การเจริญเติบโต การสะสมและการลดปริมาณไนเตรทในผักสลัดที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT

วิทยานิพนธ์

ของ

อริสรา ผาสุข

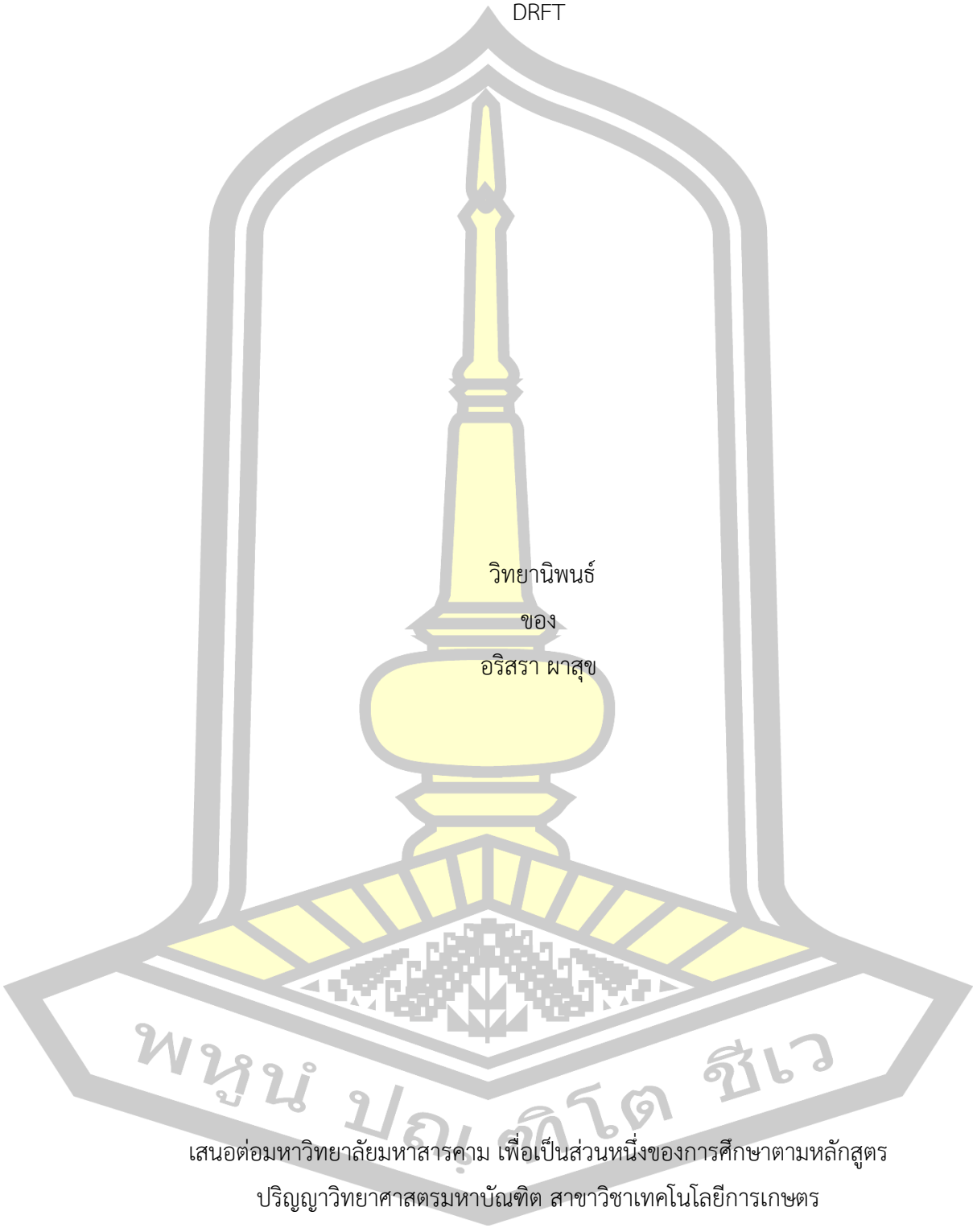
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ตุลาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การเจริญเติบโต การสะสมและการลดปริมาณไนเตรทในผักสลัดที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT



วิทยานิพนธ์

ของ

อริสรา ผาสุข

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ตุลาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Growth, Nitrate Accumulation and Reduction of Lettuce in DRFT

Arisara Phasuk

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Science (Agricultural Technology)

October 2019

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวอริสรา ผาสุข แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อ. ดร. เอกรินทร์ สารีพัว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รศ. ประสิทธิ์ ชุติชูเดช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผศ. ดร. เบ็ญจวรรณ ชุติชูเดช)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ประภัสสร บุษหมั่น)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. เกรียงศักดิ์ บุญเที่ยง)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. อนุชิตา มุ่งงาม)
คณบดีคณะเทคโนโลยี

.....
(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การเจริญเติบโต การสะสมและการลดปริมาณไนเตรทในผักสลัดที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT

ผู้วิจัย อริสรา ผาสุข

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ ชุติชูเดช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบ็ญจวรรณ ชุติชูเดช

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2562

บทคัดย่อ

การศึกษาการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณการสะสม การลดปริมาณไนเตรท และคุณภาพของผักสลัดจำนวน 5 พันธุ์ที่ปลูกภายใต้ระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT แบ่งการทดลองออกเป็น 4 งานทดลอง งานทดลองที่ 1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อคสมบูรณ์ ประกอบด้วยผักสลัด 5 พันธุ์ ได้แก่ ผักสลัดพันธุ์กรีนคอส กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด เรดคอรัล และเรดโอ๊ค จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น ทำการทดลองระหว่างเดือนสิงหาคม 2560 ถึง พฤษภาคม 2562 ผลการทดลองพบว่าในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีความสูงต้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักต้นสด น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักรากสด น้ำหนักรากแห้ง และมวลชีวภาพ มากที่สุดเฉลี่ย 34.39 เซนติเมตร 2.23 เซนติเมตร 335.69 กรัม 65.24 กรัม 51.59 กรัม 2.52 กรัม และ 22.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

งานทดลองที่ 2 และ 3 เพื่อศึกษาปริมาณการสะสมไนเตรท และศึกษาแนวทางการลดปริมาณการสะสมไนเตรทของผักสลัด วางแผนการทดลองแบบ 5x4x5 Factorial in Randomized Complete Block Design (พันธุ์ x ระยะเวลาการเจริญเติบโต x ส่วนต่าง ๆ ของต้น) จำนวน 4 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่าผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ มีปริมาณการสะสมไนเตรทเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต โดยส่วนก้านใบพันธุ์เรดโอ๊คอายุ 5 สัปดาห์หลังย้ายปลูก พบไนเตรทในปริมาณมากที่สุด คือ 90.14 กรัมต่อกิโลกรัม ในส่วนก้านพืช ทั้งนี้การให้น้ำประปาทดแทนสารละลายธาตุอาหารเป็นเวลา 10 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว สามารถควบคุมปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคือ 2.5 กรัมต่อกิโลกรัม

งานทดลองที่ 4 การวิเคราะห์คุณภาพของผักสลัด โดยพิจารณาจากปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) ปริมาณ ฟีนอลทั้งหมด และปริมาณแทนนิน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

จำนวน 4 ซ้ำ พบว่าผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลและเรดโอ๊คมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) สูงกว่าผักสลัดพันธุ์อื่น โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.52 เปอร์เซ็นต์ ในขณะเดียวกันผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล และเรดโอ๊คมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าผักสลัดพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เฉลี่ยเท่ากับ 1.92 และ 1.52 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ด้านปริมาณ แทนนินพบว่า ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล และเรดโอ๊ค มีปริมาณแทนนินมากกว่าผักสลัดพันธุ์อื่น ๆ โดยมีปริมาณ แทนนินเฉลี่ยเท่ากับ 14.71 และ 17.49 มิลลิกรัมสมมูลกรดแทนนิคต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ด้านการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผักสลัดแต่ละพันธุ์ ได้แก่ ลักษณะที่ปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม พบว่าผู้บริโภคชื่นชอบผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดในระดับคะแนนสูงที่สุด

คำสำคัญ : ผักสลัด, การเจริญเติบโต, ไฮโดรโปนิกส์, ไนเตรท

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

TITLE Growth, Nitrate Accumulation and Reduction of Lettuce in DRFT

AUTHOR Arisara Phasuk

ADVISORS Associate Professor Prasit Chutichudet , M.S.

Assistant Professor Benjawan Chutichudet , Ph.D.

DEGREE Master of Science **MAJOR** Agricultural Technology

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2019

ABSTRACT

Growth, yield, nitrate accumulation, reduction of nitrate contents and qualities of five varieties lettuce grown under DRFT hydroponics system were studied. The experiments were divided into four experiments. Experimental 1 was arranged in Randomized Complete Block Design with five varieties of lettuce (Green cos, Green oak, Butterhead, Red coral and Red oak) for four replications, four plants per replication. The experiment was conducted during August 2017 to May, 2019. The results showed that at week 5 after transplanting (WAT), Green cos gave the maximal plant height, stem diameter, fresh weight, dry weight, fresh root weight, dry root weight and biomass with 34.39 cm, 2.23 cm, 335.69 g, 65.24 cm, 51.59 g, 2.52 g, and 22.41 percent, respectively.

For experimental 2 and experimental 3, accumulation of nitrate contents and trends for reducing nitrate accumulation in lettuce were studied. The experiments were arranged in 5x4x5 Factorial in RCBD (varieties x growth period x part of plant), with four replications. The results revealed that all five varieties of lettuce showed the increments of nitrate accumulation with the growth period. At 5 WAT, leaf petiole of Red oak showed the maximal nitrate contents of 90.14 gram per kilogram. While the tap water application substituted for nutrient solution, before harvesting ten days, could control the amount of nitrate accumulation in lettuce to meet the standard level of 2.5 grams per kilogram.

For experiment 4, quality analysis of lettuce were considered in terms of antioxidant activity (IC_{50}), total phenolic content and tannin contents. The experiment was arranged in Completely Randomized Design, with four replications The results revealed that Red Coral and Red Oak had the higher levels of antioxidant activity (IC_{50}) (1.52 percent) than the others. While Red Coral and Red oak showed the significant greater amount of total phenolic contents than the others of 1.92 and 1.52 milligrams, mg equivalent gallic acid per 100 grams fresh weight. For tannin, the results indicated that Red Coral and Red Oak contained the more tannin contents than the others, with the average amount of tannin equal to 14.71 and 17.49 mg equivalent tannic acid per 100 grams dried weight. For sensory evaluation of consumer to satisfy each planted lettuce, including appearance, texture, smell, taste and overall satisfaction. The results indicated that Butterhead got the highest scores of consumers' satisfaction.

Keyword : lettuce, hydroponics, nitrate, nitrate accumulation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจาก อาจารย์ ดร. เอกรินทร์ สารีพัว ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ ชุติชูเดช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบ็ญจวรรณ ชุติชูเดช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภัสสร บุษหมั่น และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ บุญเที่ยง กรรมการสอบผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการวิจัย

ขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนเมตตาต่อศิษย์ ขอบคุณนายศักดิ์ดา แก้วสิทธิ์ และ นายอภัย สีหานารถ ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือเกี่ยวกับการปลูกผักสลัด

ขอบคุณนางสาวจิราภรณ์ กระแสเทพ นางสาวพงษ์สุดา ชาญวิชัยพจน์ ที่ให้คำปรึกษาและช่วยงานทำงานทดลอง และรุ่นน้องปริญญาตรีสาขาเทคโนโลยีการเกษตรทุกชั้นปี ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความสะดวกในการทำวิจัย

ประโยชน์และคุณค่าจากงานวิจัยนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา-มารดา ครู-อาจารย์ ที่มีส่วนให้ชีวิตและปัญญาแก่ผู้วิจัยจนประสบผลสำเร็จ

อริสรา ผาสุข

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญรูปภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 หลักการและเหตุผล 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 สมมติฐานการวิจัย 3

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล 5

2.1 การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน 5

2.1.1 การปลูกพืชในสารละลาย 5

2.1.2 การปลูกพืชในวัสดุปลูก 13

2.1.3 การปลูกพืชแบบให้รากลอยอยู่กลางอากาศ 13

2.2 ปัจจัยแวดล้อมและบทบาทหน้าที่ของธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืช 14

2.2.1 ปัจจัยภายในพืช 14

2.2.2 ปัจจัยภายนอกหรือสภาพแวดล้อม 14

2.2.3 การให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชในแปลงปลูก 19
2.3 ไนเตรทและไนไตรท์ 20
2.3.1 ไนเตรทในสิ่งแวดล้อม 21
2.3.2 การนำไนเตรทเข้าสู่พืช 23
2.3.3 อันตรายจากการบริโภคสารที่ปนเปื้อนไนเตรท 25
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมไนเตรทในพืช 26
2.4 ผักสลัด 29
2.4.1 การจัดกลุ่มผักสลัด 31
2.4.2 พันธุ์และลักษณะของผักสลัดที่ใช้ในงานวิจัย 31
2.4.3 การเลือกสถานที่สำหรับการปลูกผักสลัด 36
2.5 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ 37
2.6 ฟีนอลิกทั้งหมด 40
2.7 แทนนิน 41
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 42
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 46
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ 46
3.2 สารเคมี 46
3.3 การวางแผนการทดลอง 47
3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง 50
3.4.1 ขั้นตอนการเพาะต้นกล้า 50
3.4.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร 50
3.4.3 ขั้นตอนการย้ายกล้าลงปลูก 51
3.4.4 การดูแลรักษา 51
3.4.5 การบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิต 51

3.4.6 การศึกษาปริมาณการสะสมไนเตรท 52
3.4.7 ศึกษาวิธีการลดปริมาณการสะสมของไนเตรท 52
3.5 วิธีการวิเคราะห์ 52
3.6 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล 55
3.7 สถานที่ดำเนินการวิจัย 56
3.8 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 56
3.9 ตารางการปฏิบัติงาน 56
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย 57
4.1 การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัด 57
4.1.1 ความสูงต้น 57
4.1.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น 58
4.1.3 จำนวนใบ 58
4.1.4 ความกว้างทรงพุ่ม 59
4.1.5 น้ำหนักต้นสด 60
4.1.6 น้ำหนักต้นแห้ง 61
4.1.7 ความยาวราก 62
4.1.8 น้ำหนักรากสด 63
4.1.9 น้ำหนักรากแห้ง 64
4.1.10 มวลชีวภาพ 65
4.2 ปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัด 67
4.3. การลดปริมาณการสะสมไนเตรท 69
4.5 การวิเคราะห์คุณภาพของผักสลัด 72
4.5.1 ค่าการวัดสีของผักสลัด 72
4.5.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) 73

4.5.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 73
4.5.4 ปริมาณแทนนิน 73
4.6 ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผักสลัด 75
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 77
5.1 สรุป 77
5.2 ข้อเสนอแนะ 78
บรรณานุกรม 79
ประวัติผู้เขียน 92

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 องค์ประกอบของธาตุอาหาร ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 200 18

ตาราง 2 ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ 20

ตาราง 3 ค่าการนำไฟฟ้าและความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด 20

ตาราง 4 ค่าสูงสุดของปริมาณไนเตรทที่ยอมให้มีได้ในพืชผัก 22

ตาราง 5 คุณค่าทางโภชนาการของผักสลัดชนิดต่าง ๆ ต่อ 100 กรัม 36

ตาราง 6 ความสูงต้นผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน 57

ตาราง 7 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน 58

ตาราง 8 จำนวนใบของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน 59

ตาราง 9 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน 60

ตาราง 10 น้ำหนักต้นสดของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน 61

ตาราง 11 น้ำหนักต้นแห้งของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน 62

ตาราง 12 ความยาวรากของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน 63

ตาราง 13 น้ำหนักรากสดของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน 64

ตาราง 14 น้ำหนักรากแห้งของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน 65

ตาราง 15 มวลชีวภาพของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน 66

ตาราง 16 ปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน 69

ตาราง 17 การลดปริมาณการสะสมไนเตรทด้วยการให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน 71

ตาราง 18 ค่าการวัดสีใบของผักสลัดพันธุ์ต่าง ๆ 73

ตาราง 19 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) ฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแทนนินในผักสลัดพันธุ์ต่าง ๆ .. 74

ตาราง 20 คะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภคผักสลัด 5 สายพันธุ์ 76

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 การปลูกพืชด้วยระบบ DRFT 10
ภาพประกอบ 2 กลไกการนำไนเตรทไปใช้ในเซลล์พืช 23
ภาพประกอบ 3 เส้นทางการเข้า-ออก ของไนเตรทภายในเซลล์ 24
ภาพประกอบ 4 ผักสลัดพันธุ์กรีนคอส 32
ภาพประกอบ 5 ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค 33
ภาพประกอบ 6 ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด 33
ภาพประกอบ 7 ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล 34
ภาพประกอบ 8 ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค 35
ภาพประกอบ 9 ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร และอุณหภูมิภายนอกและภายในโรงเรือนของการทดลองที่ 1 และ 2 48
ภาพประกอบ 10 ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร และอุณหภูมิภายนอกและภายในโรงเรือนของการทดลองที่ 3 49
ภาพประกอบ 11 ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร และอุณหภูมิภายนอกและภายในโรงเรือนของการทดลองที่ 4 50

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ผักสลัดเป็นพืชอายุสั้นฤดูเดียว ลำต้นอวบสั้น มีลักษณะและสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ จัดเป็นผักที่นิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีรสชาติดี ประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าแก่ร่างกายหลายชนิด ได้แก่ วิตามิน เกลือแร่ เบต้าแคโรทีน โฟเลท ธาตุเหล็ก ฯลฯ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามิน และเบตาแคโรทีน ที่มีสมบัติช่วยป้องกันโรคหัวใจ โรคเบาหวาน และช่วยลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็งได้ (Tae, Bu, Sung, & Eun, 2011) รวมทั้งมีสรรพคุณทางยา ช่วยแก้อาการกระหายน้ำ ขับลมในลำไส้ น้ำคั้นจากใบช่วยแก้ไข้และเป็นยาแก้ไอ นอกจากนี้ผักสลัดยังเป็นผักที่ให้แคลอรีต่ำ เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการลดน้ำหนักหรือควบคุมน้ำหนัก (สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ, 2562) ด้วยคุณประโยชน์ที่กล่าวมานี้ ทำให้การผลิตผักสลัดไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ผลผลิตจึงมีราคาสูง การปลูกผักสลัดด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์เป็นการผลิตรูปแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมจากเกษตรกรผู้ปลูก การปลูกพืชแบบนี้เป็นลักษณะที่รากพืชจุ่มลงในสารละลายธาตุอาหาร โดยที่ต้นพืชถูกยึดเหนี่ยวด้วยอุปกรณ์เพื่อการทรงตัว ในการปลูกผักด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของพืชได้แม่นยำ ทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ สะอาดปลอดภัยจากการปนเปื้อนของเชื้อโรค ใช้พื้นที่เพาะปลูกน้อย ปลูกได้ในทุกพื้นที่และมีค่าใช้จ่ายในระยะยาวถูก (อัมพา คำวงษา, 2553) ในประเทศไทยการปลูกผักด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ที่นิยมคือ แบบ NFT (nutrient film technique) และแบบปรับระดับน้ำ (dynamic root floating technique; DRFT) ส่วนสารละลายธาตุอาหารที่ให้ในระบบเป็นสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมขึ้น ซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหารต่าง ๆ ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และมีสูตรที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ซึ่งโดยทั่วไปจะมีธาตุไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรทประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนประกอบทั้งหมดที่ใช้ (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ และวุฒิพงษ์ พิมพ์โคตร, 2545) ไนเตรท (NO_3^-) ที่ใช้ในทางเกษตรจะอยู่ในรูปเกลือไนเตรทของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แอมโมเนียม ฯลฯ (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541) โดยปกติแล้วไนเตรทไม่มีพิษ แต่เมื่อรับประทานอาหารที่มีไนเตรทตกค้างสูงเข้าสู่ร่างกาย จะถูกจุลินทรีย์ในกลุ่มแอมโมเนียมอิออนที่อยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้เปลี่ยนจากไนเตรทไปอยู่ในรูปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) (กรรณิกา จ้าเสียง, 2555) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเมทฮีโมโกลบีเมีย (methemoglobinemia) ทำให้ฮีโมโกลบินในเลือดถูกออกซิไดซ์ (oxidize) ด้วยไนไตรท์กลายเป็นเมทฮีโมโกลบิน (methemoglobin) ทำให้ไม่สามารถพาออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกายได้ ซึ่งในคนทั่วไปจะมีเมทฮีโมโกลบินในเลือดประมาณ 0.5-2 เปอร์เซ็นต์

หากมีสูงกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย ตัวเขียว หัวใจเต้นเร็ว และหากมีสูงถึงระดับ 50-60 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้หมดสติและมีโอกาสเสียชีวิตได้ อีกด้านหนึ่งไนไตรท์ยังสามารถทำปฏิกิริยากับเอมีน (amines) ในอาหารเกิดเป็นสารไนโตรซามีน (nitrosamines) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งตับ กระเพาะอาหาร และหลอดอาหาร โดยเฉพาะผู้ที่มีปฏิกิริยาตอบสนองไวต่อสารนี้เป็นพิเศษ จะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องร่วง อุจจาระเป็นเลือด และปวดศีรษะได้ และ ไนไตรท์ยังก่อให้เกิดปัญหาต่อการทำงานของต่อมไทรอยด์อีกด้วย (ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ, 2562) ผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารระดับนานาชาติ หรือ JECFA (joint FAO/WHO expert committer on food additives) ได้ประเมินความปลอดภัยของไนเตรทในอาหารที่บริโภคได้ต่อวัน ไม่ควรเกิน 219 มิลลิกรัมต่อคนที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรทสูงสุดในผักสลัดตามข้อบังคับของสหภาพยุโรป (European commission, 1997) กำหนดไว้ไม่เกิน 2.5 กรัมต่อกิโลกรัมของผัก เนื่องจากการปลูกผักด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์รากของพืชจะถูกแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารเพื่อดูดสารละลายธาตุอาหารต่าง ๆ รวมทั้งไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรทอยู่ตลอดเวลา ประกอบกับผักสลัดเป็นพืชที่มีอายุสั้นหากได้รับปุ๋ยไนโตรเจนในรูปไนเตรทมากเกินไปจนนำไปใช้ไม่หมด อาจจะเกิดการสะสมในส่วนต่าง ๆ ของผัก ก่อให้เกิดรสชาติที่ไม่พึงประสงค์และเกิดอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต การสะสมไนเตรทในส่วนต่าง ๆ ของผักสลัดที่ช่วงอายุต่าง ๆ และศึกษาวิธีการลดปริมาณสารไนเตรทที่สะสมในผักสลัด อันจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้ได้ผักสลัดที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณการสะสมไนเตรทที่ส่วนต่าง ๆ ของผักสลัดจำนวน 5 พันธุ์ ที่อายุ 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก

1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีลดปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัดที่ช่วงอายุต่าง ๆ กัน ก่อนเก็บเกี่ยว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 การเจริญเติบโตของผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ คือ กรีนคอส กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด เรดคอรัล และเรดโอ๊ค ที่ช่วงอายุต่าง ๆ กัน ก่อนการเก็บเกี่ยว

1.3.2 วิเคราะห์หาปริมาณการสะสมไนเตรทในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ราก ลำต้น ก้านใบ และแผ่นใบ ของผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์

1.3.3 หาแนวทางลดปริมาณไนเตรทโดยการเติมน้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหาร ก่อนการเก็บเกี่ยว

1.3.4 รูปแบบที่ใช้ในการปลูกผักสลัดด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ คือแบบ DRFT ใช้ระยะปลูก 12×15 เซนติเมตร

1.4 สมมติฐานการวิจัย

1.4.1 ผักสลัดพันธุ์ที่แตกต่างกันที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT มีการเจริญเติบโต ที่แตกต่างกัน

1.4.2 ส่วนต่าง ๆ ของผักสลัดที่แตกต่างกันจะมีปริมาณการสะสมสารไนเตรทที่แตกต่างกัน

1.4.3 อายุผักสลัดที่แตกต่างกันจะมีผลต่อปริมาณการสะสมไนเตรทที่ต่างกัน

1.4.4 ระยะเวลาในการเติมน้ำประปาทดแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน มีผลต่อการลดปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัดแตกต่างกัน

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 ไนเตรท คือ สารประกอบไนโตรเจนที่เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของวัฏจักรไนโตรเจน เกิดจากการที่แบคทีเรียเปลี่ยนจากไนไตรท์แล้วรวมตัวกับออกซิเจน เกิดเป็นไนเตรท เป็นปุ๋ยชนิดหนึ่ง ที่สร้างการเจริญเติบโตให้กับพืช โดยปกติไนเตรทไม่มีพิษแต่เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกจุลินทรีย์ในลำไส้และกระเพาะอาหารเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเมทฮีโมโกลบิน และไนไตรท์ยังสามารถทำปฏิกิริยากับเอมีนเกิดเป็นสารไนโตรซามีนที่เป็นสาเหตุของมะเร็ง และไนไตรท์ยังก่อให้เกิดปัญหาต่อการทำงานของไทรอยด์

1.5.2 ผักไฮโดรโปนิกส์ คือ การปลูกผักโดยไม่ใช้ดินเป็นการเลียนแบบการปลูกพืชบนดิน โดยใช้วัสดุปลูกหรือไม่ต้องใช้วัสดุปลูกก็ได้ เพื่อให้พืชได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอจากสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งจะทำการควบคุมสภาพแวดล้อม เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

1.5.3 ผักสลัด เป็นพืชผักฤดูเดียวมีลำต้นอวบสั้น และช่วงข้อถี่ ใบจะเจริญจากข้อเป็นกลุ่มใบ อาจห่อหัวหรือไม่ห่อหัว มีลักษณะรูปร่างและมีสีแตกต่างไปขึ้นอยู่กับพันธุ์ บางพันธุ์อาจมีใบหนาแข็ง บางพันธุ์ใบอ่อน นิ่ม มีสีเขียวอ่อนจนถึงสีเขียวเข้ม สีน้ำตาลปนแดง สีแดง และสีน้ำตาล เป็นต้น

1.5.4 สารละลายธาตุอาหาร คือ แม่ปุ๋ยเอและแม่ปุ๋ยบีสำหรับปลูกพืชไร้ดิน ประกอบไปด้วยธาตุอาหารต่าง ๆ ซึ่งผู้ผลิตเตรียมขึ้นจากการนำปุ๋ยหรือสารเคมีมาละลายน้ำ จึงสามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้เป็นไปตามที่พืชต้องการได้ และพืชจะได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ

1.5.5 มวลชีวภาพ คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ ที่บ่งบอกถึงการเจริญเติบโตของพืชผัก

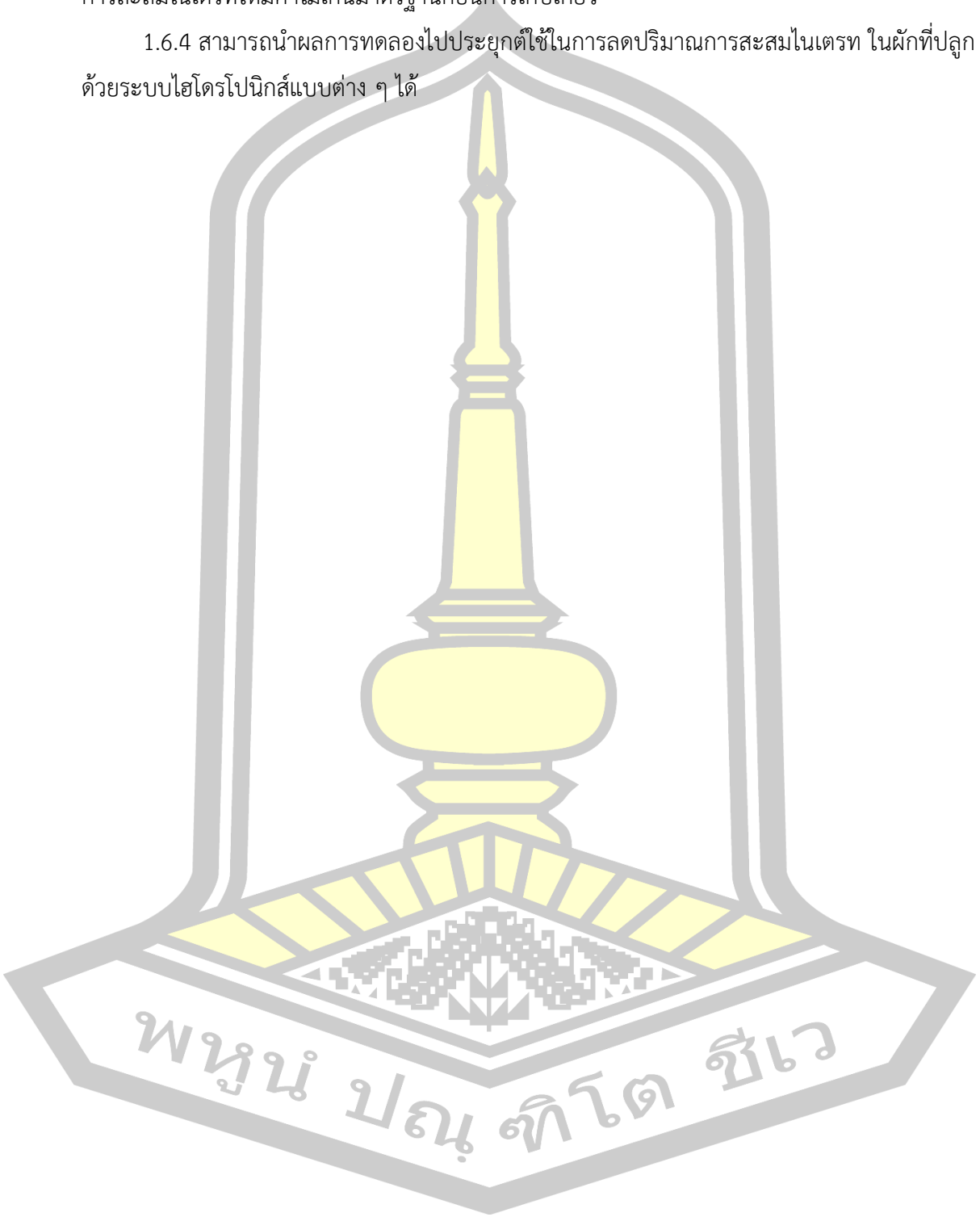
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบการเจริญเติบโตของผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT

1.6.2 ทราบปริมาณการสะสมไนเตรทในส่วนต่าง ๆ ของผักสลัดจำนวน 5 พันธุ์ ที่อายุ 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์ หลังการย้ายปลูก

1.6.3 ทราบระยะเวลาในการเติมน้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหาร ที่สามารถลดปริมาณการสะสมไนเตรทให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานก่อนการเก็บเกี่ยว

1.6.4 สามารถนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการลดปริมาณการสะสมไนเตรท ในผักที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบต่าง ๆ ได้



บทที่ 2
ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

ดิเรก ทองอร่าม (2550) การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (soilless culture) เป็นเทคโนโลยีที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาของประเทศในเขตหนาวที่สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการปลูกพืชในดินแบบปกติ จึงต้องเปลี่ยนมาเป็นการปลูกพืชในโรงเรือนแทน ต่อมาเริ่มประสบปัญหาของดินที่ใช้สำหรับปลูกพืชในโรงเรือนมีการสะสมโรคและแมลงได้ง่าย เมื่อปลูกไปสักระยะ ดินเริ่มอัดตัวแน่นจนต้องมีการเปลี่ยนถ่ายดินอยู่เสมอ เกิดความยุ่งยาก จึงได้ริเริ่มมองหาทางเลือกอื่น ๆ ในการปลูกพืช และค้นพบว่าสามารถปลูกพืชให้เจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องใช้ดิน เพียงแต่จัดการให้พืชได้รับ น้ำ ธาตุอาหาร อากาศ และที่ยึดเกาะพยุงลำต้นจากภายนอกเพื่อทดแทนที่ไม่ได้รับจากดิน ต่อมาจึงได้มีการพัฒนารูปแบบและวิธีการต่าง ๆ ในการที่จะให้น้ำ ธาตุอาหารแก่รากพืช ในการเพิ่มอากาศให้แก่น้ำ และในการให้ที่ยึดเกาะแก่ต้นและรากพืช ทำให้เกิดเป็นวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในรูปแบบต่าง ๆ ได้หลากหลายวิธี หากจัดกลุ่มประเภทของการปลูกโดยไม่ใช้ดินโดยพิจารณาจากที่อยู่ของรากพืชแล้ว สามารถแบ่งประเภทของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ดังนี้

2.1.1 การปลูกพืชในสารละลาย

เป็นการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ที่ได้รับความนิยมมากกว่าแบบอื่น ๆ และใช้ได้ดีในที่ที่มีแสงแดดจัด หลักการคือ รากของพืชจะจุ่มลงไปในสารละลายธาตุอาหารโดยตรง โดยรากพืชไม่มีการเกาะยึดกับวัสดุใด ๆ และยังสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ ซึ่งมักใช้การยึดเหนี่ยวในส่วนของลำต้นไว้แทน เป็นการรองรับรากของพืชเพื่อการทรงตัว ถ้านำต้นพืชที่ปลูกในดินมาแช่น้ำที่มีสารละลายธาตุอาหาร ในระยะแรกต้นพืชจะยังเจริญงอกงามต่อไปได้ แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไประยะหนึ่งจะพบว่าต้นพืชนั้นกลับเหี่ยวเฉา โดยสาเหตุเกิดจากรากพืชแช่อยู่ในน้ำเป็นเวลานาน จะเกิดอาการขาดออกซิเจน จึงทำให้พืชเฉาตาย ดังนั้นการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารจึงต้องมีหลักการและเทคนิควิธีการที่แตกต่างจากวิธีอื่น คือ ต้องพัฒนารากในต้นเดียวกันให้ทำงานได้ 2 หน้าที่พร้อม ๆ กัน คือ ให้รากดูดออกซิเจน (oxygen roots) และรากดูดน้ำและธาตุอาหาร (water nutrient roots) ซึ่งการจะทำให้รากพืชทำงานได้ 2 หน้าที่ ต้องให้ส่วนหนึ่งของรากพืชสัมผัสอากาศได้โดยตรงในบริเวณโคนราก ส่วนนี้ต้องมีช่องว่างของอากาศไว้สำหรับให้รากหายใจรับออกซิเจนเข้าไป และอีกส่วนหนึ่งตรงปลายรากจุ่มแช่อยู่ในสารละลาย รากส่วนที่มีหน้าที่ดูดน้ำและอาหารสามารถพัฒนาเป็นรากดูดอากาศได้ แต่รากดูดอากาศจะไม่สามารถเปลี่ยนเป็นรากดูดน้ำและแร่ธาตุได้ ดังนั้นจึงไม่ต้องเติมสารละลายให้ท่วมรากส่วนที่ทำหน้าที่ดูดอากาศ เพราะพืชจะไม่สามารถดูดออกซิเจนและตายได้ในที่สุด ด้วยหลักการ

