชีวภาพจากวัสดุต่าง ๆ				
	พืช	สมุนไพร	หอย	ปลา	ผสม
N (%)	0.05-1.65	0.10-1.80	0.28-1.29	0.32-2.00	0.06-1.82
P_2O_5 (%)	0.01-0.26	0.01-0.26	0.003-0.35	0.01-3.78	0.01-3.41
K_2O (%)	0.02-1.89	0.03-3.38	0.04-1.53	0.38-1.72	0.02-4.93
แคลเซียม (%)	0.008-0.95	0.007-0.87	0.02-2.26	0.09-1.08	0.013-2.57
แมกนีเซียม (%)	0.001-0.22	0.006-0.33	0.01-0.84	0.05-0.25	0.002-0.22
กำมะถัน (%)	0.006-0.38	0.01-0.26	0.01-0.28	0.07-0.35	0.01-0.58
เหล็ก (ppm)	10-730	13-100	7-980	48-530	10-1,100
แมงกานีส (ppm)	1-120	1-100	1-750	8-72	4-200
ทองแดง (ppm)	1-6	1-32	4-40	5-8	2-70
สังกะสี (ppm)	3-230	1-74	2-30	15-35	4-150
โบรอน (ppm)	3-40	2-95	3-40	5-19	2-40
โมลิบดินัม (ppm)	-	-	-	-	-
คลอรีน (ppm)	0.01-1.07	0.02-1.28	0.09-0.58	0.13-8.52	0.03-1.01

ที่มา: อานัฐ ตันโช (2556)

2.2.2.6 ฮอร์โมนพืช บทบาทของฮอร์โมนที่มีต่อการเจริญของพืชและจุลินทรีย์จะพบว่ามีฮอร์โมน 3 ชนิดที่มีความสำคัญต่อพืชและจุลินทรีย์ คือ ออกซิน จิบเบอร์เรลริน และไซโตไคนิน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-3 (อานัฐ ตันโช, 2549)

1) ออกซิน (auxin) ช่วยให้พืชเกิดรากฝอยและรากแขนงเพิ่มขึ้น เซลล์พืชมีการขยายตัวมากขึ้น การแบ่งเซลล์ของพืชมากขึ้น การติดผลดีขึ้นและการเจริญเติบโตดี ส่งเสริมการออกดอก กระตุ้นการสุกของผล เพิ่มกิจกรรมเอนไซม์

2) จิบเบอเรลลิน (gibberellin) ที่มีบทบาทต่อพืช กระตุ้นการแบ่งเซลล์ของพืช การยืดตัวของลำต้นมากขึ้นชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดพืช การติดผลดีขึ้น กระตุ้นการสุกของผล ส่งเสริมการออกดอก และพัฒนาการเกิดหน่อข้าง

3) ไซโตไคนิน (cytokinin) ที่มีบทบาทต่อพืช เพิ่มการแบ่งตัวของเซลล์พืช ส่งเสริมการพัฒนารากพืช ส่งเสริมการเกิดรากขนอ่อน ทำให้เกิดหน่ออ่อน ทำให้เกิดตาดอกเกิดการขยายตัวของใบเพิ่มขึ้น และเพิ่มอัตราการเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสง

4) กรดแอบไซซิค (Abscisic Acid: ABA) มีผลในการยับยั้งการเจริญของพืช ไม่ให้เกิดขึ้นในสภาวะที่สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น ยับยั้งการงอกของเมล็ด การเปิดปิดของปากใบ การร่วงของใบและผล

5) เอธิลีน (Ethylene) มีผลในการควบคุมการออกดอก การสุกแก่ของผล ทำลายการพักตัวของตา และเมล็ดพืชบางชนิด

ตาราที่ 2-3 ปริมาณฮอร์โมนในน้ำหมักชีวภาพ

ชนิดน้ำหมักชีวภาพ	**ฮอร์โมน (มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร)**		
	ออกซิน	**จิบเบอร์เรลลิน**	**ไซโตไคนิน**
น้ำหมักชีวภาพจากปลา	4.01	33.07	3.05
น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้รวม	48.04	360.60	25.60
น้ำหมักชีวภาพจากผักรวม	1.41	1.20	12.01
น้ำหมักชีวภาพจากสมุนไพร	0.62	0.54	5.65

ที่มา: อานัฐ ตันโช (2549)

2.2.2.7 เอนไซม์ (Enzymes) ในน้ำหมักพบว่ามีเอนไซม์ที่เป็นประโยชน์หลายชนิด ได้แก่ เอนไซม์ฟอสฟาเทส ซึ่งพบมากในน้ำหมักจากเศษปลา หรือหอยเชอรี่ และยังมีเอนไซม์เซลลูเลสที่พบมากในน้ำหมักจากพืชสีเขียวและผลไม้ โดยเอนไซม์เซลลูเลสในน้ำหมักจะช่วยย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในดิน ซึ่งอยู่ในรูปที่พืชยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้พืชและจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ดังแสดงในตารางที่ 2-4 (อานัฐ ตันโช, 2549)

2.2.2.8 จุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพ มีปริมาณที่แตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของน้ำหมักชีวภาพตัวอย่างเช่น *Lactobacillus* sp. ใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน ในสภาพที่ไม่มี

ออกซิเจน ซึ่งเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกส่วน *Bacillus* sp. เป็นแบคทีเรียที่แปรสภาพฟอสฟอรัส และแปรสภาพอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นอนินทรียไนโตรเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนีย แบคทีเรียชนิดนี้สามารถผลิตเอนไซม์ protease ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโน *Streptococcus* sp. จะใช้แอลกอฮอล์เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน เปลี่ยนเป็นกรดอะซีติกในสภาพที่มีออกซิเจน จึงเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตกรดอะซีติก เป็นต้น

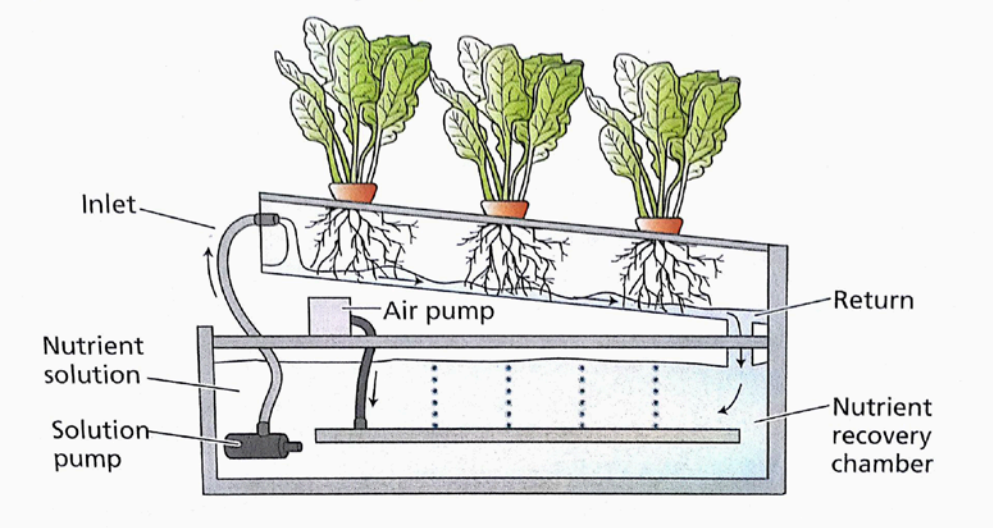
ตาราที่ 2-4 ปริมาณเอนไซม์บางชนิดในน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิด

ชนิดน้ำหมักชีวภาพ	เอนไซม์ (มิลลิยูนิต/ มิลลิลิตร)		ปริมาณโปรตีน
	เซลลูเลส	ฟอสฟาเทส	(ไมโครกรัม/ มิลลิลิตร)
ปลา	85.6	379.2	603.1
หอยเชอรี่	68.4	301.7	763.9
ผักรวม	579.4	57.3	145.7
ผลไม้รวม	592.8	45.6	128.9
สมุนไพร	291.4	34.7	95.6

ที่มา: อานัฐ ตันโช (2549)

2.3 การปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์ ด้วยระบบ Nutrient Film Technique (NFT)

ไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) เป็นคำที่มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ คำว่า Hydro ซึ่งแปลว่า น้ำ และคำว่า Ponos แปลว่า ทำงาน หรือแรงงาน เมื่อรวมความหมายจึงแปลว่า การทำงานที่เกี่ยวข้องกับน้ำ ซึ่งการปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์เป็นการปลูกพืชโดยใช้หลักวิชาการแบบวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ โดยเลียนแบบการปลูกพืชบนดิน แต่ไม่นำดินมาใช้เป็นวัสดุปลูก พืชที่ปลูกสามารถเจริญเติบโตได้โดยอาศัยธาตุอาหารต่าง ๆ ที่ละลายลงในน้ำในระบบ เพื่อทดแทนธาตุอาหารจากดิน ระบบ NFT เป็นการให้สารอาหารไหลไปอย่างช้า ๆ ในรางปลูก (ที่ทำจากพลาสติกขึ้นรูป 4-5 เหลี่ยมที่มีขนาดกว้างตั้งแต่ 10 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร) แบบแผ่นฟิล์มบาง ๆ ประมาณ 1-3 มิลลิเมตร อัตราการไหล 1-2 ลิตร/ นาที/ ราง ผ่านรากพืชที่ปลูกบนรางปลูกตามความลาดชันของรางปลูก 1-2% (ระบบ NFT ที่มีความลึกและอัตราการไหลมากกว่านี้จะกลายเป็นระบบ DFT) ระบบนี้จะมีปัญหาเมื่อระบบไฟฟ้าขัดข้องจะทำให้รากพืชขาดสารละลายรูปแบบการปลูกดังแสดงในภาพที่ 2-3 (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)



ภาพที่ 2-3 ระบบการปลูกแบบ NFT (Taiz & Zeiger, 2006)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์

สามารถแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัยหลัก (อำพา คำวงษา, 2553) ได้แก่

2.4.1 ปัจจัยภายในพืช เป็นปัจจัยทางด้านพันธุกรรม ซึ่งพันธุกรรมจะเป็นตัวกำหนดลักษณะต่าง ๆ ของพืช เช่น การเจริญเติบโตของพืช สี ความสูง ความสามารถในการให้ผลผลิตการควบคุมของยีนอาจเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม ทั้งยีนและสภาพแวดล้อมจึงมีผลต่อพันธุกรรมของพืช

2.4.2 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมประกอบด้วย

2.4.2.1 แสง เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสงนอกจากนี้ยังเป็นตัวกระตุ้น และควบคุมกระบวนการพื้นฐานของการเจริญเติบโตในระดับต่าง ๆ ทั้งนี้คุณภาพของแสง ก็มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืช

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

2.4.2.3 องค์ประกอบของอากาศ พืชใช้ออกซิเจนในการหายใจ การหายใจส่วนของพืชที่อยู่เหนือดินจะไม่ประสบปัญหาเพราะในบรรยากาศมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 20 การปลูกพืชบนดินมีการเติมอากาศให้กับรากพืชด้วยวิธีการพรวนดินหรือใช้

วัสดุปลูกที่มีลักษณะเป็นรูพรุนเพื่อให้อากาศแทรกตัวเข้าไป ส่วนการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารจึงต้องมีการเลือกหรือสร้างระบบปลูกเพื่อเติมอากาศให้กับสารละลาย

2.4.2.4 คุณภาพน้ำ เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ ถ้าน้ำมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ โรคจะสามารถแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว จึงต้องมีความจำเป็นที่จะต้องฆ่าเชื้อก่อนการนำไปใช้ ซึ่งอาจใช้คลอรีนหรือโซเดียมไฮเปอร์คลอไรด์ก็ได้ ถ้าน้ำขุ่นจะต้องกรองเอาตะกอนออกก่อน นอกจากนี้ถ้าน้ำที่ใช้มีองค์ประกอบทางเคมีไม่ ก็จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ น้ำที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ คือ น้ำฝน หรือน้ำจะระบบชลประทาน

2.4.2.5 ปฏิกิริยาน้ำ หรือค่า pH ของน้ำมีผลทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของพืชซึ่งเกี่ยวข้องกับธาตุอาหาร โดยทั่วไปในการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ สารละลายธาตุอาหารพืชควรมีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.5-6.5 หรือประมาณ 6 แต่ไม่เกิน 7

2.4.2.6 ธาตุอาหารพืช เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชนอกจากน้ำ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ผู้ปลูกจัดหาให้แก่พืชโดยตรงโดยการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดให้เหมาะสมต่อความต้องการของพืชแต่ละชนิดได้ โดยทั่วไปธาตุอาหารที่พืชต้องการมีทั้งสิ้น 16 ชนิด ซึ่ง 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ได้จากน้ำและอากาศ ส่วนอีก 13 ชนิด จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง

1) ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากหรือมหธาตุ (Macronutrient Elements) คือ ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และพืชมีความต้องการปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอื่น ๆ มีทั้งหมด 6 ธาตุ ได้แก่

1.1) ไนโตเจน (N) เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน นิวคลีโอไทด์ โปรตีน และคลอโรฟิลล์ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารประกอบสำคัญมากต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมของพืช พืชที่ได้รับไนโตรเจนเพียงพอจะเจริญเติบโตดี มีใบสีเขียวเข้ม ไนโตรเจนมีส่วนสำคัญในการเพิ่มคุณภาพ เพราะทำให้ผักมีลักษณะอวบน้ำ พืชผักที่รับประทานต้นหรือใบจึงต้องการไนโตรเจนสูง เพื่อให้ต้นและใบมีความกรอบ ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการ ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-)

1.2) ฟอสฟอรัส (P) มีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งพลังงานที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงและเมตาบอลิซึมของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตจะถูกเก็บไว้ในรูปของสารประกอบฟอสเฟต ช่วยในการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของพืช เป็นส่วนประกอบของ

นิวคลีโอไทด์และลิปิด ช่วยการเจริญเติบโตของพืชฟอสฟอรัสโดยทำให้การแบ่งเซลล์และการพัฒนาส่วนที่เจริญเติบโตของพืชเป็นไปได้ดี และยังช่วยให้พืชออกดอกและแก่เร็ว ทำให้พืชมีความแข็งแรงต้านทานต่อโรคและแมลง รูปแบบโครงสร้างของฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ได้ คือ โมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) ซึ่งฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปไหนมากกว่ากันนั้นขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลาย

1.3) โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุที่จำเป็นในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลในพืช จึงเป็นธาตุที่จำเป็นมากต่อพืชประเภทหัว นอกจากนี้โพแทสเซียมยังควบคุมการปิดเปิดของปากใบ และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ในพืชผักที่รับประทานลำต้นและใบมีความต้องการโพแทสเซียมไม่น้อยกว่าไนโตรเจน เพราะเป็นธาตุที่ช่วยให้กะหล่ำปลีห่อตัวได้ดี น้ำหนักดี มีเนื้อแน่น ส่วนผักกาดต่าง ๆ ที่รับประทานส่วนของใบหากได้รับโพแทสเซียมที่เพียงพอจะไม่เฉาง่าย เมื่อขายส่งตลาดจึงสามารถอยู่สดได้นาน ในพืชผักกินผล เช่น มะเขือเทศ ความต้องการโพแทสเซียมสูงในขั้นที่พัฒนาเป็นผล รูปแบบโครงสร้างของโพแทสเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ คือ โพแทสเซียมไอออน (K^+) แต่หากมีโพแทสเซียมมากเกินไปจะรบกวนการนำแคลเซียมและแมกนีเซียมไปใช้ สารเคมีที่มีโพแทสเซียมมีอยู่หลายชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมไนเตรท และโพแทสเซียมฟอสเฟต เป็นต้น

1.4) แคลเซียม (Ca) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ ซึ่งทำหน้าที่หลักภายในพืชในการเสริมสร้างความแข็งแรงของเนื้อเยื่อและเซลล์พืช นอกจากนั้นยังมีบทบาทในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ การดูดใช้แคลเซียมของพืชขึ้นอยู่กับไอออนตัวอื่นในสารละลาย โดยเฉพาะเมื่อมีไนเตรทจะทำให้ดูดแคลเซียมได้ดีขึ้น รูปแบบโคร้างสร้างที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แหล่งแคลเซียมที่ดีที่สุดคือ แคลเซียมไนเตรท

1.5) แมกนีเซียม (Mg) เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ และมีบทบาทในการดูดซึมธาตุอาหาร และเคลื่อนย้ายธาตุอาหารของพืช โดยเฉพาะฟอสเฟต แมกนีเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่ในรูป แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) สารเคมีที่ใช้เป็นแหล่งแมกนีเซียม คือ แมกนีเซียมซัลเฟต

1.6) กำมะถัน (S) เป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของพืชมากเท่า ๆ กับฟอสฟอรัส พืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณกำมะถันที่แตกต่างกัน พืชตระกูลถั่ว หอม กะหล่ำปลี หน่อไม้ฝรั่ง กระเทียม ต้องการกำมะถันเพื่อเพิ่มกลิ่นและรสชาติให้ดีขึ้น กำมะถันเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีนและกรดอะมิโนบางชนิดที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น ซิสเทอีน (Cysteine) และเมทไธโอนีน (Methionine) นอกจากนี้กำมะถันยังส่งผลทางอ้อมต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ของพืชด้วย รูปแบบโครงสร้างของกำมะถันที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ คือ ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-})

2) ธาตุที่ต้องการในปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ (Micronutrient Elements) คือ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่พืชต้องการในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับธาตุอื่น ๆ ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ จะต้องระมัดระวังการควบคุมปริมาณธาตุกลุ่มนี้เป็นพิเศษกว่าธาตุในกลุ่มมหธาตุ เพราะความเข้มข้นระหว่างความเป็นพิษและการขาด มีระยะค่อนข้างแคบ ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อยมีอยู่ 7 ชนิด ได้แก่

2.1) เหล็ก (Fe) เป็นธาตุที่ไม่ค่อยมีการเคลื่อนย้ายในพืช เหล็กเป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซิน (Ferridoxin) ซึ่งเป็นสารสำคัญในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของพืช นอกจากนั้นยังเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ รูปแบบโครงสร้างที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ คือ เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอริกไอออน (Fe^{3+}) สารเคมีที่ให้ธาตุเหล็กมีราคาถูก คือ เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ง่าย แต่จะตกตะกอนเร็ว จึงต้องระวังในเรื่องพีเอชของสารละลาย จึงนิยมใช้เหล็กในรูปคีเลต ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์สามารถคงตัวอยู่ในรูปสารละลายธาตุอาหารพืช และพืชสามารถนำไปใช้ได้ดี

2.2) แมงกานีส (Mn) เป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการทำงานร่วมกับธาตุอื่น เช่น เหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม แมงกานีสจะควบคุมค่าพีเอชของสารละลาย รูปแบบโครงสร้างที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ คือ แมงกานีสไอออน (Mn^{2+})

2.3) สังกะสี (Zn) เป็นธาตุที่เกี่ยวข้องกับการขยายตัวของเซลล์ โดยการสังเคราะห์ Indole-3-Acetic Acid (IAA) และมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด และยังมีบทบาทในการสร้างแป้งของพืช รูปแบบที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ คือ ซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) ที่อาจได้จากซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) หรือซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

2.4) ทองแดง (Cu) เป็นองค์ประกอบของโปรตีนช่วยในกระบวนการหายใจ และส่งเสริมให้พืชนำเหล็กมาใช้ประโยชน์มากขึ้น รูปแบบโครงสร้างที่พืชสามารถนำมาใช้ได้ คือ คอปเปอร์ไอออน (Cu^{2+}) ที่อาจได้มาจาก คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) เป็นต้น

2.5) โบรอน (B) มีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต การสร้างกรดอะมิโนและโปรตีน การงอกและเจริญเติบโตของละอองเกสรเพศผู้ และกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ เช่น การเจริญเติบโตของเซลล์ นอกจากนั้นโบรอนยังมีอิทธิพลต่อสัดส่วนการดูดใช้ธาตุที่มีประจุบวกได้ดีขึ้น และธาตุที่มีประจุลบลดลง ที่เด่นชัดคือการดูดใช้แคลเซียมดีขึ้นถ้าหากมีโบรอนเพียงพอ รูปแบบโครงสร้างที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ โบเรตไอออน (BO_3^{3-}) ซึ่งมีในน้ำธรรมชาติหรือได้จากการเติมกรดบอริก (H_3BO_3)

2.6) โมลิบดินัม (Mo) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในเอนไซม์ 2 ชนิด คือ ไนโตรจีเนส (Nitrogenese) และไนเตรทรีดักเทส (Nitrate Reductase) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการรีดิวส์ไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในรูปของ โมลิบเดตไอออน (MoO_4^{2-}) ซึ่งอาจได้จากสารแอมโมเนียมโมลิบเดต หรือโซเดียมโมลิบเดต

2.7) คลอรีน (Cl) หากมีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 1 ส่วนใหญ่จะเป็นพิษต่อพืช บทบาทภายในพืชยังไม่ทราบแน่ชัด แต่หากขาดคลอรีนพืชจะเหี่ยวง่าย ในน้ำจะมีคลอรีนอยู่ในรูป คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ถ้ามีประมาณมากเกินไปจะไปยับยั้งการนำธาตุที่อยู่ในรูปประจุลบอื่น ๆ มาใช้ประโยชน์

2.5 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

สารละลายธาตุอาหารพืชเป็นหัวใจสำคัญของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพราะพืชจะได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ จากสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งผู้ปลูกเตรียมขึ้นจากการนำปุ๋ยหรือสารเคมีมาละลายน้ำจึงสามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้เป็นไปตามที่พืชต้องการได้ (อำพา คำวงษา, 2553) สูตรสารละลายธาตุอาหารมีอยู่หลายสูตรขึ้นอยู่กับชนิดพืชที่ปลูก ฤดูปลูก แสง อุณหภูมิขณะที่ปลูก สถานที่ปลูก ตลอดจนวัตถุประสงค์การปลูก การปลูกพืชเป็นการค้าจะต้องปลูกในปริมาณมากเพื่อให้มีผลกำไร จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกใช้สูตรที่เหมาะสมและมีความเข้มข้นของธาตุอาหารน้อยที่สุด เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มผลกำไร เพราะต้นทุนค่าสารละลายเป็นค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ของการดำเนินการ เนื่องจากต้องมีค่าใช้จ่ายอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการปลูกซึ่งต่างจากค่าวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นต้นทุนเพียงครั้งเดียวแต่ใช้ได้เป็นเวลานาน สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่เป็นสูตรมาตรฐานและมักถูกดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับพืชต่าง ๆ มีอยู่หลายสูตร เช่น Knop's 1865, Sach's 1860, Shive's และ Hoagland's (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

2.5.1 สูตรสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์ (Hoagland's solution)

เป็นสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่โฮกแลนด์ และอาร์นอน (Hoagland and Arnon) นักวิทยาศาสตร์ชาวสหรัฐอเมริกาคิดค้นและพัฒนาขึ้นมาในช่วงปี พ.ศ. 2482-2488 ซึ่งเป็นสูตรพื้นฐานที่นักวิทยาศาสตร์รุ่นหลังใช้ในการศึกษาและพัฒนา

2.5.2 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

เมื่อกำหนดสัดส่วนของธาตุอาหารและสารเคมีที่ต้องการใช้แล้ว ต้องคำนวณปริมาณปุ๋ยหรือสารที่ต้องการใช้เพื่อให้ได้ความเข้มข้นตามที่กำหนดไว้ในสูตร หรือตามที่ปรับไว้แล้ว การเตรียมสารละลายธาตุอาหารมี 2 แบบ คือ การเตรียมสารละลายธาตุอาหารแบบเจือจาง และการเตรียมสารละลายธาตุอาหารแบบเข้มข้น (Stock solution) (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

2.5.3 การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบปิด (Closed system)