ดังกล่าว ต้นพืชจึงสามารถจุ่มแช่อยู่ในสารละลายได้โดยไม่เน่าตาย และไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการเติมอากาศกับพืช ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงระดับของสารละลายให้มีความเหมาะสมกับความยาวของรากพืชในแต่ละช่วงอายุของพืชด้วย หรืออาจใช้เครื่องปั๊มอากาศช่วยเติมออกซิเจนให้แก่รากพืช การปลูกพืชผักในสารละลายธาตุอาหารแบ่งออกเป็นระบบต่าง ๆ ดังนี้

2.1.1.1 ระบบเอ็นเอฟที (nutrient film technique; NFT)

เป็นการปลูกพืชในสารละลาย โดยให้รากพืชแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายธาตุอาหารจะไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ในรางปลูกที่กว้างตั้งแต่ 5-35 เซนติเมตร สูงประมาณ 5-10 เซนติเมตร ความกว้างรางขึ้นอยู่กับชนิดพืชที่ปลูก ความยาวรางตั้งแต่ 5-20 เมตร การไหลของสารละลายอาจไหลเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบสลับก็ได้ โดยทั่วไปจะไหลแบบต่อเนื่อง อัตราการไหลอยู่ในช่วง 80-200 ไมครอนต่อนาที ในรางปลูกที่ทำจากท่อ PVC ขึ้นรูปเป็นรางสำเร็จรูปหรือทำจากโลหะ เช่น สังกะสี หรืออะลูมิเนียม และบุภายใต้พลาสติกเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารละลาย โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรางและรากพืชและเวียนกลับมายังถังเก็บสารละลาย โดยระบบ NFT มีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี

1) ระบบนี้มีการให้น้ำแก่พืชตลอดเวลาจึงไม่ต้องมีเครื่องควบคุมการให้น้ำ

2) เป็นระบบการให้สารละลายแก่พืชที่ไม่ยุ่งยาก

3) ทำการป้องกันและกำจัดเชื้อโรคพืชต่าง ๆ ในสารละลายได้ง่าย

4) เป็นระบบที่มีการใช้น้ำและธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

5) ไม่มีวัสดุปลูกที่ต้องกำจัด

6) สามารถปลูกได้อย่างต่อเนื่องตลอดปี ไม่ต้องเสียเวลาในการเตรียมระบบปลูก (สามารถปลูกผักสลัดได้ถึง 8-10 ครั้งต่อปี)

ข้อเสีย

1) ราคาค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง โดยเฉพาะถ้าใช้ขาตั้งที่ทำจากโลหะ

2) เป็นระบบที่ต้องมีการดูแลอย่างใกล้ชิด เพราะมีโอกาสที่ระบบจะเสียได้ง่าย และพืชจะถูกกระทบกระเทือนอย่างรุนแรงและรวดเร็ว

3) ต้องใช้น้ำที่มีสารละลายต่าง ๆ เจือปนอยู่น้อย ถ้ามีสิ่งเจือปนมากจะเกิดการสะสมของเกลือบางชนิดที่พืชใช้น้อย หรือไม่ดูดใช้เลย ซึ่งจะสะสมอยู่ในสารละลาย ทำให้สิ้นเปลืองเพราะต้องเปลี่ยนสารละลายบ่อย ๆ

4) ในเขตร้อนมีผลต่อการละลายตัวของออกซิเจน เพราะออกซิเจนในสารละลายจะลดลง ทำให้พืชอ่อนแอ รากถูกทำลายโดยโรคพืชได้ง่าย การเจริญเติบโตลดลงจนถึงไม่สามารถปลูกพืชได้เลย

5) เชื้อโรคมีการแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว

2.1.1.2 ระบบเอ็นเอฟแอลที (nutrient film technique; NFLT)

วิธีนี้เป็นเสมือนการปลูกพืชให้ลอยแช่น้ำในลำธารเล็ก ๆ ที่มีน้ำตื้น ๆ ไหลอย่างสม่ำเสมอบนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง แต่มีระดับสารละลายที่อาจลึกกว่าระบบ NFT คือลึกมากกว่า 30 มิลลิเมตรจนถึง 15 เซนติเมตร มีอัตราการไหลของสารละลายและความลาดชันของรางปลูกมากกว่าระบบ NFT โดยรากพืชจะได้รับออกซิเจนขณะน้ำไหลผ่าน

2.1.1.3 ระบบดีเอฟที (deep floating technique; DFT)

เป็นการปลูกพืชแบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในรางหรือถาดปลูกในระดับลึก วิธีนี้จะนำต้นกล้าที่ปลูกบนแผ่นโฟมมาปลูกบนวัสดุปลูกที่เป็นถาดปลูกหรือรางปลูก แล้วให้สารละลายธาตุอาหารในระดับลึก โดยปกติแล้วถาดปลูกมักจะทำด้วยโฟมขึ้นรูปเป็นตัวยูคล้ายกล่องหรือท่อทรงกลมใส่สารละลายธาตุอาหารพืช แล้วมีฝาปิดที่เรียกว่าแผ่นปลูก ซึ่งเจาะรูสำหรับปลูกที่แผ่นปลูกเพื่อรองรับต้นกล้าที่เพาะกล้าในฟองน้ำหรือถ้วยเพาะปลูก ถ้าเป็นรางปลูกที่ทำจากท่อจะใช้กล้าที่เพาะในถ้วยเพาะ สามารถให้สารละลายธาตุอาหารทั้งแบบหมุนเวียนต่อเนื่องหรือให้เป็นระยะ ๆ แบบท่วมขังในท่อลึกประมาณ 3-5 เซนติเมตร โดยน้ำจะท่วมรากพืชในท่อบางส่วน ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาเมื่ออระบบไฟฟ้าขัดข้อง เพราะรากพืชยังสามารถใช้น้ำหรือสารละลายที่ท่วมขังอยู่ในรางปลูก ถ้าเป็นถาดปลูกจะมีลักษณะคล้ายอ่าง สามารถใส่สารละลายได้ลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร แล้วให้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบต่อเนื่อง ในรางปลูกจะไม่มีความลาดเอียง สำหรับการปลูกโดยใช้ถาดปลูกจะเหมือนการปลูกพืชแบบลอยน้ำ ซึ่งเป็นระบบปลูกที่ดีในที่ที่มีแสงแดดจัด การปลูกโดยวิธีนี้จะมีช่องว่างระหว่างแผ่นปลูกกับสารละลายธาตุอาหารประมาณ 12-15 มิลลิเมตร เพื่อให้รากพืชบางส่วนสัมผัสกับอากาศ และบางส่วนจุ่มแช่ในสารละลายธาตุอาหาร ช่องว่างนี้สามารถปรับลดได้ตามอายุของพืช โดยมีหลักการให้ส่วนรากบริเวณตรงโคนจากส่วนที่เป็นแผ่นปลูกได้สัมผัสกับอากาศ เรียกว่า รากอากาศ (oxygen roots หรือ aero roots) เพื่อดูดอากาศ และรากส่วนที่อยู่ในสารละลายจะทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารขึ้นไปเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช เรียกว่า รากอาหาร (water nutrient roots) ดังนั้นพืชจึงได้รับทั้งอากาศและอาหารเพื่อการเจริญเติบโต โดยระบบมีการหมุนเวียนสารละลายจากถังขึ้นมาใช้ใหม่โดยใช้ปั๊ม ซึ่งการหมุนเวียนในระบบเช่นนี้ จะเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้สารละลาย แตกต่างจากระบบ NFT โดยระบบนี้ปริมาณสารละลายที่ใช้ในกระบะปลูกจะมีปริมาณมากกว่าหลายเท่าตัว ทั้งนี้เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงในช่วงเวลาเดียวกันสารละลายธาตุอาหารที่ให้กับระบบการปลูกพืชทั้งแบบ NFT และ DFT อาจเป็นระบบปิด (close system/ recirculating system) คือ นำสารละลายธาตุอาหารที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยให้สารละลายผ่านรากพืชแล้วเข้าสู่ถังหรือภาชนะบรรจุ แล้วนำมาหมุนเวียนให้แก่พืชใหม่อีกอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้โดยทั่วไป ส่วนอีกวิธีการหนึ่ง คือ ระบบเปิด

(open system/ non- recirculating system) เป็นระบบที่ไม่นำสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่อีก พืชจึงได้รับสารอาหารที่เตรียมขึ้นใหม่เสมอ ซึ่งข้อดีของการปลูกแบบนี้ คือ เป็นการช่วยไม่ให้ธาตุอาหารต่าง ๆ เกิดการตกตะกอน ทำให้ต้นพืชได้รับธาตุอาหารอย่างเต็มที่ วิธีการปลูกแบบนี้เป็นวิธีการที่ใช้ได้ผลในการผลิตเชิงการค้า ในทางปฏิบัติไม่ว่าจะเป็นระบบปิด หรือระบบเปิดจะใช้ปั๊มสูบน้ำในการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งจะทำให้สารละลายมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาและมีโอกาสสัมผัสกับอากาศได้เต็มที่ จึงอาจจะใช้เครื่องเติมอากาศ (air pump) เช่นเดียวกับที่ใช้ในการเลี้ยงปลา ช่วยเติมอากาศให้สารละลายด้วย

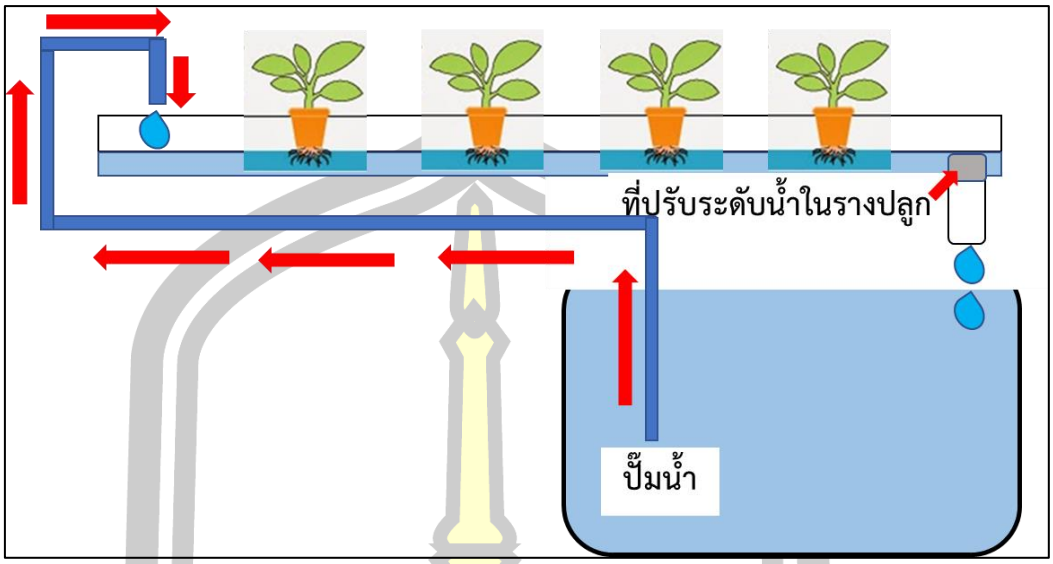
2.1.1.4 ระบบดีอาร์เอฟ (dynamic root floating; DRF)

เป็นระบบปลูกพืชที่พัฒนามาจากระบบของ William F. Gericke ที่เน้นการปลูกพืชให้รากแช่อยู่ในน้ำส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งสร้างรากอากาศเพื่อช่วยในการหายใจ โดยจะทำให้พืชที่ปลูกในระบบนี้สามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิของสารละลายที่สูงมากกว่าระบบอื่น ๆ ซึ่ง Kao Te Chen นักวิจัยและพัฒนาระบบไฮโดรโปนิกส์ชาวไต้หวัน ได้พัฒนาระบบของ William F. Gericke โดยเพิ่มระบบท่อรับน้ำในกระบะที่ช่วยให้ระบบรับน้ำสูงขึ้นหรือลดลงได้ตามความต้องการของพืช โดย Kao Te Chen ได้กำหนดให้ระดับน้ำมีความลึกเพียงพอที่จะทำให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำได้ประมาณ 4 เซนติเมตร โดยรากส่วนนี้จะเป็นรากที่ดูดอาหาร (nutrient root) และรากส่วนเหนือนี้จะเป็นรากหายใจดูดออกซิเจนเข้าสู่ราก จึงเรียกรากส่วนนี้ว่า รากอากาศ (aero root) ดังนั้นระบบ DRF ก็คือ ระบบที่สามารถปรับระดับความสูง-ต่ำของน้ำในกระบะปลูกได้ตามความต้องการของรากพืชแต่ละชนิด เพื่อให้รากพืชลอยอยู่ในน้ำในระดับเพียง 4 เซนติเมตร ระบบ DRF ได้มีการพัฒนาหลายครั้ง และปัจจุบันได้จดสิทธิบัตรในไต้หวัน โดยระบบดังกล่าวแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ย่อย ๆ ได้แก่ ระบบปรับลดระดับสารละลาย เป็นแบบที่ปล่อยให้รากจมอยู่ในน้ำลึกในระยะแรก แล้วค่อยลดระดับน้ำลงจากระดับแรกที่สูงประมาณ 8 เซนติเมตร เหลือ 4 เซนติเมตร และระบบ AR-DRF เป็นการปลูกพืชโดยให้รากพืชคร่อมบนสันของถาดปลูกที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ แล้วปล่อยสารละลายไปตามแนวด้านข้าง ข้อดีของระบบ DRF คือผลผลิตของผักที่ปลูกในระบบนี้ จะมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งปีในทุกสภาพอากาศ ไม่ว่าจะเป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำ ซึ่งในประเทศที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย การปลูกพืชในสารละลายมักมีปัญหาปริมาณออกซิเจนในสารละลายมีน้อย เนื่องจากระบบ DRF พืชที่ปลูกจะมีพัฒนาการของรากบางส่วนไปเป็นรากอากาศ ทำให้พืชสามารถได้รับออกซิเจนที่เพียงพอ ทำให้ผลผลิตสูง ซึ่งเป็นระบบที่เหมาะสมในเขตอบอุ่นและเขตร้อน

2.1.1.5 ดีอาร์เอฟที (dynamic root floating technique; DRFT)

เป็นการปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชและอากาศไหลวนผ่านรากพืชในระดับลึกอย่างต่อเนื่องในรางปลูก ระบบ DRFT นี้ ได้พัฒนาเพิ่มเติมมาจากแบบที่นิยมใช้ในประเทศไต้หวัน คือระบบ DRF ซึ่งพัฒนามาจาก ระบบ DFT อีกทอดหนึ่ง แต่เพิ่มการไหลเวียนของอากาศ และ

สารอาหาร คือ มีถาดปลูกที่ทำด้วยโฟมเจาะรูปลูกพืช และมีอุปกรณ์สำหรับปรับระดับสารละลายธาตุอาหาร (สะดือน้ำ) เป็นระบบปลูกที่มีลักษณะเหมือน DFT แต่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อการผลิตพืชเชิงการค้า โดยต้องการให้พืชได้รับทั้งอากาศและสารละลายธาตุอาหาร ที่มีการหมุนเวียนที่รากพืชอย่างต่อเนื่อง กล่าวคือ จะมีระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบหมุนเวียน (close system) จาก 2 ส่วนคือ ส่วนแรก คือในถาดปลูกที่ทำจากโฟม (ส่วนที่อยู่ด้านบนของถาด จะถูกปิดด้วยแผ่นโฟมที่มีรูสำหรับปลูกพืช) ที่ตั้งอยู่บนโครงเหล็ก ที่มีระดับสูงกว่าพื้นดิน และส่วนที่สอง คือถังใส่สารละลายธาตุอาหารที่มีปริมาณมากกว่าถาดปลูก ซึ่งปกติถังนี้จะวางอยู่ต่ำกว่าถาดปลูกหรือฝังดินใต้ถาดปลูก สำหรับพื้นที่ของถาดปลูกจะถูกออกแบบให้เป็นร่อง และมีอุปกรณ์สำหรับปรับระดับสารอาหารในถาดปลูกพืชตามอายุของพืช เพื่อให้รากพืชลอยอยู่ทั้งในอากาศและสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งอุปกรณ์นี้จะมีรูให้สารละลายธาตุอาหารไหลหมุนเวียนกลับลงสู่ถังข้างล่าง (อัมพา คำวงษา, 2553) โดยสารละลายธาตุอาหารจากถังเก็บที่อยู่ด้านล่างจะถูกส่งขึ้นไปยังถาดปลูกพืชที่อยู่ด้านบน แบบหมุนเวียนเป็นระยะ ๆ โดยใช้ปั๊มน้ำ โดยบนถาดปลูกด้านต้นทางที่สารละลายธาตุอาหารไหลขึ้นจะมีอุปกรณ์สำหรับเพิ่มอากาศให้กับสารละลายธาตุอาหาร ก่อนที่จะไหลวนผ่านรากพืชกลับลงสู่ถังเก็บสารละลายธาตุอาหารที่อยู่ด้านล่างบริเวณปลายทางของถาดปลูก แต่ตรงจุดที่สารละลายธาตุอาหารไหลลงนี้ จะไหลผ่านอุปกรณ์สำหรับปรับระดับของสารละลายในถาดปลูกที่ปรับได้ตามการเจริญเติบโตของพืช ความแตกต่างของระบบนี้กับระบบ DRF คือ ระบบนี้จะมีอุปกรณ์สำหรับเพิ่มอากาศอยู่ที่หัวถาดปลูกโดยไม่ต้องใช้พลังงาน ในขณะที่ระบบ DRF จะมีอุปกรณ์ทำให้เกิดฟองอากาศ (aspirator) เพื่อเพิ่มการสลายตัวของอากาศในสารละลายธาตุอาหาร โดยใช้พลังงานที่ติดตั้งอยู่ระหว่างปั๊มน้ำ และท่อส่งสารละลายธาตุอาหารขึ้นสู่รางปลูก เนื่องจากการให้อากาศในลักษณะนี้ จึงเรียกระบบนี้ว่า DRFT (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) แม้ว่าจะมีลักษณะหลายอย่างที่เหมือน DFT ก็ตาม และในปัจจุบัน บริษัทศูนย์เกษตรกรรมบางไทร จำกัด ได้พัฒนาและปรับปรุงระบบการปลูกให้มีความสะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีการลดความซับซ้อนของระบบหมุนเวียนน้ำ ให้เหลือถังพักน้ำเพียงใบเดียว น้ำและสารละลายธาตุอาหารในระบบจะหมุนเวียนขึ้น-ลงรางปลูกในถังพักใบเดียวกัน โดยถังน้ำจะอยู่ทางด้วนหัวแปลง มีปั๊มติดตั้งไว้ภายในถัง เพื่อทำหน้าที่ดึงน้ำและสารละลายธาตุอาหารจากถังขึ้นไปสู่รางปลูก ผ่านทางท่อส่งน้ำและชุดหัวพ่นน้ำที่อยู่ทางด้านท้ายแปลง ซึ่งชุดหัวพ่นน้ำนี้จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์เพิ่มอากาศให้สารละลายธาตุอาหารพืชไปในตัวได้อีกด้วย (ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร, 2551) โดยตัวอย่างของระบบ DRFT แสดงดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 การปลูกพืชด้วยระบบ DRFT

ที่มา :ดัดแปลงจาก LNW shop (2562)

2.1.1.6 การจัดการเกี่ยวกับค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดด่างในสารละลาย

เนื่องจากการปลูกผักแบบไฮโดรโปนิกส์ เป็นการปลูกพืชในสารละลาย การควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) จึงมีผลต่อระบบเป็นอย่างมาก พืชผักแต่ละชนิดมีความต้องการ EC และ pH ในช่วงที่แตกต่างกัน หากไม่สามารถควบคุมได้ จะส่งผลกระทบต่อพืชโดยตรง

ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity; EC) ของสารละลาย คือ ค่าเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าของธาตุอาหารต่าง ๆ เมื่อมีการเติมสารละลายธาตุอาหารต่าง ๆ ลงในน้ำ จะทำให้ค่านำกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ถ้าค่าการนำไฟฟ้าสูงแสดงว่าสารละลายมีความเข้มข้นสูงคือมีธาตุต่าง ๆ ละลายอยู่มาก ค่าการนำไฟฟ้าที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และชนิดพืชที่ปลูก เช่น ผักสลัดในระบบ NFT มีการแนะนำให้ใช้ค่าการนำไฟฟ้าตั้งแต่ 0.8-2.8 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ส่วนในมะเขือเทศมีความต้องการค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าในผักสลัดมาก แนะนำให้ใช้ตั้งแต่ 2.8-4.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และในแคนตาลูป ในช่วงก่อนเก็บเกี่ยวอาจให้ค่าการนำไฟฟ้าสูง โดยค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บอกถึงระดับความเข้มข้นของสารละลายโดยรวม ไม่สามารถแยกชนิดความเข้มข้นของแต่ละธาตุได้ เช่น สารละลายที่เตรียมใหม่ ๆ มีปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ สมดุลตามความต้องการของพืช เช่น มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 2.8 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร แต่เมื่อใช้สารละลายนี้ปลูกพืชในระบบไประยะหนึ่ง เช่น 2 สัปดาห์ พบว่าค่าการนำไฟฟ้า ของสารละลายยังคงเท่ากับ 2.8 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมือนเดิม แต่เมื่อวิเคราะห์ทางเคมีพบว่ามีปริมาณ

โซเดียม (Na) ในสารละลายสูงมากแสดงให้เห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 2.8 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เป็นผลของปริมาณโซเดียมที่เพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อาจมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง (สมพงษ์ บัวแย้ม, 2558) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายจะเปลี่ยนเร็วมากขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1) สภาพภูมิอากาศ ถ้าสภาพอากาศที่ส่งเสริมให้อัตราการคายน้ำของพืชเพิ่มขึ้นก็มีผลในการเปลี่ยนค่าการนำไฟฟ้าเร็วขึ้น เช่น สภาพอากาศหน้าร้อน อากาศแห้ง อุณหภูมิสูง แสงแดดจัด ซึ่งจะทำให้พืชคายน้ำมากแล้วส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนเร็วกว่าในฤดูฝนที่มีเมฆมากและมีอากาศชื้น

2) สัดส่วนของจำนวนพืชที่ปลูกต่อปริมาตรถังสารละลาย เช่น ถ้าถังมีขนาดเล็กแต่ปลูกพืชจำนวนมากการเปลี่ยนค่าการนำไฟฟ้าก็จะเร็วกว่าถังขนาดใหญ่

3) ค่าการนำไฟฟ้าตั้งต้นของสารละลาย ถ้าค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้นของสารละลายมีความแตกต่างจากค่าที่ต้นพืชดูดใช้มาก ๆ ค่าการนำไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนเร็ว เช่น หากเตรียมสารละลายปลูกพืชที่มีค่าการนำไฟฟ้าท่ากับ 1.8 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร แต่พืชมีความต้องการค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 1.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร การเปลี่ยนค่าจะเร็วกว่าเมื่อเตรียมสารละลายปลูกพืชที่มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 1.1 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

4) ความบริสุทธิ์ของน้ำและปุ๋ยที่ใช้เตรียมสารละลาย ถ้ามีธาตุอาหารที่พืชไม่ต้องการเจือปนอยู่มาก เช่น โซเดียม สารละลายก็จะมีการเปลี่ยนค่าการนำไฟฟ้าเร็วกว่าการใช้น้ำและปุ๋ยที่มีปริมาณโซเดียมน้อยกว่า พืชจะไม่ดูดใช้ธาตุอาหารเหล่านี้ ดังนั้นจะเหลือสะสมอยู่ในน้ำ ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

การควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของงานวิจัยในครั้งนี้ จะรักษาระดับน้ำให้มีปริมาณไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของถังเก็บสารละลายธาตุอาหาร วัดค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่อง EC meter ให้ค่าการนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง 1.8-2.0 โมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร หากค่าการนำไฟฟ้าสูงเกินค่าที่กำหนดปรับลดค่าโดยการเติมน้ำประปา แต่ถ้าพบว่าค่านำไฟฟ้าต่ำกว่าที่กำหนดจะปรับเพิ่มค่าโดยการเพิ่มแม่ปุ๋ยเอและบี

ค่าความเป็นกรดด่าง

ในสภาวะที่ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ต่ำมาก (ต่ำกว่า 4.5) หรือค่าความเป็นกรดด่างสูงมาก (สูงกว่า 9) จะทำลายรากพืชโดยตรง ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหารจะมีผลต่อการละลาย และการคงอยู่ของธาตุบางชนิดอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะธาตุอาหารรอง (micronutrients) สามารถพบธาตุอาหารส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6-7.5 ในสภาวะที่ค่าความเป็นกรดด่างสูงหรือต่ำมาก ๆ ธาตุอาหารบางชนิดจะยังคงค้างอยู่ในสารนั้น แต่ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากสารบางชนิดจะส่งผลในทางลบ ซึ่งจะเกิดที่ผิวหน้าของของเหลวที่มีลักษณะคล้ายวุ้น

(colloidal) เช่น ผิวหน้าของดิน โดยจะลดความสามารถในการนำธาตุอาหารไปใช้ สำหรับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์สารส่วนใหญ่จะไม่ส่งผลเช่นนี้ เนื่องจากโดยทั่วไปจะเป็นสารที่เฉื่อย เช่น กรวด ทราย อย่างไรก็ตามสารที่ประกอบด้วยโคลนหรือหินภูเขาไฟ อาจก่อให้เกิดผลข้างต้น เชื้อจุลินทรีย์ก็มีช่วงค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตเช่นกัน ค่าความเป็นกรดด่างที่เข้มจัดจะส่งผลต่ออัตราการเพิ่มของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เช่น ราไมคอไรซัล (Mycorrhical fungi) ส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีที่ช่วงค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 4-8 ขณะที่แบคทีเรียที่ช่วยเปลี่ยนแอมโมเนียม (ammonium) เป็นไนโตรเจน (nitrogen) จะเจริญเติบโตได้ดีที่ช่วงที่เกินกว่า 6 การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ส่วนใหญ่ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหารไม่ควรเกินกว่า 6.5 หรือต่ำกว่า 5.5 (วารินี ธรรมชาติไพศาล, 2555) ในงานวิจัยนี้จะเป็นการปลูกผักแบบไฮโดรโปนิกส์ขนาดเล็ก ทำการวัดค่าความเป็นกรดด่างโดยเครื่อง pH meter ถ้าค่าความเป็นกรดด่างสูงเกิน 6.5 ปรับลดโดยการเติมกรดฟอสฟอริกและกรดไนตริกความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 5.5 ปรับเพิ่มค่าโดยการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์

2.1.1.7 ข้อดี ข้อเสียของการปลูกพืชในสารละลาย

ข้อดี

1) ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพ เนื่องจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของผักสามารถควบคุมได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็ว โดยเฉพาะในระดับรากพืช ได้แก่ การควบคุมปริมาณธาตุอาหาร ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ความเข้มข้นของออกซิเจน ฯลฯ ซึ่งการปลูกแบบทั่วไปควบคุมได้ยาก ทำให้คุณภาพของพืชที่ได้สูงกว่าการปลูกแบบธรรมดา พืชที่ปลูกเจริญเติบโตได้เร็วกว่าการปลูกแบบธรรมดาอย่างน้อย 2 สัปดาห์ ให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกแบบธรรมดาที่เสี่ยงจากสภาพอากาศดินฟ้าที่ไม่แน่นอน เช่น น้ำท่วม ฝนแล้ง จึงไม่ต้องรอรอบปลูกตามฤดูกาล ในทางตรงกันข้ามสามารถเลือกปลูกพืชในช่วงที่มีราคาแพง ทำให้ได้ผลผลิตราคาดีขึ้น

2) ได้ผลผลิตที่สะอาด ถูกอนามัย ปลอดภัยจากการปนเปื้อนจากเชื้อโรค หรือสิ่งสกปรกภายในดิน รวมทั้งสารพิษ เนื่องจากการปลูกในโรงเรือนมีมุ้งตาข่ายจึงไม่ต้องใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช นอกจากนี้ยังสามารถตัดปัญหาเกี่ยวกับศัตรูพืชที่เกิดจากการปลูกพืชชนิดเดียวกัน (monoculture) ในพื้นที่เดียวกันเป็นเวลานาน ๆ ได้

3) ประหยัดพื้นที่ ใช้พื้นที่เพาะปลูกน้อย เพราะปลูกพืชได้หนาแน่นกว่าปลูกในดิน และปลูกต่อได้ทันทีหลังจากเก็บเกี่ยวพืชชุดแรกแล้ว จึงสามารถปลูกได้หลายครั้งต่อปี สามารถทำการผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับปลูกในสถานที่ที่ผิวดินสำหรับปลูกพืชน้อย เช่น ระเบียงบ้าน หรือคอนโดมิเนียม

4) สามารถเลือกเพาะปลูกพืชในบริเวณที่พื้นดินไม่ดีหรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะต่อการเพาะปลูกได้ เช่น ดินเค็ม ดินกรด ดินด่าง ดินที่ไม่เหมาะสมสำหรับเพาะปลูก เช่น ดินลูกรัง ดินที่มีน้ำท่วมขังบ่อยครั้ง

5) ค่าใช้จ่ายในการดูแลและการจัดการในระยะยาวต่ำ เนื่องจากใช้แรงงานในการดูแลน้อยและประหยัดแรงงาน เวลา และค่าใช้จ่าย เช่น การเตรียมดิน การกำจัดศัตรูพืช นอกจากนี้ยังสามารถใช้น้ำและธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีราคาแพง

ข้อเสีย

1) ค่าใช้จ่ายในการเริ่มติดตั้งระบบสูง การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินเป็นระบบที่มีต้นทุนการผลิตเริ่มต้นค่อนข้างสูง เนื่องจากประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ จำนวนมาก และมีราคาค่อนข้างแพง

2) ต้องอาศัยความชำนาญในการดูแลระบบ ในการดูและระบบจะต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญและประสบการณ์มากพอสมควรในการควบคุมดูแล และต้องควบคุมดูแลอย่างสม่ำเสมอ ถ้าหากไม่มีความรู้และความสามารถในการจัดการที่ดีพอ อาจสร้างปัญหาให้กับน้ำที่ใช้เป็นสารละลาย โดยอาจมีปัญหาปนเปื้อนสารบางอย่าง เช่น ไนเตรท ซึ่งอาจมีปริมาณสูงจนเป็นอันตรายต่อการบริโภค

2.1.2 การปลูกพืชในวัสดุปลูก (substrate culture)

เป็นการปลูกพืชในวัสดุที่แข็งแรง ทำหน้าที่แทนดินสำหรับให้รากพืชยึดและค้ำจุนต้น เช่น วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร ได้แก่ ขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ ส่วนที่เป็นวัสดุอนินทรียสาร ได้แก่ กรวด ทราย ฟองน้ำ ใยหิน เพอร์ไลต์ เวอร์มิคูไลต์ หรือวัสดุปลูกที่เกิดจากการนำเอาวัสดุต่างชนิดกันผสมกันเพื่อให้ได้วัสดุปลูกที่มีคุณสมบัติใหม่เกิดขึ้น เช่น วัสดุปลูกจากการผสมวัสดุประเภทเดียวกัน หรือวัสดุจากการผสมระหว่างอินทรีย์สารกับอนินทรียสาร เช่น ทรายกับขุยมะพร้าวหรือขี้เถ้าแกลบ เป็นต้น ในการเลือกใช้วัสดุปลูก ควรเลือกวัสดุที่มีความเป็นกลาง ไม่มีธาตุอาหาร มีความโปร่ง คงตัว และเหมาะกับการเจริญเติบโตของราก มีการให้สารอาหารพืชตามที่พืชต้องการลงในวัสดุปลูกโดยตรง ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุปลูกที่ใช้มีผลต่อวิธีการให้น้ำและสารอาหารพืช

2.1.3 การปลูกพืชแบบให้รากลอยอยู่กลางอากาศ (aeroponics)

เป็นวิธีการที่ให้รากของพืชลอยอยู่กลางอากาศในภาชนะปิดทึบแสง ระบบการให้สารละลายธาตุอาหารพืช ทำโดยการฉีดพ่นแบบอัตโนมัติเป็นระยะ ๆ อย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง เช่น ฉีดพ่น 1 นาที เว้น 1 นาที คล้ายกับแปลงพ่นหมอก การฉีดพ่นสารละลายสารอาหารพืชดังกล่าวจะไปกระตุ้นให้รากพืชเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว การปลูกพืชในระบบนี้ พืชผักสามารถเจริญเติบโตและเก็บเกี่ยวได้ภายในระยะเวลาเพียง 30 วัน นิยมใช้ปลูกผักกินใบและหัวที่ไม่สามารถ

ปลูกแช่ในน้ำหรืออยู่ในดิน เพราะเสี่ยงที่จะติดโรคที่มากับน้ำหรือมากับดิน เมื่อมีระยะการปลูกนานเกิน 2 เดือน

2.2 ปัจจัยแวดล้อมและบทบาทหน้าที่ของธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืช

ปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.2.1 ปัจจัยภายในพืช

ปัจจัยภายในพืช ได้แก่ พันธุกรรมและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช พันธุกรรมของพืชจะเกี่ยวข้องกับเรื่องของยีน เพราะยีนจะเป็นตัวถ่ายทอดพันธุกรรม เนื่องจากเป็นตัวควบคุมคุณลักษณะและลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของพ่อและแม่ไปสู่ลูกหลาน ควบคุมปฏิกิริยาทางชีวเคมี โดยการควบคุมการสังเคราะห์เอนไซม์และกำหนดโครงสร้างของโปรตีนภายในเซลล์พืช ซึ่งความรู้เกี่ยวกับการถ่ายทอดทางพันธุกรรมนี้สามารถนำไปใช้ปรับปรุงพันธุ์พืชได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการควบคุมของยีนอาจเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม จึงมีผลต่อพันธุกรรมของพืช สำหรับสารควบคุมการเจริญเติบโตในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ต้น ใบ ดอก ผล และเมล็ด จำแนกออกเป็นฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นเอง (plant hormone) และสารสังเคราะห์ที่มนุษย์สร้างขึ้นที่สามารถทดแทนหรือเปลี่ยนแปลงบทบาทหรืออิทธิพลของฮอร์โมนของพืชตามธรรมชาติที่เรียกรวม ๆ ว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant bioregulators : PBR) หรือฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นเอง สารสังเคราะห์ (plant hormone and the synthesis) และสารที่เกี่ยวข้อง (plant hormones and related compounds) สารเหล่านี้มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตแตกต่างกันไป เช่น กระตุ้น ยับยั้งหรือเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของพืช ทั้งฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นเองและสารสังเคราะห์ (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