การปลูกพืชโดยระบบไฮโดรโปนิกส์ที่มีการนำสาระลายกลับมาใช้ใหม่ เช่น ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบาง ๆ (NFT) เป็นการใช้สารละลายอย่างมีประสิทธิภาพประหยัดสารละลาย แต่จากที่เป็นระบบไหลเวียน การจัดการให้ธาตุอาหารอยู่ในสภาพสมดุลกับความต้องการของพืชตลอดระยะเวลาการปลูกจึงมีผลอย่างมากต่อการเจริญเติบโต ซึ่งการจัดการนี้ยุ่งยากกว่าการจัดการในระบบที่ไม่มีการหมุนเวียน โดยจะเน้นควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสาระลายธาตุอาหาร ดังนี้

1) การจัดการค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสาระลาย โดยทั่วไปค่า pH ควรอยู่ในช่วง 5.5-6.5 เมื่อค่า pH ต่ำกว่า 4 จะเป็นอันตรายต่อรากพืช หากค่า pH สูงกว่า 7 นานติดต่อกัน 2-3 วัน จะทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัส เหล็ก และแมงกานีส ผิดปกติ ดังนั้นในการปลูกพืชระบบปิดจึงต้องวัดค่า pH อย่างสม่ำเสมอให้อยู่ในระดับคงที่ที่ 6 โดยการลดค่า pH โดยการเพิ่มแอมโมเนียมไอออน เนื่องจากหากมีแอมโมเนียมไอออนแล้ว พืชจะปล่อยไฮโดรเจนออกมาทำให้ค่า pH ต่ำลง แต่ไม่ควรให้มีแอมโมเนียมไอออนในสารละลายเกินร้อยละ 10 ของความเข้มข้นของอนุมูลไนเตรทไอออนในสารละลาย เพราะอาจเป็นอันตรายต่อพืชได้ หากต้องการเพิ่มค่า pH ให้เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และลดปริมาณแอมโมเนียมไนเตรทลง

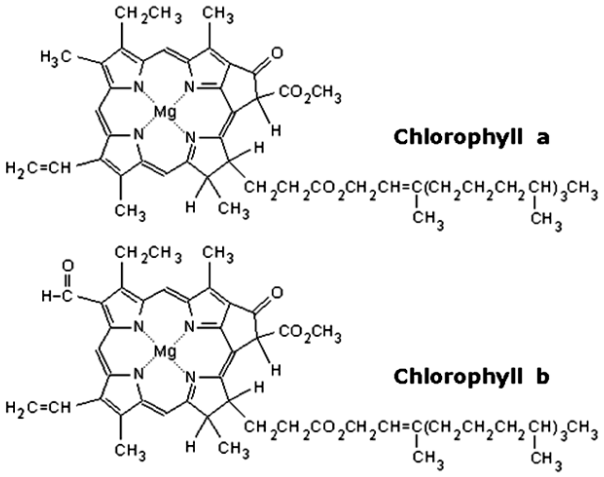
2) การจัดการค่าสภาพนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) เป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของสารละลายมีหน่วยเป็น มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร (mmhos/ cm) หรือมิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/ cm) หากค่า EC สูงแสดงว่าสารละลายมีความเข้มข้นสูง คือ มีธาตุอาหารละลายอยู่มาก ค่าสภาพนำไฟฟ้าในการปลูกพืชไม่ใช้ดินจะแตกต่างกันแต่ละพื้นที่ และชนิดของพืชที่ปลูก ข้อจำกัดคือ ค่า EC เป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของสารละลายโดยรวม ไม่สามารถบอกความเข้มข้นของธาตุแต่ละตัวได้ ค่า EC จะแปรผันตามอุณหภูมิ จึงกำหนดเป็นมาตรฐานที่ต้องระบุค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

2.6 สารสีที่พบในผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

สีของผักและผลไม้เป็นสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และสีอาจเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการสุกและการเสื่อมสลาย การที่ผักและผลไม้มีสีเนื่องจากมีสารที่เรียกว่า สารสี อยู่ภายในเนื้อเยื่อหรือบริเวณผิวนอก สารสีที่พบในผักและผลไม้แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้เป็น 3 กลุ่มได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และฟลาโวนอยด์ (ดนัย บุญยเกียรติ, 2556)

2.5.1 คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) เป็นสารสีซึ่งมีสีเขียว เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช พบในพืชสีเขียวทุกชนิด ในใบพืชที่มีสีเขียวมีคลอโรฟิลล์ประมาณ 0.1

เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด กระจายตัวอยู่ในอวัยวะภายในเซลล์ชื่อว่า คลอโรพลาสต์ (Chloroplast) คลอโรฟิลล์มีหลายชนิด เช่น chlorophyll a, b, c และ d เป็นต้น แต่ที่พบในพืชชั้นสูงทั่ว ๆ ไปคือ chlorophyll a และ b ซึ่งจะปรากฏในผักและผลไม้ในอัตราส่วน 3: 1 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ประกอบด้วย porphyrin ซึ่งประกอบด้วย pyrrole ring 4 วง เรียงตัวกันเป็นวง และ phytol ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 20 อะตอม มีลักษณะโครงสร้างแบบ isoprenoid และตรงกลางโมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีธาตุแมกนีเซียมอยู่ ส่วนของคลอโรฟิลล์ซึ่งไม่มี phytol เรียกว่า chlorophyllide ซึ่งเป็นสารที่มีสีเขียวเหมือนคลอโรฟิลล์ ถ้าคลอโรฟิลล์สูญเสียแมกนีเซียมออกไปจะเกิดเป็นสาร pheophytin ซึ่งมีสีเขียวคล้ำ จะเกิดเมื่อคลอโรฟิลล์ได้รับความร้อนในกระบวนการแปรรูปอาหาร หรือต้มคลอโรฟิลล์ในสารละลายที่เป็นกรด (ดนัย บุญยเกียรติ, 2556)



ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ ($R=CH_3$) และคลอโรฟิลล์บี (R=CHO) (Lanfer-Marquez, Barros, & Sinnecker, 2005)

คลอโรฟิลล์ทำหน้าที่สำคัญในการดูดแสงและกระตุ้นปฏิกิริยาแสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุชนิดอื่น ๆ ได้แก่ แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ไฟโคบิลิน (Phycobilin) ไฟโคอิริทริน (Phycoerythrin) ซึ่งมีสีส้ม สีน้ำเงิน และแดง รงควัตถุเหล่านี้จัดเป็นรงควัตถุประกอบทำหน้าที่รับแสงและส่งพลังงานกระตุ้นให้แก่โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ที่อยู่ถัดไป (ดนัย บุญยเกียรติ, 2556)

ในพืชพบว่าคลอโรฟิลล์เอ ดูดแสงได้ดีที่สุด ที่ความยาวช่วงคลื่นซึ่งมีศูนย์กลางปฏิกิริยาที่ 680 และ 760 นาโนเมตร เรียก P_{680} และ P_{760} ตามลำดับ สำหรับคลอโรฟิลล์บีสามารถดูดแสงได้ดีในหลายความยาวคลื่น ได้แก่ 480, 640 และ 650 นาโนเมตร ส่วนคลอโรฟิลล์ซีดูดแสงที่มีความยาว

ช่วงคลื่น 645 นาโนเมตรได้ดีที่สุด โดยปกติคลอโรฟิลล์ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ อีเธอร์ อะซิโตน เป็นต้น ในพืชชั้นสูงจะพบคลอโรฟิลล์เอ และบีมาก ส่วนในพืชชั้นต่ำจะพบคลอโรฟิลล์ชนิดอื่น ๆ และรงควัตถุ เช่น แคโรทีนนอยด์ ไฟโคไซยานิน และไฟโคอิริทรินอยู่มาก (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548)

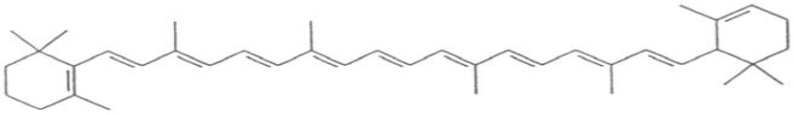
2.5.2 แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) เป็นสารสีที่ให้สีเหลือง ส้ม และแดง โครงสร้างของโมเลกุลประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว เป็นสารประกอบเทอร์พีนอยด์ (Terpenoid) ประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม ตัวอย่างเช่น แคโรทีน (Carotene) และไลโคพีน (lycopene) เป็นแคโรทีนอยด์ที่ในโมเลกุลประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน ส่วนแซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) และคริพโทแซนทิน (Cryptoxanthin) เป็นแคโรทีนอยด์ที่ในโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นต้น (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548)

แคโรทีนอยด์ประกอบด้วย 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ แคโรทีน ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอน และแซนโทฟิลล์ ซึ่งมีออกซิเจนรวมอยู่ในโมเลกุลด้วย โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ประกอบด้วย isoprenoid 8 กลุ่มต่อกัน โดยเมื่อถึงกลางโมเลกุล isoprenoid ที่ต่อกันจะต่อแบบกลับจากส่วนแรก แคโรทีนอยด์ในผักและผลไม้สามารถเกิดเป็นอิสระในรูปของผลึกหรือของแข็ง ซึ่งรูปร่างอาจจะไม่แน่นอน หรืออาจจะละลายอยู่ในไขมันและน้ำมันนอกจากนั้นยังสามารถเกิดในลักษณะของเอสเทอร์หรือรวมอยู่กับน้ำตาลและโปรตีนได้

สารสีแคโรทีนและแซนโทฟิลล์มีประมาณ 0.005 และ 0.008 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดตามลำดับซึ่งในธรรมชาติจะอยู่รวมกับคลอโรฟิลล์ในคลอโรพลาสต์ ขณะที่ผลไม้สุกหรือใบเสื่อมสลาย (Senescence) คลอโรฟิลล์จะสลายตัว แต่แคโรทีนและแซนโทฟิลล์ยังคงอยู่ไม่ถูกสลายจึงปรากฏสีเด่นชัดขึ้น ผักและผลไม้บางชนิด เช่น แครอท มันเทศ ส้ม มะเขือเทศ สารสีที่พบในพืชดังกล่าวจะเป็นแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ในแครอทมีแคโรทีนอยด์ประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด ซึ่งทั้งในแครอทและมันเทศมีแคโรทีนอยด์ชนิดเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนชนิดแคโรทีน แต่ในส้มจะเป็นแคโรทีนอยด์ที่มีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลด้วย คือ คริพโทแซนนิน ส่วนในมะเขือเทศสุกและแตงโมสารสีเป็นไลโคพีน สำหรับพริกสีแดงแคโรทีนอยด์ที่พบคือแซนโทฟิลล์แคพแซนทิน (Xanthophyll capsanthin)

2.5.3 เบต้าแคโรทีน เป็นสารชนิดหนึ่งในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ มีสีส้มแดง ไม่ละลายทั้งในน้ำและในแอลกอฮอล์ แต่ละลายได้ดีในคลอโรฟอร์ม (Chloroform) โดยเบต้าแคโรทีนจะพบในพืชและส่าหร่ายทุกชนิด (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527) โครงสร้างทางเคมีของเบต้าแคโรทีนประกอบไปด้วยโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนต่อกันเป็นสายยาวด้วยโมเลกุลของไอโซพรีนหลาย ๆ หน่วยต่อกันเป็นโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัว มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอน 40 อะตอม และไฮโดรเจน 56

อะตอม น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 536 ลักษณะทางสเตอริโอไอโซเมอร์ ของเบต้าแคโรทีนได้จากธรรมชาติ จะมีอยู่ 2 รูป คือ all-trans β-carotene และ 9-cis β-carotene โดยทั่วไปเบต้าแคโรทีนอยู่ในรูปผลึกจะมีสีม่วงแดง เมื่ออยู่ในสารละลายพวกน้ำมันจะให้สีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่สีเหลืองอ่อนถึงสีส้มในการสังเคราะห์เบต้าแคโรทีนโดยวิธีทางเคมีจะได้เบต้าแคโรทีนชนิด all-trans β-carotene มากถึง 90% โดยเบต้าแคโรทีนในรูป 9-cis β-carotene ไม่สามารถสังเคราะห์ได้ และจะพบได้ในธรรมชาติเท่านั้น (Ben-Amotz & Shaish, 1992)



ภาพที่ 2-6 สูตรโครงสร้างของเบต้าแคโรทีน (Young & Britton, 1993)

2.5.4 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548) เป็นกลุ่มของสารประกอบที่มีสูตรโครงสร้างพื้นฐานแตกต่างกัน ฟลาโวนอยด์ที่เป็นสารสีที่สำคัญในผักและผลไม้ ได้แก่ แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) แอนโทแซนทิน (Anthoxanthin) และลิวโคแอนโทไซยานิน (Leucoanthocyanin)

2.6 กรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid)

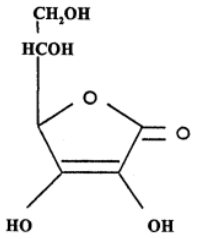
วิตามินซี หรือ กรดแอสคอร์บิค มีลักษณะโมเลกุลคล้ายน้ำตาลกลูโคส ธรรมชาติของวิตามินซีเป็น L-ascobic acid มีคุณสมบัติเป็นสารที่มีฤทธิ์รีดิวส์อย่างแรง เมื่อถูกออกซิไดส์แล้วจะเปลี่ยนไปเป็น L-dehydroascobic acids วิตามินซีในร่างกายจะอยู่ในสภาพรีดิวส์ ทั้ง ascorbic และ dehydroascorbic acids มีฤทธิ์เป็นวิตามินเหมือนกัน และสามารถเปลี่ยนกลับไปมาระหว่างสารประกอบทั้ง 2 ชนิดนี้ได้ โดยอาศัยปฏิกิริยา oxidation-reduction ที่ใช้เอนไซม์ ascorbate oxidase และ glutathione dehydrogenase (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548)

2.6.1 คุณสมบัติของวิตามินซี พบว่าวิตามินซีเป็นผลึกสีขาว มีรสเปรี้ยว ละลายน้ำมีฤทธิ์เป็นกรด ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย แม้โดยออกซิเจนในอากาศ เมื่อถูกออกซิไดส์แล้วจะเปลี่ยนไปเป็น dehydroascorbic acid ซึ่งจะถูก hydrolyzed ต่อไปในภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่างได้ กรด 2, 3-dioxo-L-gulonic ทองแดงมีฤทธิ์เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ดังนั้นถ้าหากต้มอาหารด้วยภาชนะที่เป็นทองแดงจะมีการสูญเสียวิตามินซีไปมาก นอกจากนี้ยังถูกออกซิไดส์ได้ด้วย ascorbic acid oxidase ที่มีอยู่ในพืช ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้ จึงต้องใส่

กรดเมตาฟอสฟอริคลงไปก่อนที่จะทำให้เซลล์แตก เพื่อทำลายเอนไซม์ที่จะมาออกซิไดส์กรดแอสคอร์บิคให้เสียไปก่อน (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548)

2.6.2 การสังเคราะห์กรดแอสคอร์บิค ทั้งพืชและสัตว์ส่วนใหญ่สามารถสังเคราะห์วิตามินซีได้จาก D-glucose หรือ D-galactose โดยทาง glucuronic acid pathway แต่สิ่งมีชีวิตพวก primates หนูตะเภา และค้างคาว ไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินซีขึ้นเองได้ เพราะขาดเอนไซม์ที่ใช้ในการเปลี่ยน 2-keto-L-gulonolactone ไปเป็น L-ascorbate ดังนั้นสิ่งมีชีวิตดังกล่าวจึงจำเป็นต้องได้รับวิตามินซีจากภายนอก (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548)

2.6.3 แหล่งกำเนิดกรดแอสคอร์บิค ส่วนใหญ่มาจากอาหารที่เป็นพืช ในสัตว์พบน้อยมาก อาหารที่พบมาก ได้แก่ ส้ม มะนาว มะขาวป้อม ลำใย มะเขือเทศ พริกหยวกและผักใบสีเขียว อาหารที่พบน้อยมากหรือไม่มีเลย ได้แก่ เนื้อสัตว์ ไข่ ข้าว เป็นต้น



ภาพที่ 2-7 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิค (Lee & Whitaker, 1994)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชวนพิศ อรุณรังสิกุล, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล, รุ่งนภา ก่อประดิษฐ์สกุล และธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์ (2547) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำหมักชีวภาพและองค์ประกอบ โดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และชีวเคมีในน้ำหมักชีวภาพ โดยใช้เศษวัสดุ 3 ชนิด คือ หัวปลานิล พุง และเกล็ดปลานิล และเศษผักหลายชนิด เปรียบเทียบการหมักด้วยการเติมหัวเชื้อสับปะรด และหัวเชื้อจากแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Lactobacillus plantarum* และ *L. caseii* ในปริมาณที่เท่า ๆ กันพบว่าองค์ประกอบต่าง ๆ ระหว่างการหมักที่ระยะเวลา 30 45 60 และ 90 วัน มีความแปรปรวนคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สีน้ำหมัก ส่วนใหญ่เป็นสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ มีค่า pH และค่า EC ที่สูงขึ้น คุณสมบัติทางเคมีนั้น พบว่า ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง มีน้อยมาก องค์ประกอบทางชีวเคมี ของการทดลององค์ประกอบทางชีวเคมี เช่น มีน้ำตาลหลายชนิดปริมาณลดลงจนถึงขั้นคงที่

ซึ่งน่าจะเป็นดัชนีชี้วัดจุดสิ้นสุดกระบวนการหมัก และคล้ายฮอร์โมน GA เพิ่มขึ้นเมื่อระยะการหมักเพิ่มขึ้น

ธนชัย ฉลาดเฉลียว (2547) ศึกษาและพัฒนาน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ พบว่าน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาสดมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชใบ มีผลต่อความสูงของต้น ความกว้างของใบ และขนาดของลำต้นต่อพื้นที่ ได้ดีที่สุด

สุรชัย พัฒนพิบูลย์, สุเทพ ทองแพ, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และจารนัย พณิชยกุล (2547) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักอินทรีย์พืชที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง ผักกาดหอม และพริกยักษ์ ในระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน พบว่าผลการทดลองแต่ละชนิดตอบสนองต่อน้ำหมักชีวภาพในทำนองเดียวกัน โดยพบว่า การใช้น้ำหมักอินทรีย์พืชอย่างเดียวทั้งในอัตราส่วนที่เจือจาง 1: 1000 และ 1: 500 จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและดูดกินอาหารน้อยมากและไม่แตกต่างกัน และน้อยกว่าการใช้สารละลายที่มีธาตุอาหารครบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามหากใช้สารละลายธาตุอาหารร่วมกับน้ำหมักอินทรีย์กลับทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและดูดกินอาหารเพิ่มขึ้นดีกว่าการใช้สารละลายธาตุอาหารอย่างเดียวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังพบว่าอัตราเจือจางน้ำหมักอินทรีย์ 1: 1000 ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าอัตราส่วนเจือจาง 1: 500

อรุโณทัย สิริธรรมเจริญ (2549) พบว่าความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ น้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วน 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำเปล่า 1 ลิตร ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตสูงที่สุด รองลงมาคืออัตราส่วน 2 มิลลิลิตร ต่อน้ำเปล่า 1 ลิตร

ศราวุธ ภูมิเขตร์ และสุวัฒน์ ยอดวงกอง (2550) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า ผักกวางตุ้ง และผักบุ้ง ในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยใช้น้ำยา 7 สูตร ดังนี้ สูตร 1 น้ำหมักชีวภาพจากสัตว์ สูตร 2 น้ำหมักชีวภาพจากพืช สูตร 3 น้ำยาปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ด สูตร 4 น้ำหมักชีวภาพจากสัตว์ผสมปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ด สูตร 5 น้ำหมักชีวภาพจากพืชผสมปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ด สูตร 6 น้ำยาปุ๋ยเคมี และสูตร 7 น้ำฝน พบว่าการเจริญเติบโตของผัก 3 ชนิด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยที่ความสูงและขนาดของลำต้นของผักในสูตร 6 จะมากที่สุด และในน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากสัตว์จะมีปริมาณของธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากพืช

พจนีย์ ไม้หอม (2552) พบว่าน้ำหมักชีวภาพเป็นส่วนทำให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนและกิจกรรมอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะระยะแรกของการรดด้วยน้ำหมักชีวภาพ ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้น้ำหมักชีวภาพในการปลูกผักคะน้า คือ ระดับความเข้มข้น 1: 500

วีณารัตน์ มูลรัตน์, สมชาย ชคตระการ และอัญชลี จาละ (2553) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาที่ใช้น้ำกากส่าเหล้าทดแทนกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นที่ 0, 1: 1000, 1: 500 และ 1: 250 ต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ พบว่า น้ำหมักชีวภาพเศษปลาที่ระดับ 1: 1000 มีเปอร์เซ็นต์ความงอกและดัชนีการงอกสูงสุด และจากการทดลองหาอัตราความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำ หมักชีวภาพเศษปลาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ในด้านความสูงต้น ความเข้มสีใบ (SPAD) ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้น ใบ และราก พบว่าแต่ละความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วุฒิกร จันทร์มาก, ศศมล ผาสุข และชาตรี เกิดธรรม (2552) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพจากปลาที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกแบบไร้ดินพบว่าน้ำสกัดชีวภาพจากปลามีธาตุอาหารหลักไนโตรเจนมากที่สุดซึ่งธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ และโดยทั่วไปปริมาณ

สมัย สังข์ทองงาม (2553) ทดลองใช้น้ำหมักชีวภาพเพื่อทดแทนสารละลายมาตรฐานในการปลูกคะน้า พบว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพร่วมกับสารละลายมาตรฐานอนินทรีย์จาก Stock A ในอัตราส่วน 1: 1 มีผลให้คะน้ามีการเจริญเติบโตและผลผลิตเท่าเทียมกับชุดการทดลองใช้สารละลายมาตรฐานอนินทรีย์อย่างเดียว

รัชนีพร สุทธิภาศิลป์ (2554) ได้ศึกษาการปลูกผักสลัดคอส (*Lactuca sativa* var.*crispa* L.) ด้วยระบบไฮโดรโปรนิกส์โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ พบว่า การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาให้การเจริญเติบโต การดูดใช้ธาตุอาหารและให้น้ำหนักผลผลิตสดของผักสลัดคอสมากกว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรอื่น ๆ

ปิยะภรณ์ จิตรเอก (2556) ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพร่วมกับสมุนไพรต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัด 4 ชนิด ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ โดยใช้สารสกัดชีวภาพผสมสารสกัดจากพืชกับสารละลายมาตรฐานอนินทรีย์ พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากถั่วเหลืองร่วมกับสับปะรดมีแนวโน้มให้ผลผลิตที่สูงในกรีนโอ๊คและเรดโอ๊คส่วนการใช้น้ำหมักชีวภาพจากกากถั่วเหลืองร่วมกับสารสกัดสะเดาให้ผลผลิตสูงในบัตเตอร์เฮด และยังพบว่าสารสกัดจากสับปะรดสามารถลดปริมาณเมือกที่เกาะบริเวณที่ทำให้รากเน่าในผักสลัดได้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำน้ำหมักชีวภาพ

1.1 เศษผัก ชนิดต่าง ๆ	9	กิโลกรัม
1.2 เศษปลาสด	12	กิโลกรัม
1.3 กากน้ำตาล	7	กิโลกรัม
1.4 น้ำเปล่า	70	ลิตร
1.5 สารเร่ง พด.2	2	ซอง (200 กรัม)

1.6 ถังพลาสติกพร้อมฝาปิด

1.7 ผ้าดิบ

1.8 เชือกฟาง

1.9 กระบอกตวง ขนาด 100 และ1,000 มิลลิลิตร

1.10 กรวย

1.11 ไม้พาย

2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกพืช

2.1 กล่องโฟม ขนาด 46×61 เซนติเมตร

2.2 เครื่องปั้มน้ำ

2.3 สายยาง ตัวต่อ ปลั๊กไฟ

2.4 ฟองน้ำ (วัสดุเพาะ)

2.5 โฟมเจาะรูสำหรับปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

2.6 เมล็ดพืชทดลองคือ เมล็ดผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

2.7 กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร

2.8 มุ้งตาข่ายกันแมลง

2.9 พลาสติกกันน้ำ

2.10 โครงเหล็กตั้งแผงปลูก

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการทดลอง

3.1 ไม้บรรทัด

3.2 สมุดจดบันทึก

3.3 ดินสอและปากกาเคมี

3.4 ตะกร้าพลาสติก

3.5 ถุงพลาสติกเก็บตัวอย่าง

3.6 เครื่องชั่งละเอียดชนิดทศนิยม 5 ตำแหน่งยี่ห้อ Sartorius

3.7 เครื่องสแกน (Scanner canon LIDE 110)

3.8 กล้องถ่ายภาพดิจิตอล ยี่ห้อ sony รุ่น nex 5n 3.9

4. วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมีที่ใช้ปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ และการวิเคราะห์ปริมาณสารสี และปริมาณกรดแอสคอร์บิค

4.1 สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland's solution (ใช้ half strength) (เตรียมตามวิธีการของ นันทนา อังกินันท์ และศุภจิตร ชัชวาลย์, 2543) แสดงในตารางภาคผนวก ก-1 และ ก-2

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบ

4.2.1 เครื่องชั่งสารเคมี (Balance ยี่ห้อ sartorius)

4.2.2 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer biochrom รุ่น Libra S11)

4.2.3 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร

4.2.4 แท่งแก้ว (Glass rod)

4.2.5 กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 10 มิลลิลิตร

4.2.6 หลอดทดลอง (Test tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร

4.2.7 อะซิโตน (Acetone) 80%

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน

4.3.1 เครื่องชั่งสารเคมี (Balance ยี่ห้อ sartorius)

4.3.2 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer biochrom รุ่น Libra S11)

4.3.3 เครื่องเขย่า (Vortex Mixer) รุ่น Vortex-Genie 2 บริษัท Scientific Industries

4.3.4 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น WiseSpin บริษัท DHIHAN SCIENTIFIC CO., LTD ประเทศเกาหลี

4.3.5 ขวดแก้วเล็ก (Vial) ขนาด 2 มิลลิลิตร

4.3.6 ไมโครปิเปตต์ (Micropipette) รุ่น Gilson ประทศฝรั่งเศส

4.3.7 คิวเวตต์ (Cuvette) ขนาด 1 มิลลิลิตร

4.3.8 หลอดพลาสติก (Falcon tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร

4.3.9 หลอดทดลอง (Test tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร

4.3.10 โกร่งบดสาร (Motar & pestle)

4.3.11 แท่งแก้ว (Glass rod)

4.3.14 เฮกเซน (Hexane)

4.3.15 เอทานอล (Ethanol) 95%

4.3.16 อะซิโตน (Acetone)

4.3.17 คลอโรฟอร์ม (Chloroform)

4.3.18 β-carotene standard (Sigma, USA = Catalog number C4582.)