2.2.2 ปัจจัยภายนอกหรือสภาพแวดล้อม

แม้ว่าพืชจะมีปัจจัยภายในคือพันธุกรรมและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชดีเพียงใดก็ตาม ถ้าปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตไม่เหมาะสม ก็จะประสบผลสำเร็จได้ยาก ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (สมภพ ฐิตะวสันต์, 2537) ได้แก่

2.2.2.1 แสง เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญอันหนึ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก พืชใช้เป็นแหล่งพลังงานในการสังเคราะห์ธาตุอาหารและน้ำที่ดูดมาจากดิน นำไปใช้ในการเสริมสร้างส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช นอกจากนี้แสงยังมีอิทธิพลต่อการงอกของเมล็ด การออกดอกและเกี่ยวข้องกับขบวนการต่าง ๆ ภายในพืชซึ่งกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับความเข้มของแสง (light intensity) ช่วงแสง (light duration) และคุณภาพแสง (light quality)

2.2.2.2 อุณหภูมิ เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก ตั้งแต่การงอกของเมล็ด การสังเคราะห์แสง การหายใจ จนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือการออกดอก ติดเมล็ด

นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อกระบวนการดูดธาตุอาหารและน้ำด้วย อัตราสูงสุดของการสังเคราะห์แสงจะแปรผันไปตามระดับอุณหภูมิและความเข้มข้นของแสง

2.2.2.3 น้ำ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเจริญเติบโตของพืชผัก ในการปลูกผักจำเป็นต้องมีความชื้นที่เพียงพอและสม่ำเสมอ ทั้งนี้เพราะน้ำเป็นตัวทำละลายธาตุอาหาร มีบทบาทสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาทางชีววิทยา รักษาอุณหภูมิของต้นพืชให้คงที่ ลำเลียงอาหารและธาตุอาหารต่าง ๆ ซึ่งในพืชผักหลายชนิดมีน้ำประกอบอยู่ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ ถ้าพืชผักขาดน้ำติดต่อกันเป็นเวลานาน พืชจะชะงักการเจริญเติบโต

2.2.2.4 สิ่งมีชีวิต ได้แก่ สาหร่าย โรค และแมลง จะทำความเสียหายให้กับผักอย่างมาก เช่น สาหร่ายจะแย่งน้ำและธาตุอาหารของพืช ส่วนโรคและแมลงจะทำให้คุณภาพและผลผลิตของผักที่ปลูกลดลง

2.2.2.5 ธาตุอาหาร ธาตุอาหารของผักไฮโดรโปนิกส์ในระบบ DRFT จะอยู่ในรูปของสารละลายธาตุอาหารที่ถูกส่งขึ้นไปหมุนเวียนผ่านรากพืชโดยตรงบนรางปลูก พืชจึงสามารถดูดซึมไปใช้ได้ทันที โดยที่สารละลายธาตุอาหารนี้จะต้องประกอบด้วยธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พืชต้องการอย่างครบถ้วนในอัตราที่เหมาะสม เพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้ดีตามต้องการ จึงถือว่าสารละลายธาตุอาหารเป็นหัวใจสำคัญของการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ แต่ด้วยเหตุผลที่พืชแต่ละชนิดต้องการสารอาหารแตกต่างกัน การผสมปุ๋ยเพื่อให้เป็นธาตุอาหารพืชจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะจะต้องมีการคำนวณหาค่ากลางที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด เพื่อนำมาเป็นสูตรปุ๋ยมาตรฐานที่สามารถใช้ได้กับพืชเกือบทุกชนิด ซึ่งนอกจากธาตุอาหาร ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ที่เป็นธาตุอาหารหลักแล้ว พืชยังต้องการธาตุอาหารรอง คือ แคลเซียม (Ca) กำมะถัน (S) และแมกนีเซียม (Mg) และจุลธาตุอีก 8 ชนิด ได้แก่ เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โบรอน (B) แมงกานีส (Mn) โมลิบดินัม (Mo) คลอรีน (Cl) และนิกเกิล (Ni) สำหรับธาตุนิเกิลมีการรวมเข้าเป็นธาตุที่ 8 เมื่อไม่นานมานี้ โดยมีการศึกษา พบว่านิกเกิลเป็นองค์ประกอบสำคัญของเอนไซม์ยูรีเอส ที่ทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสยูเรียให้เป็นแอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ และทำหน้าที่สำคัญในการสร้างสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน โดยพืชแต่ละชนิดจะมีความต้องการธาตุอาหารเหล่านี้ในเปอร์เซ็นต์และความเข้มข้นที่ลดหลั่นกันไปตามความสำคัญของแต่ละธาตุ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) ซึ่งหน้าที่สำคัญของธาตุอาหารและอาการขาดธาตุอาหารต่าง ๆ ของพืช ดังนี้

1) ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ สารประกอบเหล่านี้มีความสำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช เมื่อพืชขาดธาตุไนโตรเจน พืชจะโตช้า ใบล่างมีสีเหลืองซีดทั้งแผ่นใบ ต่อมากลายเป็นสีน้ำตาลแล้วร่วงหล่น หลังจากนั้นใบด้านบนก็จะมีสีเหลือง

2) ฟอสฟอรัส พบในพืชประมาณ 0.1-0.4 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่าไนโตรเจนประมาณ 10 เท่า ฟอสฟอรัสมีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งเป็นกระบวนการทางสรีระวิทยาที่สำคัญอย่างยิ่ง พลังงานที่ได้จากการสังเคราะห์แสงและเมตาบอลิซึมของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตจะถูกเก็บไว้ในรูปสารประกอบฟอสเฟต สำหรับใช้ในการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนั้นฟอสฟอรัสยังเป็นส่วนประกอบของนิวคลีโอไทด์และฟอสโฟลิปิด และช่วยทำให้การแบ่งเซลล์และการพัฒนาของส่วนที่เจริญเติบโตของพืช (ยอด และราก) เป็นไปได้ดี อาการเมื่อพืชขาดฟอสฟอรัส ใบล่างมีสีเหลืองซีดทั้งแผ่นใบ ต่อมากลายเป็นสีน้ำตาลแล้วร่วงหล่น ลำต้นแกรนไม่ผลิดอกออกผล

3) โพแทสเซียม พบในพืชประมาณ 1.25-3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโพแทสเซียมไม่ได้เป็นองค์ประกอบที่อยู่ในโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ในพืช แต่มีหน้าที่เกี่ยวข้องทางด้านสรีระวิทยา เนื่องจากโพแทสเซียมจำเป็นต่อการสังเคราะห์น้ำตาล แป้งและโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาลไปยังผล ช่วยให้ผลเจริญเติบโตเร็ว พืชแข็งแรง และมีความต้านทานต่อโรคบางชนิด อาการเมื่อพืชขาดโพแทสเซียม ใบล่างจะมีอาการเหลืองแล้วกลายเป็นสีน้ำตาลตามขอบใบ แล้วลุกลามเข้ามาเป็นหย่อมๆ ตามแผ่นใบ อาจพบว่าแผ่นใบโค้งเล็กน้อย รากเจริญช้า ลำต้นอ่อนแอ

4) แคลเซียม พบในพืชประมาณ 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช แต่จะค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงวงจรชีวิตของพืช โดยแคลเซียมเป็นองค์ประกอบในสารที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ติดกัน ช่วยในการแบ่งเซลล์ การผสมเกสร การงอกของเมล็ด ช่วยให้เอนไซม์บางชนิดทำงานได้ดี อาการของพืชเมื่อขาดแคลเซียม ใบใหม่ที่เจริญใหม่ ๆ จะหงิก ตายอดไม่เจริญ อาจมีจุดดำที่เส้นใบ รากสั้น ผลแตก และคุณภาพไม่ดี

5) แมกนีเซียม พบในพืชประมาณ 0.2-0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ช่วยสังเคราะห์กรดอะมิโน วิตามิน ไขมัน และเป็นส่วนช่วยเคลื่อนย้ายน้ำตาลภายในพืช ในสภาพความเป็นกรดด่างที่พอเหมาะจะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ช่วยในการงอกของเมล็ด อาการเมื่อพืชขาดธาตุแคลเซียม ใบจะแก่เหลือง ยกเว้นเส้นใบ และใบร่วงหล่นเร็ว

6) กำมะถัน พบในพืชประมาณ 0.15-0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนบางชนิด โปรตีน และโคเอนไซม์ อาการเมื่อพืชขาดธาตุกำมะถัน ทั้งใบบนและล่างมีสีเหลืองซีดและต้นอ่อนแอ

7) โบรอน พบในพืชประมาณ 0.15-0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ช่วยในการออกดอกและการผสมเกสร มีบทบาทในการติดผลและการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลออกมาสู่ผล การเคลื่อนย้ายของฮอร์โมน และการใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนและการแบ่งเซลล์ อาการเมื่อพืชขาดธาตุโบรอน ตายอดตายแล้วเริ่มมีตาข้าง แต่ตาข้างจะตายอีก ลำต้นไม่ค่อยยืดตัว กิ่งและใบจึงชิดกัน ใบเล็ก หนา โค้ง และเปราะ

8) ทองแดง พบในพืชประมาณ 2-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นองค์ประกอบของคลอโรพลาสต์ เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของพืช ช่วยในการหายใจ การใช้โปรตีนและแป้ง การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด อาการเมื่อพืชขาดธาตุทองแดง ตายอดชะงักการเจริญเติบโต และกลายเป็นสีดำ ใบอ่อนเหลือง พืชทั้งต้นชะงักการเจริญเติบโต

9) คลอรีน ปริมาณคลอรีนในพืชแตกต่างกันมาก ตั้งแต่ประมาณ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จนถึง 0.15 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าความเข้มข้นของคลอรีนสูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่จะเป็นพิษกับพืช คลอรีนมีบทบาทเกี่ยวกับฮอร์โมนในพืช อาการเมื่อพืชขาดธาตุคลอรีน พืชจะเหี่ยวง่าย ใบจะมีสีซีดและบางส่วนแห้งตาย

10) เหล็ก พืชมีความเข้มข้นของเหล็กประมาณ 50-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เหล็กเป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซิน (feridoxin) ซึ่งเป็นสารที่สำคัญในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของพืช และยังเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ชนิดของสารที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบที่ราคาถูกที่สุด คือเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ซึ่งจะต้องควบคุมสภาพกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร เพราะอาจเกิดการตกตะกอน ทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว จึงนิยมใช้เหล็กในรูปของคีเลต (Fe-EDTA) ที่สามารถคงตัวอยู่ในสารละลายและพืชดูดใช้ได้ อาการเมื่อพืชขาดธาตุเหล็ก ใบอ่อนมีสีขาวซีดในขณะที่ใบแก่ยังเขียวสด

11) แมงกานีส ในพืชมีอยู่ประมาณ 20-100 มิลลิกรัมต่อกรัม หน้าที่ของแมงกานีสเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ในกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน ช่วยในการสังเคราะห์แสงและเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด อาการเมื่อพืชขาดธาตุแมงกานีส ใบอ่อนมีสีเหลืองขณะที่ใบแก่ยังเขียว ต่อมาใบที่มีอาการดังกล่าวจะเหี่ยวแล้วร่วงหล่น

12) โมลิบดินัม พบในพืชปริมาณต่ำมาก 0.1-1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โมลิบดินัมเป็นองค์ประกอบสำคัญของเอนไซม์ 2 ชนิด คือไนโตรจีเนส (nitrogenase) ซึ่งสำคัญในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และไนเตรทรีดักเตส (nitrate reductase) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ ช่วยให้พืชใช้ไนเตรทที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้น ถ้าพืชขาดโมลิบดินัมจะทำให้มีการสะสมไนเตรทในพืช และยังมีอาการคล้ายขาดไนโตรเจน โดยใบมีลักษณะโค้งคล้ายถ้วย ปรากฏจุดเหลืองตามแผ่นใบ

13) สังกะสี มีอยู่ในพืชประมาณ 15-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การขาดสังกะสีเพียง 1-2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจทำให้พืชเกิดความผิดปกติได้ สังกะสีมีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เพราะมีความจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์ออกซิน ซึ่งเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการขยายตัวของเซลล์ นอกจากนี้ยังมีบทบาทเกี่ยวกับการสร้างคลอโรฟิลล์และแป้ง อาการเมื่อพืช

ขาดธาตุสังกะสี ใบอ่อนมีสีเหลืองซีด และปรากฏสีขาวประปรายตามแผ่นใบ โดยเส้นใบยังเขียว รากสั้นไม่เจริญตามปกติ

14) นิเกิล เป็นธาตุที่สำคัญต่อเอนไซม์ Urease โดยทำหน้าที่ช่วยปลดปล่อยไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ยังจำเป็นต่อกระบวนการดูดซับธาตุเหล็ก ช่วยในกระบวนการงอกของเมล็ด หากนิเกิลไม่เพียงพอต่อความต้องการ พืชอาจให้ผลผลิตไม่เต็มที่

สำหรับปุ๋ยที่นำมาเป็นสารละลายธาตุอาหารในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ปุ๋ยสูตรมาตรฐานซึ่งประกอบด้วยแม่ปุ๋ย 2 สูตร คือ แม่ปุ๋ยเอและแม่ปุ๋ยบี อัตราส่วนความเข้มข้นปุ๋ยต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 200 ซึ่งจะนำมาใช้ร่วมกันเป็นสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบปลูก รายละเอียดแม่ปุ๋ยเอและแม่ปุ๋ยบี มีดังนี้ (ตาราง 1)

ตาราง 1 องค์ประกอบของธาตุอาหาร ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 200

ชนิดธาตุอาหาร	**ปริมาณที่ใช้ในการเตรียมปุ๋ยให้ได้ปริมาตร 1,000 ลิตร**	
แม่ปุ๋ย เอ	กรัม	เปอร์เซ็นต์
แมกนีเซียมซัลเฟต	1,000	19.61
โพแทสเซียมไนเตรท	1,600	31.37
โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต	250	4.90
โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต	170	3.33
แมงกานีส	8	0.16
จุลธาตุรวม	10	0.20
แม่ปุ๋ย บี		
แคลเซียมไนเตรท	2,000	39.22
จุลธาตุรวม	6	0.12
เหล็ก	60	1.18

ที่มา : ดัดแปลงจาก ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร (2551)

จากตาราง 1 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหาร ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 200 โดยสารประกอบที่สามารถแตกตัวให้ไนเตรทแก่พืชนั้น มาจากทั้งแม่ปุ๋ยเอและบี โดยแม่ปุ๋ยเอคือโพแทสเซียมไนเตรท ซึ่งจะแตกตัวให้โพแทสเซียม (K^+) แลไนเตรท (NO_3^-) ส่วนแม่ปุ๋ยบีคือแคลเซียมไนเตรท จะแตกตัวให้แคลเซียม (Ca^+) และไนเตรท

2.2.3 การให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชในแปลงปลูก

ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร (2551) กล่าวว่า หลังจากที่ย้ายต้นกล้าลงในรางปลูกแล้วนั้น น้ำในรางปลูกยังคงเป็นน้ำเปล่าอยู่ ยังไม่มีการเติมสารละลายธาตุอาหาร เพราะต้องให้ต้นกล้ามีการปรับตัวก่อน หลังจากนำต้นกล้าลงรางปลูกแล้ว 1 วัน จึงเริ่มให้ปุ๋ยหรือสารละลายธาตุอาหารแก่พืชในรางปลูกตามความเหมาะสม ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) เติมปุ๋ยครั้งที่ 1 หลังจากย้ายต้นกล้าลงรางปลูกแล้ว 1 วัน โดยเติมแม่ปุ๋ยเอลงในปริมาณที่เหมาะสมลงไปในถังพักน้ำก่อน แล้วรอให้แม่ปุ๋ยเอรวมตัวเข้ากับน้ำในถังพักน้ำเป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง (ปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสม แสดงในตาราง 2) ซึ่งการที่ต้องเว้นระยะเวลาในการเติมปุ๋ยเอ และบี ไม่เติมลงไปพร้อม ๆ กัน เพื่อป้องกันการจับตัวและตกตะกอนของแม่ปุ๋ยทั้งสองสูตร ซึ่งพืชจะไม่สามารถดูดซึมสารละลายธาตุอาหารไปใช้ได้

2) หลังจากเติมแม่ปุ๋ยเอ ไปแล้ว 4 ชั่วโมง จึงเติมแม่ปุ๋ยบี ตามลงไปในถังพักน้ำในปริมาณที่เท่ากัน จากนั้นแม่ปุ๋ยทั้งสองสูตรจะละลายเข้ากับน้ำในถังพักน้ำ เป็นสารละลายธาตุอาหารพืชและถูกส่งขึ้นไปบนถาดปลูกด้วยระบบหมุนเวียนน้ำในแปลงปลูก ซึ่งพืชจะดูดซึมสารละลายธาตุอาหารนี้ไปใช้ผ่านทางรากพืชโดยตรง

3) หลังจากนั้นประมาณ 12-15 วัน เมื่อรากพืชงอกยาวขึ้นจนแช่อยู่ในน้ำประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ แล้ว (ระยะเวลาจะขึ้นกับชนิดพืช) ให้ทำการหมุนวาล์วปรับระดับน้ำ (ปลดสะดือน้ำ) เพื่อเพิ่มพื้นที่ให้มีอากาศให้กับรากพืชที่อยู่บริเวณโคนต้น และทำการเติมน้ำในรางใหม่อีกครั้งให้ได้ปริมาณเท่าเดิม ซึ่งการปรับระดับน้ำให้ลดลงและเติมน้ำใหม่ควรทำในช่วงเย็นของวัน เพื่อให้พืชปรับตัวได้ดี

4) หลังจากปรับวาล์วลดระดับน้ำในรางปลูกลง และเติมน้ำในรางครั้งใหม่ผ่านไปแล้ว 3 วัน ให้วัดค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรดด่าง ของน้ำในถังพักน้ำก่อน แล้วจึงเติมปุ๋ยเป็นครั้งที่ 2 ซึ่งจะลดลงจากครั้งที่ 1 ขึ้นอยู่กับค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมของพืชแต่ละชนิด แสดงในตาราง 3

5) ก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 5 วัน ไม่ต้องเติมปุ๋ย แต่ให้เติมน้ำเปล่าลงในในรางปลูกแทน เพื่อให้ผักใช้ปุ๋ยที่มีอยู่ให้หมดไป และเพื่อลดความเข้มข้นของปุ๋ยโดยเฉพาะไนเตรทที่อาจสะสมอยู่ในต้นผักอีกด้วย

ตาราง 2 ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

พืชปลูก	ชนิดปุ๋ย	ขั้นตอนการเติม														
		น้ำในระบบ (ลิตร)					น้ำในระบบ (ลิตร)					น้ำในระบบ (ลิตร)				
		200	250	300	600	700	200	250	300	600	700	200	250	300	600	700
		ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ครั้งที่ 1 (ลิตร)					ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ครั้งที่ 2 (ลิตร)					ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ครั้งที่ 3 (ลิตร)				
สลัด	สลัดต่าง ๆ	1	1	1.2	1.5	1.5	0.2	0.2	0.5	0.8	1.5	0.3	0.3	0.5	0.7	1
กวางตุ้ง	กวางตุ้งฮ่องเต้	2	2	2.5	3	3	0.5	0.5	1	1.5	2	0.5	0.5	0.75	1	1
คะน้า	ฮ่องกงเห็ดหอม	2	2	3	3.5	3.5	1	1.25	1.5	2	2.5	0.5	0.5	0.75	1	1.5
ผักโขมผักบุ้ง	โขมขาว โขมแดง ผักบุ้ง	1.5	1.5	1.8	2	2	0.5	0.5	1	1.2	1.5	0	0	0	0	0
ผักกาด	ไดโต-เกียว	2	2	2.5	3	3	0.5	1	1	1.5	2	0.5	0.5	0.75	1	1

* คำนวณจากปริมาณน้ำในระบบรางปลูกทั้งหมดความเข้มข้นปุ๋ย 1:200

ที่มา : ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร (2551)

ตาราง 3 ค่าการนำไฟฟ้าและความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด

ชนิดของพืช	**ค่า EC ที่เหมาะสม (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)**	**ค่า pH ที่เหมาะสม**
คะน้าเห็ดหอม	4.5	5.5-6.5
คะน้าฮ่องกง	4.5	5.5-6.5
สลัด	1.8-2.0	5.5-6.5
ผักกาดขาว (ไดโตเกียว)	3.5	5.5-6.5
กวางตุ้งฮ่องเต้	3-4	5.5-6.5
กวางตุ้ง (โชว์จีน)	3	5.5-6.5
ผักโขม (โขมไวท์ลัฟ)	2.0-2.5	5.5-6.5
ผักบุ้ง	2.0	5.5-6.5

ที่มา : ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร (2551)

2.3 ไนเตรทและไนไตรท์

ไนเตรทเป็นเกลือของกรดไนตริก ซึ่งเป็นกรดแก่ เกลือไนเตรทที่ใช้ในทางเกษตร ได้แก่ เกลือไนเตรทของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแอมโมเนียม นอกจากนี้ไนเตรทยังถูกนำมาใช้ในทางด้านเกษตรกรรมเป็นปุ๋ยให้กับพืชบางชนิด เช่น บาร์เล่ย์ ข้าวโอ๊ต ได้แก่ แอมโมเนียมไนเตรท

โพแทสเซียมไนเตรท และแคลเซียมไนเตรท เป็นต้น (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541) ไนเตรทเป็นอนุมูลที่สามารถพบได้ทั้งผักที่ปลูกในดินและผักไฮโดรโปนิกส์ โดยในผักไฮโดรโปนิกส์ได้รับความสนใจในเรื่องนี้เป็นอย่างมาก เพราะปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้กับผักไฮโดรโปนิกส์อยู่ในรูปไนเตรททั้งหมดหรือเกือบทั้งหมด ส่วนผักที่ปลูกในดินได้รับปุ๋ยในรูปอื่นด้วย เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียม ยูเรีย และสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ แท้จริงแล้วผักในดินสามารถได้ปุ๋ยไนโตรเจนส่วนใหญ่ในรูปของไนเตรทได้เช่นกันจากจุลินทรีย์ในดิน (*Nitrosomonas* spp. และ *Nitrobacter* spp.) ที่จะเปลี่ยนแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรท ส่วนไนไตรท์เป็นเกลือของกรดไนตรัส ซึ่งเป็นกรดอ่อน ซึ่งไนไตรท์ถูกออกซิไดซ์ให้เป็นสารไนเตรทได้ง่าย ในสิ่งแวดล้อมมักพบไนไตรท์ในปริมาณต่ำกว่าไนเตรท (Seginer, Straten & Buwalda, 1998)

2.3.1 ไนเตรทในสิ่งแวดล้อม

จากการรายงานของ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (2541) พบว่า สามารถพบไนเตรทได้จากส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1.1 ดิน ไนเตรทในดิน น้ำผิวดินและในน้ำใต้ดิน เกิดขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีนในพืช สัตว์ และจากของเสียในสัตว์ โดยจุลินทรีย์ในกลุ่มแอมโมเนียมอิออนจะ ออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์และไนเตรท การเกิดไนไตรท์และไนเตรทตามธรรมชาติเป็นผลมาจากวัฏจักรไนโตรเจน แต่ไนไตรท์โดยปกติพบในปริมาณที่ต่ำมาก ปกติผิวดินมีไนเตรทไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและไนไตรท์ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนในบรรยากาศซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการออกซิเดชันในบรรยากาศของออกไซด์ของไนโตรเจนคือ nitrate aerosols และปริมาณของฝุ่นไนเตรทที่เกิดจาก photochemical pollution อาจเกิดขึ้นในเมือง ความเข้มข้นของไนเตรทในอากาศอยู่ระหว่าง 1-40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขึ้นกับการเก็บตัวอย่างและระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง

2.3.1.2 น้ำ ความเข้มข้นของไนเตรทและไนไตรท์ ในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินแตกต่างกันอย่างมาก ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพทางธรณีวิทยา การจัดการเกี่ยวกับของเสียจากมนุษย์และสัตว์ การใช้ปุ๋ย และการปลดปล่อยของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ไนเตรทในน้ำผิวดินและในน้ำใต้ดินในหลายๆ ประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น แม่น้ำเทมในประเทศอังกฤษ เพิ่มขึ้นจากปริมาณเฉลี่ย 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในปี 1968 เป็น 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ในปี 1973 ไนเตรทในแม่น้ำบางสายที่ผ่านการเกษตรกรรมและแม่น้ำเล็ก ๆ บางส่วนในสหรัฐอเมริกาพบไนเตรทเกินมาตรฐาน ที่กำหนดไว้คือ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.1.3 ไนเตรทในอาหาร จากการรวบรวมข้อมูลของ National Institute of Environmental Health Science พบว่าปริมาณไนเตรทในพืชผักที่กินใบเป็นอาหารมีการสะสม

มากกว่าในผักกินผลหรือราก โดย บีท มะเขือ ผักกะหล่ำ และผักขมมีปริมาณไนเตรทสูง ขณะที่มะเขือเทศและถั่วมีปริมาณการสะสมไนเตรทต่ำ

ปริมาณการสะสมไนเตรทนอกจากจะแตกต่างกันระหว่างชนิดของผักแล้ว ในผักชนิดเดียวกันก็มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ แสงแดด ความชื้นในดิน ระดับของไนโตรเจนในดิน ซึ่งพบว่าไนเตรทในผักนั้นจะอยู่ในช่วง 0.9-2,165 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไนไตรท์มีไม่เกิน 7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในอาหาร เป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ เนื่องจากในเด็กจะมีความเสี่ยงต่อการได้รับพิษจากไนเตรทมากกว่าผู้ใหญ่ ซึ่งสหภาพโซเวียตแนะนำปริมาณสารไนเตรทสูงสุดที่ยอมรับให้มีในผักชนิดต่าง ๆ ดังนี้ กะหล่ำ 160 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แตงกวา 160 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม บีท 1,800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแครอท 415 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หากมีการต้มผักดังกล่าว จะสามารถลดปริมาณไนเตรทได้เป็น 2 เท่า เนื่องจากไนเตรทบางส่วนลงไปอยู่ในน้ำที่ต้ม นอกจากนี้ปริมาณไนเตรทที่ยอมรับได้ใน 1 วัน (maximum allowable) สำหรับมนุษย์ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม และองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ/องค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) แนะนำให้สารโซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$) และปริมาณสารโพแทสเซียมไนไตรท์ (KNO_3) ที่รับได้ในแต่วัน (ADI) ไม่ควรเกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ปริมาณไนเตรทสูงสุดที่ยอมรับให้มีในผักชนิดต่าง ๆ ได้นอกจากที่สหภาพโซเวียตแนะนำแล้วยังมีในส่วนของสหภาพยุโรปที่กำหนดปริมาณไนเตรทสูงสุดที่ยอมรับได้ โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค แสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 ค่าสูงสุดของปริมาณไนเตรทที่ยอมให้มีได้ในพืชผัก

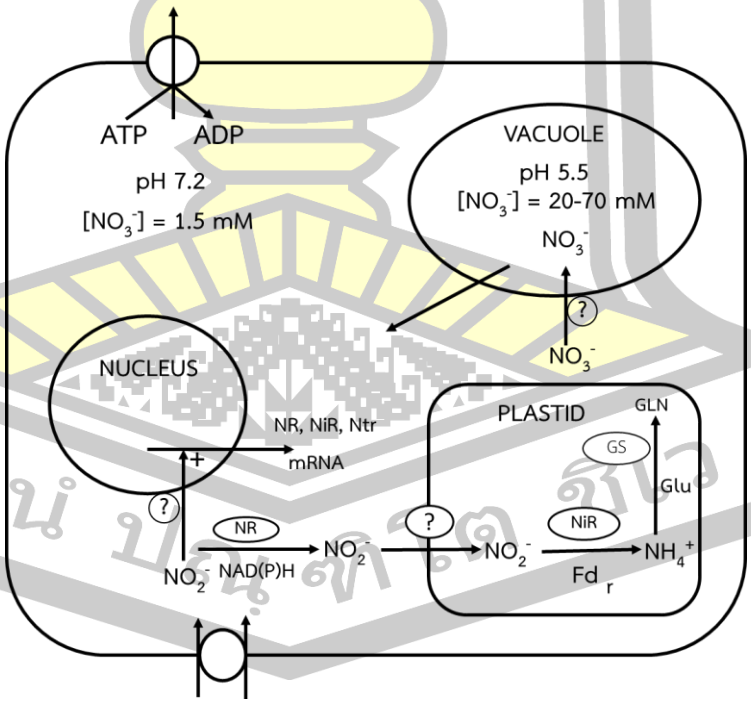
ชนิดพืช	ปริมาณไนเตรท (กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)	
	ฤดูฝนและฤดูร้อน	ฤดูหนาว
ผักสลัด (lettuce)	2.5	3.0
ผักสลัดก้านแข็ง (endive)	2.5	3.0
	ทุกฤดูกาล	
หัวผักกาดแดง (radish)	3.0	
หัวบีท (beet root)	3.0	
ขึ้นฉ่าย (celery)	4.0	
มันฝรั่ง (potato)	2.0	

ที่มา : European commission (1997)

2.3.2 การนำไนเตรทเข้าสู่พืช

พืชจะเริ่มดูดซึมไนเตรทจากสารละลายธาตุอาหารผ่านพลาสมาเมมเบรน (plasma membrane) ของเซลล์ชั้นนอกสุด (epidermal cells) และชั้นคอร์เท็กซ์ (cortical cells) ของราก หลังจากนั้นจะขนส่งผ่านโทโนพลาสต์เมมเบรน (tonoplast membrane) และพลาสมาเมมเบรนของเซลล์ในท่อลำเลียง (vascular system) และใบ ซึ่งระบบดูดซึมไนเตรทในพืชจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงระบบรากหรือปรับสภาพเพื่อรองรับสภาวะต่าง ๆ ได้ เนื่องจากพืชต้องมีระบบรากขนส่งไนเตรทที่มีประสิทธิภาพตามความต้องการไนเตรทภายในเซลล์เพื่อการเจริญเติบโต การนำไนเตรทเข้าสู่เซลล์ต้องใช้พลังงานที่จะขับเคลื่อนเข้าสู่เซลล์โดยใช้แรงขับเคลื่อนโปรตรอน (proton gradient) ซึ่งได้มาจากการทำงานของ H^+-ATPase ซึ่งอยู่ที่พลาสมาเมมเบรน

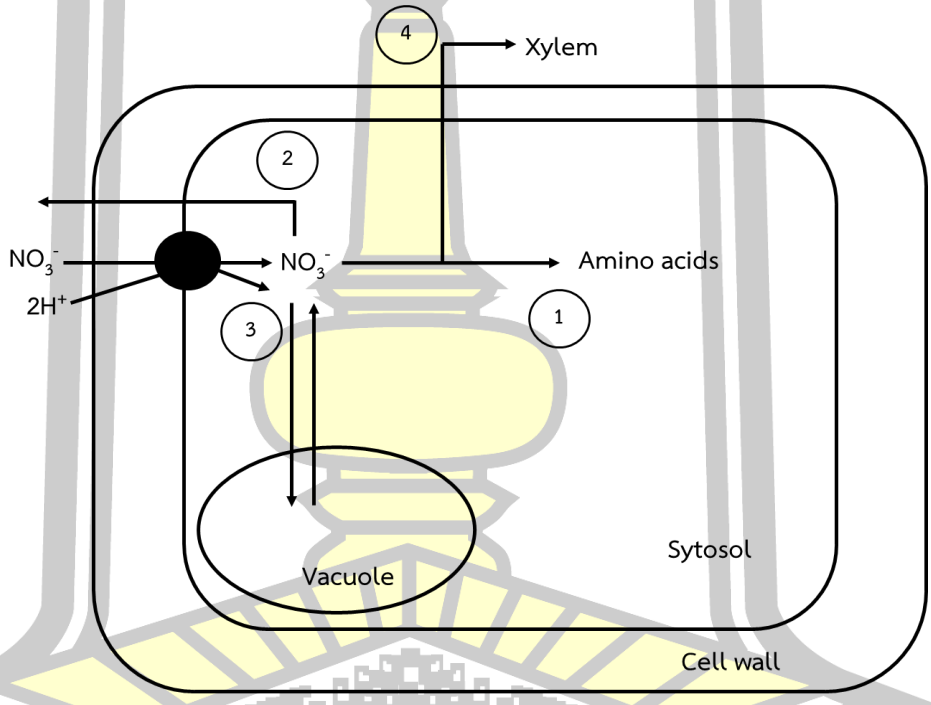
H^+-ATPase ที่พลาสมาเมมเบรนจะปั๊มโปรตอน (H^+) ออกจากเซลล์ ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างของ pH และ electrical gradients ภายนอกและภายในเซลล์ nitrate transporters (Ntr) จะช่วยส่งโปรตอน 2 ตัวหรือมากกว่านั้นต่อไนเตรท 1 ตัว เข้าสู่เซลล์ ไนเตรทถูกขนส่งผ่านโทโน-พลาสต์และเก็บไว้ในแวคิวโอล (vacuole) ส่วนไนเตรทในไซโทซอล (cytosol) จะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ซึ่งจะผ่านพลาสติด (plastid) และถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (NH_3) แอมโมเนียจะจับกับกลูตาเมต (Glu) กลายเป็นกลูตามีน (GLN) โดยอาศัยเอนไซม์กลูตามีนซินธิเทส (glutamine synthetase; GS) (Crawford, NM, 1995)



ภาพประกอบ 2 กลไกการนำไนเตรทไปใช้ในเซลล์พืช

ที่มา : Crawford (1995)

ระบบการขนส่งไนเตรทและขั้นตอนการใช้ไนเตรทของพืช จากการศึกษาของ Crawford & Glass (1998) พบว่า จากสารละลายธาตุอาหาร ไนเตรทจะถูกดูดซึมเข้าสู่ราก และมีการขนส่ง 4 ทาง คือ 1) เปลี่ยนเป็นไนไตรท์โดยอาศัยเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตสที่อยู่ในไซโทพลาสซึม 2) นำกลับออกมาข้างนอกเซลล์ผ่านพลาสมาเมมเบรนไปยังอโพพลาสซึม (apoplasm) 3) นำไปใช้ในเซลล์และเก็บไว้ในแวคิวโอล และ 4) ขนส่งไปยังใบและยอดผ่านทางไซเลม (xylem) ซึ่งเป็นการขนส่งในระยะยาว (ภาพประกอบ 2) สำหรับการขนส่งแบบสุดท้าย พบว่าไนเตรทจะออกจากไซเลมผ่าน leaf apoplasm เข้าสู่เซลล์ชั้นมีโซฟิลล์ (mesophyll cells) ของใบเพื่อดูดซึมไนเตรทอีกครั้ง หรืออาจเปลี่ยนเป็นไนไตรท์หรือเก็บไว้ในแวคิวโอล แม้กระบวนการขนส่งและดูดซึมไนเตรทในใบจะน้อย แต่ไนเตรทที่มีความเข้มข้นสูงที่อยู่ในของเหลวภายในไซเลม (xylem sap) 5-40 มิลลิโมลา และที่ระดับต่ำในโฟเอม (phloem) ถือว่ามีความสำคัญต่อการดูดซึมไนเตรททั้งสิ้น



ภาพประกอบ 3 เส้นทางการเข้า-ออก ของไนเตรทภายในเซลล์

ที่มา : Crawford & Glass (1998)

ไนเตรทและแอมโมเนียม (NH_4^+) เป็นรูปของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในดินที่มีการระบายอากาศดี มีความชื้น อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เหมาะสม แอมโมเนียมจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เรียกวา nitrification สารไนเตรทที่พืชดูดขึ้นไปส่วนใหญ่นำไปใช้ในการสร้างสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ส่วนที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ยังคงเป็นไนเตรทไอออนและเกิดการสะสมอยู่ในเซลล์พืช เนื่องจากพืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหาร

เองได้ โดยกระบวนการจัดการผลผลิตที่พืชกำหนดขึ้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะมีหลายกิจกรรมที่กระทำอย่างต่อเนื่องและตลอดเวลา เช่น การสังเคราะห์เพื่อการสร้าง และการสลายจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกิจกรรมหนึ่งไปเป็นกิจกรรมอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ยิ่งขึ้น เช่น การเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นแอมโมเนีย (NH_3) ก่อนที่พืชจะนำแอมโมเนียไปสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโน อันเป็นลักษณะของกิจกรรมการสังเคราะห์ แต่บางครั้งแอมโมเนียจะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท อันเป็นลักษณะของกิจกรรมการสลาย ในขณะเดียวกันก็จะกลับมาเป็นแอมโมเนียสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นประโยชน์ได้อย่างสมบูรณ์ และไม่กักเก็บหรือสะสมในเซลล์พืช ในขณะที่ไนเตรทสามารถดูดซับและสะสมไว้ในแวคิวโอลที่อยู่ในเซลล์พืชได้หากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น ปลูกในสภาพแสงน้อย พืชจะมีการดูดสารไนเตรทจากดินเข้าไปมาก เนื่องจากพืชจะมีการกระตุ้นการสะสมไนเตรท เป็นการชดเชยแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ทดแทนความเข้มข้นของอินทรีย์สาร คือ คาร์โบไฮเดรทที่ลดลง ในขณะเดียวกันถ้าพืชสามารถเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นสารอินทรีย์ (กรดอะมิโน) ได้น้อย เมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง มีผลไปลดเมตาบอลิซึมของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตส (nitrate reductase) ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสารไนเตรท การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้มีการสะสมสารไนเตรทอยู่ในพืชมากขึ้น สำหรับกระบวนการที่ไนเตรทจะเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียม แล้วเปลี่ยนไปเป็นกรดอะมิโนในพืชนั้น เกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายชนิดด้วยกัน ไนเตรทจะสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชแตกต่างกันไป ในพืชต้นเดียวกันส่วนที่แก่กว่าจะมีการสะสมมากกว่าในส่วนที่อ่อนกว่า ในดอกจะมีความเข้มข้นของไนเตรทน้อยที่สุด รองลงมาได้แก่ ผล ใบ ราก โดยก้านใบมีการสะสมมากที่สุด ตามลำดับ ในผักหลายชนิดมีการสะสมไนเตรทค่อนข้างสูง เช่น บีท (beet) ผักกาดเขียว (mustard green) ผักบางชนิดมีการสะสมไนเตรทได้มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด เช่น ผักสลัด (กรรณิกา จ้าเสียง, 2555)

2.3.3 อันตรายจากการบริโภคสารที่ปนเปื้อนไนเตรท

การบริโภคผักหรืออาหารอื่น ๆ ที่มีการสะสมของสารไนเตรท (NO_3^-) สามารถทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตของผู้บริโภคได้ ซึ่งร่างกายคนปกติสามารถดูดซึมไนเตรทและไนไตรท์จากระบบทางเดินอาหารอย่างรวดเร็ว ไนเตรทเมื่อเข้าสู่กระเพาะอาหาร บางส่วนจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารไนไตรท์ (NO_2^-) ในขบวนการ nitrate reduction ที่สามารถเกิดขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพไร้อากาศหรือมีอากาศน้อย สารไนไตรท์สามารถถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ไปทำปฏิกิริยากับเม็ดเลือดโดยขบวนการออกซิเดชัน (oxidation) เปลี่ยนแปลงเม็ดเลือดจากฮีโมโกลบินให้กลายเป็นเมทฮีโมโกลบิน โดยจะไปออกซิไดซ์ (oxidize) Fe^{2+} ในโมเลกุลของเม็ดเลือดในรูปของฮีโมโกลบินให้กลายเป็น Fe^{3+} เม็ดเลือดที่เปลี่ยนแปลงไปนี้เมทฮีโมโกบินจะไม่มีคุณสมบัติในการรับและนำพาออกซิเจนไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย หากปริมาณเมทฮีโมโกลบินเพิ่มขึ้นมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของฮีโมโกลบินทั้งหมด ผู้ป่วยจะมีอาการไม่สบายเนื่องจากการขาดออกซิเจนอย่างเห็นได้ชัดจะมีอาการตัวเขียว อ่อนเพลีย หายใจหอบ

ถี่ ปวดศีรษะและหัวใจเต้นแรงและมีจังหวะเร็วกว่าปกติ เป็นต้น ดังนั้นถ้ามีการบริโภคอาหารที่มีไนเตรทปนเปื้อนเข้าไปจำนวนมาก ร่างกายจะเกิดภาวะที่ขาดออกซิเจนฉับพลันได้ โดยเฉพาะในเด็กเล็กจะอ่อนแอต่ออาการขาดออกซิเจนนี้ เกิดอาการของโรคที่เรียกว่า methemoglobinemia หรือ blue baby syndrome ทารกอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน เนื้อตัว ผิวหนัง และปากเปลี่ยนเป็นสีเขียวคล้ำ จนถึงเสียชีวิตได้ (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541) ซึ่งในเด็กทารกมีความเสี่ยงอันตรายเป็นพิเศษเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

2.3.3.1 ความเป็นกรดในกระเพาะ ทำให้จุลินทรีย์ที่มีเอนไซม์ซึ่งสามารถรีดิวซ์ไนเตรทและไนไตรท์เจริญเติบโตได้ดีกว่าผู้ใหญ่

2.3.3.2 ฮีโมโกลบินของทารกในครรภ์และเม็ดเลือดแดงของเด็กอาจเปลี่ยนเป็นเมทฮีโมโกบินจากปฏิกิริยาของไนไตรท์อย่างง่าย

2.3.3.3 เด็กทารกขาดระบบเอนไซม์ที่สามารถรีดิวซ์เมทฮีโมโกบินเป็นฮีโมโกบิน

2.3.3.4 การรับ (intake) ของเหลวในร่างกายของเด็กทารกสูงกว่าผู้ใหญ่เมื่อเทียบกับน้ำหนักร่างกาย

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมไนเตรทในพืช

ผลต่อการสะสมไนเตรทในพืชมีปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.3.4.1 ชนิดพืช นอกจากพืชประเภทผักแล้ว พืชอาหารสัตว์บางชนิดก็มีการสะสมไนเตรทได้ดี เช่น หญ้าทิโมธี (thimothy) หญ้าไรน์ (ryegrass) แต่ในธัญพืชมีไนเตรทสะสมอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก ในพืชผักพบว่าผักประเภทกินใบและลำต้นเป็นอาหาร เช่น ผักสลัด ผักขม มีปริมาณไนเตรทสะสมมากกว่าผักที่ใช้รากหรือหัวเป็นอาหาร เช่น แครอท หรือหอมหัวใหญ่ นอกจากนี้ในพืชชนิด (species) เดียวกันแต่ต่างพันธุ์ (variety) ก็มีการสะสมไนเตรทต่างกัน แต่จะมีความแตกต่างกันไม่มากนัก สาเหตุที่พืชมีความสามารถในการสะสมไนเตรทแตกต่างกันนี้ ยังไม่อาจบอกได้แน่นอน ส่วนหนึ่งอาจมาจากเอนไซม์สำคัญบางชนิดในขบวนการเปลี่ยนไนเตรทจนกลายเป็นโปรตีน เช่น ไนเตรทรีดักเตสในพืชแต่ละชนิดมีกิจกรรมแตกต่างกัน นอกจากนี้ในพืชบางชนิดที่ส่วนของรากมีกิจกรรมของไนเตรทรีดักเตสสูง ไนโตรเจนที่เคลื่อนย้ายจากรากไปยังลำต้นจะอยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) มากกว่าพืชที่มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ในระดับต่ำ

2.3.4.2 ส่วนของพืช ไนเตรทมีการกระจายไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืชในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างส่วนต่าง ๆ ของพืช พบว่าในก้านใบมีไนเตรทมากที่สุด รองลงมาคือ ลำต้น แผ่นใบ และรากตามลำดับ ส่วนดอกมีปริมาณต่ำสุด และนอกจากนี้ในพืชต้นเดียวกันใบที่อยู่นอกสุดและแก่กว่าจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำสุด แต่จะมีปริมาณไนเตรทสูงสุด เนื่องจากส่วนที่แก่กว่านั้นจะมีขบวนการเมตาบอลิซึมเป็นไปอย่างช้า ๆ ทำให้เหลือไนเตรทตกค้างอยู่มาก

2.3.4.3 อายุของพืช โดยทั่วไปความเข้มข้นของไนเตรทในพืชจะมีมากในช่วงต้นและช่วงกลาง ของการเจริญเติบโตและจะค่อย ๆ ลดต่ำลง เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ เนื่องจากในช่วงที่พืชมีการสร้างผลและเมล็ดไนเตรทบางส่วนจะเคลื่อนย้ายจากลำต้นและใบไปยังส่วนของผลเพื่อใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อในส่วนนั้น และในขณะที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่ความสามารถของดินที่จะให้ไนโตรเจนแก่พืชจะลดลงไปด้วย ฉะนั้นพืชจึงใช้ประโยชน์จากไนเตรทที่ตกค้างตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ทำให้ความเข้มข้นของไนเตรทที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่น้อยลงไป

2.3.5 แนวทางการลดไนเตรทในผักไฮโดรโปนิกส์

ไนเตรทเป็นปุ๋ยไนโตรเจนหลักที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ด้วยการเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ โดยใช้เอนไซม์ไนเตรทรีดักเตสที่มีโมลิบดีนัมเป็นส่วนประกอบหรือเป็นโคแฟคเตอร์ ไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนแปลงอีกสามขั้นตอนโดยใช้เอนไซม์อีกสามชนิดแล้วเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ซึ่งแอมโมเนียจะถูกรวมเข้าไปเป็นส่วนประกอบของกลูตามีนที่เป็นสารอินทรีย์ ต่อมาไนโตรเจนจะเข้าไปอยู่ในสารสำคัญที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบชนิดต่าง ๆ ของเซลล์พืช จะเห็นได้ว่าไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญและน่าจะถูกทดแทนได้ด้วยแอมโมเนียม เพราะไนเตรทถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียม แต่ในความเป็นจริงแล้วแอมโมเนียมสามารถทดแทนไนเตรทได้เพียงบางส่วนที่เป็นส่วนน้อยเท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของผักสลัด ซึ่งสามารถดูดซึมแอมโมเนียมได้ดี แต่ถ้ามีแอมโมเนียมในปริมาณมากเกินไปพืชจะดูดซึมแอมโมเนียมเข้าไปมากเกินกว่าที่จะใช้ประโยชน์ได้ทัน ทำให้มีปริมาณการสะสมแอมโมเนียมในเนื้อเยื่อมากขึ้นจนถึงขั้นเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของพืช ในสภาวะที่มีแอมโมเนียมอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร การดูดซึมไนเตรทจะลดลง ในกรณีของผักสลัดถ้ามีแอมโมเนียมในสารละลายธาตุอาหารมาก นอกจากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อพืชแล้ว ยังทำให้รากไม่หนาแน่น รากอ่อนแอ แล้วผักจะเจริญเติบโตแบบไม่ได้น้ำหนัก เมื่อพืชดูดซึมแอมโมเนียมจะปลดปล่อยกรดออกมาแลกเปลี่ยน ถ้ามีปริมาณแอมโมเนียมมากพืชจะปลดปล่อยกรดออกมามากจนถึงขั้นทำให้รากเสียความเป็นกรดของผิวรากที่สานกันแน่น การลดการดูดซึมไนเตรทโดยใช้แอมโมเนียมหรือยูเรียจึงต้องทำด้วยความระมัดระวังและต้องพิจารณาถึงชนิดของพืชด้วยว่าต้านทานผลเสียได้มากน้อยเพียงใด ได้มีการทดลองเติมยูเรียในปริมาณที่ไม่ทำให้เกิดผลเสีย (ยกเว้นความหนาแน่นของรากลดลงเล็กน้อย) ปรากฏว่าสามารถลดไนเตรทในผักสลัดพันธุ์คอสได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ นอกจากการลดปริมาณการสะสมไนเตรทโดยการลดการดูดซึมไนเตรท เช่น การใช้สารละลายธาตุอาหารที่เจือจางลง การใช้น้ำเปล่าหรือน้ำประปา และการใช้แอมโมเนียมหรือยูเรียแล้ว อาจจะต้องพิจารณาทางด้านการเพิ่มความสามารถของการนำไนเตรทไปใช้ประโยชน์ โดยการจัดการทางด้านความสามารถของการนำไนเตรทไปใช้ประโยชน์นั้น พบว่าพืชจำเป็นต้องได้รับโมลิบดีนัมในปริมาณที่เพียงพอเพื่อให้เอนไซม์ไนเตรทรีดักเตสทำงานได้อย่างเต็มที่ การได้รับแสงแดด

อย่างเพียงพอเป็นปัจจัยหนึ่งในการลดปริมาณการสะสม (ยงยุทธ เจียมไชยศรี, 2562) ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการจัดการเพื่อลดปริมาณการสะสมไนเตรทในผักอาจทำได้ ดังนี้

2.3.5.1 การให้น้ำเปล่าหรือน้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยว 2-3 วัน ซึ่งวิธีนี้เป็นคำแนะนำที่พบอยู่เสมอ ซึ่งจะไม่สามารถลดปริมาณการสะสมไนเตรทอย่างมีนัยสำคัญใน 12 ชั่วโมงแรก การให้น้ำเปล่าหรือน้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารเป็นเวลานานกว่านั้นอาจทำให้คุณภาพผักลดลงบ้าง เพราะผักอาจแสดงอาการขาดธาตุอาหารรอง เช่น ใบคะน้าอาจมีสีที่เปลี่ยนไป หากใช้วิธีนี้ควรเติมเหล็กและธาตุอาหารรองอื่น ๆ ให้มีความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับที่มีอยู่ในสารละลายธาตุอาหารเดิมที่เคยใช้ปลูกผัก

2.3.5.2 การปลูกผักในสารละลายธาตุอาหารที่เจือจางเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ก่อนเก็บเกี่ยวผัก วิธีนี้อาจใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น 1 ใน 4 ของความเข้มข้นที่เคยใช้ หากใช้วิธีการนี้ควรเติมเหล็กและธาตุอาหารรองอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับที่มีอยู่ในสารละลายธาตุอาหารเดิม

2.3.5.3 การเก็บผักในช่วงเวลาบ่ายของวันที่มีแดด จะมีปริมาณการสะสมไนเตรทต่ำกว่าผักที่เก็บเกี่ยวในช่วงเช้าของวันที่ไม่มีแดด 15-20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากพืชสามารถดูดซึมไนเตรทได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน แต่การใช้ประโยชน์ของไนเตรทเกิดขึ้นในเวลากลางวันที่มีแสงแดดเท่านั้น

2.3.5.4 การจัดการให้พืชได้รับแสงแดดอย่างเพียงพอ การที่พืชได้รับแสงแดดที่เพียงพอจะทำให้พืชสามารถนำไนเตรทไปเปลี่ยนแปลงแล้วใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ซึ่งในการทำให้พืชได้รับแสงแดดอย่างเพียงพอควรพิจารณารวมไปถึงการแก้ไขความหนาแน่นของการปลูกที่อาจทำให้ผักบังแดดซึ่งกันและกันด้วย

2.3.5.5 การเติมแอมโมเนียมโมลิบเดทหรือโซเดียมโมลิบเดทลงไปในสายละลายธาตุอาหาร จนได้ปริมาณของโมลิบดีนัมที่เพียงพอที่จะทำให้พืชเปลี่ยนแปลงไนเตรทได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปโมลิบดีนัมในระดับที่คิดตามสูตรมาตรฐานประมาณ 0.15-0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระดับที่เหมาะสม ในสภาพการปลูกในปัจจุบันที่มีทองแดงผสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารค่อนข้างสูงและมีค่าความเป็นกรดด่างค่อนข้างต่ำ (pH 6-6.5) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า ในช่วงท้ายต่ำ เช่น ในการปลูกผักสลัดที่ค่าการนำไฟฟ้า 1.2 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จะทำให้ความเข้มข้นของโมลิบดินัมอยู่ในช่วงประมาณ 0.08-0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร การเติมแอมโมเนียมโมลิบเดทในชุดสารละลาย ควรทำด้วยความระมัดระวัง เพราะช่วงความเข้มข้นของโมลิบดินัมจากระดับที่เพียงพอถึงระดับที่เป็นพิษต่อพืชค่อนข้างแคบ แอมโมเนียมโมลิบเดทในระดับ 1 กรัมต่อสารละลายธาตุอาหาร 1 ชุดอาจเป็นพิษต่อพืชได้ถ้าปลูกที่ค่าการนำไฟฟ้าต่ำ

2.3.5.6 การดัดแปลงสูตรสารละลายธาตุอาหารให้มีไนเตรทต่ำลง การทดลองใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่มีไนเตรทต่ำลง 1 ใน 3 ทำให้ลดปริมาณไนเตรทตกค้างได้ แต่การเจริญเติบโตจะลดลงเหลือ 60-80 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพที่มีแสงปกติ ส่วนในสภาพที่มีแสงน้อยการเจริญเติบโตจะลดลงแต่ไม่มากเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ปลูกในสภาพเดียวกัน วิธีนี้จึงควรได้รับการพิจารณานำมาใช้ในสภาพที่มีแสงน้อยเท่านั้นและควรใช้ด้วยความระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดผลเสียมากนัก

2.3.5.7 การเติมเกลือแอมโมเนียมหรือยูเรีย (ในกรณีที่ใช้ยูเรียควรใช้ชนิดที่มีไบยูเรตต่ำ) ควรเติมลงไปทีละน้อย สารเหล่านี้จะลดการดูดซึมไนเตรทแต่ไม่ทำให้ผักขาดไนโตรเจน เพราะตัวสารเหล่านี้เป็นแหล่งไนโตรเจนที่มาทดแทน โดยเติมยูเรียทีละน้อยทุก ๆ 2 วัน ในปริมาณที่สามารถรักษาระดับ pH ที่เหมาะสมไว้ได้โดยไม่ต้องเติมกรดตั้งแต่เริ่มลงรางปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว เพราะผักจะปล่อยกรดออกมาเมื่อได้รับแอมโมเนียมหรือยูเรีย พบว่าผักสลัดคอสที่ได้มีปริมาณการสะสมไนเตรทต่ำกว่าผักที่ใช้ไนเตรทที่มีความเข้มข้นเท่ากันประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเจริญเติบโตของผักทั้งสองกลุ่มใกล้เคียงกัน แต่ระบบรากบางกว่าเล็กน้อย การลดปริมาณการสะสมไนเตรทไม่จำเป็นต้องทำตั้งแต่เริ่มปลูก โดยสามารถเริ่มก่อนเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์ก็ได้

2.3.5.8 การปลูกผักในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าจากสูงมาหาต่ำ วิธีนี้เป็นวิธีการปลูกผักเพื่อให้ได้ผักที่มีรสชาติดี การใช้สารละลายธาตุอาหารที่เจือจางในช่วงท้ายจะทำให้ได้ผลดีทางด้านการลดปริมาณการสะสมไนเตรท สำหรับผักสลัดวิธีการนี้ประกอบด้วยการปลูก การเลี้ยงต้นกล้าตั้งแต่งอกจนถึงการย้ายปลูกที่ค่าการนำไฟฟ้าสูง และได้รับแสงแดดที่มากพอเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ต่อจากนั้นย้ายไปลงรางปลูก เมื่อลงรางปลูกจะให้สารละลายธาตุอาหารโดยมีค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 1.8 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร แล้วลดลงตามลำดับให้เหลือ 1.2 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ผักสลัดและผักคะน้าที่ปลูกด้วยวิธีนี้จะเจริญเติบโตดีมีรสชาติดีและเนื้อสัมผัสไม่แข็ง เนื่องจากการเจือจางสารละลายธาตุอาหารในช่วงท้าย แต่ธาตุอาหารรองจะเจือจางตามไปด้วย จึงแนะนำให้เติมเหล็กคีเลต (Fe-EDTA) และธาตุอาหารรองเติมลงไปด้วย วิธีการลดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารลงตามลำดับนี้ไม่เหมาะสำหรับผักสลัดพันธุ์ rocket เพราะสารละลายธาตุอาหารที่เจือจางลงจะทำให้กลิ่นรสจางลงด้วย เนื่องจากผักสลัดพันธุ์ rocket เจริญเติบโตได้ดีในสารละลายธาตุอาหารที่มีแอมโมเนียมเป็นหลัก ดังนั้นจึงควรใช้วิธีการเติมแอมโมเนียมเพื่อลดการดูดซึมไนเตรทแทน

2.4 ผักสลัด

ผักสลัด เป็นผักที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง โดยส่วนใหญ่มักรับประทานสด และนำมาประกอบอาหารหลายชนิด สลัด (*Lactuca sativa* L.) อยู่ในวงศ์ Asteraceae (compositae) ซึ่งเป็นวงศ์ที่ค่อนข้างใหญ่ประกอบด้วยพืช 800 สกุล 20,000 กว่าชนิด

ซึ่ง *Lettuce sativa* เป็นสายพันธุ์สลัดกลุ่มเดียวที่นำมาปลูกเพื่อการค้า มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบที่ราบด้านตะวันออกของเขตเมดิเตอร์เรเนียน จากรูปวาดในหลุมศพชาวอียิปต์พบว่ามีการเพาะปลูกสลัดใบมานานกว่า 4,500 ปีก่อนคริสตศักราช โดยใช้เป็นพืชสมุนไพรและสกัดน้ำมันจากเมล็ด ในสงครามโลกครั้งที่ 2 ใช้น้ำที่คั้นจากใบสลัดนำไปอบแห้งเป็นผง (lactucarium) ใช้เป็นยานอนหลับ (ทศพร แจ้งจรัส, 2531) ผักสลัดเป็นพืชฤดูเดียวมีลำต้นอวบสั้นและช่วงข้อถี่ ใบจะเจริญจากข้อเป็นกลุ่มใบ อาจห่อหัวหรือไม่ห่อหัว มีลักษณะรูปร่างและมีสีแตกต่างไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ บางพันธุ์อาจมีใบหนาแข็ง บางพันธุ์ใบอ่อน นิ่ม มีสีเขียวอ่อนจนถึงสีเขียวเข้ม สีน้ำตาลปนแดง สีแดง และสีน้ำตาล เป็นต้น ซึ่ง อภิชาติ ศรีสอาด และณัฏฐ์ชญามนต์ ดินรมรัมย์ (2558) รายงานว่าผักสลัดมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ดังนี้

ระบบราก สลัดมีระบบรากแก้วที่เจริญหยั่งลึกลงไปในดินอย่างรวดเร็ว ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสามารถเติบโตได้ถึง 1 นิ้วต่อวัน และเจริญลึกลงไปถึง 6 ฟุต เมื่อถึงระยะที่แทงช่อดอก ในดินที่มีความชื้นสูงและมีหน้าดินตื้น และถึงแม้จะมีรากแก้วที่หยั่งลึกแต่รากจะมีขนาดเล็ก รากแขนงและรากฝอยชอนไชอยู่อย่างหนาแน่นในระดับความลึก 30 เซนติเมตร

ลำต้น ลำต้นของผักสลัดในระยะแรกมักจะมองไม่ค่อยเห็น เนื่องจากใบจะปกคลุมอยู่ จะเห็นชัดเมื่อระยะแทงช่อดอก ลำต้นจะสูงชะลูดขึ้นจนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน โดยมีลักษณะอวบ ถ้าปลูกในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก ๆ จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์ถึง 2 นิ้ว เป็นข้อสั้น แต่ละข้อเป็นที่เกิดของใบ

ใบ จะมีลักษณะรูปร่างและสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ เช่น ใบกลม ใบรี ใบเรียบ ใบหยักหรือบิดงอ บางพันธุ์อาจจะมีใบหนาแข็ง และบางพันธุ์อาจจะมีใบอ่อนนิ่ม มีสีเขียวอ่อนจนถึงมีสีเขียวเข้ม สีน้ำตาลปนแดง สีแดง และสีน้ำตาล เป็นต้น บางพันธุ์จะมีสีเดียวแต่บางพันธุ์อาจจะมีหลายสี ซึ่งว่ากันว่าใบสีแดงจะมีวิตามินซีสูงกว่าสีเขียวแต่จะสูญเสียหลังเก็บเกี่ยวภายใน 2-3 วัน

ช่อดอก เป็นแบบ panicle สูง 2-4 ฟุต ประกอบด้วยดอก 10-25 ดอกต่อช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศกลีบดอกสีเหลืองหรือขาวปนเหลือง ดอกจะบานช่วงเช้าและปิดในระยะเวลาสั้น โดยเฉพาะในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำกระบวนการผสมเกสรจะเสร็จสิ้นภายในเวลา 3-6 ชั่วโมง โดยดอกหนึ่งดอกจะประกอบด้วยเมล็ดหลายเมล็ด (involucres) ในสภาพอุณหภูมิสูงช่วงแสงยาวจะกระตุ้นให้มีการแทงช่อดอกเร็ว ซึ่งจะเป็นปัญหาของการผลิตในฤดูร้อน

เมล็ด เมล็ดของผักสลัดเป็นชนิด achene ซึ่งเจริญมาจากเซลล์หนึ่งของ ovary เมล็ดมีเปลือกหุ้มเมล็ด หัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มีเส้นเล็ก ๆ ลากยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่ผิวของเปลือกหุ้มเมล็ด มีสีเทาปนครีม ความยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร

2.4.1 การจัดกลุ่มผักสลัด

การจัดกลุ่มผักสลัดและลักษณะพันธุ์ที่เหมาะกับทางการค้า ซึ่งอภิชาติ ศรีสอาด และณัฏฐ์ชญามนต์ ดินรมรัมย์ (2558) รายงานไว้ 5 กลุ่ม ดังนี้

2.4.1.1 สลัดใบหรือผักกาดหอม (leaf lettuce) (*Lactuca sativa* var. crispa L.) บางครั้งเรียก bunching lettuce/ loose-leaf สายพันธุ์นี้มีลำต้นสั้น และใบเจริญเป็นกระจุก มีใบจำนวนมาก ลักษณะ รูปร่างและสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมากกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ โดยเฉพาะพันธุ์ที่มีใบสีเขียวอ่อน อายุเก็บเกี่ยว 40-50 วัน น้ำหนักเฉลี่ย 200-260 กรัมต่อต้น

2.4.1.2 สลัดปลี ผักกาดหอมห่อ ผักกาดแก้ว หรือสลัดแก้ว (crisp-head) (*L.sativa* var.capitata L.) บางครั้งเรียก head lettuce หรือ iceberg type มีใบขนาดใหญ่น้ำหนักมาก ใบในจะม้วนและซ้อนกันคล้ายกะหล่ำปลี หัวแน่น ใบจะแข็ง กรอบกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ ใบนอกจะมีสีเขียวเข้ม ใบในจะมีสีเหลืองปนขาว อายุเก็บเกี่ยว 50-55 วัน

2.4.1.3 สลัดกึ่งห่อหรือ สลัดบัตเตอร์ (butterhead) (*L.sativa* var. *capitata* Lam.) บางครั้งเรียก bibb sinv boston lettuce คือ ใบจะอ่อนและนิ่ม ห่อปลีหลวม ใบในจะมีลักษณะคล้ายมีน้ำมันหรือเนยจับที่ผิวในการปลูกในฤดูหนาวจะให้หัวขนาดใหญ่และหัวแน่นกว่าฤดูร้อน การปลูกในฤดูร้อน ฤดูฝน ควรปลูกในโรงเรือน ที่สามารถลดอุณหภูมิ ความเข้มของแสง และป้องกันฝน บางสายพันธุ์ในกลุ่มนี้จะมีความต้านทานต่อโรคใบด่างของสลัด (Lettuce Mosaic Virus: LMV) อายุเก็บเกี่ยว 44-55 วัน น้ำหนักเฉลี่ย 180-200 กรัมต่อต้น

2.4.1.4 สลัดคอส หรือ สลัดโรเมน หรือ ผักกาดหวาน (cos ,romaine) (*L.sativa* var. longefolia Bailey) ใบมีลักษณะตั้งตรงยาวและห่อ สีเขียวเข้มเนื้อใบหนามีเส้นใบนูนเด่นออกมาด้านหลัง ใบในจะมีปลายโค้งเข้าข้างในทำให้หัวกลมยาว อายุเก็บเกี่ยว 45-60 วัน น้ำหนักเฉลี่ย 300 กรัมต่อต้น

2.4.1.5 asparagus หรือ celtuce (celery Lettuce) stem (*L.sativa* var. asparagina) ในบางครั้งเรียก มีลักษณะลำต้นสูง ใบจะเรียวยาว เจริญติดๆ กันขึ้นไปจนถึงช่อดอก อาจจะทยอยเก็บเกี่ยวโดยเริ่มจากใบล่าง เหมาะสำหรับใช้เป็นพืชผักสวนครัว ลำต้นสามารถนำไปประกอบอาหารและแปรรูปได้

2.4.2 พันธุ์และลักษณะของผักสลัดที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ทดลองเกี่ยวกับผักสลัดจำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กรีนคอส กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด เรดคอรัล และเรดโอ๊ค ซึ่งแต่ละพันธุ์มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

2.4.2.1 ผักสลัดพันธุ์กรีนคอส (cos lettuce)

ลักษณะทั่วไป กรีนคอสหรือผักกาดหวาน ลักษณะทั่วไปเป็นพืชล้มลุก ลำต้นเป็นกอ ใบยาวรีซ้อนกันเป็นช่อ ห่อตั้งขึ้น สีเขียวเข้ม เนื้อใบหนา มีเส้นนูนเด่น อายุการเก็บเกี่ยว 55 วัน วิธีเก็บหากปลูกในดินใช้มีดตัดโคนต้นของผักตัดใบแก่ออกแล้ววางใส่ตะกร้า ระวังอย่าให้ช้ำ หรือหากปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ให้ยกจากรางปลูกขายยกต้น เป็นผักที่มีความสดกรอบรับประทานเป็นสลัดหรือเครื่องเคียงกับน้ำพริก สรรพคุณช่วยบำรุงสายตา บำรุงผม บำรุงกล้ามเนื้อ บำรุงผิว และลดคอเรสเตอรอล

ภาพประกอบ 4 ผักสลัดพันธุ์กรีนคอส

2.4.2.2 ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค (green oak)

ลักษณะทั่วไป กรีนโอ๊คเป็นผักตระกูลสลัดต่างประเทศ มีลักษณะเป็นผักใบหยัก สีเขียวอ่อน รูปทรงสวยเป็นพุ่ม รสชาติหวานกรอบ จะเก็บเกี่ยวเมื่อผักมีอายุประมาณ 40-45 วัน หลังจากลงแปลงปลูก การรับประทานนิยมรับประทานสด มีสรรพคุณการสร้างเม็ดเลือด บำรุงสายตา บำรุงเส้นผม บำรุงประสาทและกล้ามเนื้อ

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

ภาพประกอบ 5 ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค

2.4.2.3 ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด (Butterhead)

ลักษณะทั่วไป ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดเป็นพืชผักชนิดหนึ่งที่มีลักษณะใบอ่อนนุ่มเป็นมัน เรียงซ้อนกันแน่นคล้ายดอกกุหลาบ เป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น จึงจะเจริญเติบโตได้ดี อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 10-24 องศาเซลเซียส ในสภาพอุณหภูมิสูง การเจริญเติบโตทางใบจะลดลง พืชจะสร้างสารคล้ายน้ำนม หรือยางออกมามาก รวมทั้งมีปริมาณเส้นใยสูง และเหนียว ทำให้มีรสขม ส่วนใหญ่นิยมปลูกอยู่ในโรงเรือนมากกว่ากลางแจ้ง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 50-60 วันหลังย้ายปลูก การเก็บเกี่ยวให้ใช้มีดตัด เหลือใบด้านนอก 3 ใบ เพื่อป้องกันความเสียหายในการขนส่ง หลีกเลี่ยงการเก็บเกี่ยวตอนเปียกน้ำ ควรเลือกเก็บเกี่ยวช่วงเวลาเช้า ที่มีอุณหภูมิไม่สูง เพื่อคงความสดของผัก ในช่วงฤดูฝน ควรเก็บเกี่ยวผักก่อนโตเต็มที่ 2-3 วัน นิยมรับประทานสด มีสรรพคุณช่วยบำรุงเส้นผม บำรุงผิว ลดคอเรสเตอรอล บำรุงประสาท และป้องกันโลหิตจาง

ภาพประกอบ 6 ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด

2.4.2.4 ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล (red coral)