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิค

4.4.1 เครื่องชั่งสารเคมี (Balance ยี่ห้อ sartorius)

4.4.2 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer biochrom รุ่น Libra S11)

4.4.3 เครื่องเขย่าสาร (Shaker)

4.4.4 โกร่งบดสาร (Motar & pestle)

4.4.5 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร

4.4.6 แท่งแก้ว (Glass rod)

4.4.7 กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 10 มิลลิลิตร

4.4.8 ปิเปตต์ (Pipette)

4.4.9 ไมโครปิเปตต์ (Micropipette) รุ่น Gilson ประเทศฝรั่งเศส

4.4.10 คิวเวตต์ (Cuvette) ขนาด 1 มิลลิลิตร

4.4.11 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25, 50, 100, 500 และ 1,000 มิลลิลิตร

4.4.12 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

4.4.13 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium foil)

4.4.14 กระดาษกรอง (Filter paper) Whatman No.1

4.4.15 Oxalic acid

4.4.16 Acetic acid glacial 99.9%

4.4.17 EDTA

4.4.18 Metaphosphoric acid

4.4.19 L-ascobic acid

4.4.20 Metaphosphoric acid

4.4.21 Sulfuric acid 96.1%

4.4.22 Ammonium molybdate

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การผลิตน้ำหมักชีวภาพจากเศษผัก (อานัฐ ตันโช, 2556)

1.1 หั่นเศษผัก (ผักกาด คะน้า และกะหล่ำปลี) ให้ละเอียดใส่ลงในถังให้ได้ 6 กิโลกรัม

1.2 ใส่กากน้ำตาล 2 กิโลกรัม น้ำเปล่าจำนวน 20 ลิตรและใส่จุลินทรีย์แบบแห้ง (พด.2) จำนวน 25 กรัม คนให้เข้ากัน

1.3 นำผ้าดิบปิดด้านบนของถัง ใช้เชือกฟางมัดจากนั้นปิดฝาถัง

1.4 หมักไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือนก่อนนำไปใช้

1.5 เมื่อต้องการนำไปใช้ให้แยกกากและน้ำออกจากกัน นำเอาเฉพาะของเหลวสีน้ำตาลไปให้เจือจางในระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

2. การผลิตน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2557)

2.1 นำเศษปลาที่ถูกคัดทิ้งจากท่าเรือประมงมาล้างน้ำให้สะอาด หากมีชิ้นส่วนขนาดใหญ่ เช่น หัวปลา ให้สับเป็นชิ้นเล็ก ๆ 6 กิโลกรัมบรรจุลงในถังพลาสติกที่เตรียมไว้

2.2 เดิมกากน้ำตาลจำนวน 1 กิโลกรัม น้ำเปล่า 20 ลิตรและใส่จุลินทรีย์แบบแห้ง (พด.2) จำนวน 25 กรัม คลุกเคล้าให้เข้ากัน

2.3 นำผ้าดิบปิดด้านบนของถัง ใช้เชือกฟางมัดจากนั้นปิดฝาถัง

2.4 หมักไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือนก่อนนำไปใช้

2.5 เมื่อต้องการนำไปใช้ให้แยกกากและน้ำออกจากกัน นำเอาเฉพาะของเหลวสีน้ำตาลไปให้เจือจางในระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

3. วิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิดหลังหมัก

วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมค่า pH และค่า EC ในน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาสด และเศษผัก และบันทึกผล (ดังตารางภาคผนวกที่ ข-1 และ ข-2)

4. การเตรียมระบบปลูก แบบ NFT (Nutrient Film Technique) (มนูญ ศิรินุพงศ์, 2556)

4.1 ประกอบอุปกรณ์ระบบปลูกแบบ NFT แบบกล่องโฟมจำนวน 21 กล่อง แต่ละกล่องที่ใช้ปลูกจะมีช่องปลูกจำนวน 18 ช่อง

4.2 ติดตั้งระบบการให้น้ำแต่ละกล่องโฟมโดยใส่สารละลายธาตุอาหารลงในกล่อง จากนั้นติดตั้งเครื่องปั๊มน้ำให้น้ำไหลเวียนภายในกล่อง ของแต่ละชุดการทดลอง

4.3 นำต้นกล้าที่เพาะบนฟองน้ำ อายุประมาณ 14 วัน มาใส่ลงในช่องในกล่องโฟมที่จัดเตรียมไว้ในแต่ละชุดการทดลอง

5. การเตรียมกล้า

5.1 เพาะเมล็ดต้นกล้าผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คใส่ฟองน้ำขนาด 1 นิ้ว × 1 นิ้ว × 1 นิ้ว ใส่เมล็ดบริเวณตรงกลางของช่องปลูก โดยหยอดเมล็ดผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คใส่ลงในฟองน้ำช่องละ1 เมล็ด ลึกประมาณ 0.5 เซนติเมตรใส่ก้อนฟองน้ำไว้ในถาดโฟม ที่มีน้ำเปล่าพอท่วมฟองน้ำ

5.2 หลักจากเมล็ดงอกเป็นต้นกล้าเล็ก ๆ สูงประมาณ 1-2 เซนติเมตร หรืออายุประมาณ 14 วันจึงนำก้อนฟองน้ำไปวางลงกล่องโฟมที่มีสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's solution (ใช้ half strength) เพื่อเป็นการอนุบาลต้นกล้าให้ปรับตัวกับเจริญเติบโต จนต้นกล้ามีอายุได้ 21 วันจากนั้นให้เก็บผลการทดลองทุก 7 วัน คือ ที่ระยะเวลา 0, 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 วันโดยให้น้ำหมักชีวภาพตามความเข้มข้นที่กำหนดไว้หลังจากเก็บผลการทดลองที่ 0 วัน

6. ดำเนินการทดลอง

6.1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 7 ชุดการทดลอง ดังนี้

6.1.1 สูตรสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's solution (Control)

6.1.2 สูตรน้ำหมักชีวภาพจากเศษผัก: สารละลายธาตุอาหาร (ใช้ half strength) อัตราส่วน 1: 500

6.1.3 สูตรน้ำหมักชีวภาพจากเศษผัก: สารละลายธาตุอาหาร (ใช้ half strength) อัตราส่วน 1: 1000

6.1.4 สูตรน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลา: สารละลายธาตุอาหาร (ใช้ half strength) อัตราส่วน 1: 500

6.1.5 สูตรน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลา: สารละลายธาตุอาหาร (ใช้ half strength) อัตราส่วน 1: 1000

6.1.6 สูตรน้ำหมักชีวภาพผสม (น้ำหมักชีวภาพเศษปลา+น้ำหมักชีวภาพเศษผัก): สารละลายธาตุอาหาร (ใช้ half strength) อัตราส่วน 1: 500

6.1.7 สูตรน้ำหมักชีวภาพผสม (น้ำหมักชีวภาพเศษปลา+น้ำหมักชีวภาพเศษผัก): สารละลายธาตุอาหาร (ใช้ half strength) อัตราส่วน 1: 1000

6.2 วิธีการทดลอง

6.2.1 เติมน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลา เศษผัก และสูตรผสม ตามปริมาณที่กำหนดในแต่ละชุดการทดลอง

6.2.2 ปรับค่า pH ให้อยู่ประมาณ 5.5-6.5 ค่า EC ประมาณ 1.0-1.8 mS/ cm ซึ่งค่าเป็นค่าของสารละลายที่เหมาะสมกับการปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มนูญ ศิรินุพงศ์, 2556)

6.2.3 ดูแลรักษาจนกระทั่งเก็บเกี่ยว และนำไปวิเคราะห์การเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยา

บันทึกข้อมูลการทดลอง

1. วิเคราะห์การเจริญเติบโต

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ทุก ๆ 7 วัน (วันที่ 0, 7, 14, 21, 28, 35 และ 42) โดยบันทึกข้อมูลดังนี้

1.1 ความสูงของลำต้น โดยเก็บตัวอย่างต้นผักกาดหอมแต่ละชุดการทดลอง จากนั้นวัดความสูงของลำต้นจากส่วนที่อยู่เหนือโคนต้นจนถึงปลายยอดของแต่ละต้น และหาค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นแต่ละชุดการทดลอง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (cm)

1.2 พื้นที่ใบรวมต่อต้น วัดโดยใช้โปรแกรม Image J Version 1.47 และใช้เครื่องสแกนภาพ ประมวลผลของภาพ มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร (cm^2)

1.3 วิเคราะห์น้ำหนักแห้ง (Dry mass) โดยสุ่มตัวอย่างแต่ละชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ต้น ซึ่งจะเก็บข้อมูลน้ำหนักแห้งแยกส่วนออกเป็นราก ลำต้น และใบนำตัวอย่างแต่ละส่วนมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง และบันทึกผล มีหน่วยแป็นกรัม (g)

1.4 วิเคราะห์อัตราส่วนต้นต่อราก (Shoot/ root ratio) ซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของใบและต้น ต่อน้ำหนักแห้งราก (Beadle, 1993)

1.5 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, RGR) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรวมต่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ตามวิธีการของ Beadle (1993)

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

W_1 และ W_2 = น้ำหนักแห้งรวมเก็บครั้งที่ 1 และ 2

t_1 และ t_2 = ระยะเวลาในการเก็บครั้งที่ 1 และ 2

1.6 Specific Leaf Weight (SLW) ซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของใบรวมทั้งต้นต่อพื้นที่ใบรวมทั้งต้น (Beadle, 1993) หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2. วิเคราะห์ปริมาณสารสีที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง และปริมาณกรดแอสคอร์บิค

2.1 วิเคราะห์หาปริมาณสารสีในการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ Total Chlorophyll และ Carotenoids โดยชั่งใบผักกาดผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค 0.5 กรัม ตัดใบผักเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ในหลอดทดลอง เติม Acetone 80% ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ปิดหลอดทดลองแช่ไว้ในที่มืด 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารสะลายที่สกัดได้มาวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 663.2, 646.8 และ 470 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณรงควัตถุจากสมการของ Lichtenthaler (1987) ดังนี้

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

2.2 วิธีการวิเคราะห์เบต้าแคโรทีน (ดัดแปลงจาก Volker, Puspitasari-Nienaber, Ferruzzi, & Schwartz, 2002)

2.2.1 เตรียมตัวอย่างโดยนำผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปั่นจำนวน 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 Flacon tube ที่มีผักกาดหอมปั่น 1.5 กรัม ทำการผสมโดยใช้เครื่อง Vortex 1 นาที ที่ความเร็วระดับ 6

2.2.4 นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ความเร็ว 5,000 rpm นาน 10 นาทีแล้วใช้ Micropitet ดูดสารส่วนที่อยู่ชั้นบนสุดปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ใน Vial แล้วเติม Hexane 0.9 มิลลิลิตร ทำการวัดค่าดูดกลืนแสง

2.3.5 เตรียม Stock โดยใช้ β-carotene 5 มิลลิกรัม ละลายใน Chloroform 5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้มีความเข้มข้น 1000 ppm

2.3.6 คำนวณค่าความเข้มข้นของ Standard ที่ต้องการโดยใช้สูตร $C_1V_1 = C_2V_2$ * ความเข้มข้นของ Strandard ที่สูงสุดต้องมีค่าการดูดกลืนแสงมากกว่าตัวอย่าง*

2.2.7 ตั้งค่าเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 449 นาโนเมตร 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 ในตัวอย่างโดยเทสารจาก Vial ใส่ Cuvette นำไปใส่ในเครื่อง เพื่อวัดค่าดูดกลืนแสงและจดบันทึก

2.2.10 คำนวณสารเบต้าแคโรทีนในผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คโดยนำค่าดูดกลืนแสงของ β-carotene standard มาสร้างกราฟมาตรฐานและนำค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ได้มาคำนวณเทียบกับกราฟมาตรฐาน

2.3 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิค (ดัดแปลงจาก นริศรา มืดนนท์, 2551)

2.3.1 เตรียมสารเคมี

2.3.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิค ความเข้มข้น 1,000 ppm โดยการชั่งกรดแอสคอร์บิค 0.1000 กรัม ละลายในสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA ปริมาณเล็กน้อย ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA สารละลายกรดแอสคอร์บิค ที่ความเข้มข้นอื่น ๆ เจือจางตามความเหมาะสม

2.3.1.2 การเตรียมสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA โดยเตรียมสารละลาย 0.02 mM EDTA โดยชั่ง EDTA 0.0074 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร จากนั้นชั่ง oxalic acid 8.8249 กรัม ละลายในสารละลาย 0.02 mM EDTA ที่เตรียมไว้

2.3.1.3 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 ละลายในสารละลาย 8% acetic acid เสร็จแล้วกรองผ่านกระดาษกรองลงในขวดเก็บสารเคมี เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

2.3.1.4 การเตรียมสารละลาย 5% (v/ v) Sulfuric acid โดย ปิเปต Sulfuric acid 5.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นอยู่พอประมาณ เจือจางด้วยน้ำจนครบ 100 มิลลิลิตร

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

2.3.2 การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณกรดแอสคอร์บิค

2.3.2.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิค โดยการปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิคความเข้มข้น 1,000 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 ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที ได้สารละลายที่มีสีน้ำเงินเข้ม วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 727 นาโนเมตร และสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิคตามความเข้มข้น 0-24 ppm ดังตารางที่ 3-1

2.3.2.2 การสกัดกรดแอสคอร์บิคในผักกาดหอมมี วิธีการสกัดดังนี้

(1) ชั่งตัวอย่างผักที่บดละเอียดแล้วจำนวน 1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ห่อด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA 50 มิลลิลิตร

(2) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่อัตราเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง นำสารสกัดมากรองด้วยกระดาษกรอง นำสารที่ได้ปรับปริมาตรด้วยสารละลายผสม 0.07 M oxalic acid ในสารละลาย 0.02 mM EDTA ให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เก็บสารสกัดไว้วิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิค

2.3.2.3 การหาปริมาณกรดแอสคอร์บิคด้วยเทคนิค Molybdanum 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) ปรับปริมาตรโดยเติมน้ำกลั่นให้เป็น 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที (ในที่มืด) ที่อุณหภูมิห้อง

(7) นำสารละลายจากข้อ (6) ที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 727 นาโนเมตร

(8) หาปริมาณกรดแอสคอร์บิค โดยนำค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารสกัดผักเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิค

ตารางที่ 3-1 ปริมาตรและสารต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิค

สารละลาย	0 ppm	4 ppm	8 ppm	12 ppm	16 ppm	20 ppm	24 ppm
1,000 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)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลทั้งหมดตามแผนการทดลอง CRD ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยใช้วิธี One-way Anova และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multip Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

การทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโต โดยวัดค่าความสูง พื้นที่ใบรวม น้ำหนักแห้งรวม อัตราส่วนต้นต่อราก อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และน้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและเศษปลา เติมในสารละลายธาตุอาหารที่อัตราส่วนและระยะเวลาแตกต่างกัน ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

4.1.1 ความสูงของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

จากการทดลองพบว่า ความสูงของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 วัน (ตารางที่ 4-1 และภาพที่ 4-1) โดยแต่ละระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

จากการทดลองพบว่าที่ระยะเวลา 7 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีความสูงของลำต้นเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 มีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 1.40, 1.27 และ 1.27 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อความสูงของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ส่วนผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 ที่ระยะเวลา 14 วัน ส่งผลทำให้มีความสูงของลำต้นเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 มีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 3.23, 3.17 และ 3.10 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อความสูงของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

สำหรับผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 ที่ระยะเวลา 21 วัน มีผลทำให้มีความสูงของลำต้นเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 มีความสูงของ

ลำต้นเฉลี่ย 6.53, 6.40 และ 6.13 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อความสูงของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 28 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีความสูงของลำต้นเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 11.00, 10.57 และ 9.50 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อความสูงของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 35 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีความสูงของลำต้นเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด คือ 13.83 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 โดยมีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 13.63 เซนติเมตร แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 ซึ่งมีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 12.37 เซนติเมตร

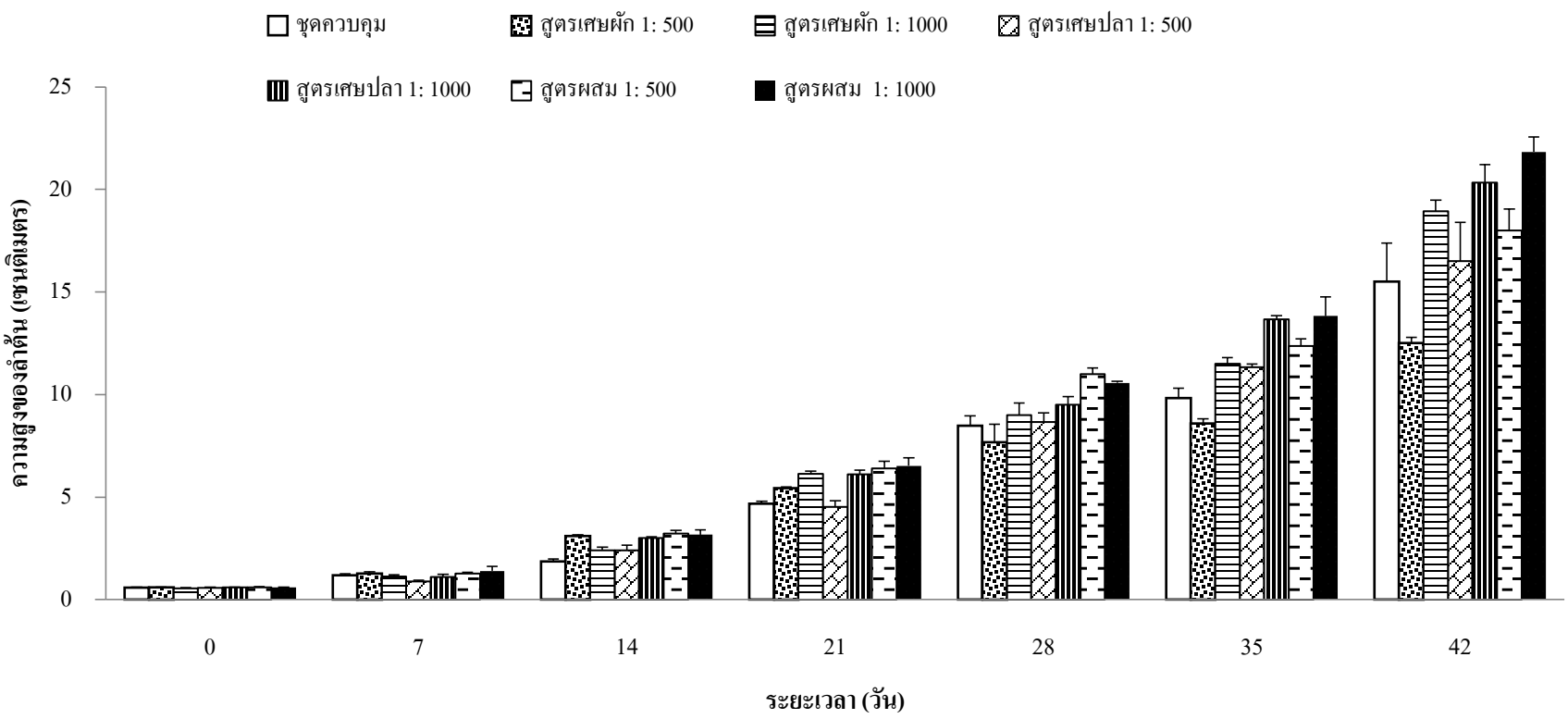
ส่วนผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1:1000 ที่ระยะเวลา 42 วัน มีผลทำให้มีความสูงของลำต้นเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 1000 มีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 21.83, 20.33 และ 18.93 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อความสูงของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการวิเคราะห์ความสูงของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่าที่ระยะเวลา 0 และ 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดการทดลอง แต่หลักจากที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 14, 21, 28, 35 และ 42 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจะเห็นได้ว่าที่สิ้นสุดการทดลองที่ 42 วันนั้น น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อความสูงของลำต้นมากที่สุด

ตารางที่ 4-1 ความสูงของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (เซนติเมตร) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (mean ± standard error)

ชุดทดลอง	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)						
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน
ชุดควบคุม	0.58 ± 0.03	1.18 ± 0.09	1.85 ± 0.13^{A}	4.67 ± 0.13^{A}	8.47 ± 0.49^{AB}	9.83 ± 0.49^{A}	15.50 ± 1.89^{AB}
สูตรเศษผัก 1: 500	0.59 ± 0.03	1.27 ± 0.09	3.10 ± 0.06^{C}	5.43 ± 0.07^{B}	7.67 ± 0.88^{A}	8.60 ± 0.21^{A}	12.50 ± 0.29^{A}
สูตรเศษผัก 1: 1000	0.56 ± 0.02	1.13 ± 0.09	2.40 ± 0.15^{B}	6.13 ± 0.13^{BC}	9.00 ± 0.58^{ABC}	11.50 ± 0.29^{B}	18.93 ± 0.54^{BCD}
สูตรเศษปลา 1: 500	0.57 ± 0.04	0.89 ± 0.06	2.40 ± 0.25^{B}	4.53 ± 0.29^{A}	8.67 ± 0.44^{AB}	11.33 ± 0.17^{B}	16.50 ± 1.89^{BC}
สูตรเศษปลา 1: 1000	0.59 ± 0.02	1.11 ± 0.12	3.00 ± 0.06^{C}	6.10 ± 0.21^{BC}	9.50 ± 0.40^{BCD}	13.67 ± 0.17^{CD}	20.33 ± 0.88^{CD}
สูตรผสม 1: 500	0.59 ± 0.04	1.27 ± 0.06	3.23 ± 0.15^{C}	6.40 ± 0.35^{C}	11.00 ± 0.29^{D}	12.37 ± 0.35^{BC}	18.00 ± 1.04^{BCD}
สูตรผสม 1: 1000	0.59 ± 0.01	1.40 ± 0.21	3.17 ± 0.23^{C}	6.53 ± 0.39^{C}	10.57± 0.07^{CD}	13.83 ± 0.93^{D}	21.83 ± 0.73^{D}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามด้วยตัวอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-1 ความสูงของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (เซนติเมตร) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.1.2 พื้นที่ใบรวมต่อต้น