ลักษณะทั่วไป ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลมีลักษณะเป็นทรงพุ่ม ไม่ห่อหัว ปลายใบหยักใบมีสีแดงอมม่วง รสชาติหวานและกรอบว่าเรดโอ๊ค ควรรับประทานขณะยังอ่อน ถ้าแก่ใบจะแข็ง เหมาะสำหรับประดับบนจานสลัดต่าง ๆ เพราะมีสีสันสวยงาม ใช้เป็นเครื่องเคียงอาหาร จะเก็บเกี่ยวเมื่ออายุเก็บเกี่ยวหลังจากเพาะเมล็ด 35-45 วัน ควรเลือกเก็บเกี่ยวช่วงเวลาเช้าที่มีอุณหภูมิไม่สูง มีสรรพคุณช่วยสร้างเม็ดเลือด มีวิตามินซีสูง สามารถป้องกันโรคโลหิตจางและโรคปากนกกระจอก มีเส้นใยอาหารสูง ช่วยระบบขับถ่ายได้ดี กากใยเหล่านี้จะช่วยล้างผนังลำไส้ กำจัดพวกไขมันและอนุมูลอิสระที่เกาะตามผนังลำไส้ อันเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งลำไส้

ภาพประกอบ 7 ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล

2.4.2.5 ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค (red oak)

ลักษณะทั่วไป ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คเป็นผักตระกูลสลัดต่างประเทศมีลักษณะเป็นผักใบสีแดงเข้มและเขียวเข้ม ใบซ้อนกันเป็นชั้นปลายใบหยิก แยกเป็นแฉก เป็นพุ่มหยักสีสวยงาม มีใยอาหารในปริมาณสูงซึ่งช่วยเรื่องระบบการย่อย ป้องกันโรคปากนกกระจอก ล้างผนังลำไส้ กำจัดพวกไขมัน มีธาตุเหล็ก และวิตามินซีสูง อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 40-45 วัน หลังจากลงแปลงปลูก นิยมรับประทานเป็นผักสลัด มีโฟเลท ธาตุเหล็กและวิตามินซีสูง รับประทานเป็นผักสด จะช่วยบำรุงสายตา บำรุงประสาท บำรุงผิว และกล้ามเนื้อ ผักสลัดเป็นผักที่มีแคลอรีต่ำ เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องลดน้ำหนักหรือควบคุมน้ำหนัก

ภาพประกอบ 8 ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค

โดยผักสลัดเป็นผักที่มีแคลลอรี่ต่ำ เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักหรือควบคุมน้ำหนัก ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการของผักสลัดต่าง ๆ แสดงดังตาราง 5

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 5 คุณค่าทางโภชนาการของผักสลัดชนิดต่าง ๆ ต่อ 100 กรัม

คุณค่าทางอาหาร	ชนิดใบสีเขียว	ชนิดใบสีแดง	ชนิดห่อหัวไม่แน่น
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	15	16	13
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	2.87	2.26 ก	2.23
น้ำ (กรัม)	94.98	95.64	95.63
น้ำตาล (กรัม)	0.78	0.48 กรัม	0.94
เส้นใย (กรัม)	1.3	0.9 กรัม	1.1
ไขมัน (กรัม)	0.15	0.22 กรัม	0.22
โปรตีน (กรัม)	1.36	1.33 กรัม	1.35
วิตามินเอ (หน่วยสากล)	7,405	7,492	3,312
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	10.07	10.064	0.057
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	20.08	20.077	0.062
วิตามินบี 5 (มิลลิกรัม)	30.375	50.321	0.15
วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม)	60.09	60.1	0.082
วิตามินบี 9 (ไมโครกรัม)	938	-	73
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	9.2	3.7	3.7
วิตามินอี (มิลลิกรัม)	0.22	0.15	0.18
วิตามินเค (ไมโครกรัม)	126.3	140.3	102.3
ธาตุแคลเซียม (มิลลิกรัม)	36	33	35
ธาตุเหล็ก (มิลลิกรัม)	0.86	1.2	1.24
ธาตุแมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	13	12	13
ธาตุฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	29	28	33
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	194	187	238
ธาตุโซเดียม (มิลลิกรัม)	28	25	5
ธาตุสังกะสี (มิลลิกรัม)	0.18	0.2	0.2
ธาตุแมงกานีส (มิลลิกรัม)	-	-	0.179
เบตาแคโรทีน (ไมโครกรัม)	-	-	1,987
ลูทีนและซีแซนทีน (ไมโครกรัม)	-	-	1,223

หมายเหตุ : ร้อยละของปริมาณแนะนำที่ร่างกายต้องการในแต่ละวันสำหรับผู้ใหญ่

ที่มา : ดัดแปลงจาก Medthai (2562)

2.4.3 การเลือกสถานที่สำหรับการปลูกผักสลัด

การเลือกสถานที่ปลูกผักควรอยู่ใกล้แหล่งน้ำ พื้นที่ปลูกต้องมีปริมาณแสงแดดที่เพียงพอ อากาศถ่ายเทได้สะดวก ในกรณีการปลูกในโรงเรือนต้องไม่มีสิ่งกีดขวาง เช่น สายไฟหรือต้นไม้ใหญ่

และไม่ควรอยู่ไกลจากที่พักอาศัยมากนักเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานด้านการปลูก การดูแลรักษา อีกทั้งยังสะดวกในการเก็บมาประกอบอาหารได้ทันทีตามความต้องการ หรือหากสามารถปลูกอยู่ในแหล่งชุมชนได้ก็จะช่วยให้สะดวกต่อการส่งและการจำหน่าย ผักสลัดเป็นพืชที่ต้องการอากาศอบอุ่น อุณหภูมิและช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตทั้งในด้านต้น ใบและการเจริญของดอก การปลูกในสภาพที่มีช่วงแสงยาว อุณหภูมิสูง จะทำให้ช่อดอกเจริญเร็ว ทำให้ผลผลิตและคุณภาพต่ำ โดยอุณหภูมิที่เมล็ดสามารถงอกได้ อยู่ระหว่าง 4.5-27.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20-27 องศาเซลเซียส สูงเกินกว่า 30 องศาเซลเซียส เมล็ดจะพักตัว มีความงอกต่ำ ในอุณหภูมิ 33-35 องศาเซลเซียส เมล็ดไม่สามารถดูดน้ำได้ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของสลัดคือ 24 องศาเซลเซียส ในสภาพอุณหภูมิสูงการเจริญทางใบจะถูกจำกัด ผักจะสร้างสารคล้ายน้ำนมมาก มีเส้นใยมากเนื้อเยื่อเหนียว และมีรสขม โดยเฉพาะอุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อการเจริญของสลัดปลีและสลัดบัตเตอร์มากกว่าสายพันธุ์อื่น นอกจากนี้ถ้าหากแปลงปลูกมีความชื้นสูงหรือมีอุณหภูมิสูง แห้งแล้งหรือในสภาพอุณหภูมิต่ำ ความชื้นสูง พืชจะแสดงอาการขาดแคลเซียมได้ง่าย ทำให้เกิดโรคใบไหม้ (tip burn) แสง เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างอาหารหรือขบวนการสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโตของสลัดต้องการพลังงานแสงมาก ความยาวของคลื่นแสงที่เหมาะสำหรับการงอกของเมล็ดอยู่ระหว่าง 690-650 นาโนเมตร เมื่อความเข้มของแสงสูง ช่วงแสงยาว อัตราการเจริญทางด้านลำต้นจะเพิ่มขึ้น ช่วงข้อยาว ใบชะงักการเจริญ ทำให้ใบสั้น ลำต้นมีขนาดใหญ่การปลูกในช่วงฤดูร้อนที่มีความเข้มแสงสูง ควรจะพรางแสง ส่วนในสภาพความชื้นสูง เช่น ในฤดูฝน ควรปลูกในที่ ๆ มีการระบายน้ำดี เนื่องจากผักสลัด จะมีระบบรากตื้นและอ่อนแอไม่สามารถเจริญได้ดีในสภาพที่มีน้ำขัง การปลูกในพื้นที่ ๆ มีปริมาณน้ำฝนมาก ในระยะที่เจริญเติบโตพืชเจริญอย่างรวดเร็ว มีหัวขนาดใหญ่แต่ไม่แน่นใบบิดม้วน คุณภาพต่ำ ควรปลูกในโรงเรือน (ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร, 2551)

2.5 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (free radicle) คือ โมเลกุลหรืออะตอมที่ไม่เสถียรเนื่องจากขาดอิเล็กตรอน ซึ่งโดยปกติในร่างกายของเรามีโมเลกุลหรืออะตอมที่มีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนคู่และเป็นโมเลกุลที่เสถียร ในกรณีที่ร่างกายมีการสูญเสียอิเล็กตรอน จะทำให้โมเลกุลในร่างกายไม่เสถียร ขาดความสมดุล เมื่อโมเลกุลไม่เสถียรก็จะไปดึงอิเล็กตรอนมาจากโมเลกุลอื่น ซึ่งกลายเป็นอนุมูลอิสระขึ้นมา การดึงอิเล็กตรอนมานั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาการถ่ายเทอิเล็กตรอน และเกิดขึ้นต่อเนื่องไปยังโมเลกุลอื่นเรื่อย ๆ (ปฏิกิริยาลูกโซ่) (นวลศรี รักอริยะธรรม และอัญชนา เจนวิถีสุข, 2546) และ (รัชนี คงคา ฉุยฉาย ริญ เจริญศิริ อภิชาติ วรรณวิจิตร และศิริพัฒน์ เรืองพยัคฆ์, 2562) ซึ่งอนุมูลอิสระมีอายุสั้นมากประมาณ 10^{-3} หรือ 10^{-10} วินาที มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยสามารถวัดได้ด้วย Electron Spin Resonance (ESR) สามารถเกิดขึ้นได้กับทุกโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ เช่น ดีเอ็นเอ ไขมัน และโปรตีน เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะทำให้เซลล์เสียหายและไม่สามารถทำหน้าที่ของ

เซลล์ได้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงเคมีหรือเชิงกายภาพของเซลล์ และในที่สุดก็เกิดการเป็นโรคจากการเสื่อมสภาพของร่างกาย (degenerative disease) กล่าวได้ว่าอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย ซึ่ง Reactive Oxygen Specie (ROS) จะรวมถึงโมเลกุลที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ทั้งที่เป็นอนุมูลอิสระและไม่เป็นอนุมูลอิสระก็ได้ แหล่งที่มาของอนุมูลอิสระโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ อนุมูลอิสระที่เกิดจากภายนอกร่างกาย เช่น มลพิษในอากาศ โอโซน ไนตรัสออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ฝุ่น ควันบุหรี่ อาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว แสงแดด ความร้อน รังสีแกมมา และอนุมูลอิสระที่เกิดภายในร่างกายเอง ตัวอย่างของอนุมูลอิสระ ได้แก่ อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet-}$) อนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$) อนุมูลเปอร์ออกซี ($ROO^{\bullet}$) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ลิปิดเปอร์ออกซี โดยอนุมูลอิสระจะเข้าไปทำลายเซลล์ เมื่อร่างกายไม่สามารถผลิตหรือได้รับสารต้านอนุมูลอิสระเพียงพอที่จะไปยับยั้งหรือไปจับอนุมูลอิสระได้ภายในเซลล์ของร่างกาย ผลคือทำให้เซลล์เกิดความเสียหายและนำไปสู่การเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง หัวใจและหลอดเลือด แก่ก่อนวัย ต้อกระจก และโรคอื่น ๆ เช่น อนุมูลอิสระไปทำลายผนังหลอดเลือดแดง และเมื่อมีไขมันไปสะสมอยู่ในบริเวณหลอดเลือดแดงที่ถูกทำลาย จะทำให้เกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดในที่สุด (รัชนี คงคาฉุยฉาย ริญ เจริญศิริ อภิชาติ วรรณวิจิตร และศิริพัฒน์ เรืองพยัคฆ์, 2562)

อนุมูลอิสระที่ถูกสร้างขึ้นมาทั้งจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายเอง และในภาวะที่ผิดปกติ เช่น ภาวะของโรค หรือภาวะที่ร่างกายแวดล้อมด้วยมลพิษ โดยในสภาวะที่ผิดปกติจะส่งผลให้ร่างกายเกิดการสะสมอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น และร่างกายจะสร้างสิ่งที่ป้องกันตนเอง ซึ่งเรียกว่าสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระหรือแอนติออกซิแดนท์ คือสารที่ช่วยต่อต้านหรือยับยั้งอนุมูลอิสระ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันภายในร่างกาย หน้าที่ของสารต้านอนุมูลอิสระ ก็คือการเข้ากำจัดสารอนุมูลอิสระในร่างกาย และยังทำหน้าที่ชะลอความเสื่อมสภาพของเซลล์ต่าง ๆ ทำหน้าที่คงความอ่อนเยาว์ให้กับผิวและอวัยวะ และถูกออกซิไดซ์ โดยมีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระนี้ยังสามารถสามารถลดความเสี่ยงต่อโรคหลายโรค โดยเฉพาะโรคเรื้อรังที่สัมพันธ์กับอาหาร เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคสมอง (เช่น อัลไซเมอร์) เป็นต้น (อัญชนา เจนวิถีสุข, 2544) โดยทั่วไปสารต้านอนุมูลอิสระ แบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่

1. สารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ (primary antioxidant) สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (phenolic substance) ทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้ยังรวมถึงสารโทโคฟีรอลทั้งธรรมชาติและแบบสังเคราะห์ (natural and synthetic tocopherol) อัลคิวแกลเลต (alkyl gallate) บีเอชเอ (BHA) บีเอชที (BHT) ทีบีเอชคิว (TBHQ) และอื่น ๆ ซึ่งสารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน

2. สารจับออกซิเจน (oxygen scavenger) สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี (ascorbic acid) กรดแอสคอร์บิลพาลมิเทต (ascorbyl palmitate) กรดไอโซแอสคอร์บิก (Isoascorbic acid หรือ erythorbic acid) และโซเดียมอิริทอร์เบต (sodium erythorbate) เป็นต้น สารในกลุ่มนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จึงเป็นการกำจัดออกซิเจนในระบบปิดได้

3. สารต้านอนุมูลอิสระทุติยภูมิ (secondary antioxidant) สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไดลอริลไทโอโพรพิโอเนต (dilauryl thiopropionate) และกรดไทโอโพรพิโอนิก (thiopropionic acid) ทำหน้าที่สลายโมเลกุลของลิพิไฮโครเปอร์ออกไซด์ (lipid hydroperoxide) ให้เป็นสารที่มีความเสถียร

4. สารต้านอนุมูลอิสระเอนไซม์ (enzyme antioxidant) สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ เอนไซม์ต่าง ๆ ซึ่งแบ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเอนไซม์ชนิดปฐมภูมิ (primary antioxidant enzyme) และสารช่วยเสริมต้านอนุมูลอิสระเอนไซม์ (ancillary antioxidant enzyme) สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนหรืออนุพันธ์ของออกซิเจน โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

5. สารคีเลต (chelating agent หรือ Sequestrant) สารในกลุ่มนี้ เช่น กรดซิตริก กรดอะมิโน กรดเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติก (ethylenediaminetetra-acetic; EDTA) เป็นต้น สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ไปจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก และทองแดง ซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นไอออนที่ส่งเสริมและเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร

สำหรับแหล่งกำเนิดของสารต้านอนุมูลอิสระมี 2 แหล่ง จากร่างกายที่สามารถสร้างสารต้านอนุมูลอิสระได้บางตัว แต่เมื่ออายุมากขึ้นร่างกายจะสร้างสารเหล่านี้ได้น้อยลง และจากอาหารและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่เลือกรับประทาน ซึ่งอาหารที่เป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระ ส่วนใหญ่จะอยู่ในผักผลไม้ ซึ่งผักผลไม้มีคุณประโยชน์ด้านเป็นอาหาร กากใย ซึ่งช่วยการขับถ่าย ส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกัน ต้านการเจ็บป่วย ตลอดจนมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งด้วย เช่น วิตามินซี พบในผลไม้รสเปรี้ยว เช่น ส้ม ฝรั่ง มะนาว สตรอว์เบอร์รี กีวี บร็อกโคลี มะเขือเทศ ฯลฯ วิตามินเอ พบในตับ เนื้อปลา ไข่แดง นอกจากจะเป็นสารต้านอนุมูลอิสระแล้ว ยังมีคุณสมบัติอื่น เช่น บำรุงสายตา ผิวหนัง กระดูก อวัยวะสืบพันธุ์ เสริมภูมิต้านทาน และป้องกันการเกิดมะเร็ง วิตามินอี พบในผักใบเขียว ตับ ธัญพืช จมูกข้าวสาลี ถั่ว ไข่แดง เนย ช่วยป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด เสริมภูมิต้านทาน บำรุงประสาท และระบบสืบพันธุ์ เบต้าแคโรทีน พบในผัก ผลไม้สีเหลือง ส้ม และสีเขียวเข้ม เช่น แครอท มันเทศ ฟักทอง มะละกอ บร็อกโคลี ฯลฯ ซึ่งคุณสมบัติเด่นเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ยังสามารถบำรุงผิวพรรณ บำรุงสายตา ยับยั้งและป้องกันการเกิดมะเร็ง ไลโคปีน พบในผักผลไม้ที่มีสีแดงและสีชมพู เช่น มะเขือเทศ แตงโม มะละกอ ฝรั่งขี้นก เกรปฟรุตที่มีเนื้อสีชมพู ฯลฯ ซึ่งเด่นด้านเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและช่วยป้องกันการเกิดมะเร็ง เป็นต้น (Blois; MS, 1958)

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระนิยมวิเคราะห์ด้วยกันหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้เลือกวิเคราะห์ด้วยวิธี 1,1-diphenyl-2-picryhydrazyl (DPPH) ซึ่ง DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่ไม่เสถียรและสามารถรับอิเล็กตรอนได้อีกเพื่อเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ แต่เมื่อได้รับอะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลอื่น จะทำให้สารดังกล่าวหมดความเป็นอนุมูลอิสระ การศึกษาความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระนี้ เป็นการรวมตัวกับ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่ไม่เสถียรที่อยู่ในสารละลาย ซึ่งจะเกิดกลไกการต้านอนุมูลอิสระแบบ scavenging activity โดยใช้เครื่องสเปก-โตรโฟโตมิเตอร์ ทดสอบสารละลาย DPPH ซึ่งมีสีม่วงเข้ม ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระในระยะเวลาที่กำหนด พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีม่วงลดลง เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 516 นาโนเมตร พบว่าความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ลดลงนี้จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ ดังนั้นสีของ DPPH ที่ลดลงบ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ

2.6 ฟีนอลิกทั้งหมด

สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารที่พบได้ในพืชทั่วไป มีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่า สามารถละลายน้ำได้ รวมไปถึงอนุพันธุ์ของสารประกอบฟีนอลซึ่งมีการแทนที่ด้วยหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น ฟลาโวนอยด์ ลิกนิน กรดชินนามิก และโคเอ็นไซม์คิว ส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลิกในพืชมักพบอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) และพบได้ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) สารประกอบฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติมีหลายกลุ่ม และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งกลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบจะเป็นสารประกอบพวกฟลาโว-นอยด์ (flavonoid) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่น ๆ เช่น ฟีนอล (phenol) ฟีนิล (phenyl) โพรพา-นอยด์ (propanoid) ฟีนอลิก (phenolic) ควิโนน (quinone) และโพลีฟีนอลิก (polyphenolic) ซึ่งได้แก่ ลิกนิน (lignin) เมลานิน (melanin) และแทนนิน (tannin) เป็นต้น รวมทั้งยังพบว่ามีสารประกอบที่มีกลุ่มฟีนอลิก (phenolic unit) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนอัลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น หน้าที่ของสารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้บางชนิดก็ทราบแน่ชัด เช่น ลิกนินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์พืช สารในกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นสารที่ให้สีในผลไม้และดอกไม้ สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์มีความสำคัญในการควบคุมการเจริญของพืชจำพวกถั่ว เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าสารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแทนนิน เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิก ทำหน้าที่เป็นตัวขับไล่อนุมูลอิสระ โดยมี 2 กลไก คือ เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับออกซิไดซ์ สารประกอบฟีนอลิกจะหน่วงเหนี่ยวหรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะถูกทำให้เป็นสารที่มีความเสถียร จึงสามารถ

ป้องกันการเกิดขั้นตอนโพรพาเกชัน (propagation) ได้ นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังทำหน้าที่เป็นสารที่รวมตัวกับโลหะ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (chelating agent) ดักจับไอออนของโลหะเข้าไว้ในโมเลกุล (อัญชนา เจนวิถีสุข, 2544)

2.7 แทนนิน

แทนนิน เป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่และมีโครงสร้างซับซ้อน มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนมีรสฝาด จึงเป็นสารที่ให้ความฝาดในพืช พบได้ในส่วนต่าง ๆ ของพืชหลายชนิด ในทางการแพทย์พบว่าสารแทนนินสามารถใช้เป็นยารักษาโรคท้องเสียได้ นอกจากนี้ ยังพบว่าสารแทนนินบางประเภทมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดได้ เช่น ทีโอแกลลิน (theogallin) กรดแกลลิก (gallic acid) และกรดแอลลาจิก (ellagic acid) เป็นต้น สารประกอบแทนนินพบมากในส่วนของเนื้อไม้ เปลือกไม้ เปลือกผล และส่วนที่เป็นโครงสร้างพิเศษ นอกจากนี้อาจพบในส่วนของใบ ผล และฝัก บทบาทของแทนนินในพืชนั้นยังไม่สามารถอธิบายให้เข้าใจได้อย่างชัดเจน บางครั้งมีข้อเสนอว่าสารประกอบแทนนินน่าจะเป็นของเสียในพืช หรือเป็นสารป้องกันอันตรายจากสัตว์กินพืช เนื่องจากสารกลุ่มนี้มีรสฝาดและขม ซึ่งแทนนินสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.7.1 ไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน

ไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน (hydrolyzable tannins) เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างประกอบไปด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของน้ำตาล โดยส่วนมากพบว่าเป็นน้ำตาลกลูโคส หรืออาจเป็นสารประกอบโพลีออล (polyols) อื่น ๆ และส่วนที่สองเป็นกรดฟีนอลิก (phenolic acid) เช่น กรดแกลลิก หรือกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิก (hexahydroxydiphenic acid; HHDP) หรือสารอนุพันธ์ของกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิก มักอยู่ในรูปออกซิไดซ์พบส่วนที่เป็นกรดฟีนอลิกมากกว่าส่วนของน้ำตาล หรือโพลิออลเชื่อมโยงกันด้วยพันธะเอสเตอร์ (ester linkage) ที่เรียกว่า เดปไซด์ ลิงเกจ (depside linkage) ซึ่งพันธะเอสเตอร์นี้จะถูกไฮโดรไลซ์ (hydrolyzed) ในสภาวะที่มีน้ำและถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยกรดเบส หรือเอนไซม์แทนเนสให้กรดฟีนอลิกและน้ำตาล หรือโพลิออล เมื่อนำไปกลั่นแบบแห้ง (dry distillation) กรดฟีนอลิกจะเปลี่ยนเป็นไพโรแกลอล (pyrogallol) ดังนั้นไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินจึงเรียกอีกอย่างว่า ไพโรแกลอล แทนนิน (pyrogallol tannins) ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซีอิสระ (free hydroxy group) 3 หมู่ เมื่อเกิดปฏิกิริยากับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์จะให้สีน้ำเงิน (Jean, 1999) สารประกอบกลุ่มไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ดังนี้

2.7.1.1 แกลโลแทนนิน (gallotannins) เป็นสารประกอบที่ ประกอบด้วยกรดแกลลิค เชื่อมต่อกับน้ำตาลกลูโคสด้วยพันธะเอสเตอร์ เมื่อเกิดการสลายตัวจะได้สาร 2 ชนิด คือ กรดแกลลิค และน้ำตาลกลูโคส ตัวอย่างของแกลโลแทนนิน ได้แก่ กรดแทนนิค (tannic acid หรือ

chinese gallotannin) และทาราแกลโรแทนนิน (tara gallotannin) พืชที่เป็นแหล่งของแกลโล-แทนนิน ได้แก่ โกศน้ำเต้า (rhubarb) กานพลู (cloves) กลีบกุหลาบแดง (red rose petals)

2.7.1.2 แอลลาจิกแทนนิน (ellagic tannins) เป็นกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenols) ที่ประกอบไปด้วยกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิก (hexahydroxydiphenic) เช่น กรดชิบิวลิก (chebulic acid) และกรดไฮโดรเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิก (dehydrohexahydroxy diphenic acid) เป็นต้น โดยอยู่รวมกับน้ำตาล แอลลาจิกแทนนินเมื่อเกิดการสลายตัวแบบปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกจะแยกตัวออกและเกิดปฏิกิริยาแลกโทไนเซชัน (lactonization) ได้เป็นกรดแอลลาจิก และกรดชิบูลาจิก (chebulagic acid) ตัวอย่างพืชที่เป็นแหล่งของแอลลาจิกแทนนิน ได้แก่ เปลือกของผลทับทิม (pomegranate rind) ผลสมอไทย (myrabolans) เป็นต้น

2.7.2 คอนเดนส์แทนนิน

คอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins) หรือที่เรียกอีกอย่างว่า โปรแอนโทรไซ-ยานิดิน (proanthocyanidins) เป็นกลุ่มของสารประกอบพอลีฟีนอล (polyphenol) ที่มีความซับซ้อน และสลายตัวด้วยน้ำยากกว่ากลุ่มไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน (hydrolysable tannins) โครงสร้างพอลีฟีนอลในกลุ่มนี้เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ พืชที่เป็นแหล่งของคอนเดนส์แทนนิน ได้แก่ เปลือกอบเชย เปลือกชินโคนา เปลือกหลิว เปลือกโอ๊ค เปลือกโกโก้ เปลือก และใบของต้นชา เป็นต้น สารประกอบกลุ่มนี้ เมื่อนำมาต้มกับกรด หรือทำปฏิกิริยากับเอนไซม์จะได้สารประกอบพอร์ลิเมอร์รูปอสัณฐานสีแดงไม่สามารถละลายน้ำ เรียกว่า โฟบาฟิน (phobaphenes) หรือแทนนินแดง (tannin red) จึงเรียกสารกลุ่มนี้ว่า โฟบาแทนนิน (phobatannins) เมื่อนำสารประกอบกลุ่มนี้ มาทำการกลั่นแบบแห้ง จะได้สารประกอบที่เป็นแคทีคอลแทนนิน (catechol tannins) สารในกลุ่มคอนเดนส์แทนนินประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซีอิสระ 2 หมู่ เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์จะให้สีเขียว

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรรณิกา จ้าเสียง (2555) ทดลองหาปริมาณไนเตรทที่ตกค้างในผักสลัดที่ได้จากต่างแหล่งที่มา ได้แก่ ผักสลัดที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ผักสลัดที่ปลูกในดิน ผักสลัดที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยเคมี ผักสลัดที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยคอก ผักสลัดที่ปลูกในขุยมะพร้าว ดำเนินการปลูกที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม และผักสลัดที่นำมาจากตลาดไท นำมาวิเคราะห์ไนเตรทด้วยวิธี colorimetric โดยใช้เทคนิค salicylic พบว่าปริมาณไนเตรทที่ตกค้างในผักสลัดที่นำมาทำการวิเคราะห์นั้นมีค่าแตกต่างกัน ผักสลัดที่ปลูกในดินจะมีปริมาณไนเตรทที่ตกค้างสูงที่สุดคือ 2,880 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และผักสลัดที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์มีค่าน้อยที่สุดคือ

910 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไตเตรทเพื่อหาปริมาณไนโตรเจนที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตพบว่า ปริมาณไนโตรเจนในผักสลัดที่ซื้อมาจากตลาดไทมีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด คือ 0.293 เปอร์เซ็นต์ และผักสลัดที่ปลูกในดินมีปริมาณไนโตรเจนรองลงมา คือ 0.206 เปอร์เซ็นต์

พัชราภรณ์ ภู่ไพบูลย์ ศิริวัลย์ สร้อยกลุ่ม และวาสนา บัวงาม (2552) วิเคราะห์การสะสมไนเตรทในผักสด โดยเก็บตัวอย่างผักสดที่วางขายในตลาดขายปลีกและขายส่งในบริเวณกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2550 ถึงเดือนมิถุนายน 2551 พบว่าจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนเตรทในผักคะน้าจำนวน 85 ตัวอย่าง ผักกาดหอมจำนวน 76 ตัวอย่าง ผักคะน้ามีการสะสมไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยผักคะน้า 13 ตัวอย่าง สะสมไนเตรท-ไนโตรเจน สูงเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และ 12 ตัวอย่าง ไนเตรท-ไนโตรเจนสะสมอยู่ในช่วง 0.75 ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผักกาดหอมมีค่าความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ย 0.14 เปอร์เซ็นต์ มีเพียง 2 ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์ไนเตรทแบบ colorimetric พบว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธี Brucine และ Salicylic สามารถวัดความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน ในตัวอย่างพืชได้โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Flow Injection Analyzer

วุฒิพงษ์ พิมพ์โคตร (2546) ศึกษาการเจริญเติบโต การสะสมไนเตรท และการลดไนเตรท วางแผนการทดลองแบบ split-split plot in RCBD ปลูกผักกาดหอมชนิดคอส (cos) และผักกาดหอมชนิดเรดโอ๊ค ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 1.2 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และ 2.4 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และปลูกในดินผสม ในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม 2544) และในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-ธันวาคม 2544) พบว่าการปลูกผักกาดหอมในดินผสม มีการสะสมสารไนเตรทน้อย และปริมาณไนเตรทจะลดลงอย่างต่อเนื่องจากสัปดาห์แรกจนถึงสัปดาห์เก็บเกี่ยวในสัปดาห์ที่ 5 ทั้งในฤดูร้อนและในฤดูหนาว การปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูงมีแนวโน้มในการสะสมไนเตรทสูงกว่าการปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ผักกาดหอมชนิด คอส มีการสะสมไนเตรทมากกว่าผักกาดหอมชนิดเรดโอ๊ค เมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารในทุกระยะการเจริญเติบโต การงดให้ธาตุอาหารในสารละลายเป็นเวลา 4 วันก่อนการเก็บเกี่ยว ให้ผลดีในการลดปริมาณสารไนเตรทที่สะสมในผักกาดหอม เฉพาะผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นต่ำเท่านั้น (1.2 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ส่วนการลดสารไนเตรทให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคในผักกาดหอมนั้น จะไม่ได้ผลเมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นสูง (2.4 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ และวุฒิพงษ์ พิมพ์โคตร (2545) สำรวจเบื้องต้นปริมาณสารไนเตรทตกค้างในผักกาดหอมปลูกโดยไม่ใช้ดินในฤดูกาลต่าง ๆ โดยทำการสุ่มตัวอย่าง

ผักกาดหอมชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกแบบไม่ใช้ดินและวางจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร ในฤดูกาลต่าง ๆ ฤดูฝนเก็บตัวอย่างในเดือนสิงหาคม 2543 จำนวน 30 ตัวอย่าง ฤดูหนาวเก็บตัวอย่างในเดือนมกราคม 2544 จำนวน 36 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารไนเตรทด้วยวิธี Greiss's reaction พบว่าผักกาดหอมที่มีสารไนเตรทสะสมสูงกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรปจำนวน 8, 25 และ 33 ตัวอย่าง สำหรับฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนตามลำดับ ปริมาณไนเตรทที่พบในผักกาดหอมชนิด เรดโอ๊ค บัตเตอร์เฮด และไอซ์เบิร์ก มีการสะสมของไนเตรทที่สูงกว่าชนิดอื่น ๆ ที่ปลูกในฤดูกาลเดียวกัน และยังพบความแตกต่างของปริมาณสารไนเตรทที่ตกค้างอยู่ในผักกาดหอมชนิดเดียวกันที่ปลูกในฤดูเดียวกันแต่ต่างผู้ผลิต

Nowrouz, Taghipour, Dastgiri, Bafandeh, & Hashemimajd (2012) ศึกษาการสะสมไนเตรทที่สะสมในผักจำนวน 11 ชนิด ได้แก่ กะหล่ำปลี ผักกาดหอม ผักขม ผักชีฝรั่ง ผักชีหอม ผักชีลาว กระเทียมหอม fenugreek ทาร์รากอน fumitory และสระแหน่ เก็บตัวอย่างจากร้านขายผักในเมือง Varzeghan การเก็บตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกเก็บตัวอย่างในฤดูใบไม้ผลิ (เมษายน) ช่วงที่สองเก็บตัวอย่างในฤดูใบไม้ร่วง (พฤศจิกายน และ ธันวาคม) ในปี 2011 ซึ่งแต่ละตัวอย่างชนิดผักเก็บอย่างน้อย 2-5 ร้าน นำมาผสมกัน แล้วพิจารณาเป็นตัวอย่างเดียว ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของไนเตรทในผักในเมือง Varzeghan ทั้งสองฤดูกาล ผัก fumitory มีการสะสมปริมาณสารไนเตรทสูงสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,702 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ fenugreek, ผักกาดหอม ผักชีลาว ผักชี สระแหน่ ผักขม ผักชีฝรั่ง กระเทียมหอม กะหล่ำปลี และผักทาร์รากอน มีปริมาณสารไนเตรทค่าเฉลี่ยเท่ากับ 805, 781, 772, 707, 684, 501, 441, 191, 161 และ 83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารไนเตรทมีการสะสมในฤดูใบไม้ร่วงมาก และเมื่อนำผลจากการศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบกับการศึกษาของคนอื่น ๆ พบว่ามีผลไปในทิศทางเดียวกัน

Tae, Bu, Sung, & Eun (2011) ศึกษาปริมาณสารไนเตรทในผักที่ปลูกแบบอินทรีย์และการปลูกแบบดั้งเดิมในประเทศเกาหลีใต้ เก็บตัวอย่างระหว่างปี 2009 และ 2010 ทั้งหมด 745 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ถูกใช้ในการศึกษา เป็นตัวอย่างที่มาจากการปลูกแบบดั้งเดิม 441 ตัวอย่าง และ 304 ตัวอย่างเป็นการปลูกแบบอินทรีย์ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไนเตรทที่สะสมเฉลี่ยสูงสุดในผักที่ปลูกแบบดั้งเดิมคือ ผัก marsh mallow มีค่าเท่ากับ 4,711.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ผักกาดเขียวปลี ผัก chard กะหล่ำปลีเกาหลี ผัก chicory ผักกาดหอมเกาหลี ผักขม ใบงาเกาหลี และกระเทียมหอม มีค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทสะสมเท่ากับ 4,233.7, 3446.2, 2,871.3, 2640.4, 2,620.4, 2,174, 1039.8, 452.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนการปลูกแบบอินทรีย์พบว่าผักกาดเขียวปลีมีค่าปริมาณไนเตรทเฉลี่ยเท่ากับ 4,680.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ผัก marsh mallow ผัก chicory ผัก chard ผักขม ผักกาดหอมเกาหลี กะหล่ำปลีเกาหลี ใบงาเกาหลี