จากการทดลองพบว่า พื้นที่ใบรวมต่อต้นของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 วัน (ตารางที่ 4-2 และภาพที่ 4-2) โดยแต่ละระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

จากการทดลองพบว่าที่ระยะเวลา 7 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด คือ 19.42 ตารางเซนติเมตร โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมและน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 ซึ่งมีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ย 15.84 และ 15.77 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 จึงส่งผลให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีพื้นที่ใบรวมต่อต้นมีค่ามากที่สุด

สำหรับผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 ที่ระยะเวลา 14 วัน มีผลทำให้มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด คือ 88.27 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ย 85.50 ตารางเซนติเมตร แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ย 62.04 ตารางเซนติเมตร

ที่ระยะเวลา 21 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1:1000 มีผลทำให้มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด คือ 715.78 ตารางเซนติเมตร โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และในอัตราส่วน 1: 1000 ซึ่งมีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ย 489.41 และ 436.78 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 จึงมีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีพื้นที่ใบรวมต่อต้นได้ดีที่สุด

ที่ระยะเวลา 28 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ย 753.60, 734.33 และ 707.54 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อพื้นที่ใบรวมต่อต้นของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

สำหรับผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 ที่ระยะเวลา 35 วันพบว่า มีผลทำให้มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ

น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน1: 500 มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ย 1254.42, 1188.13 และ 1115.20 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อพื้นที่ใบรวมต่อต้นของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

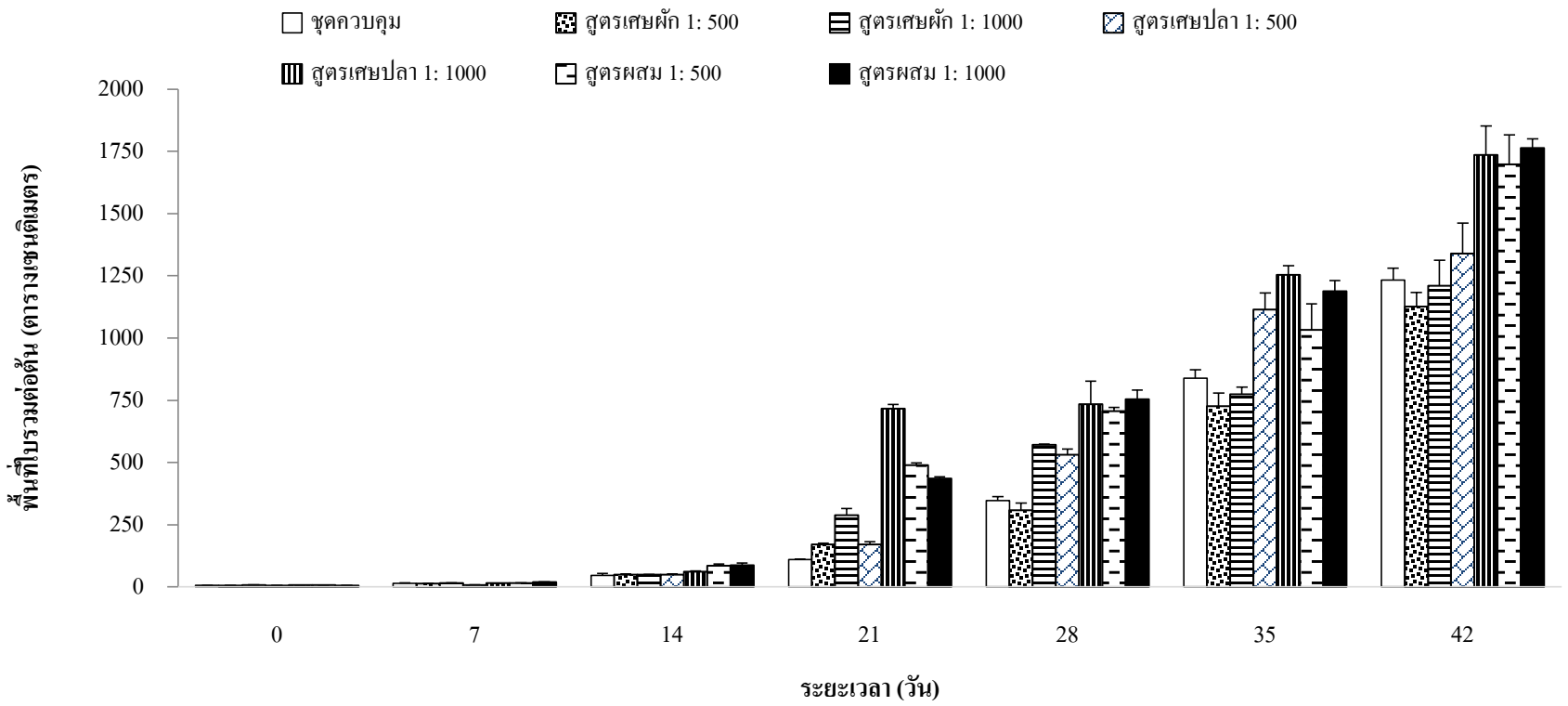
ส่วนผักกาดหอมที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 ที่ระยะเวลา 42 วันพบว่า มีผลทำให้มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นเฉลี่ย 1763.16, 1736.12 และ 1697.81 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อพื้นที่ใบรวมต่อต้นของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการวิเคราะห์พื้นที่ใบรวมต่อต้นของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่าที่ระยะเวลา 0 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดการทดลอง แต่หลักจากที่ได้รับน้ำหมักสูตรชีวภาพต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจะเห็นได้ว่าที่สิ้นสุดการทดลองที่ 42 วันนั้น น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อพื้นที่ใบรวมต่อต้นมากที่สุดซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้มีผลการตอบสนองที่สอดคล้องกับค่าของความสูงของลำต้นเช่นกัน

ตารางที่ 4-2 พื้นที่ใบรวมต่อต้นของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (ตารางเซนติเมตร) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (mean ± standard error)

ชุดทดลอง	พื้นที่ใบรวมต่อต้น (ตารางเซนติเมตร)						
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน
ชุดควบคุม	7.30 ± 0.48	15.84 ± 1.23 ^{B}	47.68 ± 6.57 ^{A}	110.39 ± 1.25 ^{A}	347.40 ± 14.90 ^{A}	838.71± 33.40 ^{A}	1233.55±46.86 ^{A}
สูตรเศษผัก 1: 500	6.44 ± 0.36	13.64 ± 0.46 ^{B}	49.24 ± 2.68 ^{A}	170.70 ± 6.05 ^{B}	308.38 ± 29.31 ^{A}	725.99±54.09 ^{A}	1126.32±56.52 ^{A}
สูตรเศษผัก 1: 1000	7.31 ± 0.79	15.31 ± 1.08 ^{B}	50.14 ± 0.71 ^{A}	287.63 ± 27.85 ^{C}	571.59 ± 2.75 ^{B}	773.79±28.65 ^{A}	1210.68±102.52 ^{A}
สูตรเศษปลา 1: 500	6.30 ± 0.10	8.60 ± 0.35 ^{A}	49.21 ± 2.88 ^{A}	170.75 ±10.97 ^{B}	531.49 ± 23.60 ^{B}	1115.20±65.55 ^{BC}	1340.21±122.46 ^{A}
สูตรเศษปลา 1: 1000	7.36 ± 0.23	14.96 ± 0.85 ^{B}	62.04 ± 2.70 ^{A}	715.78 ± 17.76 ^{F}	734.33 ±93.24 ^{D}	1254.42±35.47 ^{C}	1736.12±116.07 ^{B}
สูตรผสม 1: 500	7.32 ± 0.16	15.77 ± 1.05 ^{B}	85.50 ± 6.76 ^{B}	489.41 ±8.28 ^{E}	707.54 ± 14.53 ^{D}	1032.34±105.6 ^{B}	1697.81±118.95 ^{B}
สูตรผสม 1: 1000	6.89 ± 0.46	19.42 ± 0.89 ^{C}	88.27 ± 8.95 ^{B}	436.78 ±6.20 ^{D}	753.60 ± 37.39 ^{D}	1188.13±42.89 ^{BC}	1763.16±37.33 ^{B}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามด้วยตัวอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-2 พื้นที่ใบรวมต่อต้นของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (ตารางเซนติเมตร) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.1.3 น้ำหนักแห้งรวม

จากการทดลองพบว่า น้ำหนักแห้งรวมของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 วัน (ตารางที่ 4-3 และภาพที่ 4-3) โดยแต่ละระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

ที่ระยะเวลา 7 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ยมากที่สุด 0.0355 กรัม ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม โดยมีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ย 0.0288 กรัม แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 ซึ่งมีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ย 0.0263 กรัม

ที่ระยะเวลา 14 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.1865 กรัม ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ย 0.1776 กรัม แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมซึ่งมีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ย 0.1102 กรัม

ที่ระยะเวลา 21 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1:1000 มีผลทำให้มีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ยมากที่สุดคือ 2.4500 กรัม โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ซึ่งมีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ย 1.4694 และ 1.1178 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 จึงมีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีน้ำหนักแห้งรวมได้ดีที่สุด

ที่ระยะเวลา 28 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1:1000 มีผลทำให้มีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ยมากที่สุดคือ 3.7790 กรัม โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ซึ่งมีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ย 2.9560 และ 2.9135 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 1000 จึงมีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีน้ำหนักแห้งรวมได้ดีที่สุด

ที่ระยะเวลา 35 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ยมากที่สุดคือ 5.6751 กรัม ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ย 5.1888 กรัม แต่แตกต่างทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 มีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ย 4.7477 กรัม

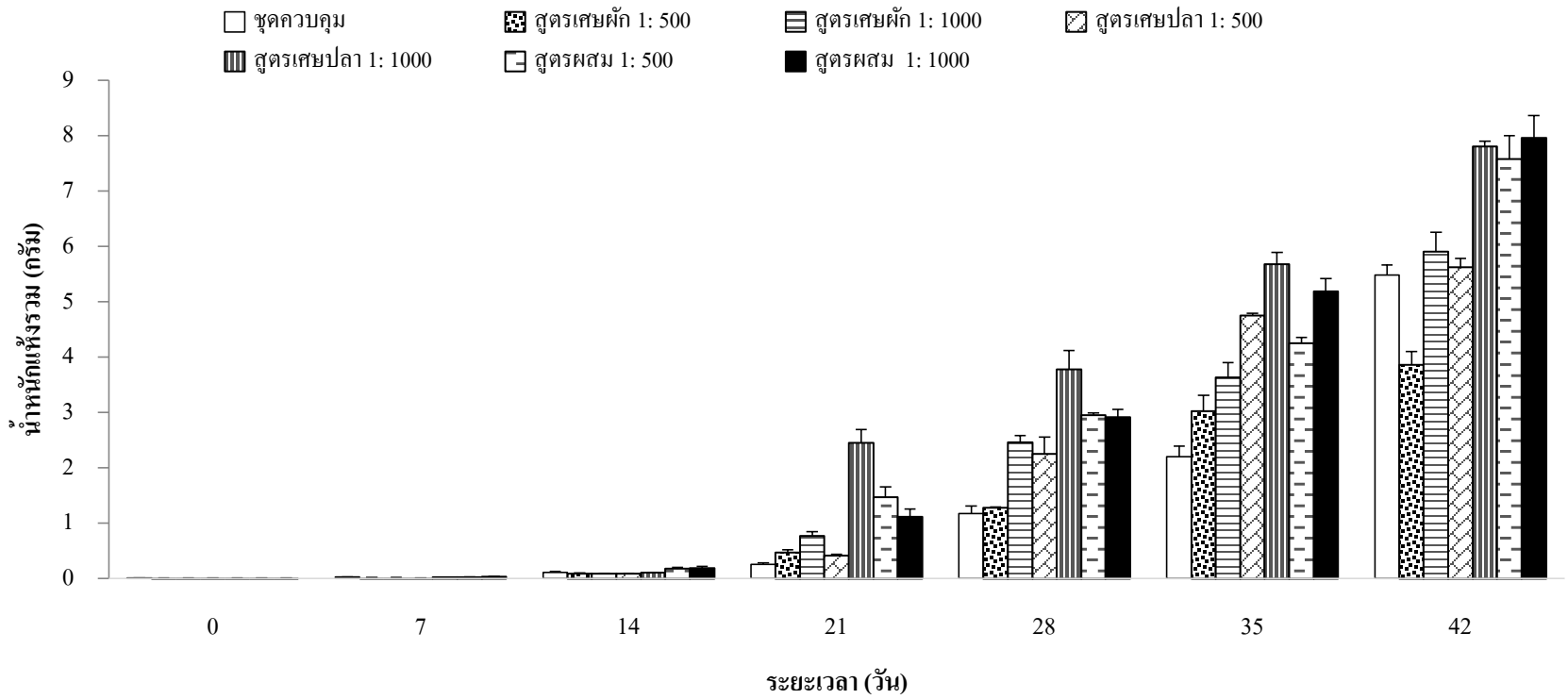
ที่ระยะเวลา 42 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีน้ำหนักแห้งรวมเฉลี่ย 7.9556, 7.8051 และ 7.5799 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อน้ำหนักแห้งรวมของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งรวมของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่าที่ระยะเวลา 0 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดการทดลอง แต่หลักจากที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ และจะเห็นได้ว่าที่สิ้นสุดการทดลองที่ 42 วันนั้น น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุดซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้มีผลการตอบสนองที่สอดคล้องกับค่าความสูงของลำต้น และพื้นที่ใบรวมต่อต้นเช่นกัน

ตารางที่ 4-3 น้ำหนักแห้งรวมของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (กรัม) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (mean ± standard error)

ชุดทดลอง	น้ำหนักแห้งรวม (กรัม)						
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน
ชุดควบคุม	0.0117±0.0010	0.0288±0.0038 ^{BC}	0.1102±0.0186 ^{A}	0.2594±0.0225 ^{A}	1.1778±0.1367 ^{A}	2.2044±0.1850 ^{A}	5.4776±0.1850 ^{B}
สูตรเศษผัก 1: 500	0.0102±0.0005	0.0226±0.0012 ^{AB}	0.0941±0.0076 ^{A}	0.4754±0.0444 ^{AB}	1.2795±0.0165 ^{A}	3.0233±0.2894 ^{B}	3.8598±0.2451 ^{A}
สูตรเศษผัก 1: 1000	0.0106±0.0012	0.0222±0.0014 ^{AB}	0.0944±0.0044 ^{A}	0.7738±0.0796 ^{BC}	2.4626±0.1250 ^{BC}	3.6351±0.2679 ^{BC}	5.9083±0.3448 ^{B}
สูตรเศษปลา 1: 500	0.0108±0.0008	0.0168±0.0010 ^{A}	0.0909±0.0079 ^{A}	0.4153±0.0250 ^{AB}	2.2487±0.3111 ^{B}	4.7477±0.0426 ^{DE}	5.6229±0.1597 ^{B}
สูตรเศษปลา 1: 1000	0.0112±0.0010	0.0227±0.0003 ^{AB}	0.1091±0.0070 ^{A}	2.4500±0.2420 ^{E}	3.7790±0.3384 ^{D}	5.6751±0.2162 ^{F}	7.8051±0.0918 ^{C}
สูตรผสม 1: 500	0.0119±0.0013	0.0263±0.0038 ^{B}	0.1776±0.0284 ^{B}	1.4694±0.1847 ^{D}	2.9560±0.0391 ^{C}	4.2472±0.1095 ^{CD}	7.5799±0.4217 ^{C}
สูตรผสม 1: 1000	0.0092±0.0009	0.0355±0.0018 ^{C}	0.1865±0.0367 ^{B}	1.1178±0.1413 ^{CD}	2.9135±0.1404 ^{C}	5.1888±0.2280 ^{EF}	7.9556±0.4061 ^{C}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามด้วยตัวอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-3 น้ำหนักแห้งรวมของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (กรัม) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.1.4 อัตราส่วนต้นต่อราก (shoot/ root ratio)

จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนต้นต่อรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 วัน (ตารางที่ 4-4 และภาพที่ 4-4) โดยแต่ละระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

ที่ระยะเวลา 7 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้มีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพจากเศษผักในอัตราส่วน 1: 1000 และ 1: 500 มีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ย 4.9790, 4.8503 และ 4.6417 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่ออัตราส่วนต้นต่อรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 14 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้มีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ยมากที่สุดคือ 9.2518 โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 ซึ่งมีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ย 6.3020 และ 6.0578 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่ออัตราส่วนต้นต่อรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 21 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้มีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 มีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ย 5.4549, 5.4519 และ 5.2001 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่ออัตราส่วนต้นต่อรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 28 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้มีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ย 5.8802, 5.3074 และ 4.9513 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่ออัตราส่วนต้นต่อรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 35 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ยมากที่สุดคือ 5.0184 ซึ่งให้ผลการทดลองไม่แตกต่างทางสถิติกับสารละลายชุดควบคุม ที่มีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ย 4.8249 แต่แตกต่างอย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 ซึ่งมีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ย 4.0474

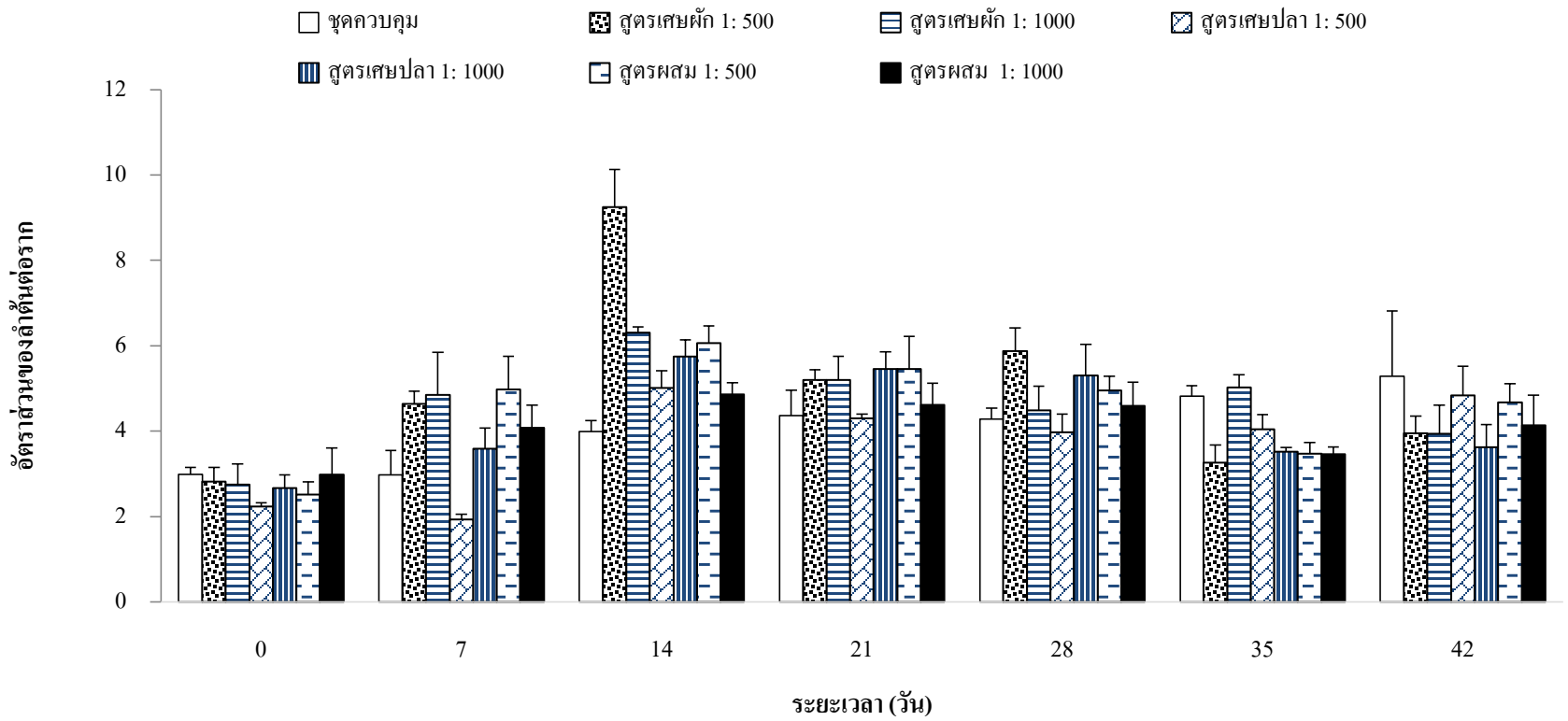
ที่ระยะเวลา 42 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับสารละลายชุดควบคุมมีผลทำให้มีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีอัตราส่วนต้นต่อรากเฉลี่ย 5.2860, 4.8404 และ 4.6742 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่ออัตราส่วนต้นต่อรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการวิเคราะห์อัตราส่วนต้นต่อรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่าที่ระยะเวลา 0 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดการทดลอง แต่หลักจากที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่ระยะเวลา 21 และ 28 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระยะเวลา 35 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 42 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 14 วันนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 มีผลต่ออัตราส่วนต้นต่อรากมากที่สุด

ตารางที่ 4-4 อัตราส่วนของลำต้นต่อรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (mean ± standard error)

ชุดทดลอง	อัตราส่วนของลำต้นต่อราก						
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน
ชุดควบคุม	2.9872±0.1576	2.9725±0.5736^{AB}	3.9899±0.2619^{A}	4.3686±0.5856	4.2774±0.2672	4.8249±0.2429^{BC}	5.2860±1.5251
สูตรเศษผัก 1: 500	2.8183±0.3307	4.6417±0.2945^{B}	9.2518±0.8742^{C}	5.2001±0.2370	5.8802±0.5385	3.2650±0.4079^{A}	3.9443±0.4030
สูตรเศษผัก 1: 1000	2.7422±0.4893	4.8503±0.9934^{B}	6.3020±0.1366^{B}	5.1990±0.5535	4.4871±0.5670	5.0184±0.2977^{C}	3.9337±0.6733
สูตรเศษปลา 1: 500	2.2337±0.0916	1.9276±0.1241^{A}	5.0069±0.4072^{AB}	4.3041±0.0988	3.9715±0.4318	4.0474±0.3442^{AB}	4.8404±0.6742
สูตรเศษปลา 1: 1000	2.6656±0.3143	3.5920±0.4775^{AB}	5.7495±0.3904^{B}	5.4519±0.4117	5.3074±0.7260	3.5187±0.0949^{A}	3.6277±0.5242
สูตรผสม 1: 500	2.5168±0.2942	4.9790±0.7766^{B}	6.0578±0.4060^{B}	5.4549±0.7702	4.9513±0.3374	3.4767±0.2542^{A}	4.6742±0.4327
สูตรผสม 1: 1000	2.9779±0.6237	4.0752±0.5319^{B}	4.8659±0.2741^{AB}	4.6145±0.5104	4.5874±0.5605	3.4578±0.1711^{A}	4.1310±0.7081

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามด้วยตัวอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-4 อัตราส่วนของลำต้นต่อรากของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม ระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.1.5 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR)

จากการทดลองพบว่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน (ตารางที่ 4-5 และภาพที่ 4-5) โดยแต่ละระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