และกระเทียมหอม มีค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทสะสมเท่ากับ 4,680.5, 3,737.0, 2,735.3, 2,685.8, 2,598.2, 2,497.1, 2,486.2, 2,052.8 และ 635.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

Chen (2004) ศึกษาผลของการให้ไนเตรทต่อการเจริญเติบโตของพืช การสะสมไนเตรท และไนเตรทรีดักเตส ในผักกินใบจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ผักกวางตุ้ง ผักฮ่องเต้ และผักขม ให้ไนเตรท 5 อัตรา คือ 0.00, 0.15, 0.30, 0.45 และ 0.60 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัม เพื่อทดสอบผลของไนเตรทในการเจริญเติบโต การสะสมไนเตรท และไนเตรทรีดักเตส 9 สัปดาห์หลังการหว่านเมล็ด พบว่าการให้ไนเตรท 0.30 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมดิน ให้ผลผลิตด้านการเจริญเติบโตดีที่สุด ในขณะที่การให้ 0.45 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมดิน ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง การให้ไนเตรทในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ไนเตรทสะสมในพืชในส่วนต่าง ๆ แตกต่างกันยกเว้นราก การให้ไนเตรทที่ 0.60 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมดิน มีผลทำการสะสมไนเตรทลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการให้ไนเตรท 0.45 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมดิน ขณะที่ไนเตรทรีดักเตสสูงที่สุดพบในการให้ไนเตรท 0.45 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมดิน และไนเตรทรีดักเตสไม่แตกต่างระหว่างการให้ไนเตรท 0.39, 0.45 และ 0.60 กรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมดิน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1) เมล็ดสลัดพันธุ์ กรีนคอส กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด เรดคอรัล และเรดโอ๊ค
2) ฟองน้ำ
3) ถาดสำหรับเพาะต้นกล้า
4) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC meter)
5) เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter)
6) เครื่องชั่งดิจิตอล
7) เครื่องปั๊มน้ำ
8) โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ระบบน้ำไหลเวียน
9) สารละลายธาตุอาหารสูตรสำเร็จสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์
10) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
11) เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ
12) เครื่องปั่นเหวี่ยง
13) หลอดทดลอง
14) ปิเปต
15) ลูกยาง
16) ที่วางหลอดทดลอง
17) หลอดหยด
18) คิวเวต
19) ไมโครปิเปต

3.2 สารเคมี

1) โซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$)
2) กรดซัลฟิวริกส์ (H_2SO_4)
3) กรดซาลิไซลิก ($C_7H_6O_3$)
4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$)
5) กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
6) สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$)

7) กรดแทนนิก ($C_{75}H_{52}O_{46}$)

8) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

9) สารละลายเมทานอล (CH_3OH)

10) สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิค ($C_7H_6O_5$)

11) สารละลายโพลิน ซิโอแคลธู

12) สารละลายโพแทสเซียมโครเมตอินดิเคเตอร์ ($K_2Cr_2O_4$)

3.3 การวางแผนการทดลอง

การศึกษา การเจริญเติบโต การสะสมและการลดปริมาณไนเตรทในผักสลัดที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT โดยกำหนดกรรมวิธีต่าง ๆ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ผักสลัดพันธุ์กรีนคอส

กรรมวิธีที่ 2 ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค

กรรมวิธีที่ 3 ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด

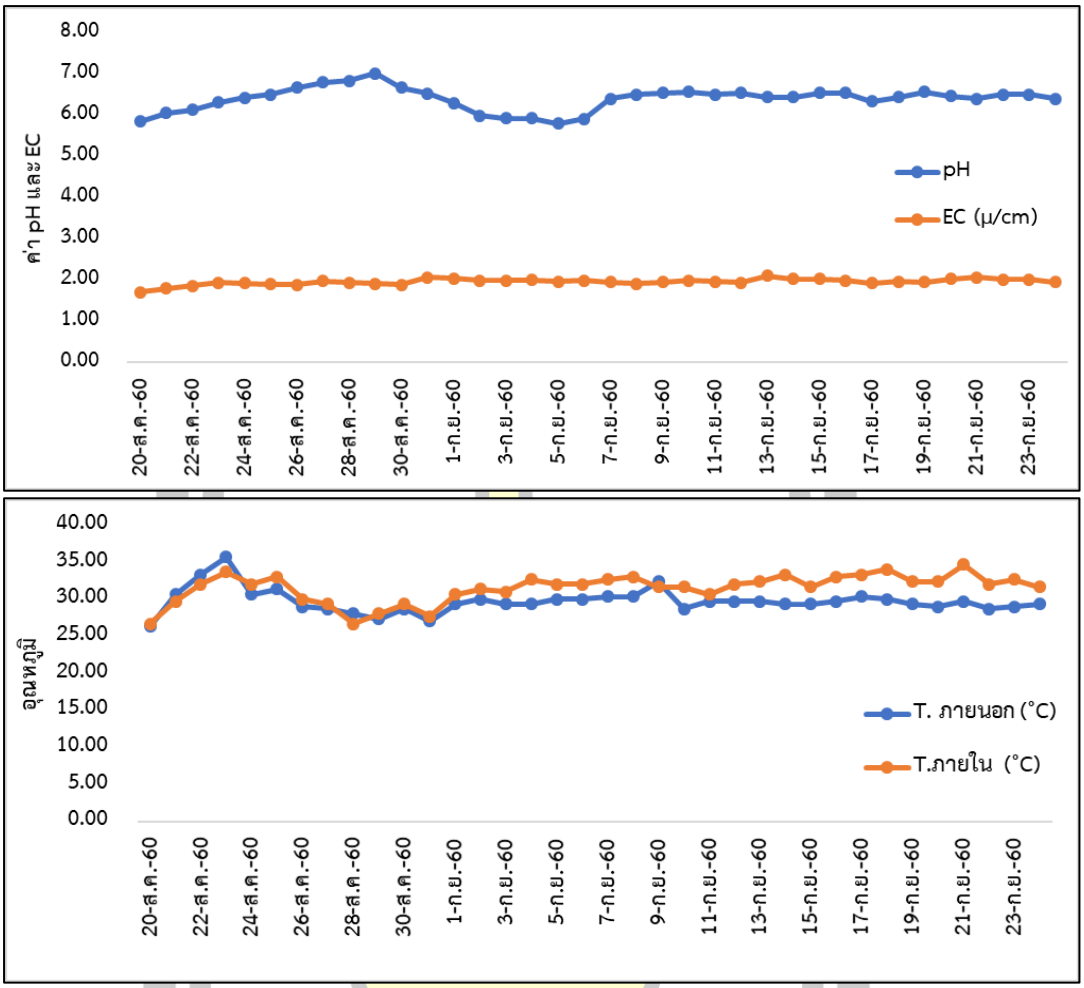
กรรมวิธีที่ 4 ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล

กรรมวิธีที่ 5 ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค

การทดลองที่ 1 ศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design; RCBD 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น 80 หน่วยการทดลอง บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดแต่ละพันธุ์ที่ช่วงอายุ 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก โดยทำการบันทึกข้อมูลในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดต้น น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักรากสด น้ำหนักรากแห้ง และมวลชีวภาพ

การทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณการสะสมไนเตรทของผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT วางแผนการทดลองแบบ factorial in Randomized Complete Block Design 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น 80 หน่วยการทดลอง เพื่อบันทึกปริมาณการสะสมไนเตรท ในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ราก ลำต้น ก้านใบ และแผ่นใบ ที่ช่วงอายุ 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

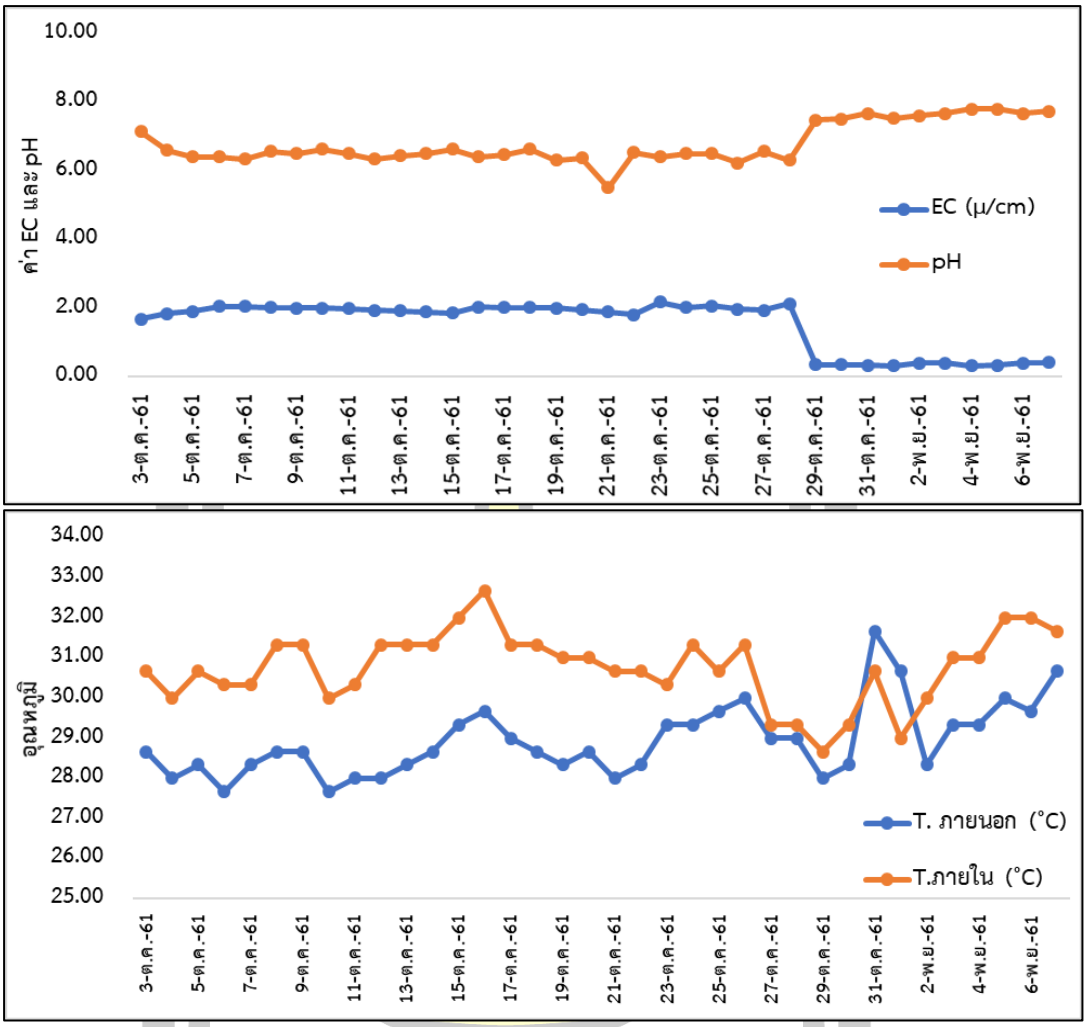


ภาพประกอบ 9 ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร และอุณหภูมิภายนอกและภายในโรงเรือนของการทดลองที่ 1 และ 2

การทดลองที่ 3 ศึกษาการลดปริมาณการสะสมไนเตรท ของผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DRFT วางแผนการทดลองแบบ factorial in RCBD 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น 80 หน่วยการทดลอง เพื่อบันทึกการลดปริมาณการสะสมไนเตรทในส่วนต่าง ๆ ของต้นผักสลัด ได้แก่ ราก ลำต้น ก้านใบ และแผ่นใบ ที่ระยะเวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ของการให้น้ำประปาทดแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนเก็บเกี่ยว โดยเปลี่ยนน้ำประปาในรางปลูกทุก ๆ 2 วัน

ภาพประกอบ 10 ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร และอุณหภูมิภายนอกและภายในโรงเรือนของการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 4 นำผลการทดลองที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 3 มาบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสีของใบผักสลัด ศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของผักสลัด ได้แก่ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) (IC_{50}: the half maximal inhibitory concentration คือ ความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50 ปอร์เซ็นต์) ฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic) ปริมาณแทนนิน (tannin) และสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์



ภาพประกอบ 11 ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร และอุณหภูมิภายนอกและภายในโรงเรือนของการทดลองที่ 4

3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนการเพาะต้นกล้า

ทำการตัดฟองน้ำเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 1×1×1 นิ้ว แล้วกรีดบริเวณตรงกลางของฟองน้ำ ซึ่งผ่านการแช่น้ำไว้จนชุ่มแล้ววางในถาดเพาะกล้า จากนั้นหยอดเมล็ดพันธุ์ผักสลัดจำกัด 2 เมล็ด ลงตามรอยที่กรีดบนแผ่นฟองน้ำ ฉีดพรมน้ำบนผิวหน้าฟองน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อรักษาความชื้น แต่ต้องระวังไม่ให้แฉะ เมื่อเมล็ดงอก 2-3 วัน จึงนำไปไว้ในโรงเรือนเพาะกล้าให้ได้รับแสงแดดที่อ่อนๆ เมื่อต้นกล้าผักมีอายุครบ 2 สัปดาห์ ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น

3.4.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

เตรียมโดยการละลายสารละลายธาตุอาหารเข้มข้นสูตรของบริษัทศูนย์เกษตรกรรมบางไทร จำกัด การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร เตรียมโดยใช้แม่ปุ๋ยเอ และแม่ปุ๋ยบี ในอัตราส่วนเท่าที่กัน คือ

1:1 (โดยปริมาตร) โดยความเข้มข้นของสูตรนี้เท่ากับ 1:200 เช่น ต้องการเตรียมสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกผักสลัด 1,000 ลิตร จะต้องใช้แม่ปุ๋ยเอ ปริมาตร 5 ลิตร ใส่ลงไปในถังเก็บสารละลาย เว้นระยะห่างไว้ 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้ใส่แม่ปุ๋ยบี ปริมาตร 5 ลิตร ลงไป

3.4.3 ขั้นตอนการย้ายกล้าลงปลูก

ทำการเติมน้ำประปาให้เต็มรางปลูก และให้มีอยู่ในถังเก็บสารละลายธาตุอาหารประมาณครึ่งหนึ่งของถังเก็บสารละลายธาตุอาหาร จากนั้นนำต้นกล้าผักสลัดพร้อมฟองน้ำมาวางบนแผ่นโฟมที่เจาะรูสำหรับปลูก โดยใช้ระยะปลูก 12×15 เซนติเมตร และเปิดเครื่องปั๊มน้ำ

3.4.4 การดูแลรักษา

3.4.4.1 บันทึกข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าความค่าเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหารและอุณหภูมิภายนอกและภายในโรงเรือน

ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิภายในและภายนอกโรงเรือน ในเวลา 07.00, 12.00 และ 17.00 น. ของทุกวัน ตลอดทั้ง 4 การทดลอง

3.4.4.2 การควบคุมค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรดด่าง

ทำการควบคุมค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรดด่าง โดยการรักษาระดับน้ำให้มีปริมาณไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของถังเก็บสารละลายธาตุอาหาร ตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่อง EC meter ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.8-2.0 โมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ปรับลดค่าโดยการเติมน้ำประปา และปรับเพิ่มค่าโดยการเติมแม่ปุ๋ยเอ และแม่ปุ๋ยบี ตรวจวัดค่าความเป็นกรดด่างโดยใช้เครื่อง pH meter ให้ค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 5.5-6.5 ปรับลดค่าโดยการเติมกรดฟอสฟอริกและกรดไนตริกความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และปรับเพิ่มค่าโดยการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์

3.4.5 การบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิต

บันทึก ความสูงต้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสดต้นและราก น้ำหนักแห้งต้นและราก ความยาวราก และมวลชีวภาพ ของผักทั้ง 5 พันธุ์ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 5 หลังจากที่ย้ายต้นกล้าลงปลูก

3.4.5.1 ความสูงต้น (เซนติเมตร) วัดจากบริเวณโคนต้นถึงส่วนสูงที่สุดเมื่อรวบใบขึ้น

3.4.5.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร) วัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดบริเวณเหนือวัสดุปลูก

3.4.5.3 จำนวนใบ นับจำนวนใบที่แผ่นใบเจริญเต็มที่และไม่มีการม้วน

3.4.5.4 ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) วัดบริเวณที่กว้างที่สุดจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง

3.4.5.5 น้ำหนักสดต้นและราก (กรัม) ชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.4.5.6 น้ำหนักแห้งต้นและราก (กรัม) นำตัวอย่างส่วนต้นและรากไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ภายในตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนตัวอย่างแห้งสนิท แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

3.4.5.7 ความยาวราก วัดจากบริเวณโคนรากจนถึงปลายราก

3.4.5.8 มวลชีวภาพ (เปอร์เซ็นต์) นำตัวอย่างผักทั้งต้นไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ภายในตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนตัวอย่างแห้งสนิทแล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักแห้ง แล้วนำมาคำนวณ ตามสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{นำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}\ \mathbf{x100}}{\text{น้ำหนักแห้ง}}$$

จากนั้นนำเปอร์เซ็นต์ความชื้น ไปคำนวณหามวลชีวภาพ หรือน้ำหนักแห้งของพืช

$$\text{มวลชีวภาพ}\ \frac{\mathbf{100} \times \text{นำหนักสด}}{\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} + \mathbf{100}}$$

3.4.6 การศึกษาปริมาณการสะสมไนเตรท

ศึกษาปริมาณไนเตรทที่สะสมในผักทั้ง 5 พันธุ์ หลังจากที่ย้ายต้นกล้าลงปลูก ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 5 โดยบันทึกการสะสมไนเตรทในส่วนต่าง ๆ ของต้นผักสลัด ได้แก่ ราก ลำต้น ก้านใบ และแผ่นใบ

3.4.7 ศึกษาวิธีการลดปริมาณการสะสมของไนเตรท

ศึกษาการลดปริมาณการสะสมไนเตรทโดยการแทนที่สารละลายธาตุอาหารด้วยน้ำประปาก่อนการเก็บเกี่ยว หลังจากวันที่ 25 ของการย้ายต้นกล้าผักที่ระยะเวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ก่อนการเก็บเกี่ยว

3.5 วิธีการวิเคราะห์

3.5.1 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท

3.5.1.1 วิธีการสกัดตัวอย่าง

1) เก็บตัวอย่างผักสลัดมา 100 กรัม ล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้ง แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48-72 ชั่วโมง นำมาบดเป็นผงให้ละเอียด

2) ชั่งตัวอย่างแห้ง 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง mixer ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง

3) นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

4) กรองสารสกัดตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 4 เก็บสารสกัดที่ได้ไว้ในตู้เย็นเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท

3.5.1.2 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท

นำตัวอย่างที่สกัดได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธี colorimetric ตามวิธีของ Association of Official Analytical Chemists (AOAC), (1980) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น 2.8 มิลลิลิตร เติมสารละลายเกลือ NaCl ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ และกรด H_2SO_4 ผสมให้เข้ากัน เติมสารละลาย Brucine sulfanilic แล้วนำหลอดทดลองไปตั้งในน้ำเดือดเป็นเวลา 25 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3.5.1.3 วิธีการทำกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ไนเตรท

เตรียมสารละลายมาตรฐาน NO_3^- N เจือจางให้มีความเข้มข้น 5 ระดับ โดยวิธี Brucine ที่ระดับความเข้มข้น 0.3-1.2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร วิเคราะห์ปริมาณไนเตรท ที่ระดับความเข้มข้นละ 5 ซ้ำ 5 ชุด นำค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสง (absorbance) มา plot กราฟ กับค่าความเข้มข้น

3.5.2 วิธีการวัดสีของผักสลัด

การวัดสีของใบผักสลัดแต่ละพันธุ์ โดยวัดที่บริเวณโคนใบ กลางใบและปลายใบ แล้วเฉลี่ยค่าที่วัดได้ ซึ่งแสดงในค่าของ L*, a* และ b*

3.5.3 วิธีการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50})

วิธีดักจับอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical หรือ DPPH radical scavenging ดัดแปลงจาก จิราภรณ์ กระแสเทพ และมัณฑนา นครเรียบ (2555)

3.5.3.1 วิธีการสกัดตัวอย่าง

1) นำตัวอย่างผักสลัดสดหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งตัวอย่างมา 10 กรัม เติมเอทานอล 20 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ที่มีความเร็ว 155 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 4 เก็บสารสกัดที่ได้ไว้ในตู้เย็นเพื่อทำการวิเคราะห์หาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50})

3.5.3.2 วิธีการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50})

1) เจือจางสารสกัดจากข้อ 3.5.3.1 ให้มีความเข้มข้น 5 ระดับ โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

2) ปิเปตสารสกัดจากข้อ 1) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร

3) เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้สารละลายเอทานอลเป็นแบลงค์ (blank) และใช้สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ เป็นชุดควบคุม (control)

4) นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งในแต่ละความเข้มข้น ดังสมการ

การยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) = $[1 - (A_{sample}/A_{control})] \times 100$

เมื่อ A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

$A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์

5) นำการยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของแต่ละความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่างไปสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อหาสมการเส้นตรง ซึ่งใช้ในการคำนวณค่า IC_{50} (inhibition concentration at 50%)

3.5.4 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

ดัดแปลงจาก จิราภรณ์ กระแสเทพ และมัณฑนา นครเรียบ (2555)

3.5.4.1 วิธีการเตรียมตัวอย่าง

เจือจางสารสกัดตัวอย่างจากข้อ 3.5.3.1 ให้มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

3.5.4.2 วิธีการวิเคราะห์ฟีนอลิกทั้งหมด

1) ปิเปตสารสกัดตัวอย่างจากข้อ 3.5.4.1 มา 50 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

2) เติมสารละลายโฟลิน ซิโอแคลธู (Folin-Ciocalteu reagent; FCR) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที

3) เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที

4) นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

3.5.4.3 วิธีทำกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ฟีนอลิกทั้งหมด

1) เตรียมาสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิค ให้มีความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ระดับความเข้มข้นละ 4 ซ้ำ นำค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสง มา plot กราฟ กับค่าความเข้มข้น

2) นำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน แสดงค่าในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อ 100 กรัมตัวอย่างสด (mg GAE/100g of FW)

3.5.5 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณแทนนิน

3.5.5.1 วิธีการสกัดตัวอย่าง

1) นำตัวอย่างแห้งผักสลัดมา 1 กรัม เติมเอทานอล 10 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ที่มีความเร็ว 155 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 4 เก็บสารสกัดที่ได้ไว้ในตู้เย็นเพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน

3.5.5.2 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณแทนนิน

การวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินทั้งหมดเทียบกับกรดแทนนิค นำผักสลัดมาหาปริมาณแทนนินโดยดัดแปลงจากวิธีของ Hou; Lin, Cheng, Hung, Cho, Chen, Hwang, & Lee (2003) โดยให้สารประกอบแทนนินทำปฏิกิริยากับ Folin- Ciocalteu reagent (FCR) มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

1) ปิเปตสารสกัดตัวอย่างจากข้อ 3.5.5.1 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย FCR 0.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี

2) เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 90 นาที

3) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร

3.5.5.3 วิธีการทำกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์แทนนิน

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแทนนิคให้มีความเข้มข้น 0, 20, 40, 60 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร วิเคราะห์ปริมาณแทนนิน ระดับความเข้มข้นละ 5 ซ้ำ นำค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสง มา plot กราฟ กับความเข้มข้น

3.5.6 การสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์

ใช้มาตรวัดลิเคิร์ท Likert RA (2019) ซึ่งเป็นมาตรวัดที่ใช้สำหรับให้ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกแสดงความคิดเห็น จากระดับความพึงพอใจหรือระดับเห็นด้วย 5 ระดับ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่สำรวจคือกลุ่มของนิสิตคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ช่วงอายุ 18-26 ปี จำนวน 31 คน

3.6 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์โดยการนำข้อมูลที่รวบรวมได้ นำมาวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างทางสถิติของผักสลัดแต่ละพันธุ์ ในการให้สารละลายธาตุอาหารชนิดเดียวกัน การทดลองที่ 1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) เพื่อหาความแตกต่างทางสถิติของผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ (5 กรรมวิธี)

จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น จำนวน 80 หน่วยการทดลอง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การทดลองที่ 2 และ 3 วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomized Complete Block Design เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และการทดลองที่ 4 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.7 สถานที่ดำเนินการวิจัย

ทำการทดลอง ณ แปลงทดลองเกษตร และห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

3.8 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

ดำเนินการระหว่างเดือน สิงหาคม 2560 ถึง พฤษภาคม 2562

3.9 ตารางการปฏิบัติงาน

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	2560			2561			2562		
	ม.ค.-เม.ย.	พ.ค.-ส.ค.	ก.ย.-ธ.ค.	ม.ค.-เม.ย.	พ.ค.-ส.ค.	ก.ย.-ธ.ค.	ม.ค.-เม.ย.	พ.ค.-ส.ค.	ก.ย.-ธ.ค.
จัดทำเค้าโครง									
ศึกษาการเจริญเติบโต									
ศึกษาปริมาณการสะสมไนเตรท									
ศึกษาการลดปริมาณการสะสมไนเตรท									
ศึกษาคุณภาพของผักสลัด									
วิเคราะห์ข้อมูล									
วิจารณ์และสรุปผล									
รูปเล่มฉบับสมบูรณ์									

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปราย

4.1 การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัด

ผลการบันทึกการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดแต่ละพันธุ์ ที่อายุ 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์หลังการย้ายปลูก พบว่าผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ มีการเจริญเติบโตและผลผลิตเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น โดยบันทึกการเจริญเติบโตและผลผลิตในด้านต่าง ๆ ดังนี้

4.1.1 ความสูงต้น

การเจริญเติบโตด้านความสูงต้น พบว่าตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 5 หลังการย้ายปลูก ผักสลัดแต่ละพันธุ์มีความสูงต้นเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) โดยผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีความสูงต้นในแต่ละสัปดาห์มากที่สุด เฉลี่ย 9.44, 15.48, 26.24 และ 34.39 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนในสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 5 หลังย้ายปลูก ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คมีความสูงต้นเฉลี่ยรองลงมาจากผักสลัดพันธุ์กรีนคอส โดยมีความสูงต้นแต่ละสัปดาห์ เฉลี่ย 6.83, 21.76 และ 28.81 เซนติเมตร ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 หลังย้ายปลูก พบว่าในผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลมีความสูงต้นเฉลี่ยน้อยสุด 5.89 และ 9.34 เซนติเมตร ตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 หลังย้ายปลูก พบว่าในผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดมีความสูงต้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 10.44 และ 14.56 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตาราง 6)

ตาราง 6 ความสูงต้นผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน

พันธุ์	ความสูงต้น (เซนติเมตร) ที่อายุต่าง ๆ (สัปดาห์)			
	2	3	4	5
กรีนคอส	9.44±0.90 a	15.48±0.96 a	26.24±0.47 a	34.39±4.67 a
กรีนโอ๊ค	6.83±0.34 b	10.33±0.52 b	21.76±0.36 b	28.81±1.33 b
บัตเตอร์เฮด	6.36±0.28 bc	9.52±0.42 c	10.44±0.97 d	14.56±1.34 d
เรดคอรัล	5.89±0.08 c	9.34±0.15 c	14.68±0.69 c	21.48±0.99 c
เรดโอ๊ค	6.58±0.12 b	10.86±0.20 b	14.20±0.52 c	16.73±0.79 d
F-test	**	**	**	**
LSD	0.58	0.61	0.92	3.85
C.V. (%)	5.40	3.55	3.42	10.76

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.1.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น

การเจริญเติบโตด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น พบว่าในแต่ละสัปดาห์หลังย้ายปลูก ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยมากที่สุด 0.39, 0.83, 2.14 และ 2.23 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของผักสลัดในแต่ละสัปดาห์แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) โดยในสัปดาห์ที่ 2 หลังการย้ายปลูก พบว่าผักสลัดแต่ละพันธุ์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.30-0.33 เซนติเมตร สัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดแต่ละพันธุ์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยไม่แตกต่างกันยกเว้นพันธุ์กรีนคอส โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.49-0.56 เซนติเมตร สัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดบัตเตอร์เฮดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ไม่แตกต่างทางสถิติจากผักสลัดกรีนคอส (1.84 เซนติเมตร) และในที่สัปดาห์ 5 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดและเรดคอโอ๊คมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นไม่แตกต่างจากผักสลัดพันธุ์กรีนคอส (1.82 เซนติเมตร) ตามลำดับ (ตาราง 7)

ตาราง 7 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน

พันธุ์	**ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร) ที่อายุต่าง ๆ (สัปดาห์)**			
	2	**3**	**4**	**5**
กรีนคอส	0.39±0.02 a	0.83±0.08 a	2.14±0.35 a	2.23±0.45 a
กรีนโอ๊ค	0.33±0.03 b	0.56±0.09 b	1.45±0.12 bc	1.46±0.07 b
บัตเตอร์เฮด	0.30±0.03 bc	0.52±0.10 b	1.84±0.010 a	1.82±0.37 ab
เรดคอรัล	0.33±0.01 b	0.49±0.06 b	1.21±0.16 c	1.50±0.07 b
เรดโอ๊ค	0.30±0.02 bc	0.52±0.06 b	1.53±0.11 b	1.82±0.10 ab
F-test	**	**	**	*
LSD	0.04	0.12	0.30	0.46
C.V. (%)	7.17	13.35	11.90	16.97

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.1.3 จำนวนใบ

ด้านจำนวนใบ พบว่า ในทุกสัปดาห์หลังย้ายปลูก ผักสลัดในแต่ละพันธุ์มีจำนวนใบเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ซึ่งภายหลังการย้ายปลูก 2 สัปดาห์ พบว่า ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสและบัตเตอร์เฮดมีจำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุด 4.19 และ 4.06 ใบ ตามลำดับ โดยจำนวน

ใบเฉลี่ยที่น้อยที่สุดพบในผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คและเรดคอรัล มีจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 2.44 และ 2.13 ใบ ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด มีจำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุด 6.50 ใบ รองลงมาได้แก่ ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสและกรีนโอ๊ค มีจำนวนใบเฉลี่ย 7.44 และ 6.50 ใบ ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก พบว่าจำนวนใบเฉลี่ยของผักสลัดกรีนโอ๊คมีจำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุด 15.75 ใบ รองลงมาได้แก่ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสและบัตเตอร์เฮด มีจำนวนใบเฉลี่ย 14.69 และ 14.12 ใบ ในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและกรีนคอสมีจำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 32.31 และ 30.31 ใบ ตามลำดับ ในขณะที่ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คมีจำนวนใบเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 19.69 ใบ แต่ไม่แตกต่างจากจำนวนใบเฉลี่ยของผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดและเรดคอรัล (25.81 และ 24.12 ใบ ตามลำดับ) (ตาราง 8)

ตาราง 8 จำนวนใบของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน

พันธุ์	**จำนวนใบที่อายุต่าง ๆ (สัปดาห์)**			
	2	**3**	**4**	**5**
กรีนคอส	4.19±0.52 a	7.44±0.55 ab	14.69±1.01 ab	30.25±2.65 a
กรีนโอ๊ค	3.56±0.38 b	6.50±0.29 ab	15.75±2.56 a	32.31±1.28 a
บัตเตอร์เฮด	4.06±0.31 ab	7.63±0.97 a	14.12±1.11 ab	25.81±0.83 b
เรดคอรัล	2.13±0.25 c	5.50±0.61 c	13.00±0.35 b	24.12±0.72 b
เรดโอ๊ค	2.44±0.43 c	5.63±0.48 c	13.12±0.88 b	19.69±0.66 b
F-test	**	**	*	**
LSD	0.61	1.04	1.73	2.18
C.V. (%)	12.11	10.34	7.94	5.34

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.1.4 ความกว้างทรงพุ่ม

จากการวัดความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดแต่ละพันธุ์ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ไปจนถึงสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก โดยในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยมากที่สุด 14.75 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค เรดคอรัล และบัตเตอร์เฮด มีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย 11.92, 10.54, 9.98 และ 8.75 เซนติเมตร ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยมากที่สุด 23.36 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คมีความกว้าง

ทรงพุ่มเฉลี่ย 20.33 เซนติเมตร และความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยที่น้อยที่สุดพบในผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด และเรดคอรัล 17.23 และ 17.59 เซนติเมตร ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและกรีนคอสมีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยมากที่สุด 29.36 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คมีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยมากที่สุด 32.52 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างจากความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยของผักสลัดพันธุ์กรีนคอส เรดคอรัล และเรดโอ๊ค และผักสลัดพันธุ์บัต-เตอร์เฮด มีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 27.26 เซนติเมตร (ตาราง 9)

ตาราง 9 ความกว้างทรงพุ่มของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน

พันธุ์	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ที่อายุต่าง ๆ (สัปดาห์)			
	2	3	4	5
กรีนคอส	14.75±1.48 a	23.36±0.62 a	29.36±3.93 a	30.68±1.87 a
กรีนโอ๊ค	11.92±1.22 b	18.08±0.78 bc	29.36±1.44 a	32.52±2.23 a
บัตเตอร์เฮด	8.75±0.64 d	17.23±1.33 c	25.38±2.02 b	27.26±1.78 b
เรดคอรัล	9.98±0.20 cd	17.59±0.97 c	25.45±0.82 b	31.81±1.16 a
เรดโอ๊ค	10.54±0.38 c	20.33±3.07 b	25.45±1.90 b	30.48±1.06 a
F-test	**	**	**	**
LSD	1.31	2.59	2.18	2.14
C.V. (%)	7.60	8.71	5.25	4.54

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.1.5 น้ำหนักต้นสด

ด้านน้ำหนักต้นสด พบว่าผักสลัดแต่ละพันธุ์มีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ในทุกสัปดาห์ โดยผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยมากที่สุดตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 5 โดยพบว่าในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยมากที่สุด 4.83 กรัม รองลงมาได้แก่ ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และเรดคอรัล มีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยเท่ากับ 3.15, 2.94, 2.89 และ 2.43 กรัม ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยมากที่สุด 40.80 กรัม โดยผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลมีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 18.36 กรัม สัปดาห์ที่ 4 และ 5 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 149.19 และ 335.69 กรัม ตามลำดับ โดยผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลมีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 67.18 กรัม ในสัปดาห์ที่ 4 หลังย้าย

ปลูก แต่ไม่แตกต่างจากน้ำหนักต้นสดของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค (73.34 กรัม) และในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก น้ำหนักต้นเฉลี่ยน้อยที่สุดพบในผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คและเรดคอรัล เท่ากับ 146.40 และ 143.76 กรัม ตามลำดับ (ตาราง 10)

ตาราง 10 น้ำหนักต้นสดของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน

พันธุ์	น้ำหนักต้นสด (กรัม) ที่อายุต่าง ๆ (สัปดาห์)			
	2	3	4	5
กรีนคอส	4.83±0.98a	40.80±5.73 a	149.19±15.52 a	335.69±21.00 a
กรีนโอ๊ค	2.94±0.43 b	19.73±4.86 bc	92.70±17.50 b	200.06±40.16 b
บัตเตอร์เฮด	3.15±0.61b	26.29±6.04 b	92.66±11.76 b	207.21±22.38 b
เรดคอรัล	2.43±0.09 b	18.36±2.83 c	67.18±3.05 c	146.40±14.71 c
เรดโอ๊ค	2.89±0.29 b	24.02±2.78 bc	73.34±9.85 c	143.76±14.68 c
F-test	**	**	**	**
LSD	0.77	7.60	18.40	30.72
C.V. (%)	15.48	19.08	12.57	9.65

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.1.6 น้ำหนักต้นแห้ง

ด้านน้ำหนักต้นแห้ง พบว่าน้ำหนักต้นแห้งเฉลี่ยของผักสลัดแต่ละพันธุ์แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) โดยในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยมากที่สุด 0.37 กรัม ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คมีน้ำหนักต้นแห้งเฉลี่ยรองลงมา (0.25 กรัม) แต่ไม่แตกต่างจากน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด และเรดคอรัล สัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักต้นแห้งเฉลี่ยมากที่สุด 2.17 กรัม และผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลมีน้ำหนักต้นแห้งเฉลี่ยน้อยที่สุด 0.98 กรัม ในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักต้นแห้งเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 7.34 และ 19.42 กรัม ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด (6.23 และ 15.52 กรัม ตามลำดับ) โดยผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คและเรดคอรัลมีน้ำหนักต้นแห้งเฉลี่ยน้อยที่สุด (ตาราง 11)

ตาราง 11 น้ำหนักต้นแห้งของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน

พันธุ์	น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม) ที่อายุต่าง ๆ (สัปดาห์)			
	2	3	4	5
กรีนคอส	0.37±0.07 a	22.17±0.52 a	7.34±1.21 a	19.43±1.17 a
กรีนโอ๊ค	0.24±0.03 b	1.05±0.18 b	4.47±0.56 ab	10.96±1.73 bc
บัตเตอร์เฮด	0.24±0.05 b	11.18±0.31 b	6.23±4.40 ab	15.52±10.24 ab
เรดคอรัล	0.20±0.01 b	0.98±0.10 b	3.48±0.19 b	9.70±0.99 bc
เรดโอ๊ค	0.25±0.02 b	1.24±0.17 b	3.39±0.40 b	8.14±0.99 c
F-test	**	**	*	*
LSD	0.05	0.50	3.12	7.24
C.V. (%)	13.50	24.27	40.64	36.86

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.1.7 ความยาวราก

ด้านความยาวราก พบว่าในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก ความยาวรากเฉลี่ยของผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีความยาวรากเฉลี่ยมากที่สุด 24.01 เซนติเมตร และผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คมีความยาวรากเฉลี่ยน้อยที่สุด 22.14 เซนติเมตร สัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก พบว่าความยาวรากเฉลี่ยมากที่สุดพบในผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมี เท่ากัน 38.47 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) จากความยาวรากเฉลี่ยของผักสลัดพันธุ์อื่น ๆ รองลงมาได้แก่ ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด เรดคอรัล และเรดโอ๊ค มีความยาวรากเฉลี่ยเท่ากับ 32.99, 29.62 และ 28.60 เซนติเมตร ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 หลังย้ายปลูก พบว่า ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์-เฮดมีความยาวรากเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 52.78 และ 65.24 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งความยาวรากเฉลี่ยน้อยที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก พบในผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คมี เท่ากับ 31.09 เซนติเมตร และสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค มีความยาวรากเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 49.08 เซนติเมตร (ตาราง 12)

ตาราง 12 ความยาวรากของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน

พันธุ์	ความยาวราก (เซนติเมตร) ที่อายุต่าง ๆ (สัปดาห์)			
	2	3	4	5
กรีนคอส	24.01±3.30	38.47±4.61 a	50.71±1.38 ab	57.90±4.69 b
กรีนโอ๊ค	22.68±0.98	19.34±0.93 c	31.09±3.85 d	49.08±4.51 c
บัตเตอร์เฮด	23.13±2.00	32.99±2.98 b	52.78±3.43 a	65.24±4.16 a
เรดคอรัล	22.16±0.36	29.62±1.34 b	45.48±3.73 bc	53.43±3.02 bc
เรดโอ๊ค	22.16±1.87	28.60±1.14 b	43.53±5.94 c	54.61±1.80 bc
F-test	ns	**	**	**
LSD	3.35	4.41	6.43	6.21
C.V. (%)	9.52	9.61	9.34	7.19

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.1.8 น้ำหนักรากสด

การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักรากสดของผักสลัด พบว่า ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักรากสดเฉลี่ยมากที่สุดในทุกสัปดาห์ โดยในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก พบว่าน้ำหนักรากสดเฉลี่ยมากที่สุด 1.25 กรัม ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) จากผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลและบัตเตอร์เฮด ที่มีน้ำหนักรากสดเฉลี่ยน้อยที่สุด 0.61 และ 0.60 กรัม ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักสดเฉลี่ยมากที่สุด 6.79 กรัม และผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลมีน้ำหนักรากสดเฉลี่ยน้อยที่สุด 2.79 กรัม สัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักรากสดเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 25.64 กรัม รองลงมาได้แก่ ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค มีน้ำหนักรากสดเฉลี่ยเท่ากับ 15.59 กรัม ส่วนผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คมีน้ำหนักรากสดเฉลี่ยน้อยที่สุด (11.18 กรัม) แต่ไม่แตกต่างจากน้ำหนักสดเฉลี่ยของผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด สัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักรากสดเฉลี่ยมากที่สุด 51.59 กรัม รองลงมาได้แก่ ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดคอรัล มีน้ำหนักรากสดเฉลี่ย 28.29 และ 28.20 กรัม ตามลำดับ และผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คและบัตเตอร์เฮดมีน้ำหนักรากสดเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 20.93 และ 18.58 กรัม ตามลำดับ (ตาราง 13) จะเห็นได้ว่าการเจริญเติบโตของรากมีความสัมพันธ์กับการเจริญของส่วนต้น เมื่อต้นพืชมีการเจริญในส่วนต้น คือมีการเจริญของใบที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงได้ดี จะมีผลไปช่วยส่งเสริมให้พืชมีการ

เจริญของรากเพิ่มขึ้นไปพร้อม ๆ กัน (Russell, 1977) สอดคล้องกับผลการทดลองนี้ที่พบว่า ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักต้นสดและรากสดมากที่สุด

ตาราง 13 น้ำหนักรากสดของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน

พันธุ์	น้ำหนักรากสด (กรัม) ที่อายุต่าง ๆ (สัปดาห์)			
	2	3	4	5
กรีนคอส	1.25±0.21 a	6.97±0.57 a	25.64±3.76 a	51.59±6.02 a
กรีนโอ๊ค	0.72±0.12 bc	3.30±0.67 bc	15.59±2.48 b	28.29±1.75 b
บัตเตอร์เฮด	0.61±0.11 c	3.89±0.63 b	11.60±1.88 c	18.58±1.97 c
เรดคอรัล	0.60±0.04 c	2.79±0.27 c	12.02±1.79 bc	28.20±2.28 b
เรดโอ๊ค	0.78±0.07 b	3.21±0.65 bc	11.18±1.17 c	20.93±1.35 c
F-test	**	**	**	**
LSD	0.15	0.88	3.58	4.80
C.V. (%)	12.21	14.25	15.27	10.56

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.1.9 น้ำหนักรากแห้ง

ด้านน้ำหนักรากแห้ง ในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 หลังย้ายปลูก พบว่าน้ำหนักรากแห้งเฉลี่ยของผักสลัดในแต่ละพันธุ์ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นในผักสลัดพันธุ์กรีนคอส โดยมีน้ำหนักรากแห้งเฉลี่ยมากที่สุด 0.06 และ 0.26 กรัม ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 4 และ 5 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักรากแห้งเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 0.99 และ 2.52 กรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) จากน้ำหนักแห้งรากเฉลี่ยของผักสลัดพันธุ์อื่น ๆ ในขณะที่ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คมีน้ำหนักรากแห้งเฉลี่ยน้อยที่สุด 0.40 และ 1.12 กรัม ตามลำดับ (ตาราง 14)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 14 น้ำหนักรากแห้งของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน

พันธุ์	น้ำหนักรากแห้ง (กรัม) ที่อายุต่าง ๆ (สัปดาห์)			
	2	3	4	5
กรีนคอส	0.06±0.01 a	0.26±0.03 a	0.99±0.14 a	2.52±0.33 a
กรีนโอ๊ค	0.04±0.00 b	0.15±0.04 b	0.56±0.05 ab	1.38±0.09 bc
บัตเตอร์เฮด	0.04±0.01 b	0.17±0.03 b	0.50±0.09 bc	1.16±0.14 c
เรดคอรัล	0.04±0.00 b	0.12±0.01 b	0.44±0.05 bc	1.52±0.11 b
เรดโอ๊ค	0.04±0.00 b	0.17±0.08 b	0.40±0.07 c	1.12±0.20 c
F-test	**	*	**	**
LSD	0.05	0.50	0.13	0.29
C.V. (%)	12.33	24.92	14.83	12.07

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.1.10 มวลชีวภาพ

ด้านมวลชีวภาพของผักสลัดแต่ละพันธุ์ พบว่า ในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 หลังย้ายปลูก มวลชีวภาพเฉลี่ยของผักสลัดแต่ละพันธุ์แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) โดยผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีมวลชีวภาพเฉลี่ยมากที่สุด 0.47 และ 2.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลมีมวลชีวภาพเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 0.25 และ 1.13 เปอร์เซ็นต์ สัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีมวลชีวภาพเฉลี่ยมากที่สุด 8.62 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างจากมวลชีวภาพของผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดและกรีนโอ๊ค (7.00 และ 5.23 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) ขณะที่ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล และเรดโอ๊ค มีมวลชีวภาพเฉลี่ยน้อยที่สุด 4.10 และ 3.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีมวลชีวภาพเฉลี่ยมากที่สุด 22.41 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างจากมวลชีวภาพของผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด (16.92 เปอร์เซ็นต์) และผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค มีมวลชีวภาพเฉลี่ยน้อยที่สุด 9.33 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15)

ตาราง 15 มวลชีวภาพของผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน

พันธุ์	มวลชีวภาพ (เปอร์เซ็นต์) ที่อายุต่าง ๆ (สัปดาห์)			
	2	3	4	5
กรีนคอส	0.47±0.08 a	2.54±0.58 a	8.62±3.30a	22.41±1.41 a
กรีนโอ๊ค	0.30±0.04 bc	1.23±0.21 b	5.23±1.88 ab	12.50±1.92 b
บัตเตอร์เฮด	0.29±0.06 bc	1.36±0.34 b	7.00±1.68 ab	16.92±11.17 ab
เรดคอรัล	0.25±0.02 c	1.13±0.10 b	4.10±1.70 b	11.57±1.01 b
เรดโอ๊ค	0.32±0.03 b	1.41±0.21 b	3.91±1.60 b	9.33±1.08 b
F-test	**	**	*	*
LSD	0.07	0.56	3.50	7.91
C.V. (%)	13.03	23.58	39.38	35.29

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ผลจากการศึกษา การเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตของผักสลัดแต่ละพันธุ์ ที่ปลูกในสภาพแวดล้อมเดียวกัน จะเห็นได้ว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตมากกว่าพันธุ์อื่น ๆ ซึ่งความแตกต่างในเรื่องการเจริญเติบโตระหว่างพันธุ์ (variety) ของผักสลัดที่พบอาจเกิดจากความแตกต่างทางพันธุกรรมเป็นเหตุผลสำคัญ ทั้งนี้เป็นเพราะลักษณะของผักสลัดพันธุ์กรีนคอสที่มีลักษณะทรงต้นสูง แผ่นใบหนาและห่อตั้งขึ้นซ้อนกันหลวม ๆ หลายชั้น ลำต้นและก้านใบมีขนาดใหญ่ ส่วนผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดมีลักษณะทรงต้นกลม มีข้อสั้น ก้านใบหนา ใบเรียงซ้อนกันห่อหัวแบบหลวม ๆ ทรงกลม อ่อนนุ่มและเป็นมัน ในขณะที่ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค เรดคอรัล และเรดโอ๊ค มีลักษณะทรงต้นกลมๆ มีข้อสั้นๆ แผ่นใบบางนุ่มและหยัก (สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ, 2562)สอดคล้องกับงานทดลองของ ธีระศักดิ์ พงษาอนุทิน (2547) ศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายสูตรต่าง ๆ แล้วพบว่า ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าพันธุ์อื่น ๆ ซึ่งจากการจัดกลุ่มผักสลัดของอภิชาติ ศรีสอาด และณัฏฐ์ชญามนต์ ดินรมรัมย์ (2558) รายงานว่า กลุ่มผักสลัดคอสหรือสลัดโรเมน (กรีนคอส) มีน้ำหนักสดต่อต้น มากกว่าผักสลัดในกลุ่มสลัดใบหรือผักกาดหอมและกลุ่มกึ่งห่อหัวหรือสลัดบัตเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดของผักสลัดพันธุ์ต่าง ๆ ระหว่างงานวิจัยนี้กับการรายงานของอภิชาต และณัฏฐ์ชญามนต์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

4.2 ปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัด

ในงานทดลองครั้งนี้ มีการให้สารละลายธาตุอาหาร 2 ส่วน ส่วนแรกคือแม่ปุ๋ยเอ ประกอบด้วยแมกนีเซียมซัลเฟต โพแทสเซียมไนเตรท โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต แมงกานีส และจุลธาตุ ส่วนที่สองคือแม่ปุ๋ยบี ประกอบด้วย แคลเซียมไนเตรท จุลธาตุรวม และเหล็ก ซึ่งพืชจะได้รับไนเตรทมาจากโพแทสเซียมไนเตรทและแคลเซียมไนเตรท (ตาราง 1) ในการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ แยกวิเคราะห์ในส่วนต่าง ๆ ของต้น ได้แก่ ส่วนราก ลำต้น ก้าน และใบ ทำการวิเคราะห์ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 5 ของการเจริญเติบโต พบว่าปริมาณการสะสมไนเตรทของผักสลัดแต่ละพันธุ์แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และเพิ่มขึ้นตามอายุการเจริญเติบโต

ในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสในส่วนก้านมีปริมาณการสะสมไนเตรทมากที่สุดเฉลี่ย 9.21 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ การสะสมไนเตรทเฉลี่ยในส่วนก้านของผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดและเรดโอ๊ค มีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ย 5.52 และ 5.39 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยปริมาณการสะสมไนเตรทที่น้อยที่สุดพบในส่วนใบของผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์-เฮด มีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ย 1.75 กรัมต่อกิโลกรัม สัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลในส่วนก้านมีปริมาณการสะสมไนเตรทมากที่สุดเฉลี่ย 27.55 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ส่วนก้านของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ย 22.27 และ 21.19 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ยน้อยที่สุด พบในผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลในส่วนลำต้นที่มีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ย 4.34 กรัมต่อกิโลกรัม สัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก พบว่าปริมาณการสะสมไนตรทมากที่สุดเฉลี่ย 50.51 กรัมต่อกิโลกรัม พบในผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดในส่วนก้าน รองลงมาได้แก่ ในส่วนก้านของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค กรีนคอส เรดคอรัล และกรีนโอ๊ค มีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ย 49.27, 49.15, 47.74 และ 47.23 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) จากส่วนรากของผักสลัดแต่ละพันธุ์ที่มีปริมาณการสะสมไนเตรทน้อยที่สุด สัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คในส่วนก้านปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ยมากที่สุด 90.14 กรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดในส่วนใบ มีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ยน้อยที่สุด 32.10 กรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 16) จะเห็นได้ว่าปริมาณการสะสมไนเตรทเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 5 และสูงกว่าที่ผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารระดับนานาชาติ (Joint FAO/WHO Expert Committer On Food Additives; JECFA) ที่ประเมินค่าความปลอดภัยการบริโภคผักที่มีไนเตรทตกค้างไม่เกิน 2.5 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ วุฒิพงษ์ พิมพ์โคตร (2546) ที่พบว่าปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัดพันธุ์กรีนคอส และกรีนโอ๊ค ที่ปลูกในฤดูร้อนมีการสะสมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

ไนเตรทจัดเป็นธาตุอาหารในรูปของไนโตรเจนที่พืชต้องการสำหรับการเจริญเติบโต หากพืชได้รับในปริมาณที่มากเกินไปจะเก็บสะสมไว้ในเซลล์พืช โดยเฉพาะผักกินใบและผักกินราก ปริมาณการสะสมไนเตรทของพืชจะมีความแตกต่างกันในแต่ละเนื้อเยื่อ โดยพบว่าเส้นใบจะมีปริมาณการสะสมไนเตรทน้อยกว่าก้านใบและลำต้น ส่วนใบที่แก่กว่าจะมีปริมาณการสะสมไนเตรทมากกว่าใบอ่อน (ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ, 2562) และนอกจากนี้ในพืชชนิดเดียวกัน (species) แต่ต่างพันธุ์ (variety) มีปริมาณการสะสมไนเตรทแตกต่างกัน แต่จะมีความแตกต่างกันไม่มากนัก (อรประภา อนุกุลประเสริฐ และภาณุมาศ ฤทธิไชย, 2558) อีกทั้งยังขึ้นกับชนิดของปุ๋ยไนโตรเจนที่ดูดใช้ โดยปกติปุ๋ยที่ใช้ถ้าอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จะถูกสะสมในรูปกรดอะมิโนที่ราก และเคลื่อนย้ายไปในรูปกรดอะมิโนในไซเลมสู่ส่วนเหนือดิน แต่ถ้าดูดใช้ในรูปของไนเตรทไอออน (NO_3^-) จะเคลื่อนที่ไปในไซเลมต่อได้ทันที (Abubaker, Abu-Zahra, Alzu'bi, Ammari, & Tahboub, 2010) ในสารละลายธาตุอาหารโดยทั่วไปจะมีไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรทประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่พืชดูดไปใช้เพื่อสร้างสารประกอบอินทรีย์ เช่น กรดอะมิโน และส่วนที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้จะยังคงสะสมเป็นไนเตรทอยู่ในเซลล์พืช หากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการปลูก เช่น ปลูกในสภาพแสงน้อย พืชจะมีการดูดไนเตรทจากสารละลายเข้าไปมาก เนื่องจากพืชมีการกระตุ้นการสะสมไนเตรทเป็นการชดเชยแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ทดแทนความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (คาร์โบไฮเดรต) ที่ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงเมื่อความเข้มแสงลดลง (Brown & Smith, 1966) และในขณะเดียวกันถ้าพืชเปลี่ยนไนเตรทเป็นสารอินทรีย์ (กรดอะมิโน) ได้น้อย จากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เมตาบอลิซึมของเอนไซม์ไนเตรท-รีดักเตส (nitrate reductase) ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงไนเตรทลดลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้มีการสะสมไนเตรทในพืชมากขึ้น

ในกระบวนการไนเตรทรีดักชัน ซึ่งต้องอาศัยเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตส โดยทั่วไปมักจะเกิดในรากพืชหรือส่วนของกิ่งก้านพืช ส่วนกระบวนการไนไตรท์รีดักชันซึ่งอาศัยเอนไซม์ไนไตรท์รีดักเตสจะเกิดขึ้นในคลอโรพลาสท์ที่อยู่ในส่วนของใบพืช และใน proplastids ที่อยู่ในรากของพืช ไนไตรท์ที่ถูกเปลี่ยนมาจากไนเตรทในกระบวนการไนเตรทรีดักเตส ซึ่งจะเกิดขึ้นภายใน cytosol ในเซลล์พืช จะถูกส่งเข้าไปในคลอโรพลาสท์ผ่านกระบวนการไนไตรท์รีดักชันภายในคลอโรพลาสท์ต่อไป (พิทยา สรวมศิริ, 2554) หากการรีดักชันของไนเตรทมาเป็นไนไตรท์เกิดขึ้นเร็วกว่าการรีดักชันของไนเตรทไปเป็นแอมโมเนียม จะทำให้ไนไตรท์สะสมอยู่ในพืช แต่ถ้ากระบวนการรีดักชันของไนเตรทเกิดได้ช้า จะทำให้ไนเตรทสะสมในพืชได้มากขึ้น

ตาราง 16 ปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัด 5 พันธุ์ ที่อายุต่าง ๆ กัน

พันธุ์	ส่วน	ปริมาณการสะสมไนเตรท (กรัมต่อกิโลกรัม) ที่อายุต่าง ๆ (สัปดาห์)			
		2	3	4	5
กรีนคอส	ราก	2.04±0.11 tu	4.85±1.05 stu	20.47±4.33 op	53.47±3.81 d-f
	ลำต้น	3.83±0.37 stu	6.89±1.22 r-u	40.60±1.90 ij	56.30±6.03 de
	ก้าน	9.21±2.50 q-t	10.08±1.72 qrs	49.15±6.11 fgh	88.99±9.73 a
	ใบ	1.80±0.75 tu	4.47±1.33 stu	34.02±4.80 m	34.02±4.67 j-m
กรีนโอ๊ค	ราก	2.20±0.33 tu	6.05±1.59 r-u	19.64±2.49 op	48.73±4.15 fgh
	ลำต้น	4.46±0.48 stu	5.72±1.12 r-u	38.39±3.16 ijk	57.53±5.63 d
	ก้าน	4.51±1.36 stu	22.27±5.82 no	47.23±6.96 gh	90.14±3.01 a
	ใบ	1.92±0.09 tu	6.41±3.65 r-u	37.08±4.35 m	37.08±4.70 ijk
บัตเตอร์เฮด	ราก	2.33±0.21 tu	5.27±1.23 r-u	20.60±1.23 op	51.66±5.42 d-f
	ลำต้น	4.27±0.68 stu	5.93±2.66 r-u	36.62±1.65 j-l	55.41±6.32 def
	ก้าน	5.52±1.72 r-u	21.19±4.27 op	50.51±4.74 efg	78.99±8.20 b
	ใบ	1.75±0.25 u	7.61±1.67 r-u	32.34±8.82 klm	32.10±6.94 klm
เรดคอรัล	ราก	2.07±0.12 tu	5.93±0.65 r-u	19.37±0.91 op	53.80±3.05 d-g
	ลำต้น	4.63±0.39 stu	4.34±0.80 stu	39.62±3.55 ij	57.67±6.99 d
	ก้าน	4.57±1.80 stu	27.55±3.95 mn	47.74±0.23 gh	75.44±7.44 bc
	ใบ	2.09±0.14 tu	12.11±1.62 qr	28.24±5.92 mn	42.70±10.09 hi
เรดโอ๊ค	ราก	2.20± tu	6.57±1.64 r-u	20.47±1.13 op	48.82±2.72 fgh
	ลำต้น	4.50± stu	7.72±1.31 r-u	38.47±2.55 ijk	57.20±5.43 de
	ก้าน	5.39± r-u	14.64±1.60 pq	49.27±3.51 fgh	89.76±9.62 a
	ใบ	1.88± tu	15.35±1.70 pq	30.32±5.67 lm	72.54±12.14 c
F-test: A (พันธุ์ผักสลัด)				**	
F-test: B (อายุ)				**	
F-test: C (ส่วนต่าง ๆ ของต้นผักสลัด)				**	
F-test: A×B				**	
F-test: A×C				**	
F-test: B×C				**	
F-test: A×B×C				**	
C.V. (%)				15.6	

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในตารางเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.3. การลดปริมาณการสะสมไนเตรท

การวิเคราะห์การลดปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ ซึ่งแยกวิเคราะห์ในส่วนต่าง ๆ ของต้นเช่นเดียวกับการศึกษาปริมาณการสมสมไนเตรท ทำการวิเคาะห์ในวันที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน หลังการให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยว พบว่าผักสลัดแต่ละ

พันธุ์มีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) และลดลงตามระยะเวลาการให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้น

ในวันที่ 2 ของการให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหาร พบว่าส่วนรากของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ยน้อยที่สุด 16.09 กรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างจากปริมาณการสะสมไนเตรทในส่วนรากของผักสลัดพันธุ์กรีนคอส (17.21 กรัมต่อกิโลกรัม) ในขณะที่ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสในส่วนลำต้นมีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ยมากที่สุด 62.49 กรัมต่อกิโลกรัม วันที่ 4 ของการให้น้ำประปาแทนสารละลาย พบว่าในส่วนรากของผักสลัดพันธุ์กรีนคอส กรีนโอ๊ค บัตเตอร์-เฮด เรดคอรัล และเรดโอ๊ค มีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ยน้อยที่สุด 7.51, 7.57, 7.64, 7.56 และ 7.59 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ยพบมากที่สุดในผักสลัดพันธุ์บัต-เตอร์เฮดในส่วนใบ โดยมีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ย 25.40 กรัมต่อกิโลกรัม วันที่ 6 ของการให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหาร พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสในส่วนรากและกรีนโอ๊คในส่วนใบมีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ยน้อยที่สุด 3.11 และ 3.14 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งผักสลัดพันธุ์กรีนคอสในส่วนก้านมีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ยมากที่สุด 9.11 กรัมต่อกิโลกรัม วันที่ 8 ของการให้น้ำประปาแทนสารละลาย พบว่าผักสลัดแต่ละพันธุ์มีปริมาณการสะสมไนเตรทไม่เกินมาตรฐาน ยกเว้นในส่วนก้านของผักสลัดพันธุ์กรีนคอสและบัตเตอร์เฮด (3.39 และ 4.59 กรัมต่อกิโลกรัม) โดยส่วนใบของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณการสะสมไนเตรทน้อยที่สุด 0.48 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ส่วนใบของผักสลัดพันธุ์กรีนคอสและบัตเตอร์เฮด (0.83 และ 0.86 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ในวันที่ 10 ของการให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหาร พบว่าผักสลัดทุกพันธุ์มีการสะสมไนเตรทไม่เกินมาตรฐาน โดยส่วนรากของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณการสะสมไนเตรทเฉลี่ยน้อยที่สุด 0.081 กรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณการสะสมไนเตรทมากที่สุดพบในส่วนก้านของผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด 1.55 กรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 17)

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 17 การลดปริมาณการสะสมไนเตรทด้วยการให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

พันธุ์	ส่วน	การลดปริมาณการสะสมไนเตรท (กรัมต่อกิโลกรัม) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)				
		2	4	6	8	10
กรีนคอส	ราก	17.21±1.83 nop	7.51±0.02 h-k	3.11±0.03 a-f	1.58±0.06 a-e	0.46±0.04 a
	ลำต้น	31.56±1.00 r	7.59±0.03 h-k	3.29±0.35 a-h	1.60±0.08 a-e	0.57±0.02 ab
	ก้าน	38.03±1.70 t	16.84±1.34 nop	9.11±0.20 jkl	3.39±0.19 a-h	0.93±0.02 abc
	ใบ	45.48±1.80 u	10.85±1.14 klm	3.56±0.07 a-h	0.83±0.06 abc	0.15±0.01 a
กรีนโอ๊ค	ราก	16.09±1.15 nop	7.57±0.10 h-k	3.41±0.12 a-h	1.14±0.03 abc	0.08±0.01 a
	ลำต้น	33.73±2.65 rs	7.60±0.09 h-k	4.30±0.32 a-i	1.95±0.12 a-e	0.65±0.02 ab
	ก้าน	37.18±0.76 st	16.97±0.62 nop	7.28±0.23 f-k	2.41±0.05 a-e	0.10±0.01 abc
	ใบ	43.47±1.91 u	13.51±0.98 mno	3.14±0.20 a-g	0.48±0.01 a	0.11±0.02 a
บัตเตอร์	ราก	18.18±4.08 p	7.64±0.04 h-k	3.65±0.05 a-h	0.85±0.06 abc	0.09±0.01 a
เฮด	ลำต้น	36.35±1.88 st	8.48±0.87 i-l	3.44±0.22 a-h	2.15±0.14 a-e	0.97±0.02 abc
	ก้าน	33.45±2.05 rs	18.01±0.16 p	7.47±0.31 g-k	4.59±0.08 a-i	1.55±0.08 a-d
	ใบ	44.15±1.94 u	25.40±1.03 q	5.03±.12 b-j	0.86±0.16 abc	0.32±0.01 a
เรดคอรัล	ราก	17.75±6.28 p	7.56±0.07 lm	5.00±0.10 f-k	2.36±0.04 a-e	0.47±0.04 a-d
	ลำต้น	54.73±2.03 v	15.07±0.61 mn	6.06±0.23 d-j	1.78±0.10 a-e	0.65±0.04 ab
	ก้าน	27.44±2.08 rst	18.31±0.23 op	7.69±0.30 f-k	1.45±0.12 a-d	0.46±0.02 ab
	ใบ	23.97±1.54 q	13.07±1.03 m-p	4.48±0.17 c-j	1.93±0.20 a-e	0.40±0.01 a
เรดโอ๊ค	ราก	34.15±2.21 rs	7.59±0.07 h-k	4.40±0.31 a-i	1.61±0.06 a-e	0.33±0.04 a
	ลำต้น	62.49±0.66 w	14.39±0.48 m-p	5.27±0.43 c-j	2.09±0.10 a-e	0.49±0.03 a
	ก้าน	25.93±2.26 q	17.65±0.57 p	5.23±0.26 c-j	1.22±0.10 abc	0.68±0.01 ab
	ใบ	23.70±2.91 q	14.69±0.26 m-p	5.98±0.25 e-j	2.43±0.03 a-e	0.32±0.01 a
	F-test: A (พันธุ์ผักสลัด)				**	
	F-test: B (อายุ)				**	
	F-test: C (ส่วนต่าง ๆ ของต้นผักสลัด)				**	
	F-test: A×B				**	
	F-test: A×C				**	
	F-test: B×C				**	
	A×B×C				**	
	C.V. (%)				23.2	

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในตารางเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจากผักสลัดเป็นผักที่เจริญเติบโตได้เร็ว ต้องการธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ซึ่งไนเตรทเป็นสารอนินทรีย์รูปเดียวที่อาจสะสมในพืชโดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียหายแก่พืช พืชจะรีดิวซ์ไนเตรทไปเป็นแอมโมเนียก่อนที่จะนำไปสร้างสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน โดยขั้นตอนดังนี้ NO_3^- —> NO_2^- —> $(NOH)_2$ —> NH_2OH —> NH_3 เกิดขึ้นในใบโดยอาศัยเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตส (อำนาจ สุวรรณฤทธิ์, 2525) เมื่องดให้สารละลายธาตุอาหารพืชจะดึงไนเตรทในเนื้อเยื่อที่สะสมในต้นมาใช้ จึงทำให้ไนเตรทที่สะสมในเนื้อเยื่อลดลง สอดคล้องกับงานทดลองของ กาญจนา แสงพันธุ์ (2549) ที่ศึกษาการเจริญเติบโต การสะสม และการลดปริมาณไนเตรทก่อนการเก็บเกี่ยวในผักบุ้งจีนที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร ที่พบว่าการงดให้สารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีนเป็นเวลาตั้งแต่ 2 วันขึ้นไป สามารถลดปริมาณการสะสมไนเตรทได้

4.5 การวิเคราะห์คุณภาพของผักสลัด

การวิเคราะห์คุณภาพของผักสลัด ได้แก่ การบันทึกข้อมูลค่าการวัดสีใบของผักสลัด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) ปริมาณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแทนนิน ทำการวิเคราะห์หลังจากที่ให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนเก็บเกี่ยว 10 วัน แสดงผลในตาราง 19 ได้ผลการทดลอง ดังนี้

4.5.1 ค่าการวัดสีของผักสลัด

การวัดสี (L*, a* และ b*) ของผักสลัดแต่ละพันธุ์ พบว่าผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดและกรีนโอ๊คมีค่าความสว่างเฉลี่ย (L*) มีค่ามากที่สุด 40.76 และ 43.71 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) จากค่าความสว่างเฉลี่ยของผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค เรดคอรัล และกรีนคอส ที่มีค่าความสว่างเฉลี่ย 6.68, 7.57 และ 9.29 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีเขียวจนถึงสีแดง (a*) ถ้า -a* ใบของผักจะเป็นสีเขียว แต่ถ้า +a* ใบของผักจะเป็นสีแดง พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮดเป็นสีเขียว มีค่า a* เฉลี่ย -9.27 ส่วนผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค เรดคอรัล และกรีนคอส มีความเป็นสีแดง มีค่า a* เฉลี่ย 7.13, 7.89 และ 10.58 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง (b*) ถ้า -b* ใบของผักจะเป็นสีน้ำเงิน แต่ถ้า +b* ใบของผักจะเป็นสีเหลือง ซึ่งผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮด มีความเป็นสีเหลืองมากที่สุด โดยมีค่า b* เฉลี่ยเท่ากัน 28.26 รองลงมาได้แก่ ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค เรดคอรัล และกรีนคอส มีค่า b* เฉลี่ย 4.82, 4.90 และ 5.73 ตามลำดับ (ตาราง 18)

ตาราง 18 ค่าการวัดสีใบของผักสลัดพันธุ์ต่าง ๆ

พันธุ์	L*	a*	b*
กรีนโอ๊ค	9.29±1.04 b	10.58±1.12 a	5.73±0.88 b
กรีนคอส	43.71±2.56 a	-9.27±0.53 c	28.26±1.66 a
บัตเตอร์เฮด	44.76±3.17 a	-9.27±0.53 c	28.26±1.66 a
เรดคอรัล	7.57±1.39 b	7.89±1.50 b	4.90±0.92 b
เรดโอ๊ค	6.68±1.18 b	7.13±1.44 b	4.82±0.69 b
F-test	**	**	**
LSD	3.09	1.67	1.86
C.V. (%)	9.15	78.53	8.58

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.5.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50})