จากการทดลองพบว่าเมื่อผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 ที่ระยะเวลา 7 วัน มีผลทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.1934 กรัม/ กรัม/ วัน โดยมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมและน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ย 0.1266 และ 0.1130 กรัม/ กรัม/ วัน ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 จึงมีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ได้ดีที่สุด

สำหรับผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 ที่ระยะเวลา 14 วันพบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ย 0.2727, 0.2406 และ 0.2317 กรัม/ กรัม/ วัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ส่วนผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 ที่ระยะเวลา 21 วันพบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.4436 กรัม/ กรัม/ วัน โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 1000 ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ย 0.3029 และ 0.2992 กรัม/ กรัม/ วัน ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 จึงมีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ได้ดีที่สุด

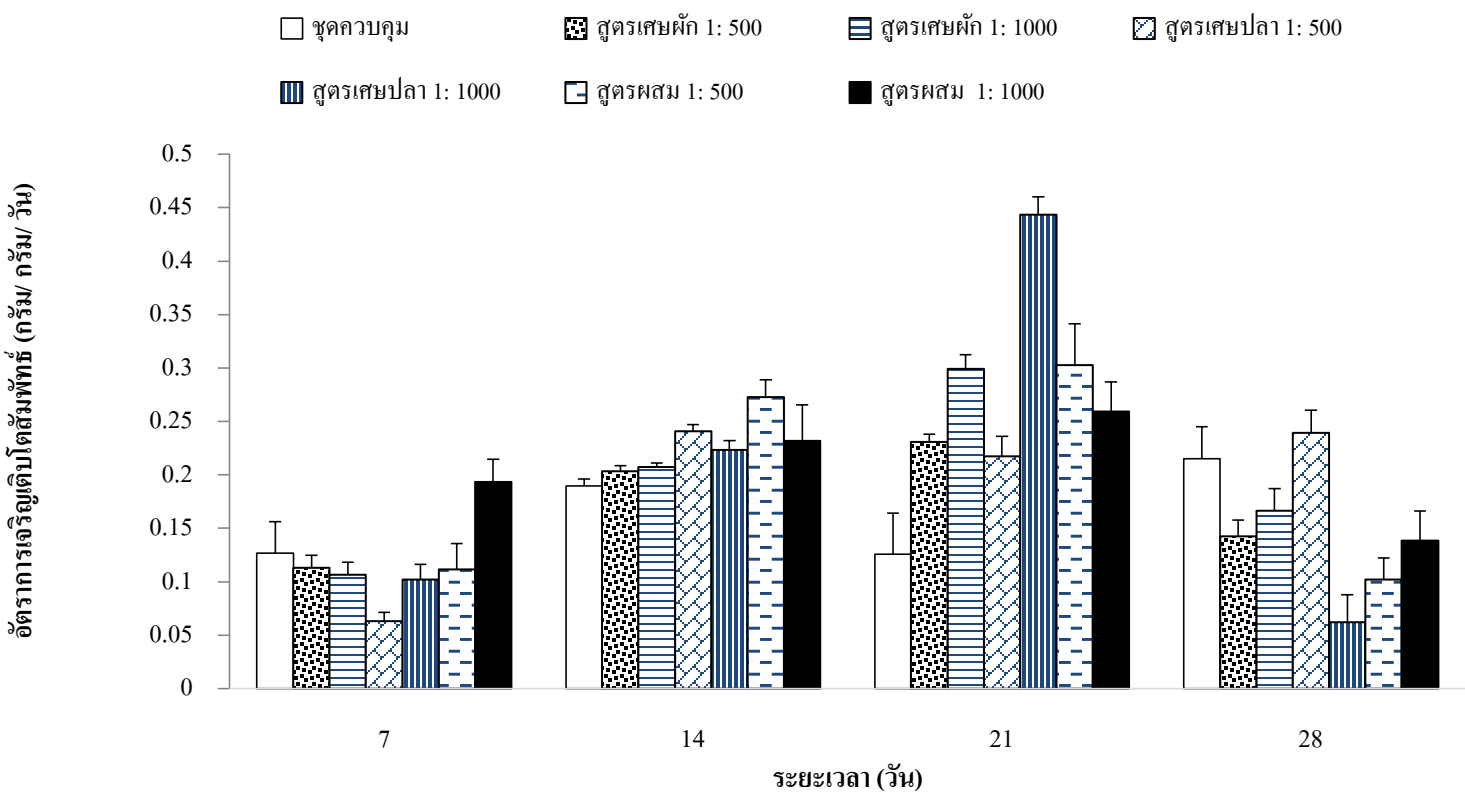
ที่ระยะเวลา 28 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.2392 กรัม/ กรัม/ วัน ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ย 0.2152 กรัม/ กรัม/ วัน แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 1000 ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ย 1.6666 กรัม/ กรัม/ วัน

จากการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ พบว่าที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 21 วันนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์มากที่สุด

ตารางที่ 4-5 อัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์ของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (mean ± standard error)

ชุดทดลอง	**อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (**กรัม/ กรัม/ วัน**)**			
	0 - 7 วัน	**7 - 14 วัน**	**14 – 21 วัน**	**21 - 28 วัน**
ชุดควบคุม	0.1266±0.0297^{A}	0.1898±0.0065^{A}	0.1259±0.0383^{A}	0.2152±0.0298^{CD}
สูตรเศษผัก 1: 500	0.1130±0.0116^{A}	0.2035±0.0051^{A}	0.2310±0.0073^{BC}	0.1427±0.0151^{B}
สูตรเศษผัก 1: 1000	0.1066±0.0118^{A}	0.2072±0.0037^{A}	0.2992±0.0134^{BC}	0.1666±0.0205^{BC}
สูตรเศษปลา 1: 500	0.0634±0.0078^{A}	0.2406±0.0064^{AB}	0.2175±0.0186^{B}	0.2392±0.0212^{D}
สูตรเศษปลา 1: 1000	0.1021±0.0144^{A}	0.2235±0.0084^{AB}	0.4436±0.0165^{D}	0.0622±0.0259^{A}
สูตรผสม 1: 500	0.1115±0.0244^{A}	0.2727±0.0163^{B}	0.3029±0.0383^{C}	0.1021±0.0201^{AB}
สูตรผสม 1: 1000	0.1934±0.0212^{B}	0.2317±0.0339^{AB}	0.2594±0.0274^{BC}	0.1387±0.0274^{B}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามด้วยตัวอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-5 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (กรัม/กรัม/วัน) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.1.6 น้ำหนักใบจำเพาะ (SLW)

จากการทดลองพบว่า น้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 วัน (ตารางที่ 4-6 และภาพที่ 4-6) โดยแต่ละระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

ที่ระยะเวลา 7 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ย 1.3733, 1.2700 และ1.2567 มิลลิกรัม/ ตารางเซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อน้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 14 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับสารละลายชุดควบคุมมีผลทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ย 1.7133, 1.6400 และ 1.5833 มิลลิกรัม/ ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อน้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 21 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุดคือ 2.6067 มิลลิกรัม/ ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 ที่มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ย 2.2367 มิลลิกรัม/ ตารางเซนติเมตร แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 ที่มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ย 2.0567 มิลลิกรัม/ ตารางเซนติเมตร

ที่ระยะเวลา 28 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ย 3.4300, 2.9767 และ 2.9167 มิลลิกรัม/ ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อน้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 35 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ย 2.8100, 2.7667 และ 2.6500 มิลลิกรัม/ ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อน้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

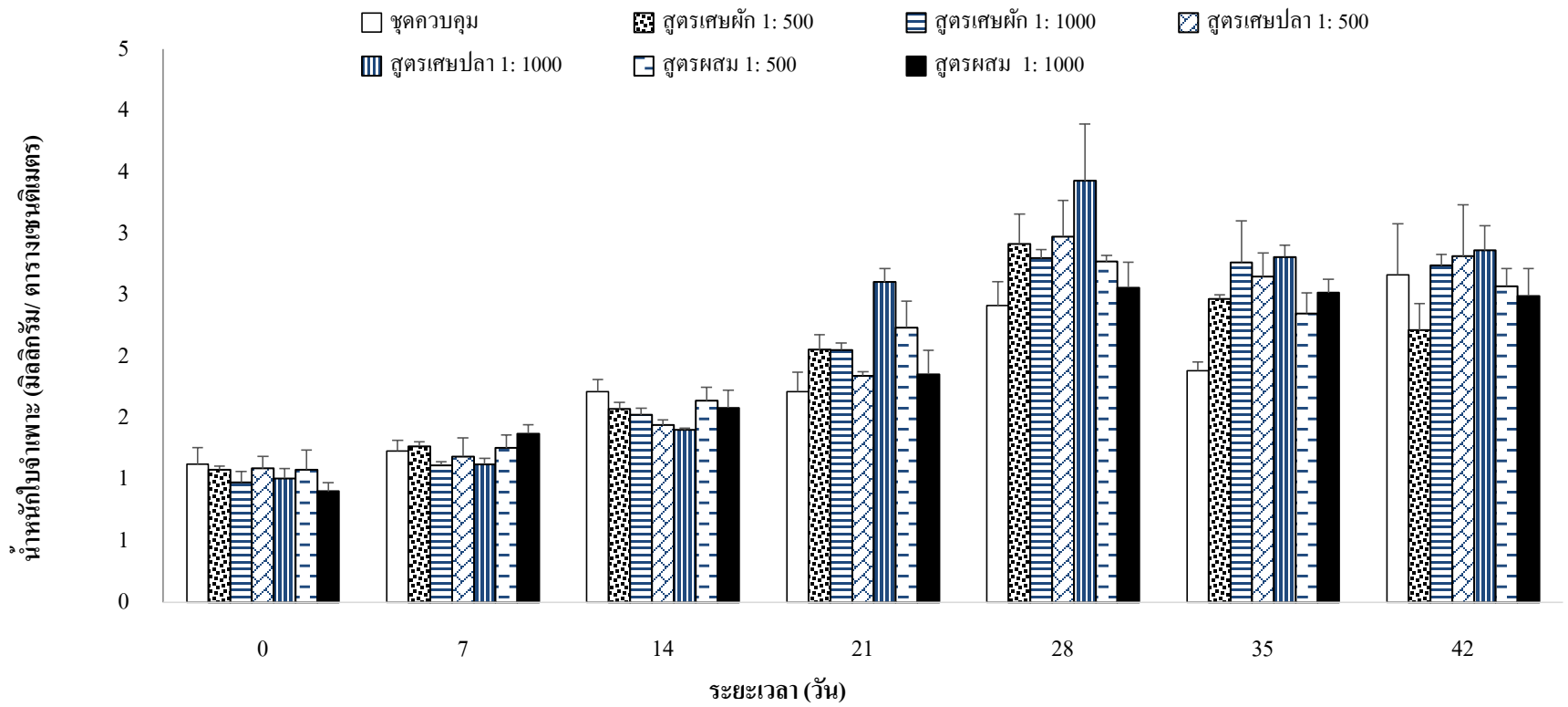
ที่ระยะเวลา 42 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 1000 มีน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ย 1.2900, 2.8170 และ 2.7410 มิลลิกรัม/ ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อน้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการวิเคราะห์น้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ พบว่าที่ระยะเวลา 0, 7, และ 14 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดการทดลอง แต่ที่ระยะเวลา 21 วัน พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนที่ระยะเวลา 28 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระยะเวลา 35 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 42 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 28 วันนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อน้ำหนักใบจำเพาะมากที่สุด ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้มีผลการตอบสนองที่สอดคล้องกับค่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ อาจเป็นไปได้ว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลา ส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านใบได้ดี

ตารางที่ 4-6 น้ำหนักใบจำเพาะของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (mean ± standard error)

ชุดทดลอง	น้ำหนักใบจำเพาะ (มิลลิกรัม/ ตารางเซนติเมตร)						
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน
ชุดควบคุม	1.1233±0.1369	1.2333±0.0841	1.7133±0.0996	1.7133±0.1613 ^{A}	2.4167±0.1933	1.8867±0.0689 ^{A}	2.6637±0.4174
สูตรเศษผัก 1: 500	1.0800±0.0306	1.2700±0.0360	1.5733±0.0555	2.0567±0.1224 ^{AB}	2.9167±0.2434	2.4700±0.0321 ^{B}	2.2136±0.2158
สูตรเศษผัก 1: 1000	0.9767±0.0900	1.1167±0.0273	1.5266±0.0523	2.0533±0.0581 ^{AB}	2.8000±0.0700	2.7667±0.3388 ^{B}	2.7410±0.0915
สูตรเศษปลา 1: 500	1.0900±0.0982	1.1867±0.1519	1.4433±0.0433	1.8433±0.0353 ^{AB}	2.9767±0.2919	2.6500±0.1916 ^{B}	2.8170±0.4192
สูตรเศษปลา 1: 1000	1.0100±0.0794	1.1233±0.0491	1.4033±0.0145	2.6067±0.1114 ^{C}	3.4300±0.4613	2.8100±0.0950 ^{B}	2.8634±0.2027
สูตรผสม 1: 500	1.0800±0.1604	1.2567±0.1073	1.6400±0.1114	2.2367±0.2148 ^{BC}	2.7733±0.0491	2.3500±0.1682 ^{AB}	2.5733±0.1421
สูตรผสม 1: 1000	0.9033±0.0713	1.3733±0.0731	1.5833±0.1419	1.8567±0.1955 ^{AB}	2.5600±0.2088	2.5200±0.1097 ^{B}	2.4926±0.2238

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามด้วยตัวอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-6 น้ำหนักใบจำเพาะของลำต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.2 การวิเคราะห์ทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

การทดลองนี้ได้ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและเศษปลา ในสารละลายธาตุอาหารที่อัตราส่วนและระยะเวลาแตกต่างกัน โดยวัดค่าปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ และปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ

จากการทดลองพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 21, 28, 35 และ 42 วัน (ตารางที่ 4-7 และภาพที่ 4-7) โดยแต่ละระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

ที่ระยะเวลา 21 วัน ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 ส่งผลทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.425 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และ 1: 500 ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเฉลี่ย 0.382 และ 0.355 มิลลิกรัม/ กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 จึงมีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบได้ดีที่สุด

สำหรับผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับสารละลายชุดควบคุม ที่ระยะเวลา 28 วัน มีผลทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.338 มิลลิกรัม/ กรัม น้ำหนักสด โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเฉลี่ย 0.253 และ0.250 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ดังนั้นชุดควบคุมจึงมีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบได้ดีที่สุด

ส่วนผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับสารละลายชุดควบคุม ที่ระยะเวลา 35 วันพบว่ามีผลทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.388 มิลลิกรัม/ กรัม น้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเฉลี่ย 0.345 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเฉลี่ย 0.313 มิลลิกรัม/ กรัม น้ำหนักสด

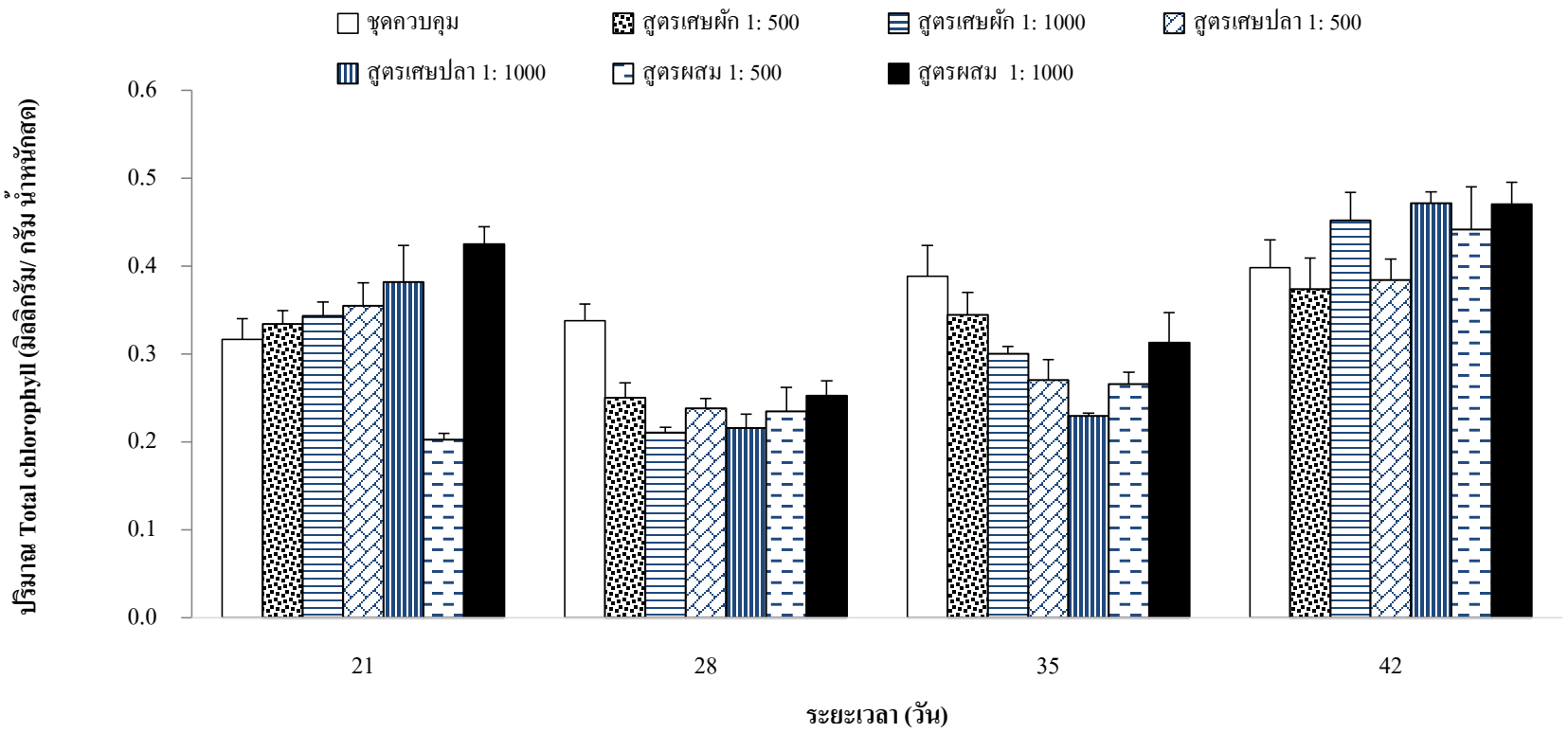
ที่ระยะเวลา 42 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมากที่สุดเท่ากันคือ 0.471 มิลลิกรัม/ กรัม น้ำหนักสด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 1000 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเฉลี่ย 0.452 มิลลิกรัม/ กรัม น้ำหนักสด ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ พบว่าที่ระยะเวลา 21, 28, 35 และ 42 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 42 วันนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 4-7 ปริมาณ Total chlorophyll ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (mean ± standard error)

ชุดทดลอง	ปริมาณ Total chlorophyll (มิลลิกรัม/ กรัม น้ำหนักสด)			
	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน
ชุดควบคุม	0.317 ± 0.024^{B}	0.338 ± 0.019^{B}	0.388 ± 0.035^{D}	0.398 ± 0.032
สูตรเศษผัก 1: 500	0.334 ± 0.015^{B}	0.250 ± 0.017^{A}	0.345 ± 0.026^{CD}	0.374 ± 0.035
สูตรเศษผัก 1: 1000	0.343 ± 0.016^{B}	0.210 ± 0.006^{A}	0.300 ± 0.009^{ABC}	0.452 ± 0.032
สูตรเศษปลา 1: 500	0.355 ± 0.026^{AB}	0.238 ± 0.012^{A}	0.270 ± 0.023^{ABC}	0.384 ± 0.024
สูตรเศษปลา 1: 1000	0.382 ± 0.042^{AB}	0.216 ± 0.016^{A}	0.230 ± 0.003^{A}	0.471 ± 0.013
สูตรผสม 1: 500	0.202 ± 0.007^{A}	0.235 ± 0.028^{A}	0.266 ± 0.014^{AB}	0.442 ± 0.048
สูตรผสม 1: 1000	0.425 ± 0.020^{C}	0.253 ± 0.017^{A}	0.313 ± 0.034^{BC}	0.471 ± 0.025

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามด้วยตัวอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-7 ปริมาณ Total chlorophyll ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.2.2 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ (Carotenoids)

จากการทดลองพบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 21, 28, 35 และ 42 วัน (ตารางที่ 4-8 และภาพที่ 4-8) โดยแต่ละระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

ที่ระยะเวลา 21 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.136 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และ 1: 500 ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบเฉลี่ย 0.120 และ 0.118 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 จึงมีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบได้ดีที่สุด

ที่ระยะเวลา 28 วันพบว่าชุดควบคุม มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.105 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบเฉลี่ย 0.092 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบเฉลี่ย 0.079 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด

ที่ระยะเวลา 35 วันพบว่าชุดควบคุมมีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.115 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย 0.100 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย 0.093 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด

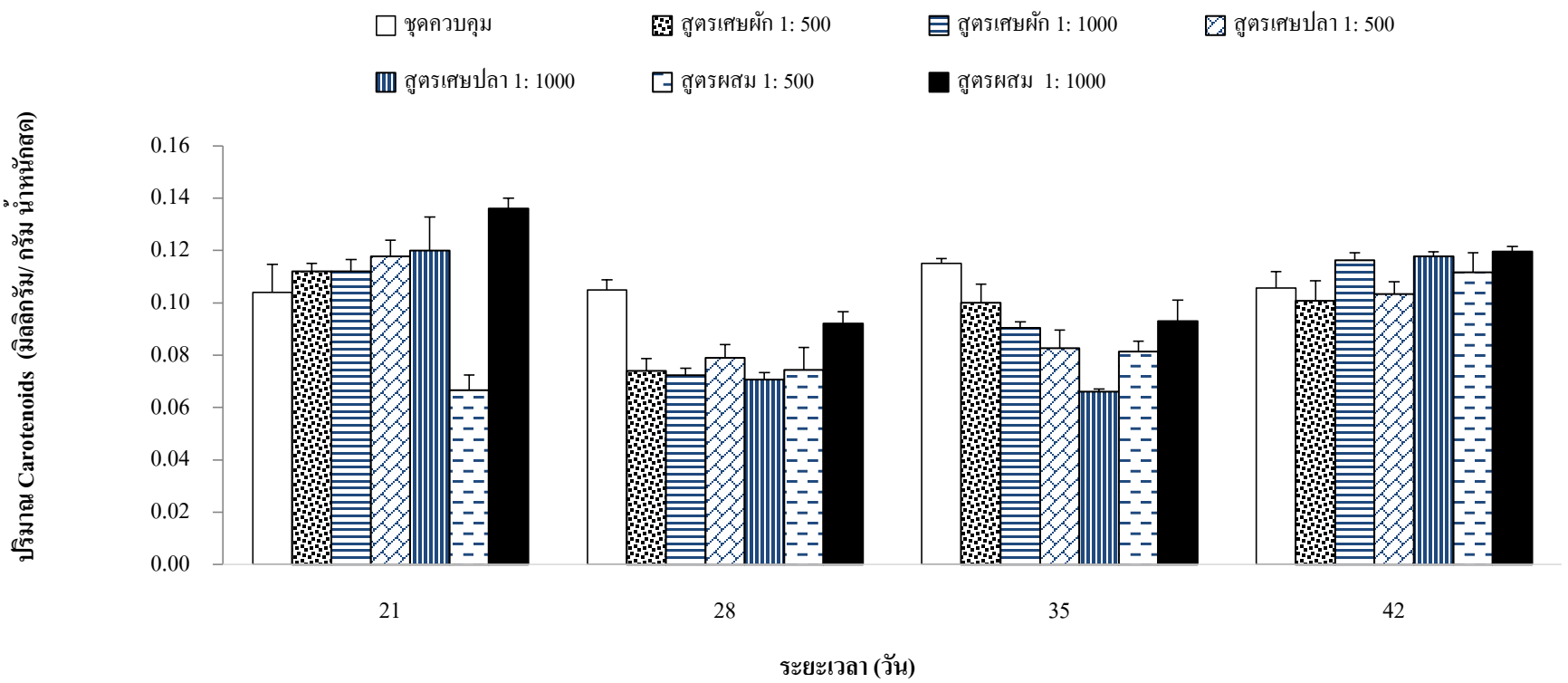
ที่ระยะเวลา 42 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 1000 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบเฉลี่ย 0.120, 0.118 และ 0.116 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ พบว่าที่ระยะเวลา 21, 28 และ 35 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่ระยะเวลา 42 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 42 วันนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมีค่ามากที่สุด ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้ให้ผลการตอบสนองที่สอดคล้องกับค่าปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ

ตารางที่ 4-8 ปริมาณ Carotenoids ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (mean ± standard error)

ชุดทดลอง	ปริมาณ Carotenoids (มิลลิกรัม/ กรัม น้ำหนักสด)			
	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน
ชุดควบคุม	0.104 ± 0.011^{B}	0.105 ± 0.004^{C}	0.115 ± 0.002^{D}	0.106 ± 0.006
สูตรเศษผัก 1: 500	0.112 ± 0.003^{BC}	0.074 ± 0.005^{A}	0.100 ± 0.007^{CD}	0.101 ± 0.008
สูตรเศษผัก 1: 1000	0.112 ± 0.005^{BC}	0.072 ± 0.003^{A}	0.090 ± 0.002^{BC}	0.116 ± 0.003
สูตรเศษปลา 1: 500	0.118 ± 0.006^{BC}	0.079 ± 0.005^{AB}	0.083 ± 0.007^{B}	0.103 ± 0.005
สูตรเศษปลา 1: 1000	0.120 ± 0.013^{BC}	0.071 ± 0.003^{A}	0.066 ± 0.001^{A}	0.118 ± 0.002
สูตรผสม 1: 500	0.067 ± 0.006^{A}	0.074 ± 0.009^{A}	0.081 ± 0.004^{AB}	0.112 ± 0.007
สูตรผสม 1: 1000	0.136 ± 0.004^{C}	0.092 ± 0.005^{BC}	0.093 ± 0.008^{BC}	0.120 ± 0.002

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามด้วยตัวอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-8 ปริมาณ Carotenoids ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักสด) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพ สูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.2.3 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ (β-carotene)

จากการทดลองพบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 21, 28, 35 และ 42 วัน (ตารางที่ 4-9 และภาพที่ 4-9) โดยแต่ละระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

ที่ระยะเวลา 21 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบเฉลี่ย 1.404, 1.395 และ 1.367 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 28 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 มีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบเฉลี่ย 1.469, 1.445 และ 1.405 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 35 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 มีปริมาณเบต้าแคโรทีนเฉลี่ย 1.651, 1.624 และ 1.590 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

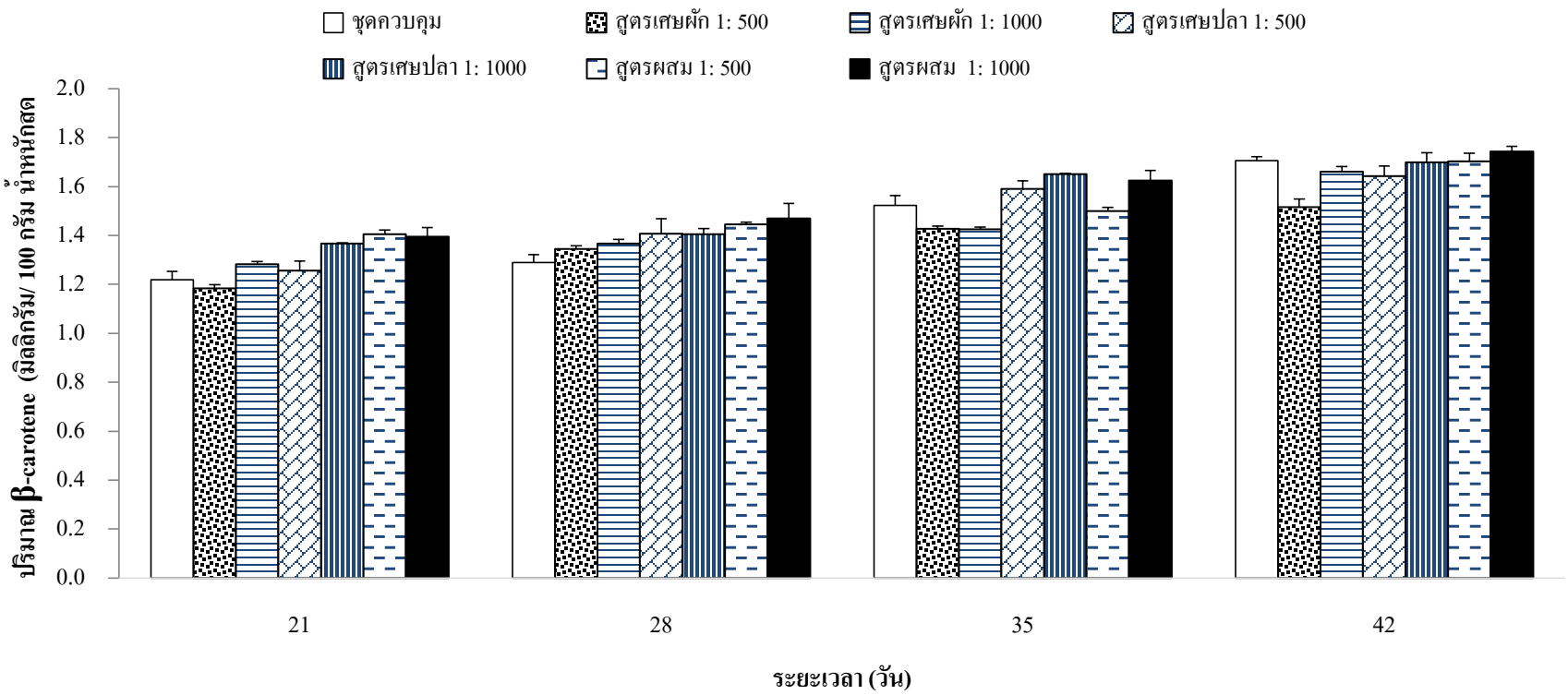
ที่ระยะเวลา 42 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือสารละลายชุดควบคุม และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 มีปริมาณเบต้าแคโรทีนเฉลี่ย 1.742, 1.706 และ 1.703 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ พบว่าที่ระยะเวลา 21 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระยะเวลา 28 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และที่ระยะเวลา 35 และ 42 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 42 วันนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบมีค่ามากที่สุด ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้ให้ผลการตอบสนองที่สอดคล้องกับค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ

ตารางที่ 4-9 ปริมาณ β-carotene ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (mean ± standard error)

ชุดทดลอง	ปริมาณ β-carotene (มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนักสด)			
	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน
ชุดควบคุม	1.218 ± 0.035^{AB}	1.290 ± 0.032	1.523 ± 0.040^{BC}	1.706 ± 0.016^{B}
สูตรเศษผัก 1: 500	1.183 ± 0.016^{A}	1.345 ± 0.013	1.426 ± 0.012^{A}	1.516 ± 0.032^{A}
สูตรเศษผัก 1: 1000	1.283 ± 0.011^{B}	1.367 ± 0.017	1.425 ± 0.008^{A}	1.660 ± 0.021^{B}
สูตรเศษปลา 1: 500	1.256 ± 0.040^{AB}	1.407 ± 0.061	1.590 ± 0.033^{CD}	1.643 ± 0.042^{B}
สูตรเศษปลา 1: 1000	1.367 ± 0.004^{C}	1.405 ± 0.023	1.651 ± 0.003^{D}	1.698 ± 0.039^{B}
สูตรผสม 1: 500	1.404 ± 0.018^{C}	1.445 ± 0.009	1.500 ± 0.014^{AB}	1.703 ± 0.034^{B}
สูตรผสม 1: 1000	1.395 ± 0.038^{C}	1.469 ± 0.061	1.624 ± 0.042^{D}	1.742 ± 0.021^{B}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามด้วยตัวอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-9 ปริมาณ β-carotene ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

4.2.4 ปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบ (Ascorbic acid)

จากการทดลองพบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 21, 28, 35 และ 42 วัน (ตารางที่ 4-10 และภาพที่ 4-10) โดยแต่ละระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

ที่ระยะเวลา 21 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบเฉลี่ย 12.983, 12.807 และ 12.719 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 28 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และชุดควบคุม มีปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบเฉลี่ย 16.316, 15.877 และ 15.175 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ส่งผลต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ที่ระยะเวลา 35 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 18.333 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด โดยมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 500 ซึ่งมีปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบเฉลี่ย 17.105 และ 16.930 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1:1000 จึงมีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบได้ดีที่สุด

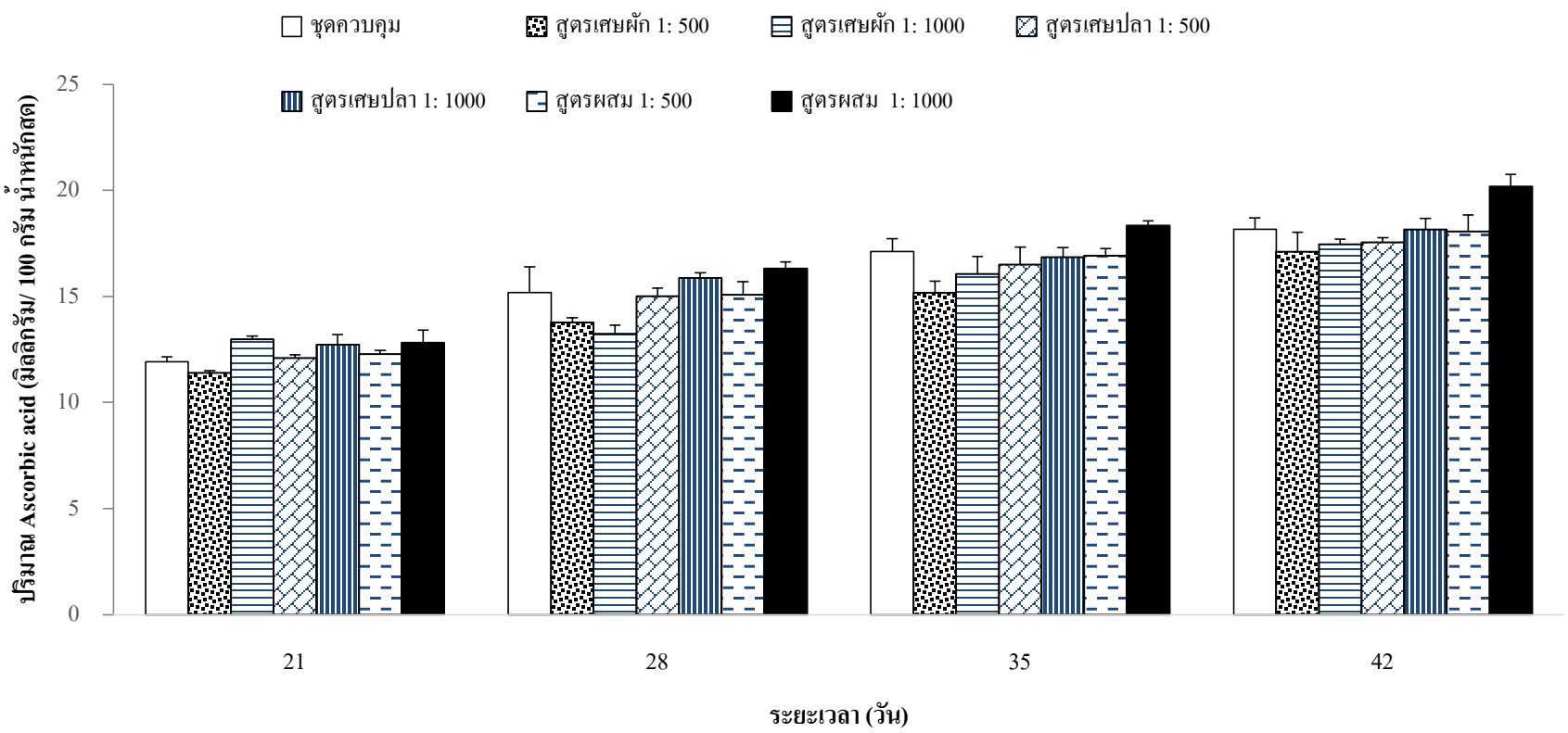
ที่ระยะเวลา 42 วันพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 20.176 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด โดยมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมและน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 ซึ่งมีปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบเฉลี่ยเท่ากันคือ 18.158 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 จึงมีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบได้ดีที่สุด

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ พบว่าที่ระยะเวลา 21 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระยะเวลา 28 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระยะเวลา 35 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และที่ระยะเวลา 42 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลา 42 วันนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบมีค่ามากที่สุด ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้ให้ผลการตอบสนองที่สอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ และปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ

ตารางที่ 4-10 ปริมาณ Ascorbic acid ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (mean ± standard error)

ชุดทดลอง	ปริมาณ Ascorbic acid (มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสด)			
	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน
ชุดควบคุม	11.930 ± 0.2319	15.175 ± 1.2185 ^{AB}	17.105 ± 0.6077	18.158 ± 0.548 ^{A}
สูตรเศษผัก 1: 500	11.404 ± 0.0877	13.772 ± 0.2323^{A}	15.176 ± 0.5335	17.105 ± 0.912 ^{A}
สูตรเศษผัก 1: 1000	12.983 ± 0.3507	13.245 ± 0.4642^{A}	16.053 ± 1.0636	17.456 ± 0.088 ^{A}
สูตรเศษปลา 1: 500	12.105 ± 0.1518	15.000 ± 0.4017 ^{AB}	16.491 ± 0.8369	17.544 ± 0.232 ^{A}
สูตรเศษปลา 1:1000	12.719 ± 0.4884	15.877 ± 0.2323^{B}	16.842 ± 0.4558	18.158 ± 0.526 ^{A}
สูตรผสม 1: 500	12.281 ± 0.1757	15.088 ± 0.6140^{AB}	16.930 ± 0.3161	18.070 ± 0.765 ^{A}
สูตรผสม 1: 1000	12.807 ± 0.6139	16.316 ± 0.3040^{B}	18.333 ± 0.2319	20.176 ± 0.575 ^{B}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่ตามด้วยตัวอักษรชนิดพิมพ์ใหญ่ ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT



ภาพที่ 4-10 ปริมาณ Ascorbic acid ในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนักสด) ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก สูตรเศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างผักและปลาในสารละลายธาตุอาหารที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

5.1 ผลของน้ำหมักชีวภาพที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คส่งผลต่อการเจริญเติบโตในด้านความสูงของลำต้น พื้นที่ใบรวมต่อต้น และน้ำหนักแห้งรวมมีค่ามากที่สุด อาจเป็นเนื่องจากน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมเกิดจากการผสมรวมระหว่างน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักและสูตรเศษปลา ในตารางที่ 2-2 สามารถเทียบเคียงได้กับน้ำหมักสูตรผสมในการทดลองนี้ พบว่า มีปริมาณธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีมากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำหมักชีวภาพจากชนิดอื่น (อานัฐ ตันโช, 2556) ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังเช่นธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของรีดอกซ์เอนไซม์และโปรตีนในการส่งผ่านอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง การหายใจ และการตรึงไนโตรเจน ธาตุแมงกานีสเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่ช่วยในการหายใจของพืช มีหน้าที่ในการสร้างคลอโรฟิลล์คล้ายกับธาตุเหล็ก ช่วยในการเจริญของเนื้อเยื่อเจริญที่อยู่ตรงส่วนยอดและรากพืชช่วยให้พืชนำแคลเซียมไปใช้ได้ ธาตุทองแดงเป็นองค์ประกอบของโปรตีนช่วยในกระบวนการหายใจและส่งเสริมให้พืชนำธาตุเหล็กมาใช้ได้มากขึ้น และธาตุสังกะสีเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่สำคัญหลายชนิด เช่น ออกซิน ช่วยให้พืชเจริญเติบโตแตกยอดได้สมบูรณ์ รวมถึงเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนอีกด้วย (อำพา คำวงษา, 2553) จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค โดยเฉพาะความสูงลำต้น พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งรวมได้ดีที่สุด

จากการทดลองน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมก็เกิดจากการผสมระหว่างน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักและสูตรเศษปลา ซึ่งน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลามีปริมาณธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมมาก ซึ่งสอดคล้องกับกรมพัฒนาที่ดิน (2557) ได้รายงานไว้ว่าน้ำหมักชีวภาพจากจากเศษปลาจะมีปริมาณธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมค่อนข้างสูง และน้ำหมักชีวภาพจากผักจะมีปริมาณธาตุทองแดงสูงจึงทำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับ รัชนีพร สุทธิภาศิลป์ (2554) ได้ศึกษาการปลูกผักสลัดคอส (*Lactuca sativa* var.*crispa* L.) ด้วยระบบไฮโดรโปรนิกส์โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ พบว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาให้การเจริญเติบโต การดูดใช้ธาตุอาหารและให้น้ำหนักผลผลิตสดของผักสลัดคอสมากกว่าน้ำหมักชีวภาพจากสูตรอื่น ๆ

ผลการทดลองในเรื่องอัตราส่วนต้นต่อราก พบว่าผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้มีค่ามากที่สุดในวันที่ 14 เพราะน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก มีปริมาณฮอร์โมนพืชสูง โดยเฉพาะไซโทไคนินซึ่งมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์ การเจริญทางด้านลำต้นของพืช จึงทำให้พืชมีการเจริญเติบโตด้านลำต้นมากกว่าราก มีผลทำให้มีค่าอัตราส่วนต้นต่อรากมากขึ้นด้วย แต่หลังจากวันที่ 14 นั้นกลับมีค่าอัตราส่วนต้นต่อรากไม่แตกต่างกันอาจเป็นเนื่องมาจากการสุ่มเก็บตัวอย่างที่อาจทำให้เกิดความแปรปรวนของการตอบสนอง จึงอาจไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ส่วนน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีค่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์และค่าน้ำหนักใบจำเพาะมีค่ามากที่สุด ซึ่งค่าอัตราการเติบโตสัมพัทธ์เป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง ถ้ามีค่ามากแสดงว่าพืชมีการเจริญเติบโตทางด้านใบดี รวมถึงค่าน้ำหนักใบจำเพาะ คือค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของใบรวมทั้งต้นต่อพื้นที่ใบรวมทั้งต้น ถ้ามีค่ามากแสดงว่าใบพืชมีความหนามาก (ลิลลี่ กาวีต๊ะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์, สุรียา ตันติวิวัฒน์ และณรงค์ วงศ์กันทรากร, 2556) จากข้อมูลดังกล่าวเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเจริญเติบโตทางด้านใบที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลามีปริมาณธาตุอาหารหลักมาก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งธาตุ 3 ธาตุนี้ถือว่ามีความจำเป็นอย่างมากเนื่องจากพืชต้องการในปริมาณที่มาก โดยเฉพาะธาตุไนโตเจน ซึ่งจะช่วยให้พืชมีใบเขียวสด มีความแข็งแรง และโตเร็ว รวมถึงน้ำหมักชีวภาพจากปลา อุดมไปด้วยกรดอะมิโนต่าง ๆ จึงมีโปรตีนสูงกว่าพืชสีเขียว และถูกย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว จึงเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญ ดังนั้นเมื่อนำปลามาผ่านกระบวนการหมักก็จะได้น้ำหมักที่มีธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนในปริมาณมาก ซึ่งจะช่วยให้พืชมีใบเขียวสด มีความแข็งแรง และโตเร็ว พืชสามารถดูดไปใช้ได้โดยตรงและน้ำหมักที่ได้จะมีส่วนช่วยกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้เกิดกิจกรรมเพิ่มขึ้น (อานัฐ ตันโช, 2549)

จากการทดลองผลของน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค สอดคล้องกับรายงานการทดลอง ได้แก่ รายงานการทดลองของธนชัย ฉลาดเฉลียว (2547) ที่พบว่าน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาสดมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชใบ มีผลต่อความสูงของต้น ความกว้างของใบ และขนาดของลำต้นต่อพื้นที่ได้ดีที่สุด และสอดคล้องกับการทดลองของ วีณารัตน์ มูลรัตน์ และคณะ (2553) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาที่ใช้น้ำกากส่าเหล้าทดแทนกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นที่ 0, 1: 1000, 1: 500, และ 1: 250 ต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ พบว่าน้ำหมักชีวภาพเศษปลาที่ระดับ 1: 1000 มีเปอร์เซ็นต์ความงอกและดัชนี

การงอกสูงสุด และจากการทดลองหาอัตราความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำ หมักชีวภาพเศษปลาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ในด้านความสูงต้น ความเข้มสีใบ ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้น ใบ และราก พบว่าแต่ละความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการทดลองค่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และน้ำหนักใบจำเพาะของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเห็นได้ชัดเจนในวันที่ 21 หลังจากนั้นในช่วง 28-42 มีค่าการตอบสนองไม่แตกต่าง ผู้วิจัยมีความเห็นว่าอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม มีอุณหภูมิสูงในช่วงเวลาดังกล่าว (ตารางภาคผนวก ฉ-1) อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่เป็นไปตามปกติ

จากการผลการทดลองในด้านการเจริญเติบโตสรุปได้ว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างเศษผักและเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คได้มากกว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 เพราะมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมากที่สุด

5.2 ผลของน้ำหมักชีวภาพที่มีต่อลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมีค่ามากที่สุดเท่ากัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพสูตรผสม และสูตรเศษปลาของ อานัฐ ตันโช (2549) พบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมมีปริมาณของธาตุแมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็กสูง ซึ่งธาตุแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ รวมถึงมีบทบาทในการดูดซึมธาตุอาหาร การเคลื่อนย้ายธาตุอาหารของพืช (อำพา คำวงษา, 2553) ธาตุกำมะถัน มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีนและกรดอะมิโนบางชนิด นอกจากนั้นยังมีผลทางอ้อมต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ของพืช และธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซินซึ่งสำคัญในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของพืช นอกจากนั้นยังเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์อีกด้วย (นพดล เรียบเลิศหิรัญ, 2550)

จากการทดลองผลของน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค สอดคล้องกับรายงานการทดลองของ สุรชัย พัฒนพิบูลย์, สุเทพ ทองแพ, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และจารนัย พณิชยกุล (2547) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพจากปลา

ร่วมกับการใช้สารละลายที่มีธาตุอาหารครบ ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและมีการดูดธาตุอาหารเพิ่มขึ้นดีกว่าการใช้สารละลายธาตุอาหารเพียงอย่างเดียวซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมถึงน้ำหมักชีวภาพจากปลามีปริมาณธาตุไนโตรเจนมากที่สุด และผลการทดลองสอดคล้องกับ วุฒิกร จันทร์มาก และคณะ (2552) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพจากปลาที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกแบบไร้ดินพบว่าน้ำสกัดชีวภาพจากปลามีธาตุอาหารหลักไนโตรเจนมากที่สุดซึ่งธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ และโดยทั่วไปปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระดับไนโตรเจนในใบและความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืช (Evans, 1989) คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่มีบทบาทและหน้าที่สำคัญในการดูดซับพลังงานแสงเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (Gross, 1991) ดังนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อส่วนใบของพืชจึงสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงความสามารถในการสร้างอาหาร เพื่อการเจริญเติบโตของพืช ตลอดจนการตอบสนองต่อปัจจัยต่าง ๆ ด้านสภาพแวดล้อม (วิรัตน์ ภูวิวัฒน์, 2540) ดังนั้นถ้าพืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากจะส่งผลให้พืชมีประสิทธิภาพในการสร้างอาหาร เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้มากขึ้นด้วย

ส่วนผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่เติมด้วยน้ำหมักชีวภาพผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ (Carotenoids) ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ (β-carotene) และปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบ (Ascorbic acid) มีค่ามากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าการเจริญเติบโต เพราะพืชที่เจริญเติบโตดีก็เนื่องจากมีการสร้างสารต่าง ๆ ที่ช่วยปกป้องพืชได้แก่ แคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารธรรมชาติเป็นรงควัตถุที่พบในคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) และโครโมพลาสต์ (Chromoplast) ของผลไม้ ดอกไม้ และใบพืช มีบทบาทสำคัญหลายอย่างช่วยป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ (Free radical) ปกป้องพืชในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ปกป้องผลกระทบจากแสงแดดอย่างรุนแรง (อัจฉรา นิยมเดชา และมงคล คงเสน, 2556)

จากการทดลองผลของน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1:1000 มีผลต่อลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค สอดคล้องกับรายงานการทดลองของกาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์ (2527) กล่าวว่าเบต้าแคโรทีนเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ โดยเป็นรงควัตถุประกอบที่ช่วยในการสังเคราะห์แสง โดยดูดกลืนแสงแล้วถ่ายทอดพลังงานที่ได้รับส่งไปยังคลอโรฟิลล์ นอกจากคุณสมบัติดังกล่าว เบต้าแคโรทีนยังสามารถป้องกันพืชจากแสงที่มีความเข้มแสงสูงโดยเป็นตัวป้องกันคลอโรฟิลล์ไม่ให้ถูกทำลาย ตัวอย่างเช่น ใน *Dunaliella bardawii* ที่มีการสะสมเบต้าแคโรทีนต่ำจะตายเมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มสูง ขณะที่ *D. bardawii* ที่มีการสะสมเบต้าแคโรทีนในปริมาณสูงจะมีชีวิตรอด รวมถึงเบต้าแคโรทีนยังทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสม

คาร์บอนจากปฏิกิริยาสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายนำมาใช้เป็นพลังงาน หากสารอาหารที่ใช้ในการดำรงชีวิตของเซลล์ไม่เพียงพอ (Ben-Amotz & Shaish, 1992) และยังช่วยป้องกันการเกิด oxidation ของออกซิเจนโมเลกุลเดียวที่จะสร้างความเสียหายต่อคลอโรฟิลล์ในขณะที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นดังนั้นหากพืชมีประมาณ ปริมาณแคโรทีนอยด์และเบต้าแคโรทีนในใบที่มากก็จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดีขึ้นด้วย

ส่วนกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid) เป็นสารละลายที่พบในพืชละลายน้ำได้ดีมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีช่วยลดความเสียหายที่เกิดจากสภาวะเครียดในพืช ทำหน้าที่ให้และรับอิเล็กตรอนในพลาสมาเมมเบรน หรือในคลอโรพลาสต์ และยังเป็นสารตั้งต้นของกระบวนการสังเคราะห์ oxalate ในพืช (Smirnoff, 1996) ทำหน้าที่ร่วมกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเจริญและการแบ่งเซลล์ การต้านทานต่อความเครียดจากสภาพแวดล้อม การสังเคราะห์เอทีลีน จิบเบอเรลลิน แอนโทไซยานิน (Loewus & Loewus, 1987) รวมถึงปริมาณกรดแอสคอร์บิคยังสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยมีรายงานระดับความเข้มข้นมากที่สุดอยู่ในบริเวณใบแก่ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุด และประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ของวิตามินซีทั้งหมดพบในสโตรมาของคลอโรพลาสต์ โดยมีความเข้มข้นสูงถึง 50 มิลลิโมลาร์ (Foyer & Noctor, 2005) ดังนั้นหากพืชที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์มาก ก็จะส่งผลให้มีปริมาณกรดแอสคอร์บิคมากขึ้นด้วย

จะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาใกล้เคียงกัน นั่นคือส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณเบต้าแคโรทีน และปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับน้ำหมักชีวภาพจากสูตรอื่น

ดังนั้นจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารในน้ำหมักชีวภาพจึงส่งผลให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตที่ดีมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและเศษปลาต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 กับผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับสารละลายชุดควบคุม พบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1:1000 มีผลทำให้มีการเจริญเติบโต และลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาได้ดีที่สุด อาจเป็นเพราะการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักและเศษปลามาผสมกัน ทำให้ไปเพิ่มคุณประโยชน์ เพิ่มปริมาณธาตุอาหารและฮอร์โมนพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชให้เพียงพอ และทำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าหรือใกล้เคียงกับสารละลายชุดควบคุม

5.3 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมระหว่างเศษผักและเศษปลาในสารละลายธาตุอาหารที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีผลต่อการเจริญเติบโตสรีรวิทยาบางประการ ปริมาณสารสีที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ และปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) ในระบบไฮโดรโปนิกส์สรุปได้ดังนี้

5.3.1 น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีความสูงของลำต้น พื้นที่ใบรวมต่อต้น และน้ำหนักแห้งรวมมีค่ามากที่สุด ส่วนน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผักในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีอัตราส่วนต้นต่อรากมีค่ามากที่สุด และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีค่าอัตราการเจริญสัมพัทธ์ และน้ำหนักใบจำเพาะมีค่ามากที่สุด

5.3.2 น้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 และน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษปลาในอัตราส่วน 1: 500 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบมีค่ามากที่สุด ส่วนน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 มีผลทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ ปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบ และปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบ มีค่ามากที่สุด

5.3.3 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรผสมในอัตราส่วน 1: 1000 ให้ผลในด้านการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีการควบคุมสภาพแวดล้อมการปลูกพืชให้คงที่ โดยมีการควบคุมระดับความเข้มแสง อุณหภูมิที่ต้นพืชได้รับ และการจัดสภาพโรงเรือน สำหรับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ให้เหมาะสมเพื่อป้องกันแมลงหรือศัตรูพืชให้เหมาะสม

5.3.2 การทดลองในครั้งนี้เป็นการมุ่งเน้นการศึกษาการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตและสรีรวิทยา ซึ่งต้องใช้เครื่องมือและการวิเคราะห์ทางด้านสรีรวิทยาหลายประเภท รวมทั้งต้องใช้เทคนิคต่าง ๆ ดังนั้นก็อาจจะมีการเพิ่มเทคนิคการวิเคราะห์ทางด้านอื่นให้เพิ่มมากขึ้น

5.3.3 ควรพัฒนาน้ำหมักชีวภาพจากสูตรอื่น ๆ เช่น จากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรชนิดอื่น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์และช่วยลดปริมาณของเสียในสิ่งแวดล้อม

5.3.4 ควรนำน้ำหมักชีวภาพไปทำการศึกษาผลการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาบางประการกับพืชชนิดอื่น โดยชนิดพืชที่เน้นการบริโภคใบ เช่น คะน้า กวางตุ้ง และกะหล่ำปลี เป็นต้น

บรรณานุกรม

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. (2527). *สาหร่าย*. กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 343 หน้า.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2557). *คู่มือการผลิตและประโยชน์จากปุ๋ยอินทรีย์น้ำ*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร. (2549). *พืชสวนพันธุ์ดีในรอบ 30 ปี*. กรุงเทพฯ: กระทรวงการเกษตรและสหกรณ์.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2551). *การผลิตผักไฮโดรโพนิกส์แห่งประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2554). *ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของผักกาดหอม*. เข้าถึงได้จาก http:// www.doae.go.th

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2550). *มีอะไรปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน (สนท.010008-2550)*. เข้าถึงได้จาก http://www.ldd.go.th/menu_Dataonline/G1/G1_21.pdf

กรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดชลบุรี (2558). *สถิติอุณหภูมิเฉลี่ย: ตั้งแต่วันที่ 20 เมษายน-7 พฤษภาคม 2558*. วันที่ค้นข้อมูล 30 พฤษภาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://www.tmd.go.th/province.php?id=54

จิรวัฒน์ ภู่เสริมภูมิ. (2552). *ผักกินใบ*. กรุงเทพฯ: เกษตรสยามบุ๊คส์.

ชวนพิศ อรุณรังสิกุล, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล, รุ่งนภา ก่อประดิษฐ์สกุล และธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์. (2547). คุณภาพน้ำหมัก. ใน*การประชุมวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42* (หน้า 481-488). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดนัย บุณยเกียรติ. *(2556)*. คู่มือการจัดชั้นคุณภาพผัก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, *34*(1), 288-29.

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

ธนชัย ฉลาดเฉลียว. (2547). *การศึกษาและพัฒนาน้ำหมักชีวภาพเพื่อการปลูกผัก*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

นันทนา อังกินันท์ และศุภจิตร ชัชวาลย์. (2543). *เอกสารประกอบการสอนปฏิบัติการสรีรวิทยาของพืช*. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นริศรา มีดนนท์. (2551). *การหาปริมาณวิตามินซีในผักบางชนิดจากตลาดที่ปลูกแบบเกษตรอินทรีย์และแบบเกษตรดั้งเดิม*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, สาขาเคมีศึกษา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นพดล เรียบเลิศหิรัญ. (2550). *การปลูกพืชไร้ดิน*. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์. (2551). *เคล็ดลับการผลิต ปุ๋ยอินทรีย์-ชีวภาพ แบบมืออาชีพ*. กรุงเทพฯ: เพชรกะรัต.

ปิยะภรณ์ จิตรเอก. (2556). *ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพร่วมกับสมุนไพรต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัด 4 ชนิด ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์*. วิทยาศาตรมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช, คณะเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

พันธิตร์ มะลิสุวรรณ. (2549). *การปลูกผักไร้ดิน: ผักปลอดสารพิษ 100 เปอร์เซ็นต์*. กรุงเทพฯ: ยูทิไลซ์ จำกัด.

พจนีย์ ไม้หอม. (2552). *ผลของน้ำหมักอินทรีย์ต่อมวลชีวภาพและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและการเจริญเติบโตของคะน้า*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มนูญ ศิรินุพงศ์. (2544). *การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสู่การปฏิบัติในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: เจริญรัฐการพิมพ์.

มนูญ ศิรินุพงศ์. (2556). *การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย* (พิมพ์ครั้งที่ 2). นนทบุรี: สยามคัลเลอร์พริน.

เมฆ จันทน์ประยูร. (2541). *ผักสวนครัว*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไททรรศน์.

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

ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์ และศิริธรรม สิงห์โต. (2550). *ปุ๋ยอินทรีย์...ปุ๋ยชีวภาพทางเลือกใหม่เพื่อการเกษตร*. ปทุมธานี: สถาบันเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

ลลนา แสงอาทิตย์. (2557). *ปลูกผักวันหยุด*. กรุงเทพฯ: พี เอ็น เค แอนด์ สกายพริ้นติ้งส์ จำกัด.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์, สุรียา ตันติวิวัฒน์ และณรงค์ วงศ์กันทรากร. (2556). *สรีรวิทยาของพืช* (ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิรัตน์ ภูวิวัฒน์. (2540). ผลของอุณหภูมิต่อการสกัดคลอโรฟิลล์จากเนื้อเยื่อใบพืชโดยใช้สาร N,N-Dimethyl formamide. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, *15*(3), 3-8.

วิภาภรณ์ วรรณกรี. (2555). *การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ด้วยปุ๋ยหมักชีวภาพ*. วันที่ค้นข้อมูล 3 ธันวาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://www.agr.rmutt.ac.th/?p=3860

วีณารัตน์ มูลรัตน์, สมชาย ชคตระการ และอัญชลี จาละ. (2553). *ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาที่ใช้น้ำกากส่าเหล้าทดแทนกากน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้*. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48* (หน้า 82-88). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วุฒิกร จันทร์มาก, ศศมล ผาสุข และชาตรี เกิดธรรม (2552).*การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพภาพจากปลาที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกแบบไร้ดิน. วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปภัมภ์*, *3*(1), 85-94.

ศราวุธ ภูมิเขตร์ และสุวัฒน์ ยอดวงกอง. (2550). *การทดสอบประสิทธิภาพน้ำหมักชีวภาพร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีผลต่อการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

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

สุรชัย พัฒนพิบูลย์, สุเทพ ทองแพ, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และจารนัย พณิชยกุล (2547). ประสิทธิภาพของน้ำสกัดต่อการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดในระบบการปลูกแบบไม่ใช้ดิน. *วารสารดินและปุ๋ย, 26*(3), 107-116

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. (2548). *สรีรวิทยาของพืช* (ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2558). *วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพสูตรปลาสด และสูตรผักตบชวา*. เลขที่ TS 58/09534.

อัจฉรา นิยมเดชา และมงคล คงเสน. (2556). เมทาบอลิซึมและคุณประโยชน์ของแคโรทีนอยด์ในการเพิ่มความเข้มสีไข่แดง. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 112-121

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

อานัฐ ตันโช. (2549). *เกษตรธรรมชาติประยุกต์* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

อานัฐ ตันโช. (2556). *เกษตรธรรมชาติประยุกต์ แนวคิดหลักการปฏิบัติในประเทศไทย ปี 2556* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

อรุโณทัย สิริธรรมเจริญ. (2549). *การศึกษาความเข้มข้นของน้ำสกัดชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดกวางตุ้งฮ่องเต้.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.

อำพา คำวงษา. (2553). *แนวทางการผลิตและลงทุนผักไฮโดรโพนิกส์เพื่อทำเงิน.* กรุงเทพฯ: นาคาอินเตอร์มีเดีย จำกัด.

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 Manu*al (pp. 36-46). London: Chapman and Hall.

Ben-Amotz, A., & Shaish, A. (1992). Betacarotene biosysthesis. *Dunaliella*: *Physiology*, *Biochemistry,and Biotechnology*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Evans, J. R. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants.*Oecologia*, *78*, 9-19.

Foyer.C. H., & Noctor, G. (2005). Oxidant and antioxidant signalling in plants: are-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant, Cell & Environment*. *28,* 1056-1071.

George Matelian Foundation. (2006) *The World's healthiest foods*. Available From : http://www. whfoods.com/index.html. 2006; April 10.

Gross, J. (1991). Pigment in vegetables: Chlorophylls and carotenoids. Van Nostrand Reinhold, New York.

Lanfer-Marquez, U.M., Barros, R.M.C., & Sinnecker, P. (2005) Antioxidant activity of chlorophylls and their derivatives. *Food Research Intermational*. *38*, 885-891.

Lee, C. Y., & Whitaker, J. R. (1994). Enzymatic browning and its prevention, ACS Symposium Scries 600, Washingtons, D. C., 338 p.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosysthetic biomenbranes. *Methods Enzymol*, *148*, 350-382.

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

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

Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology* (4th ed.). Sinauer Associates, Inc., Sunderland: Massachusetts.

United States Department of Agriculture Nutrient database. (2016). *Agricultural Research Service National Nutrient Database for Standard Reference Release*. Retrieved from https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3050

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. *Agricultral and Food chemistry*, *50*, 221-226

Young, A., & Britton, G. (1993). Carotenoids in Photosynthesis. Chapman & Hall Suffolk.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สารละลายธาตุอาหาร Hoagland’s solution

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 วิธีการเตรียม Stock solution ของสารละลายธาตุอาหารพืช

Stock solution	**สารเคมีที่ใช้**	**ปริมาณ**	**ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น**
1 M calcium Chloride	$CaCl_2 2H_2O$	147.03 กรัม	1 ลิตร
1 M calcium nitrate	$Ca(NO_3)4H_2O$	236.10 กรัม	1 ลิตร
1 M magnesium chloride	$MgCl_2$	95.23 กรัม	1 ลิตร
1 M magnesium sulfate	$MgSO_4 7 H_2O$	246.5 กรัม	1 ลิตร
1 M potassium sulfate	KCl	74.56 กรัม	1 ลิตร
1 M potassium dihydrogen phosphate	KH_2PO_4	136.09 กรัม	1 ลิตร
1 M potassium nitrate	KNO_3	101.1 กรัม	1 ลิตร
1 M sodium dihydrogen phosphate	NaH_2PO_4	119.97 กรัม	1 ลิตร
1 M sodium nitrate	$NaNO_3$	84.99 กรัม	1 ลิตร
1 M 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 เทสารละลายทั้งสองผสมกันทีละน้อยและคนไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน
Micronutrient	H_3BO_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 อังกินันท์ และศุภจิตร ชัชวาลย์ (2543)

ตารางภาคผนวกที่ ก-2 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกต้นไม้ (ต่อน้ำ 10 ลิตร)

Stock solution	สูตร							
	complete	-Ca	-S	-Mg	-K	-N	-P	-Fe
1 M $Ca(NO_3)$	10	-	10	10	10	-	10	10
1 M KNO_3	10	10	10	10	-	-	10	10
1 M $MgSO_4$	4	4	-	-	4	4	4	4
1 M KH_2PO_4	2	2	2	2	-	2	-	2
Fe-EDTA	8	4	4	4	4	4	4	-
Micronutrient	2	2	2	2	2	2	2	2
1 M $NaNO_3$	-	10	-	-	10	-	-	-
1 M $MgCl_2$	-	-	4	-	-	-	-	-
1 M Na_2SO_4	-	-	-	4	-	-	-	-
1 M NaH_2PO_4	-	-	-	-	2	-	-	-
1 M $CaCl_2$	-	-	-	-	-	10	-	-
1 M KCl	-	-	-	-	-	10	2	-

ที่มา: นันทนา อังกินันท์ และสุภจิตร ชัชวาลย์ (2543)

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สารในน้ำหมักชีวภาพ

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพจากเศษปลา

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Total Nitrogen (Total N)	0.66	g/ 100 g	-	In-house method TE-CH-211 based on AOAC (2012) 993.13
Total Phosphate (as P_2O_5)	Not Detected	g/ 100 g	0.29	In house method TE-CH-183 based on AOAC (2012) 958.01
Potassium (Total K_2O)	0.32	g/ 100 g	-	In house method TE-CH-191 based on Official Methods of Analysis of Fertilizers. JAPAN (1987)

สถานที่วิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร

ตารางภาคผนวกที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพจากเศษผัก

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Total Nitrogen (Total N)	< 0.50	g/ 100 g	-	In-house method TE-CH-211 based on AOAC (2012) 993.13
Total Phosphate (as P_2O_5)	Not Detected	g/ 100 g	0.29	In house method TE-CH-183 based on AOAC (2012) 958.01
Potassium (Total K_2O)	0.40	g/ 100 g	-	In house method TE-CH-191 based on Official Methods of Analysis of Fertilizers. JAPAN (1987)

สถานที่วิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร

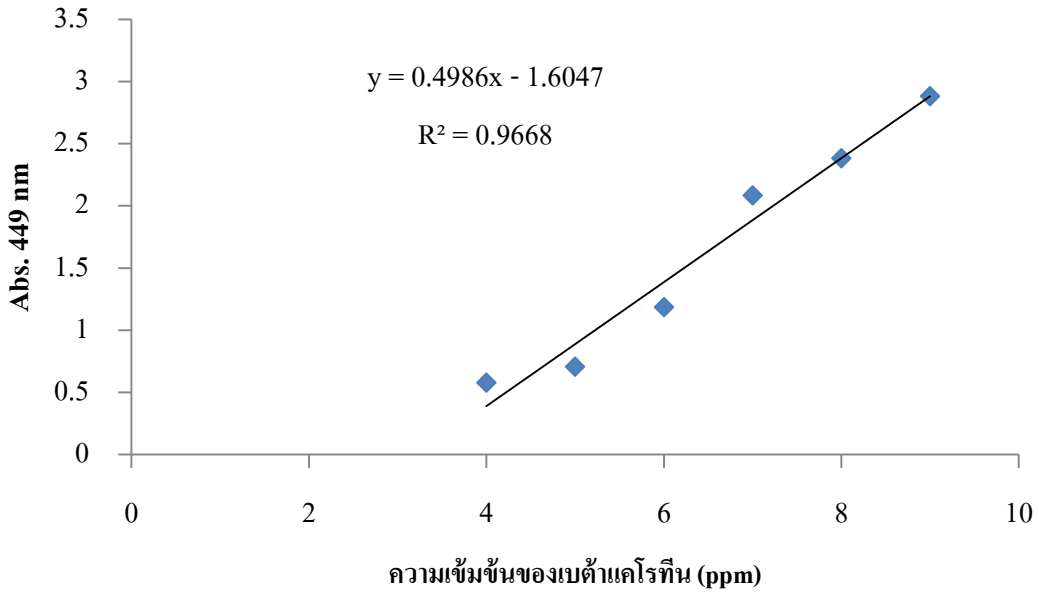
ภาคผนวก ค

การสร้างกราฟมาตรฐานของเบต้าแคโรทีน

การสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิค

ตารางภาคผนวกที่ ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีนกับค่าดูดกลืนแสง ของใบผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

ใบที่	ความเข้มข้นเบต้าแคโรทีน (ppm)	Abs. (449 nm)
1	4	0.578
2	5	0.706
3	6	1.184
4	7	2.084
5	8	2.383
6	9	2.882



ภาพภาคผนวกที่ ค-1 การสร้างกราฟมาตรฐานเบต้าแคโรทีนในการวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนในใบผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

1. การคำนวณสารเบต้าแคโรทีนในผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

นำค่าดูดกลืนแสงของ β-carotene standard มาพล็อตกราฟ และนำค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ได้มาคำนวณเทียบกับ Standard curve ซึ่งขั้นตอนการคำนวณ

จาก Standard curve สมการเส้นตรงที่ได้คือ y = 0.498x - 1.604

โดย ค่า y = ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จาก Spectrophotometer

x = ค่าความเข้มข้นของสารในตัวอย่าง

หาค่า x จาก y = 0.498x- 1.604

x = y + 1.604/ 0.498

ยกตัวอย่าง y = 2.201 x = 2.201+1.604/ 0.498

x = 7.641

นำค่า x ที่ได้มาหาปริมาณเบต้าแคโรทีนที่มีในผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

x = 7.641 ppm (มิลลิกรัม/ลิตร, ไมโครกรัม/ มิลลิลิตร) นั้นคือค่าที่นำไปคำนวณคือ 7.641 ไมโครกรัม/ มิลลิลิตร

hexane 1 มิลลิลิตร มีเบต้าแคโรทีน 7.641 ไมโครกรัม

ถ้า hexane 3 มิลลิลิตร มีเบต้าแคโรทีน 7.641 × 3/ 1 = 22.923 ไมโครกรัม

(hexane 3 มิลลิลิตร ขั้นตอนในการสกัด)

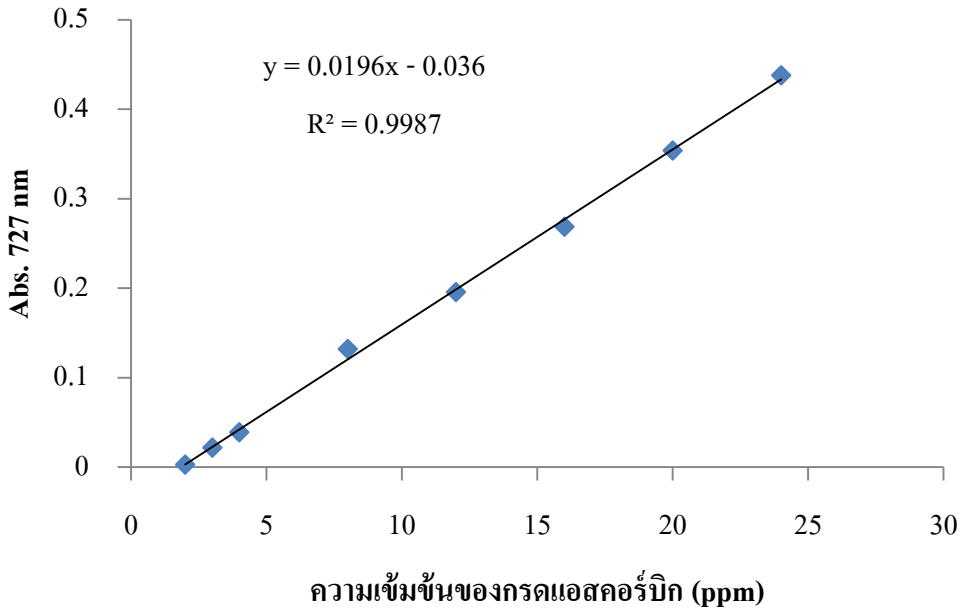
22.923 ไมโครกรัม ในตัวอย่างผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คกี่กรัม

ตัวอย่าง 1.5 กรัม (ในขั้นตอนการบดผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คและใส่ใน Flacon tube)

ในตัวอย่างผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค 1.5 กรัม มีเบต้าแคโรทีน 22.923 ไมโครกรัม ถ้าในตัวอย่างผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค 100 กรัม มีเบต้าแคโรทีน 22.923 ×100/ 1.5 = 1528.2 ไมโครกรัม (1.528 มิลลิกรัม) ดังนั้น ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คจึงมีเบต้าแคโรทีน 1.528 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด

ตารางภาคผนวกที่ ค-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิคกับค่าดูดกลืนแสงของใบผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

ใบที่	ความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิค (ppm)	Abs. (727 nm)
1	2	0.003
2	3	0.022
3	4	0.039
4	8	0.132
5	12	0.196
6	16	0.269
7	20	0.354
8	24	0.438



ภาพภาคผนวกที่ ค-2 การสร้างกราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิคในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิคในใบผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

2. การคำนวณปริมาณกรดแอสคอร์บิคในผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

นำค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิคมาพล็อตกราฟ และนำค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ได้มาคำนวณเทียบกับ Standard curve ซึ่งขั้นตอนการคำนวณจาก Standard curve สมการเส้นตรงที่ได้คือ y = 0.019x – 0.036

โดย ค่า y = ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จาก Spectrophotometer

x = ค่าความเข้มข้นของสารในตัวอย่าง

หาค่า x จาก y = 0.019x- 0.036

x = y + 0.036/ 0.019

ยกตัวอย่าง y = 0.03 x = 0.03 + 0.036/ 0.019

x = 3.474 ppm

x = 3.474 มิลลิกรัม/ ลิตร

ในสารสกัด 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณกรดแอสคอร์บิค 3.474 มิลลิกรัม

สารสกัด 50 มิลลิลิตร มีปริมาณกรดแอสคอร์บิค = (3.474 มิลลิกรัม) (50 มิลลิลิตร)/ (1000 มิลลิลิตร)

= 0.174 มิลลิกรัม

ผัก 1 กรัม มีปริมาณกรดแอสคอร์บิค = 0.174 มิลลิกรัม

ถ้าผัก 100 กรัม มีปริมาณกรดแอสคอร์บิค = (0.174 มิลลิกรัม) (100 กรัม)/ (1 กรัม)

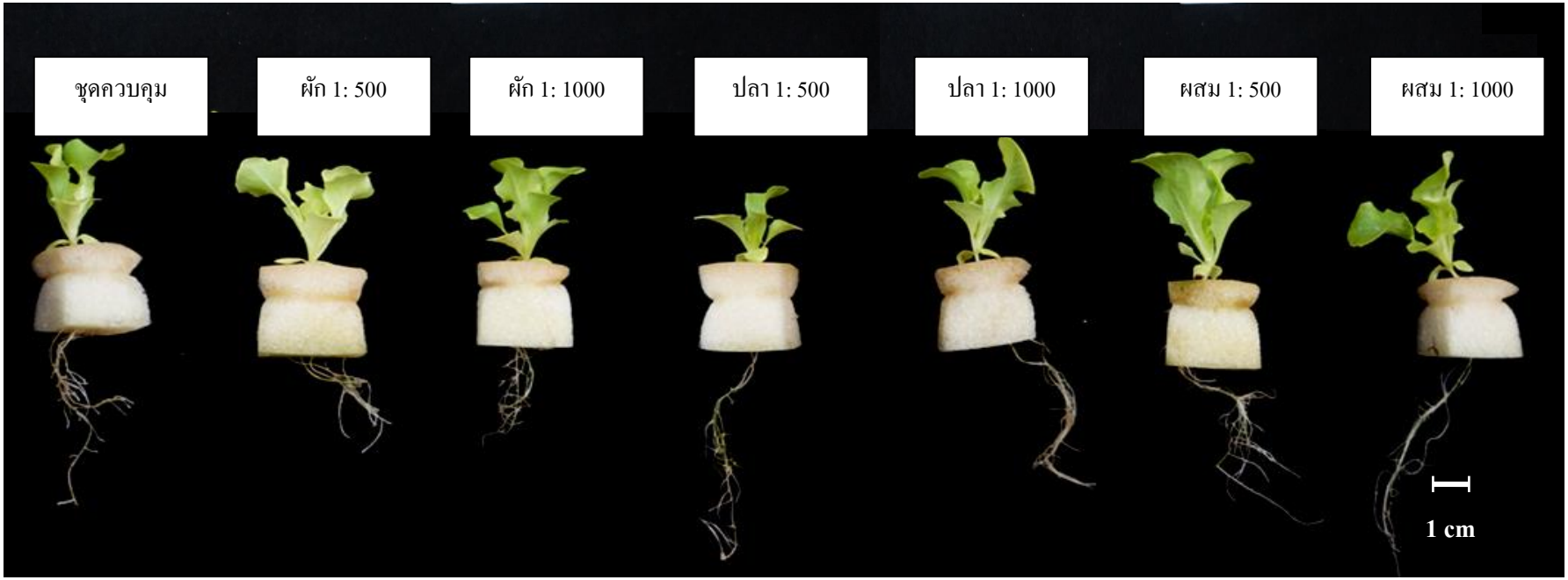
= 17.40 มิลลิกรัม

ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิค = 17.40 มิลลิกรัม/ น้ำหนักสด 100 กรัม

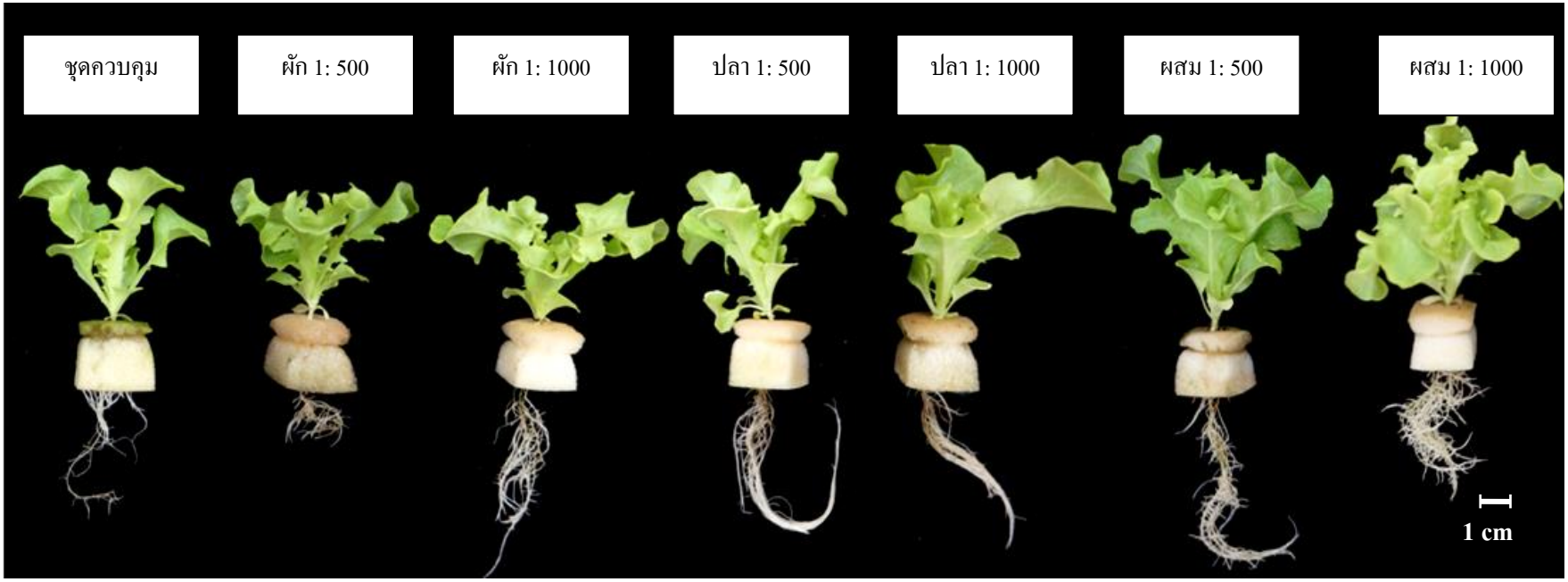
ภาคผนวก ง

การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา สูตรผสมระหว่างเศษผักและปลาต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000

ภาพภาคผนวกที่ ง-1 การเจริญของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ระยะเวลา 0 วัน ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหาร (half strength)

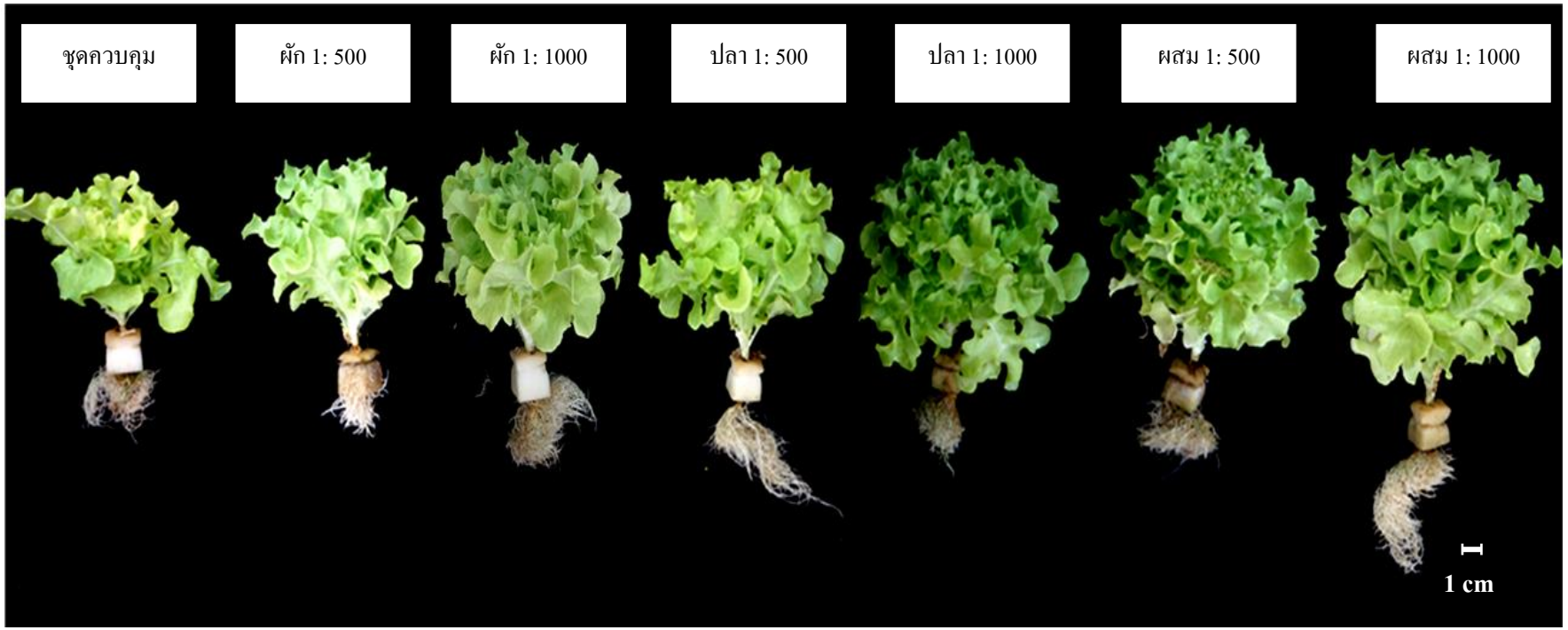


ภาพภาคผนวกที่ ง-2 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลา ต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 7 วัน

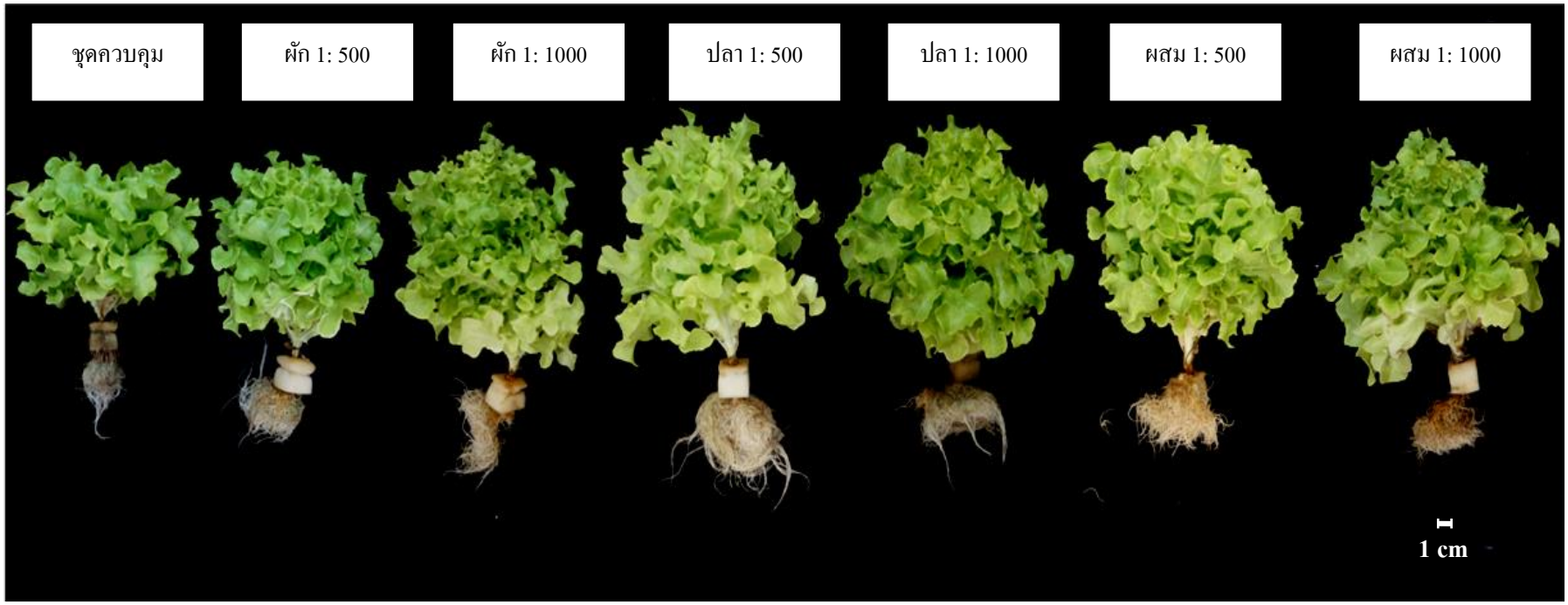


ภาพภาคผนวกที่ ง-3 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลาและสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลา ต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 14 วัน

ภาพภาคผนวกที่ ง-4 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลา ต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 21 วัน



ภาพภาคผนวกที่ ง-5 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลา ต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 28 วัน



ภาพภาคผนวกที่ ง-6 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลา ต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 35 วัน

ภาพภาคผนวกที่ ง-7 การเจริญเติบโตผลของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรเศษผัก เศษปลา และสูตรผสมระหว่างเศษผักและปลา ต่อสารละลายธาตุอาหารในอัตราส่วน 1: 500 และ 1: 1000 ที่ระยะเวลา 42 วัน

ภาคผนวก จ

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ

ตารางภาคผนวกที่ จ-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 7 วัน)

ANOVA

Sum of Squares			**df**	**Mean Square**	**F**	**Sig.**
height	Between Groups	.476	6	.079	2.105	.118
	Within Groups	.527	14	.038		
	Total	1.003	20			
leafarea	Between Groups	190.141	6	31.690	13.170	.000
	Within Groups	33.687	14	2.406		
	Total	223.828	20			
dry weight total	Between Groups	.001	6	.000	6.799	.002
	Within Groups	.000	14	.000		
	Total	.001	20			
RGR	Between Groups	.028	6	.005	4.340	.011
	Within Groups	.015	14	.001		
	Total	.042	20			
SLW	Between Groups	.146	6	.024	1.102	.409
	Within Groups	.309	14	.022		
	Total	.455	20			
shoot/root ratio	Between Groups	22.452	6	3.742	3.448	.026
	Within Groups	15.192	14	1.085		
	Total	37.644	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 14 วัน)

ANOVA

Sum of Squares			**df**	**Mean Square**	**F**	**Sig.**
height	Between Groups	4.937	6	.823	10.394	.000
	Within Groups	1.108	14	.079		
	Total	6.046	20			
leafarea	Between Groups	5741.067	6	956.844	11.607	.000
	Within Groups	1154.110	14	82.436		
	Total	6895.176	20			
dry weight total	Between Groups	.030	6	.005	4.363	.011
	Within Groups	.016	14	.001		
	Total	.046	20			
RGR	Between Groups	.014	6	.003	3.320	.030
	Within Groups	.010	14	.001		
	Total	.023	20			
SLW	Between Groups	.209	6	.035	1.615	.215
	Within Groups	.302	14	.022		
	Total	.511	20			
shoot/root ratio	Between Groups	50.876	6	8.479	14.034	.000
	Within Groups	8.459	14	.604		
	Total	59.335	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 21 วัน)

ANOVA

Sum of Squares			**df**	**Mean Square**	**F**	**Sig.**
height	Between Groups	12.092	6	2.015	10.634	.000
	Within Groups	2.653	14	.190		
	Total	14.746	20			
leafarea	Between Groups	899698.426	6	149949.738	35.943	.000
	Within Groups	58406.244	14	4171.875		
	Total	958104.671	20			
dry weight total	Between Groups	10.659	6	1.776	33.957	.000
	Within Groups	.732	14	.052		
	Total	11.391	20			
RGR	Between Groups	.172	6	.029	14.729	.000
	Within Groups	.027	14	.002		
	Total	.199	20			
SLW	Between Groups	1.615	6	.269	4.410	.010
	Within Groups	.854	14	.061		
	Total	2.469	20			
shoot/root ratio	Between Groups	4.496	6	.749	1.006	.460
	Within Groups	10.431	14	.745		
	Total	14.927	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 28 วัน)

ANOVA

Sum of Squares			df	Mean Square	F	Sig.
height	Between Groups	25.140	6	4.190	5.438	.004
	Within Groups	10.787	14	.770		
	Total	35.927	20			
leafarea	Between Groups	578813.273	6	96468.879	62.981	.000
	Within Groups	21443.980	14	1531.713		
	Total	600257.254	20			
dry weight total	Between Groups	15.752	6	2.625	22.930	.000
	Within Groups	1.603	14	.114		
	Total	17.354	20			
RGR	Between Groups	.068	6	.011	7.598	.001
	Within Groups	.021	14	.001		
	Total	.089	20			
SLW	Between Groups	1.909	6	.318	1.666	.202
	Within Groups	2.673	14	.191		
	Total	4.582	20			
shoot/root ratio	Between Groups	7.641	6	1.274	1.629	.212
	Within Groups	10.946	14	.782		
	Total	18.587	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 35 วัน)

ANOVA

Sum of Squares			df	Mean Square	F	Sig.
height	Between Groups	66.145	6	11.024	18.301	.000
	Within Groups	8.433	14	.602		
	Total	74.578	20			
leafarea	Between Groups	797925.017	6	132987.503	13.255	.000
	Within Groups	140459.966	14	10032.855		
	Total	938384.984	20			
dry weight total	Between Groups	27.229	6	4.538	35.031	.000
	Within Groups	1.814	14	.130		
	Total	29.043	20			
RGR	Between Groups	.014	6	.002	3.009	.042
	Within Groups	.011	14	.001		
	Total	.024	20			
SLW	Between Groups	1.768	6	.295	3.327	.030
	Within Groups	1.240	14	.089		
	Total	3.008	20			
shoot/root ratio	Between Groups	9.113	6	1.519	6.619	.002
	Within Groups	3.212	14	.229		
	Total	12.326	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้ง อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ น้ำหนักใบจำเพาะ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ระยะเวลา 42 วัน)

ANOVA

Sum of Squares			**df**	**Mean Square**	**F**	**Sig.**
height	Between Groups	176.811	6	29.469	6.927	.001
	Within Groups	59.560	14	4.254		
	Total	236.371	20			
leafarea	Between Groups	1386122.372	6	231020.395	8.997	.000
	Within Groups	359479.013	14	25677.072		
	Total	1745601.384	20			
dry weight total	Between Groups	41.657	6	6.943	27.464	.000
	Within Groups	3.539	14	.253		
	Total	45.196	20			
RGR	Between Groups	.023	6	.004	10.251	.000
	Within Groups	.005	14	.000		
	Total	.028	20			
SLW	Between Groups	.894	6	.149	.674	.673
	Within Groups	3.099	14	.221		
	Total	3.993	20			
shoot/root ratio	Between Groups	6.388	6	1.065	.570	.748
	Within Groups	26.159	14	1.869		
	Total	32.548	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll) ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β-carotene) และ ปริมาณกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid) (ระยะเวลา 21 วัน)

ANOVA

	Sum of Squares		**df**	**Mean Square**	**F**	**Sig.**
Total chlorophyll	Between Groups	.086	6	.014	8.496	.001
	Within Groups	.024	14	.002		
	Total	.110	20			
Carotenoids	Between Groups	.008	6	.001	8.102	.001
	Within Groups	.002	14	.000		
	Total	.011	20			
β-carotene	Between Groups	.141	6	.023	11.148	.000
	Within Groups	.029	14	.002		
	Total	.170	20			
Ascorbic acid	Between Groups	5.626	6	.938	2.562	.069
	Within Groups	5.123	14	.366		
	Total	10.749	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll) ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β-carotene) และ ปริมาณกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid) (ระยะเวลา 28 วัน)

ANOVA

Sum of Squares			**df**	**Mean Square**	**F**	**Sig.**
Total chlorophyll	Between Groups	.032	6	.005	5.950	.003
	Within Groups	.013	14	.001		
	Total	.045	20			
Carotenoids	Between Groups	.004	6	.000	6.648	.002
	Within Groups	.001	14	.000		
	Total	.004	20			
β-carotene	Between Groups	.067	6	.011	2.726	.057
	Within Groups	.057	14	.004		
	Total	.124	20			
Ascorbic acid	Between Groups	21.257	6	3.543	3.390	.028
	Within Groups	14.633	14	1.045		
	Total	35.891	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll) ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β-carotene) และ ปริมาณกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid) (ระยะเวลา 35 วัน)

ANOVA

Sum of Squares			**df**	**Mean Square**	**F**	**Sig.**
Total chlorophyll	Between Groups	.051	6	.008	5.103	.006
	Within Groups	.023	14	.002		
	Total	.074	20			
Carotenoids	Between Groups	.004	6	.001	8.757	.000
	Within Groups	.001	14	.000		
	Total	.005	20			
β-carotene	Between Groups	.149	6	.025	12.058	.000
	Within Groups	.029	14	.002		
	Total	.178	20			
Ascorbic acid	Between Groups	17.073	6	2.846	2.332	.090
	Within Groups	17.081	14	1.220		
	Total	34.155	20			

ตารางภาคผนวกที่ จ-10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll) ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β-carotene) และ ปริมาณกรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid) (ระยะเวลา 42 วัน)

ANOVA

Sum of Squares			**df**	**Mean Square**	**F**	**Sig.**
Total chlorophyll	Between Groups	.031	6	.005	1.698	.194
	Within Groups	.042	14	.003		
	Total	.073	20			
Carotenoids	Between Groups	.001	6	.000	2.062	.124
	Within Groups	.001	14	.000		
	Total	.002	20			
β-carotene	Between Groups	.098	6	.016	5.841	.003
	Within Groups	.039	14	.003		
	Total	.138	20			
Ascorbic acid	Between Groups	18.089	6	3.015	2.949	.045
	Within Groups	14.314	14	1.022		
	Total	32.403	20			

ภาคผนวก ฉ

ตารางแสดงข้อมูลอุณหภูมิ

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
42	1 - 7/06/2558	36.5
อุณหภูมิเฉลี่ย		35.88

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดชลบุรี (2558).

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา

จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)

ปีการศึกษา 2556