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จะแสดงค่าเป็น IC_{50} ซึ่งหมายถึงความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ถ้าค่า IC_{50} มีปริมาณน้อยแสดงว่าสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดี โดยผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊คและเรดคอรัลมีค่า IC_{50} เฉลี่ยดีที่สุด คือ 1.52 และ 1.92 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) จาก ค่า IC_{50} ในผักสลัดพันธุ์กรีนคอส กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีค่า IC_{50} เฉลี่ยเท่ากับ 1.97, 2.00 และ 2.07 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.5.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค และเรดคอรัล มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 30.37 และ 32.86 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม ตัวอย่างสด ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) จากปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮด ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 7.51, และ 7.63 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อ 100 กรัม ตัวอย่างสด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่น้อยที่สุดพบในผักสลัดพันธุ์กรีนคอส (6.30 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อ 100 กรัม ตัวอย่างสด)

4.5.4 ปริมาณแทนนิน

พบว่าผักสลัดพันธ์เรดคอรัลมีปริมาณแทนนินมากที่สุด เท่ากับ 14.71 มิลลิกรัมกรดแทนนิคต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง ซึ่งไม่แตกต่างจากปริมาณแทนนินในผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค

(17. 49 มิลลิกรัมกรดแทนนิคต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง) แต่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) จากปริมาณแทนนินเฉลี่ยในผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด กรีนคอส และกรีนโอ๊ค โดยมีปริมาณแทนนินเฉลี่ย เท่ากับ 5.12, 5.43 และ 8.64 มิลลิกรัมสมมูลกรดแทนนิคต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง

ตาราง 19 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) ฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแทนนินในผักสลัดพันธุ์ต่าง ๆ

พันธุ์	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิคต่อ 100 กรัมตัวอย่างสด)	แทนนิน (มิลลิกรัมกรดแทนนิคต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)
กรีนคอส	1.97±0.92 ab	6.30±0.06 b	5.43±1.37 b
กรีนโอ๊ค	2.00±1.53 ab	7.51±0.04 b	8.64±1.66 b
บัตเตอร์เฮด	2.07±0.91 a	7.63±0.09 b	5.12±1.01 b
เรดคอรัล	1.92±6.00 b	32.86±0.08 a	14.71±1.83 a
เรดโอ๊ค	1.52±1.83 c	30.37±0.15 a	17.49±5.03 a
F-Test	**	**	**
LSD	0.14	4.44	3.95
C.V. (%)	4.85	17.37	25.48

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

จากตาราง 19 จะเห็นได้ว่า ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล และเรดโอ๊ค (ผักสลัดพันธุ์สีแดง) มีปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอส กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (ผักสลัดพันธุ์สีเขียว) โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การยับยั้งและค่า IC_{50} ที่ต่ำกว่า ซึ่งสีแดงเกิดจากการสร้างสารแอน-โทไซยานินที่มีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้สามารถพบได้ในแวคิวโอล สารแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก (สุธิรา มณีฉาย และประสบอร รินทอง, 2016) โดยสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH (IC_{50}) กล่าวคือฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะแปรผกผันกับฟีนอลิกและแทนนินเป็นหนึ่งในสารประกอบฟีนอลิกมีรายงานว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ สอดคล้องกับงานทดลองของ ทิพาวรรณ อินทฉิม และภาเกล้า ภูมิใหญ่ (2560) ที่ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผักสลัด แล้วพบว่าผักสลัดพันธุ์สีแดง (เรดคอรัล) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าผักสลัดพันธุ์เขียว (กรีนคอส กรีนคอส และไอซ์เบิร์ก) และอรสุรินทร์ ฮวบบางยาง มัณฑนา บัวหนอง เฉลิมชัย วงษ์อารี ชัยรัตน์ เตชวุฒิพร และ

วาริช ศรีละออ (2553) ที่ทำการศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มดอกไม้สีแดงและดอกสีขาว พบว่าดอกไม้สีแดงมีสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าดอกสีขาว

4.6 ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผักสลัด

การสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ โดยใช้มาตรวัดลิเคิร์ท (Likert, 2019) เป็นการให้ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกแสดงความคิดเห็น จากระดับความพึงพอใจหรือระดับเห็นด้วย 5 ระดับ ต่อแบบสอบถามข้อนั้น ๆ พบว่าความพึงพอใจในด้านลักษณะปรากฏ (appearance) ผู้บริโภคชื่นชอบผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด เรดโอ๊ค และกรีนโอ๊ค ในระดับชอบมาก มีคะแนนเท่ากับ 3.73, 3.80 และ 3.97 คะแนน ตามลำดับ ส่วนผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลและกรีนคอสชื่นชอบอยู่ในระดับปานกลาง มีคะแนนเท่ากับ 3.43 และ 3.47 คะแนน ตามลำดับ ด้านเนื้อสัมผัส (texture) ผู้บริโภคชื่นชอบผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค กรีนคอส และบัตเตอร์เฮด ในระดับชอบมาก มีคะแนนเท่ากับ 3.67, 3.67 และ 4.13 คะแนน ตามลำดับ ส่วนผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลและกรีนโอ๊คชื่นชอบในระดับปานกลาง มีคะแนนเท่ากับ 3.07 และ 3.43 คะแนน ตามลำดับ ด้านกลิ่น (flavour) ผู้บริโภคชื่นชอบผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดในระดับชอบมาก มีคะแนนเท่ากับ 4.17 คะแนน ส่วนผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และกรีนคอส ชื่นชอบในระดับปานกลาง มีคะแนนเท่ากับ 2.93, 3.33, 3.37 และ 3.40 คะแนน ด้านรสชาติ (test) ผู้บริโภคชื่นชอบผักสลัดพันธุ์กรีนคอสและบัตเตอร์เฮดอยู่ในระดับมาก คะแนนเท่ากับ 3.87 และ 4.43 คะแนน ส่วนพันธุ์เรดคอรัล กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค ชื่นชอบในระดับปานกลาง มีคะแนนเท่ากับ 2.63, 3.00 และ 3.40 คะแนน ด้านความชอบรวม (total liking) พบว่าผู้บริโภคชื่นชอบผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดมากที่สุด (ตาราง 20)

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 20 คะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภคผักสลัด 5 สายพันธุ์

พันธุ์	ลักษณะที่ปรากฏ	เนื้อสัมผัส	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบรวม
กรีนคอส	3.47±0.21	3.67±0.55 ab	3.40±0.53 b	3.87±0.38 ab	3.87±0.23 b
กรีนโอ๊ค	3.97±0.25	3.43±0.21 ab	3.33±0.45 b	3.00±0.26 cd	3.33±0.23 bc
บัตเตอร์เฮด	3.73±0.25	4.13±0.46 a	4.17±0.35 a	4.43±0.50 a	4.43±0.55 a
เรดคอรัล	3.43±0.55	3.07±0.15 b	2.93±0.12 b	2.63±0.25 d	2.83±0.21 c
เรดโอ๊ค	3.80±0.50	3.67±0.40 ab	3.37±0.35 b	3.40±0.36 bc	3.57±0.15 b
F-test	ns	ns	*	**	**
LSD	0.69	0.70	0.70	0.66	0.56
C.V.(%)	10.34	10.75	11.21	10.48	8.56

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ทำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การศึกษาการเจริญเติบโต การสะสมและการลดปริมาณไนเตรทในผักสลัดที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ แบบ DRFT ซึ่งผักสลัดที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ กรีนคอส กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด เรดคอรัล และเรดโอ๊ค สามาถสรุปผล ได้ดังนี้

5.1.1 การเจริญเติบโตและผลผลิต

พบว่า ในสัปดาห์ที่ 5 หลังการย้ายปลูก ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงต้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักต้นสดและแห้ง น้ำหนักรากสดและแห้ง และมวลชีวภาพมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.39, เซนติเมตร 2.227 เซนติเมตร, 335.69 กรัม, 19.426 กรัม 51.59 กรัม, 2.52 กรัม และ 22.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบและความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.31 ใบ และ 32.52 เซนติเมตร ตามลำดับ และผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดมีความยาวรากมากที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.24 เซนติเมตร

5.1.2 ปริมาณการสะสมไนเตรท

พบว่าผักสลัดแต่ละพันธุ์มีการสะสมไนเตรทเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้นและมีค่าเกินมาตรฐาน โดยส่วนก้านมีปริมาณการสะสมไนเตรทมากที่สุด ซึ่งในสัปดาห์ที่ 5 หลังการย้ายปลูก ปริมาณการสะสมไนเตรทสูงสุดพบในผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คในส่วนก้านมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 90.14 กรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณการสะสมไนเตรทน้อยที่สุดพบในส่วนใบของผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.75 กรัมต่อกิโลกรัม

5.1.3 การลดปริมาณการสะสมไนเตรท

หลังจากการให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารที่ระยะเวลา 10 วัน ก่อนการเก็บเกี่ยวมีผลทำให้ผักสลัดมีปริมาณการสะสมไนเตรทมีค่าไม่เกินมาตรฐาน (ต่ำกว่า 2.5 กรัมต่อกิโลกรัม)

5.1.5 คุณภาพผักสลัด

5.1.5.1 การวัดสีของผักสลัด

ผักสลัดพันธุ์กรีนคอส กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด (ผักสลัดพันธุ์สีเขียว) มีค่าความสว่าง (L*) มากกว่าผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลและเรดโอ๊ค (ผักสลัดพันธุ์สีแดง) ด้านค่าความเป็นสีเขียวจนถึงสีแดง (a*) ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮดมีค่าความเป็นสีเขียว ส่วนผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค เรดคอรัล

และกรีนคอส มีค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีน้ำเงินจนถึงสีเหลือง (b*) ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและบัตเตอร์เฮดมีค่าความเป็นสีเหลือง b* มากกว่าผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค เรดคอรัล และกรีนคอส

5.1.5.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50})

พบว่า ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล และเรดโอ๊ค มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอส กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีค่า IC_{50} น้อยที่สุด เท่ากับ 1.52 และ 1.92 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

5.1.5.3 ฟีนอลิกทั้งหมด

พบว่า ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล และเรดโอ๊ค มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอส กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.86 และ 30.37 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อ 100 กรัม ตัวอย่างสด

5.1.5.4 แทนนิน

พบว่า ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัลและเรดโอ๊ค มีปริมาณแทนนินมากกว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอส กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.71 และ 17.49 มิลลิกรัมสมมูลกรด-แทนนิคต่อ 100 กรัม ตัวอย่างแห้ง

5.1.6 ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผักสลัด

พบว่า ความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏ ผู้บริโภคชื่นชอบผักสลัดแต่ละพันธุ์ไม่แตกต่างกัน ส่วนด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม ผู้บริโภคชื่นชอบผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดมากกว่าพันธุ์อื่น ๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทดลองปลูกผักสลัดในหลาย ๆ รูปแบบ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมไนเตรทในรูปแบบการปลูกแบบต่าง ๆ

5.2.1 ควรทดลองลดปริมาณการสะสมไนเตรทด้วยวิธีการอื่น ๆ เช่น การดัดแปลงสูตรสารละลายธาตุอาหารให้มีไนเตรทต่ำ เพื่อลดปริมาณการสะสมไนเตรท

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรรณิกา จ้าเสียง. (2555). *ปริมาณไนเตรทที่ตกค้างในผักสลัด (green oak)*. เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย. (2541). *ไนเตรท ไนไตรท์ และสารประกอบเอ็น-ไนโตรโซ*. 21.

กาญจนา แสงพันธุ์. (2549). *การเจริญเติบโต การสะสมไนเตรท และการลดไนเตรทก่อนการเก็บเกี่ยวในผักบุ้งจีนที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิราภรณ์ กระแสเทพ และมัณฑนา นครเรียบ. (2555). การศึกษาปริมาณรวมของฟีนอลิก แอนโธไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามครั้งที่ 8*, 269–273. มหาสารคาม: คลังนานาวิทยา.

ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ. (2562). ไนเตรทสะสมในผักไฮโดรโพนิกส์. Retrieved from https://www.stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=26

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

ทศพร แจ้งจรัส. (2531). *ผักฤดูหนาวและผักตระกูลกะหล่ำ = Winter vegetable and cruciferous crops*. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม.

ทิพาวรรณ อินทฉิม และภาเกล้า ภูมิใหญ่. (2560). การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากผักสลัด. *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 สถาบันวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร*, 924–930. กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ และวุฒิพงษ์ พิมพ์โคตร. (2545). การสำรวจเบื้องต้นปริมาณสารไนเตรทตกค้างในผักกาดหอมปลูกโดยไม่ใช้ดินในฤดูกาลต่าง ๆ. *การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 40 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาพืช สาขาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร สาขาอุตสาหกรรมเกษตร 4-7 กุมภาพันธ์ 2545*, 67–73. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีระศักดิ์ พงษาอนุทิน. (2547). *การเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายสูตรต่าง ๆ*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นวลศรี รักอริยะธรรม และอัญชนา เจนวิถีสุข. (2546). *แอนติออกซิเดนท์ : สารต้านมะเร็งในผัก-สมุนไพรไทย*. เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์.

พัชราภรณ์ ภู่ไพบูลย์ ศิริวัลย์ สร้อยกลุ่ม และวาสนา บัวงาม. (2552). การวิเคราะห์การสะสมไนเตรทในผักสด. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาพืช*, 289–298. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิทยา สรวมศิริ. (2554). *ธาตุอาหารในการผลิตพืชสวน*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยงยุทธ เจียมไชยศรี. (2562). แนวทางการลดไนเตรทในผักไฮโดรโพนิกส์. Retrieved from https://phutalay.wordpress.com/2012/05/26

ยงยุทธ โอสถสภา. (2543). *ธาตุอาหารพืช*. กรุงเทพฯ: ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัชนี คงคาฉุยฉาย ริญ เจริญศิริ อภิชาติ วรรณวิจิตร และศิริพัฒน์ เรืองพยัคฆ์. (2562). อนุมูลอิสระ. Retrieved from http://www.dna.kps.ku.ac.th/index.php/article-rice-rsc-rgdu/36-free-radicle-antioxidant-anthrocyanidin

วารินี ธรรมชาติไพศาล. (2555). *ปลูกพืชไร้ดิน*. กรุงเทพฯ: ไทยควอลิตี้บุ๊คส์.

วุฒิพงษ์ พิมพ์โคตร. (2546). *การเจริญเติบโต การสะสมไนเตรท และการลดไนเตรทก่อนเก็บเกี่ยวในผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร. (2551). *การปลูกพืชไร้ดิน*. กรุงเทพฯ: พีเอ็นเคแอนด์สกายพริ้นติ้ง.

สมพงษ์ บัวแย้ม. (2558). *เทคนิคปลูกพืชไร้ดิน*. นนทบุรี: อมรินทร์บุ๊คเซ็นเตอร์.

สมภพ ฐิตะวสันต์. (2537). *หลักการผลิตผัก*. กรุงเทพฯ: วี.บี. บุ๊คเซนเตอร์.

สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ. (2562). ผัดกาดหอมอุดมไปด้วยวิตามินบีรักษาฝีมะม่วงได้. Retrieved from https://www.hiso.or.th/hiso5/healthy/news.php?names=10&news_id=1526

สุธิรา มณีฉาย และประสบอร รินทอง. (2016). ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากดอกชงโค อัญชัน เข็มฝรั่งและชมพู่จอมพล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, *36*(2), 1–6.

อภิชาติ ศรีสอาด และณัฏฐ์ชญามนต์ ดินรมรัมย์. (2558). *ปลูกผักสลัดเชิงการค้า*. สมุทรสาคร: นาคาอินเตอร์มีเดีย.

อรประภา อนุกูลประเสริฐ และภาณุมาศ ฤทธิไชย. (2558). ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการให้ผลผลิตและคุณภาพของผักกาดหอม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, *4*(1), 81–94. https://doi.org/https://doi.org/10.14456/tjst.2015.20

อรสุรินทร์ ฮวบบางยาง มัณฑนา บัวหนอง เฉลิมชัย วงษ์อารี ชัยรัตน์ เตชวุฒิพร และวาริช ศรีละออ. (2553). การศึกษาคุณค่าทางอาหารและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในดอกไม้ที่รับประทานได้. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, *41*((3/1) (พิเศษ)), 381–384.

อัญชนา เจนวิถีสุข. (2544). *การตรวจหาและบ่งชี้ชนิดสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้านและสมุนไพรไทย*. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อัมพา คำวงษา. (2553). *แนวทางการผลิตและลงทุนผักไฮโดรโปนิกส์เพื่อทำเงิน*. กรุงเทพฯ: นาคา อินเตอร์มีเดีย.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. (2525). *ความสัมพันธ์ระหว่างดินและพืช*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abubaker, S.M., Abu-Zahra, T.R., Alzu'bi, Y.A., Ammari, T., & Tahboub, A.B., (2010). Nitrate accumulation in spinach (*Spinacia oleracea* L.) tissues under different fertilization regimes. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *8*(2), 778–780.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1980). *Brucine Colorimetric Method.* (17th ed.). Washington, DC: William Horwitz (ed.).

Blois, M. (1958). Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature International Journal of Science*, *181*, 1199–1200. https://doi.org/DOI https://doi.org/10.1038/1811199a0

Brown, J.R., & Smith, G.E. (1966). Soil fertilization and nitrate accumulation in Vegetables. *Agronomy Journal*, *58*(2), 209–212. https://doi.org/10.2134/agronj1966.00021962005800020028x

Chen, B.M., Wang, Z.H., Li, S.X., Wang, G.X., Song, H.X., & Wang, X.N. (2004). Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Science*, *167*(3), 635–643. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.05.015

Crawford, N.M. (1995). Nitrate: nutrient and signal for plant growth. *Plant Cell*, *7*(7), 859–868. https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.859

Crawford, N.M., & Glass, A.D. (1998). Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. *Trends in Plant Science*, *3*(10), 389–395.

European commission. (1997). setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Journal of the European Communities*, *L31*, 48–50.

Hou, W.C.; Lin, R.D., Cheng, K.T, Hung, Y.T., Cho, C.H., Chen, C.H., Hwang, S.Y., & Lee, M.H. (2003). Free radical-scavenging activity of Taiwanese native plants. *Phytomedicine*, *10*(2–3), 170–175. https://doi.org/10.1078/094471103321659898

Jean, B. (1999). *Pharmacognosy, Phytochemistry, Medicinal Plants* (2nd ed.). Lavoisier.

Likert RA. (2019). Likert Scale. Retrieved from https://jane1995site.wordpress.com /2016

LNW shop. (2562). การปลูกพืชไร้ดินระบบ NFT และ DRFT. Retrieved from http://www.erhydroshop.com/article/3/nft--drft

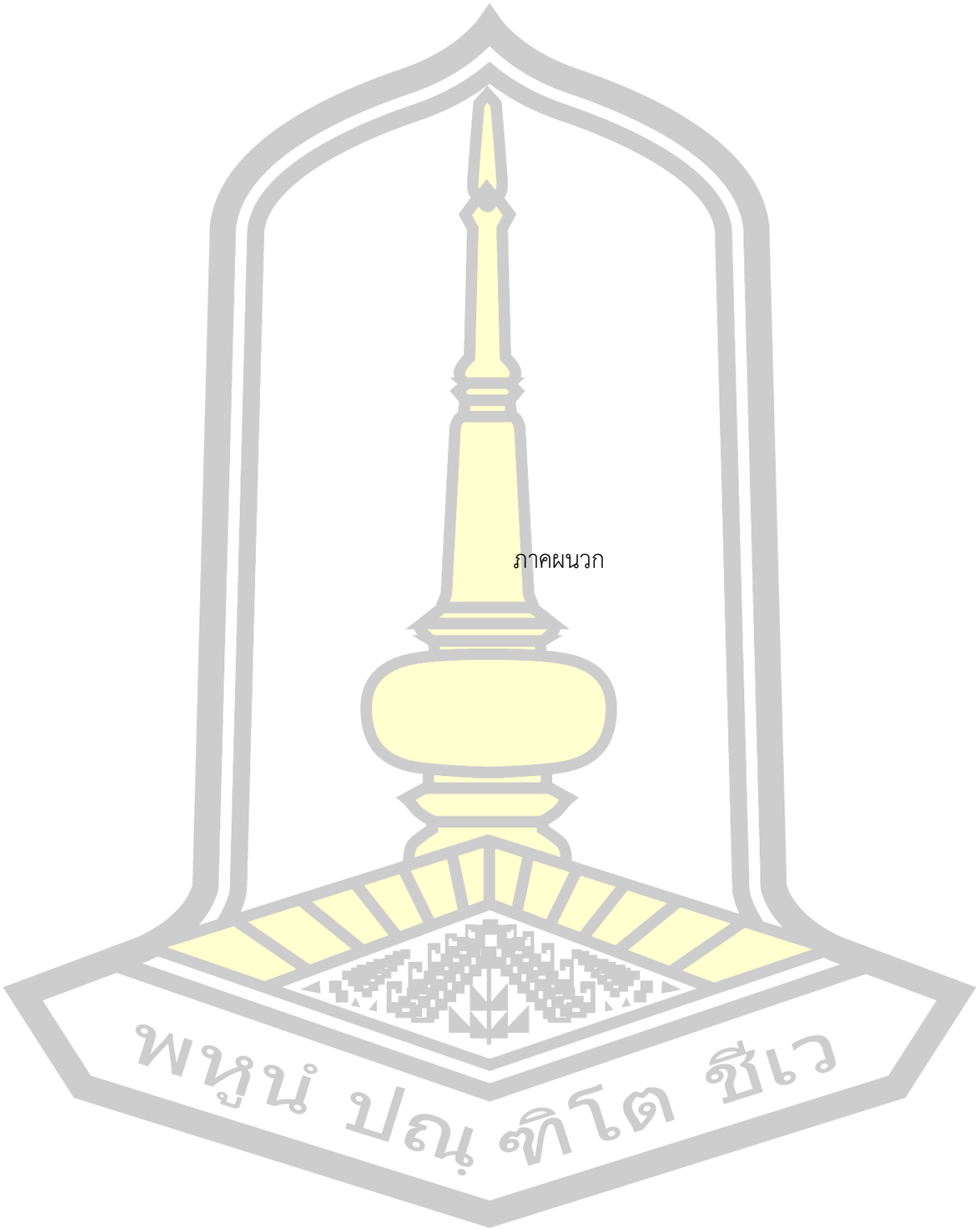
Medthai. (2562). 26 สรรพคุณและประโยชน์ของผักกาดหอม ! (ผักสลัด). Retrieved from https://medthai.com

Nowrouz, P., Taghipour, H., Dastgiri, S., Bafandeh, Y., & Hashemimajd, K. (2012). Nitrate Determination of Vegetables in Varzeghan City, North-western Iran. *Health Promotion Perspectives*, *2*(2), 244–250. https://doi.org/10.5681/hpp.2012.030

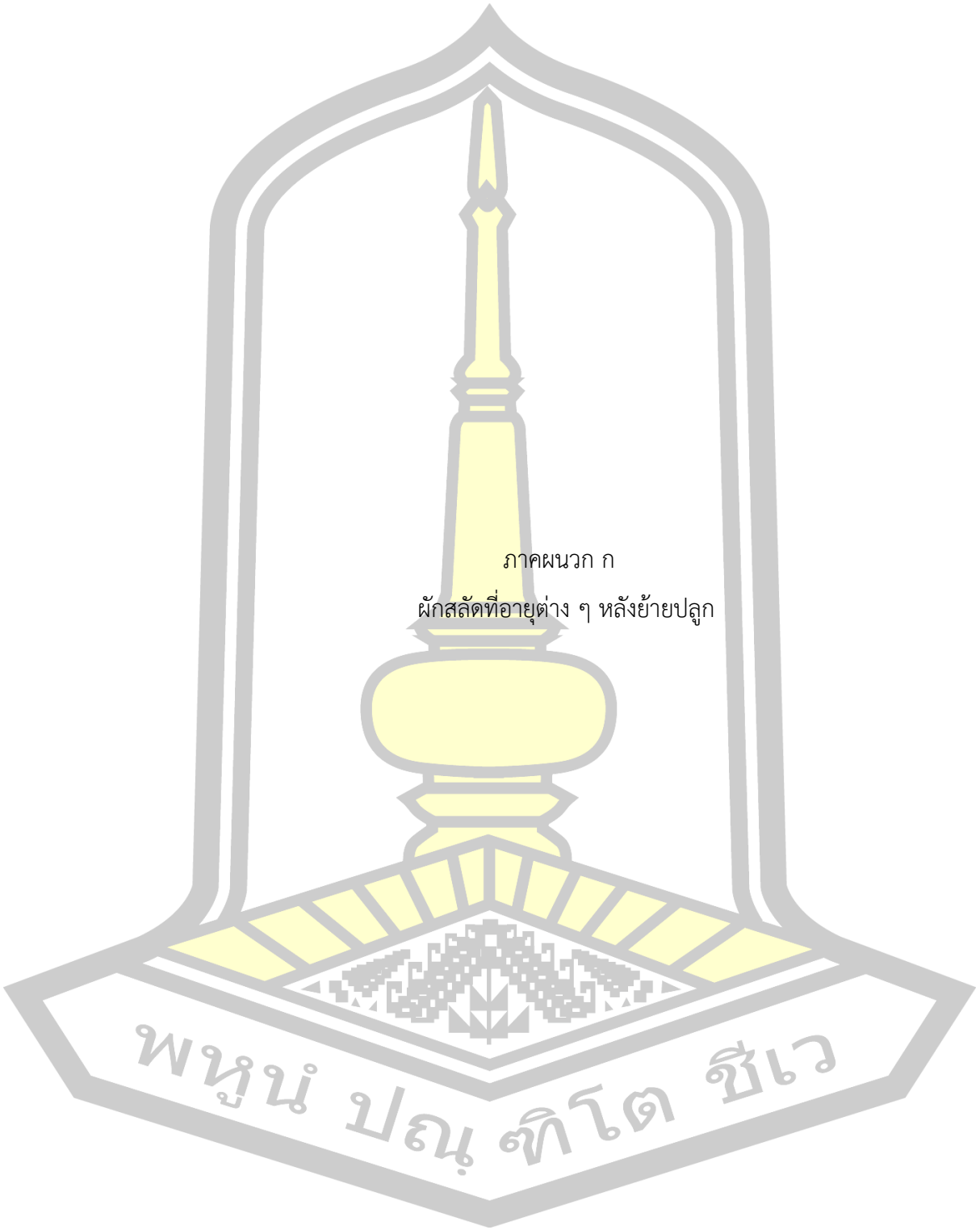
Russell RS. (1977). *Plant Root Systems : Their function and interaction with the soil*. https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0014479700008875

Seginer, I.; Straten, G., & Buwalda, F. (1998). Nitrate concentration in greenhouse lettuce. *Acta Horticulturae*, *456*(21), 189–197.

Tae, R., Bu,C., Sung, A., & Eun, H. (2011). Evaluation of nitrate contents of organic and conventional farming vegetables in Korea. *International Conference on Chemical, Biological and Environment Sciences (ICCEBS'2011)*, 2009–2012.



ภาคผนวก

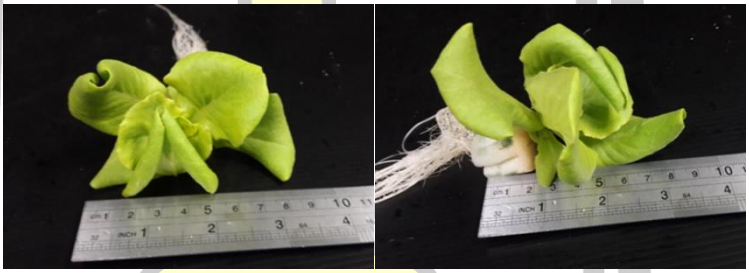


ภาคผนวก ก

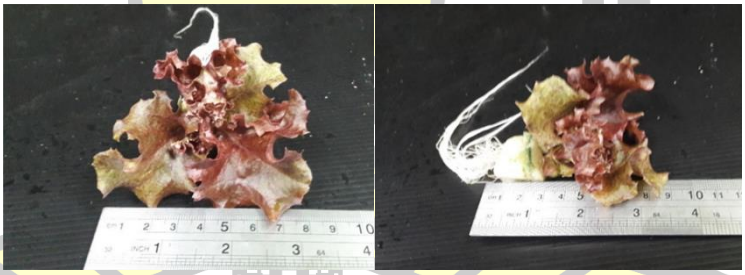
ผักสลัดที่อายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูก

(ก)

(ข)



(ค)



(ง)

(จ)

ภาคผนวก 1 ก ผักสลัดที่อายุ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก (ก) ผักสลัดพันธุ์กรีนคอส (ข) ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค (ค) ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด (ง) ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล (จ) ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

ภาคผนวก 2 ก ผักสลัดที่อายุ 3 สัปดาห์หลังย้ายปลูก (ก) ผักสลัดพันธุ์กรีนคอส (ข) ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค (ค) ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด (ง) ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล (จ) ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

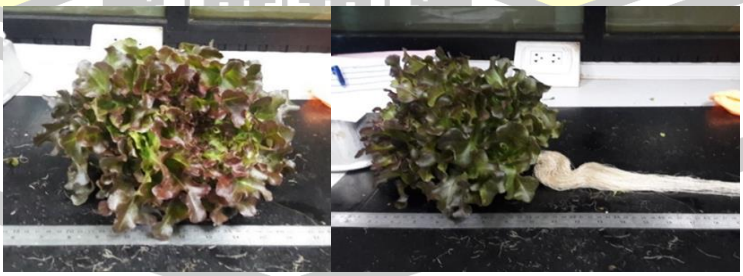
ภาคผนวก 3 ก ผักสลัดที่อายุ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก (ก) ผักสลัดพันธุ์กรีนคอส (ข) ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค (ค) ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด (ง) ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล (จ) ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค

(ก)

(ข)

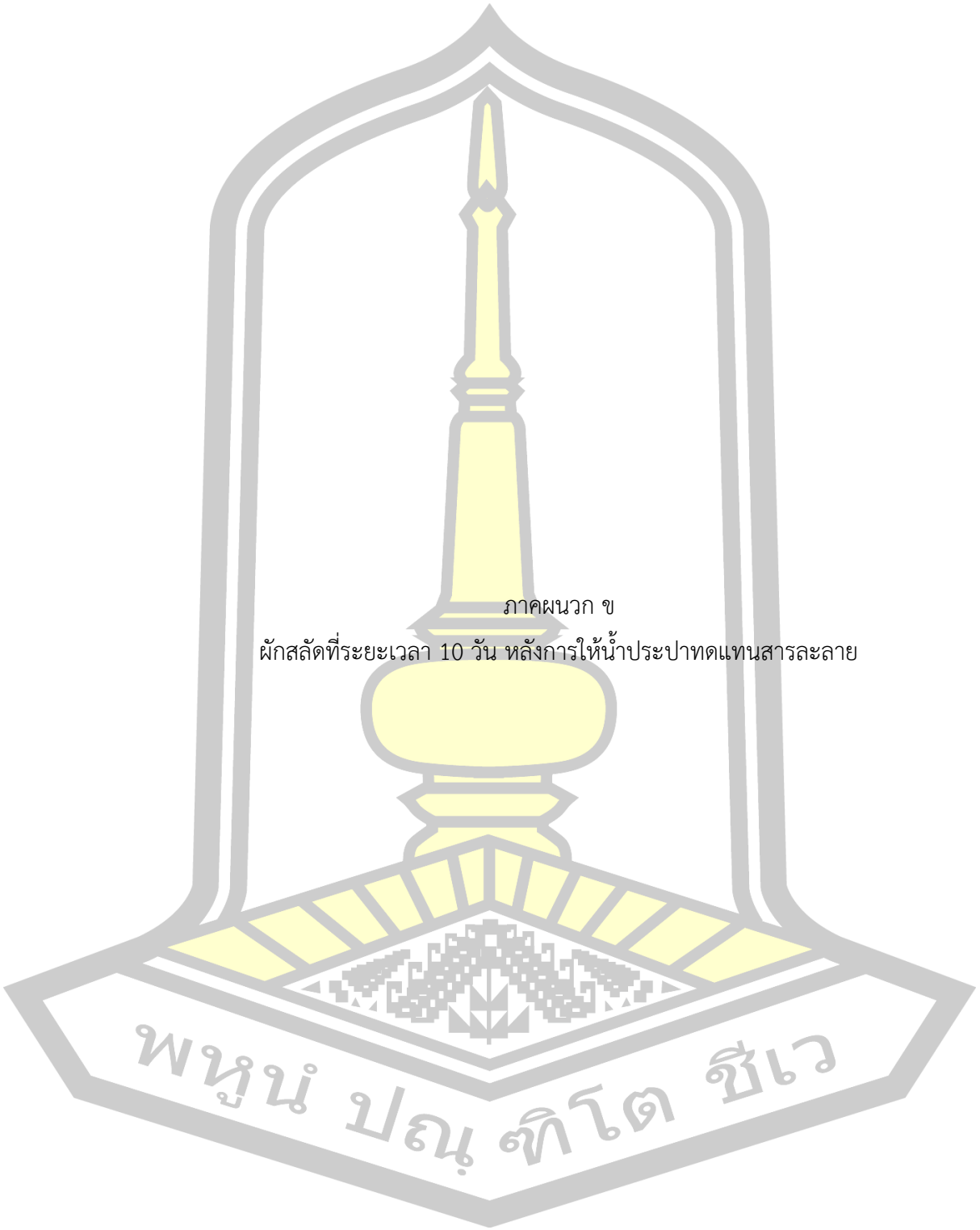
(ค)

(ง)



(จ)

ภาคผนวก 4 ก ผักสลัดที่อายุ 5 สัปดาห์หลังย้ายปลูก (ก) ผักสลัดพันธุ์กรีนคอส (ข) ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค (ค) ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด (ง) ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล (จ) ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค



ภาคผนวก ข

ผักสลัดที่ระยะเวลา 10 วัน หลังการให้น้ำประปาทดแทนสารละลาย

(ก) (ข)

(ค) (ง) (จ)

ภาคผนวก 1 ข ผักสลัดที่ระยะเวลา 10 วัน หลังการให้น้ำประปาทดแทนสารละลาย (ก) ผักสลัดพันธุ์กรีนคอส (ข) ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค (ค) ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮด (ง) ผักสลัดพันธุ์เรดคอรัล (จ) ผักสลัดพันธุ์เรดโอ๊ค

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวอริสรา ผาสุข
วันเกิด	11 ตุลาคม 2536
สถานที่เกิด	มุกดาหาร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	130 หมู่14 ตำบลโพนทราย อำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร 49000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2559 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2562 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	-
ผลงานวิจัย	-

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว