

การเจริญเติบโตและการสะสมโพแทสเซียมในผักกาดที่เลี้ยงใน
ระบบไฮโดรโปนิคส์

GROWTH AND POTASSIUM ACCUMULATION OF
LETTUCE IN HYDROPONIC SYSTEM.



พชร กัลยาสน์
พัชร แจ่มจำรัส

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2561
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GROWTH AND POTASSIUM ACCUMULATION OF
LETTUCE IN HYDROPONIC SYSTEM.



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (BIOTECHNOLOGY)
DEPARTMENT OF BIOLOGY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--------------------|--|-----------------------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมโพแทสเซียมในผักกาดที่เลี้ยงใน ระบบไฮโดรโปนิคส์ | |
| ชื่อนักศึกษา | นายเพชร กัลยาสนธ์ | รหัสนักศึกษา 58050786 |
| | นางพัชร แจ่มจรัส | รหัสนักศึกษา 58050795 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) | |
| ภาควิชา | ชีววิทยา | |
| คณะ | วิทยาศาสตร์ | |
| มหาวิทยาลัย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) | |
| ปีการศึกษา | 2561 | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.พนา โลหะทรัพย์ทวี | |

บทคัดย่อ

หนึ่งในหลักการพื้นฐานของการผลิตพืชผัก ทั้งในดิน และ ระบบไฮโดรโปนิคส์ ต่างก็ต้องมีการให้สารอาหารต่างๆที่จำเป็นต่อความต้องการของพืช จุดประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อปรับปรุงวิธีการปลูกผักกาดที่มีโพแทสเซียมและไนเตรท ต่ำ โดยทั่วไปแล้ว พืชที่เจริญในสภาวะที่มีโพแทสเซียม และไนเตรท ต่ำ ก็จะมีปริมาณโพแทสเซียม และไนเตรทอยู่ในใบนั้นต่ำด้วยเช่นกัน และยังมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชอีกด้วย ในการศึกษาครั้งนี้ ต้นผักกาดที่เลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ ด้วยเทคนิคการให้สารละลายอาหารไหลผ่านรากซึ่งวางอยู่บนรางน้ำที่เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (Nutrient Film Technique หรือ NFT) นั้นมีการเจริญเติบโตได้เร็วกว่าการปลูกในดินถึง 70 % อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate หรือ RGR) ของผักกาดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์และดิน นั้นมีค่าอยู่ที่ 0.17 และ 0.1 g/d ตามลำดับ ผักกาดในไฮโดรโปนิคส์ที่เจริญเติบโตด้วยสารละลายอาหาร Murashige and Skoog (MS) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าค่า RGR ของต้นผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ระยะเวลา 40 วันของการปลูกซึ่งเจริญเติบโตด้วยสารละลายอาหาร 1/8 MS นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันกับการเจริญเติบโตด้วยสารละลายอาหารสูตร 1/4 MS แต่ มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม และไนเตรท ในใบ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณโพแทสเซียม และไนเตรท ในใบของต้นผักกาดที่เจริญเติบโตด้วยสูตรอาหาร 1/8 MS มีค่าอยู่ที่ 3050 และ 3700 ppm ตามลำดับ แต่ทว่า การเจริญเติบโตด้วยสูตรอาหาร 1/4 MS นั้นมีค่าอยู่ที่ 4400 และ 9000 ppm ตามลำดับ การย้ายผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์ ที่อายุ 30 หรือ 40 วัน มาลงดิน แสดงให้เห็นว่าปริมาณโพแทสเซียมและไนเตรท ในใบนั้นมีแนวโน้มที่ลดลง ปริมาณโพแทสเซียมลดลงจาก 3450 ppm เป็น 2800 ppm ปริมาณไนเตรทลดลงจาก 7250 ppm เป็น 280 ppm ภายในเอกสาร ระยะเวลา 30 วัน ของการเพาะปลูกลงดินนี้วิธีการที่ดีที่สุดที่เราค้นพบในการศึกษานี้สำหรับการลดราคาไม่ว่าปริมาณโพแทสเซียมและไนเตรทในผักกาด คือ การย้ายต้นผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์ที่ให้อาหารด้วย

เทคนิค NFT มาลงในระบบไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่งที่มีสารละลายน้ำประปา เป็นระยะเวลา 5 วัน ก่อนที่จะนำไปเลี้ยงต่อในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 10g/l เป็นระยะเวลา 1 วัน และนำกลับไปเลี้ยงต่อในน้ำประปาอีกครั้งเป็นระยะเวลา 2 วัน ผลปรากฏว่า การสะสมของปริมาณโพแทสเซียมลดลงจาก 4825 ppm เป็น 2500 ppm และปริมาณไนเตรท ลดลงจาก 4250 ppm เป็น 1800 ppm ภายในระยะเวลาเพียง 8 วันเท่านั้นสำหรับการเลี้ยงด้วยวิธีนี้

คำสำคัญ : การเจริญเติบโตของผักกาด, ไฮโดรโปนิคส์, การลดโพแทสเซียม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----------------------|--|---------------------|
| Title | Growth and potassium accumulation of lettuce in hydroponic system. | |
| Students | Mr. Pachara Kunyason | Student ID 58050786 |
| | Mr. Patchra Jamjumrat | Student ID 58050795 |
| Degree | Bachelor of Science (Biotechnology) | |
| Department | Biology | |
| Faculty | Science | |
| University | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) | |
| Academic Year | 2018 | |
| Advisor | Assist. Prof. Dr. Pana Lohasupthawee | |

Abstract

One of the basic principles for vegetable production, both in soil and in hydroponic systems, is to provide all the nutrients the plant needs. The aim of this study was to improve the method of low-potassium and low-nitrate lettuce culture. Generally, a plant grown under low-potassium and low-nitrate conditions has lower potassium and nitrate content in the leaves, thus suppressing plant growth. In this study, hydroponically grown lettuce plants by the nutrient film technique (NFT) grew up to 70% faster than they would in soil. The relative growth rate (RGR) of lettuce plants in hydroponic and in soil were 0.17 and 0.1 g/d, respectively. Lettuce was hydroponically grown in different concentrations of Murashige and Skoog (MS) nutrient solution. The result showed that the RGR of hydroponically grown lettuce plants in 1/8 MS nutrient solution was similar to that of lettuce grown in 1/4 MS nutrient solution but the potassium and nitrate content in the leaves were significantly different. The potassium and nitrate content in the leaves of lettuce plants grown in 1/8 MS medium were 3050 and 3700 ppm, respectively, whereas those grown in 1/4 MS were 4400 and 9000 ppm, respectively, after 40 days of culture. Transferring 30 or 40 days of hydroponically grown lettuce plants in to the soil exhibited a similar trend to decrease potassium and nitrate contents in the lettuce leaves. The potassium content was decreased from 3450 ppm to 2800 ppm and the nitrate content was decreased from 7250 ppm to 280 ppm within 30 days of culture in soil. The best method we could find in this study to decrease the potassium and nitrate content in the lettuce leaves

was to transfer the NFT hydroponically grown lettuce plants to still water hydroponic system which was culturing in tap water for 5 days before culturing in 10g/L NaCl solution for 1 day and returned to tap water again for 2 days culture. The result showed that the potassium content was decreased from 4825 ppm to 2500 ppm and nitrate content was decreased from 4250 ppm to 1800 ppm within 8 days of treatment.

Keywords : growth of lettuce, hydroponic, reduced potassium



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ประสบความสำเร็จและผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณ พระคุณ ผศ.ดร.พนา โลหะทรัพย์ทวี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่คอยให้ความรู้ให้คำปรึกษา ให้การสนับสนุน ชี้แนะเสนอแนวทางในการจัดทำโครงการพิเศษ ทั้งยังคอยดูแลเอาใจใส่ จนโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงและเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สร้อยญา พันพฤกษ์ และ ผศ.ดร.สมชาย ไกรรักษ์ คณะกรรมการที่ คอยช่วยเหลือในการตรวจสอบ แก้ไข และแนะนำให้โครงการพิเศษฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ที่อบรมสั่งสอน คอยเลี้ยงดู ส่งเสริม สนับสนุนในสิ่งที่ข้าพเจ้า สนใจเสมอมา อีกทั้งยังคอยเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าสามารถทำโครงการพิเศษฉบับนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณพี่น้องวิทยาศาสตร์ บุคลากร ของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในส่วนของการสนับสนุนในด้านวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี เครื่องมือ ทั้งยังช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆสำหรับโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคน สำหรับการให้ข้อมูล การชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหา หรือช่วยให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆตลอดมาจนโครงการพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

พชร กัลยาสนธ์

พัชร แจ่มจรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย (TH SarabunPSK 16) | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| กิตติกรรมประกาศ | จ |
| สารบัญ | ฉ |
| สารบัญตาราง | ซ |
| สารบัญรูป | ฌ |
| คำย่อ/สัญลักษณ์ | ญ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 3 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 3 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 ชนิดของผักกาดที่ใช้ในการทดลอง | 4 |
| 2.1.1 ข้อมูลทางสันฐานวิทยาของผักกาดเขียว | 4 |
| 2.1.2 ประโยชน์และสรรพคุณผักกาด | 5 |
| 2.1.3 โภทศเสียมและสรรพคุณผักกาด | 5 |
| 2.2 ไฮโดรโปนิคส์ | 5 |
| 2.2.1 ระบบของการปลูกพืชแบบไรดิน | 6 |
| 2.3 บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารในพืช | 9 |
| 2.3.1 ลักษณะอาการเมื่อพืชได้รับธาตุอาหารน้อยหรือมากเกินไป | 12 |
| 2.4 แสง | 14 |
| 2.4.1 แสงกับการเจริญเติบโตของพืช | 14 |
| 2.4.2 หน่วยของแสงที่ใช้ในการปลูกพืช | 15 |
| 2.4.3 การนำหลอดไฟ LED มาใช้ในการปลูกผัก | 16 |
| 2.5 คลอโรฟิลล์ | 17 |
| 2.5.1 คลอโรฟิลล์ เอ | 18 |
| 2.5.2 คลอโรฟิลล์ บี | 18 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 19 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย | 22 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัย | 30 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 48 |
| เอกสารอ้างอิง | 51 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารแต่ละชนิดต่อการเจริญเติบโตของพืช | 9 |
| 2.2 ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารพืช | 13 |
| 2.3 ลักษณะอาการเมื่อพืชได้รับธาตุอาหารมากเกินไป | 13 |
| 2.4 อิทธิพลของแสงแต่ละที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในส่วนต่างๆของพืช | 17 |
| 3.1 ปริมาณแร่ธาตุที่อยู่ในอาหาร Murashige & Skoog | 24 |
| 4.1 การเจริญเติบโตของผักกาด จำนวนใบ น้ำหนัก พื้นที่ใบ และการสะสมปริมาณ โฟสเฟตเซียม และ ไนเตรท ภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน | 31 |
| 4.2 การเจริญเติบโตของผักกาด จำนวนใบ น้ำหนัก พื้นที่ใบ และการสะสมปริมาณ โฟสเฟตเซียม และ ไนเตรท ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ | 35 |
| 4.3 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ RGR (Relative Growth Rate) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของผักกาด ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยสูตรอาหาร MS 1/4 1/8 และ 1/16 | 35 |
| 4.4 การสะสมของปริมาณโฟสเฟตเซียมและไนเตรทในผักกาดที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง | 41 |
| 4.5 การสะสมของปริมาณโฟสเฟตเซียม, ไนเตรท และโซเดียม ในผักกาดที่ปลูกลงในไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่งระบบที่1 | 45 |
| 4.6 การสะสมของปริมาณโฟสเฟตเซียม, ไนเตรท และโซเดียม ในผักกาดที่ปลูกลงในไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่งระบบที่2 | 46 |
| 4.7 การสะสมของปริมาณโฟสเฟตเซียม, ไนเตรท และโซเดียม ในผักกาดที่ปลูกลงในไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่งระบบที่3 | 46 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ลักษณะทางกายภาพของผักกาดเขียวที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ | 5 |
| 2.2 Nutrient Film Technique | 6 |
| 2.3 Deep Flow Technique | 7 |
| 2.4 Dynamic Root Floating Technique | 8 |
| 2.5 Aqua Ponics | 9 |
| 2.6 แสดงค่าดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ เอ และ บี | 18 |
| 2.7 โครงสร้างคลอโรฟิลล์ เอ และ บี | 19 |
| 4.1 ต้นผักกาดที่ปลูกลงในดินภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกัน เป็นเวลา 30 วัน (ก) แสงสีม่วง (ข) แสงสีขาว (ค) แสงสีน้ำเงิน | 30 |
| 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนใบ กับ อายุของผักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิคส์ | 36 |
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักสด กับ อายุของผักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิคส์ | 36 |
| 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ใบ กับ อายุของผักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิคส์ | 37 |
| 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมของปริมาณโพแทสเซียม กับ อายุของผักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิคส์ | 37 |
| 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมของปริมาณไนเตรท กับ อายุของผักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิคส์ | 38 |
| 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าEC กับ อายุของผักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิคส์ | 38 |
| 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณโพแทสเซียม กับ จำนวนวันที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์อายุ 30 วัน | 41 |
| 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณโพแทสเซียม กับ จำนวนวันที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์อายุ 40 วัน | 42 |
| 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณโพแทสเซียม กับ จำนวนวันที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์อายุ 50 วัน | 42 |
| 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณไนเตรทกับจำนวนวันที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์อายุ 30 วัน | 43 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณไนเตรท กับ จำนวนวันที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิกส์อายุ 40 วัน | 43 |
| 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณไนเตรท กับ จำนวนวันที่ปลูกลงดิน ภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิกส์อายุ 50 วัน | 44 |
| 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น (ppm) ต่อ สูตรอาหารต่างๆของระบบที่1 | 46 |
| 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น (ppm) ต่อ สูตรอาหารต่างๆของระบบที่2 | 47 |
| 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น (ppm) ต่อ สูตรอาหารต่างๆของระบบที่3 | 47 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|------------------------------|---|
| MS | Murashige & Skoog |
| g | กรัม |
| ml | มิลลิลิตร |
| mg | มิลลิกรัม |
| °C | องศาเซลเซียส |
| ppm | Part Per Million |
| pH | การวัดภาวะความเป็นกรดหรือด่างของสารละลายในน้ำ |
| K ⁺ | โพแทสเซียม |
| NO ₃ ⁻ | ไนเตรท |
| L | ลิตร |
| cm ³ | ตารางเซนติเมตร |
| EC | Electrical Conductivity |
| mEq | ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ คิดเป็นหน่วย มิลลิอควิวาเลนต์ |
| d | Day จำนวนวันของ/อายุของต้นผักกาด |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผักกาดเป็นพืชผักชนิดใบที่นิยมกันมากในกลุ่มผู้บริโภค ซึ่งอุดมไปด้วยสารอาหารและวิตามินที่หลากหลาย โดยธรรมชาติแล้วผักกาดจะดูดซับแร่ธาตุโพแทสเซียมเป็นจำนวนมาก และมีผลทำให้ระดับโพแทสเซียมในใบสูง โพแทสเซียมเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อสุขภาพของมนุษย์และในส่วนที่ไม่ได้ใช้จะถูกกำจัดออกไปโดยไต โรคไตเรื้อรังได้กลายเป็นปัญหาด้านสุขภาพที่สำคัญทั่วโลก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดปริมาณการสะสมโพแทสเซียมในผักกาด เพื่อให้ผู้ป่วยที่เป็นโรคไตเรื้อรังซึ่งต้องได้รับปริมาณโพแทสเซียมจากอาหารในปริมาณที่จำกัด โดยทั่วไปแล้วสำหรับผู้ป่วยที่ต้องการการฟอกไตด้วยการใช้ไตเทียม สารอาหารโพแทสเซียมจะถูกจำกัดปริมาณอยู่ที่ 2000-3000 มิลลิกรัมต่อวัน และสำหรับผู้ป่วยที่ต้องการการฟอกไตทางช่องท้อง 3000 - 4000 มิลลิกรัมต่อวัน (Bajwa and Kwatra, 2013). ในผักกาดนั้นสามารถทำให้ปริมาณโพแทสเซียมลดลงได้ด้วยการนำไปต้มหรือแช่น้ำ แต่นำเสียดายที่สารอาหารชนิดต่างๆ เช่น กรด ascorbic acid และแร่ธาตุต่างๆจะเสียคุณค่าทางโภชนาการลงเมื่อนำไปผ่านกระบวนการดังกล่าว (Zhang and Rothenbacher, 2008). เนื่องจากจำนวนผู้ป่วยโรคไตที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้ความต้องการผักกาดสดที่มากพร้อมกับปริมาณโพแทสเซียมต่ำนั้นมากขึ้น ในประเทศญี่ปุ่นนั้น มีบริษัทบางแห่งมุ่งเน้นที่จะผลิตและพัฒนาผักกาดที่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำ แต่อย่างไรก็ตามยังพบบางปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นคุณภาพของพืชที่แตกต่างกัน อัตราการเจริญเติบโตของพืชที่ต่ำ และโซเดียมที่เหลืออยู่ในสารละลายหรือตะกอนที่ตกค้างอยู่ตรงบริเวณกันของถังอาหาร เพื่อปรับปรุงวิธีการผลิตผักกาดที่มีโพแทสเซียมต่ำจำเป็นต้องมีการตรวจสอบผลของการเจริญเติบโต และการสังเคราะห์แสงในสภาวะที่มีโพแทสเซียมต่ำในผักกาด

โพแทสเซียมเป็น 1 ใน 3 ของสารอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และยังมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาอีกหลายอย่าง เช่น การสังเคราะห์แสง การคายน้ำ การเจริญเติบโต และการวิวัฒนาการ (Marschner, 1995) จากการศึกษาก่อนหน้านี้ชี้ให้เห็นว่า การเจริญเติบโตของพืช และผลผลิต ที่ได้้นั้นมีการแสดงผลลัพธ์ที่ต่างกันอย่างมากจากการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในปริมาณที่แตกต่างกัน (Epron et al., 2012; Lebaudy et al., 2008) การวิเคราะห์การเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ Relative Growth Rate (RGR), ถูกนำมาใช้เพื่อให้เข้าใจความแตกต่างในความเป็นธรรมชาติของพืชที่มีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต แต่อย่างไรก็ตาม การค้นคว้านี้ ได้มุ่งเน้นไปที่เรื่องของปริมาณโพแทสเซียมลงซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของผักกาด ซึ่งยังคงมีข้อจำกัดอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้ว พืชที่เจริญในสภาวะที่มีโพแทสเซียมต่ำ ก็จะมีปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมอยู่ในใบต่ำด้วยเช่นกัน โพแทสเซียมมีบทบาทหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง รวมไปถึง บริเวณที่มีการควบคุมปากใบ การสังเคราะห์ ATP และ การกระตุ้นเอนไซม์ (Lebaudy et al., 2008; Marschner, 1995; Tombesi et al., 1969). ได้มีข้อเสนอแนะว่าการลดปริมาณโพแทสเซียมลงส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงภายในใบของต้นวอลนัทจีนนั้นลดลง (Jin et al., 2011). ได้มีการศึกษา การขาดธาตุโพแทสเซียมในต้นข้าวโพดที่มีผลทำให้ กระบวนการสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำทางปากใบลดลง และยังส่งผลทำให้ เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช (Peaslee and Moss, 1968). อย่างไรก็ตาม ได้มีงานวิจัย เรื่องการลดกระบวนการสังเคราะห์แสงแบบที่ไม่เกี่ยวกับการปิดเปิดของปากใบ ในพืชที่ขาดโพแทสเซียม (เช่น ต้นแอลมอน วอลนัทจีน และต้นฝ้าย) ซึ่งส่งผลทำให้ต้นไม้เหล่านี้ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลง เกิดการยับยั้ง PSII (ระบบแสงสอง) และ การขนส่งอิเล็กตรอน (Basile et al., 2003; Jin et al., 2011; Wang et al., 2012). จากการศึกษาที่ผ่านมา ได้มีการทดสอบผลกระทบต่างๆ จากการลดปริมาณโพแทสเซียม ต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงในผักกาด ดังนั้น จึงเป็นเรื่องยากที่จะสรุปได้ว่าต้นผักกาดที่เลี้ยงในสภาวะที่มีโพแทสเซียมต่ำจะส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์แสงนั้นลดลง หรืออาจเป็นเพราะการเปิดปิดของปากใบที่เป็นปัจจัยสำคัญในการลดกระบวนการสังเคราะห์แสงของผักกาดเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีโพแทสเซียมต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการยับยั้งการสังเคราะห์แสงอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับอายุของใบเนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ภายในต้นพืช (Marschner, 1995).

เนื่องจากผู้ที่ป่วยเป็นโรคไตบางคนต้องการที่จะรับประทานผักเช่นกันแต่ไม่สามารถที่จะรับประทานได้เนื่องจากผักบางชนิดมีปริมาณโพแทสเซียมที่สูงเกินไปซึ่งผู้ป่วยไม่สามารถรับประทานได้ เพราะผู้วิจัยคำนึงถึงจิตใจของผู้ป่วยและอิสระทางการกิน จึงได้มีการศึกษาและผลิตผักที่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำขึ้น ในการวิจัยนี้เจาะไปที่เรื่องของการลดปริมาณโพแทสเซียมลงโดยการลดปริมาณแร่ธาตุอาหารในการเพาะเลี้ยงลง ซึ่งพืชที่ได้นำมาใช้ในการศึกษาคั้งนี้คือผักกาดเนื่องจากผักกาดเป็นพืชผักชนิดใบที่นิยมกันมากในกลุ่มผู้บริโภค ที่อุดมไปด้วยสารอาหารและวิตามินที่หลากหลาย โดยธรรมชาติของผักกาดแล้ว จะดูดซับแร่ธาตุโพแทสเซียมเป็นจำนวนมากจึงเป็นที่น่าสนใจต่อการนำมาศึกษาลดปริมาณโพแทสเซียม ฉะนั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาว่าผักกาดนั้นตอบสนองอย่างไรต่ออาหารที่มีการลดปริมาณลง และ การสะสมปริมาณโพแทสเซียมในผักกาดจะมีความแตกต่างกันอย่างไรภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกันทั้งด้านการเจริญเติบโตของพืช ในการศึกษาผักกาดนี้เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงวิธีการเพาะเลี้ยงผักกาดให้มีโพแทสเซียมต่ำ ผักกาดถูกปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยสูตรสารละลายอาหาร MS เจือจางแบบ 1/4, 1/8 และ 1/16 ของปริมาณอาหาร MS แบบปกติ การลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายอาหารลงมีผลอย่างมากต่อใบที่โตเต็มที่และใบที่เจริญใหม่ในผักกาด ประการแรก มีการวัดปริมาณโพแทสเซียมที่ลดลงจากเลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกัน ใน ใบที่โตเต็มที่และใบเจริญใหม่ ประการที่สอง ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของผักกาด ต่อการใช้ปริมาณสารอาหารที่แตกต่างกัน ได้มีการวัดโดย การวิเคราะห์การเจริญเติบโต ในช่วงชีวิตต่างๆของพืช การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ลดปริมาณโพแทสเซียมลงในผักกาด โดยการลดปริมาณสารอาหารที่ใช้, การ

เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกันเพื่อดูลักษณะการเจริญเติบโตต่อการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม และ การปรับปรุงสูตรอาหารต่างๆสำหรับการเลี้ยงผักกาดให้มีปริมาณการสะสมโพแทสเซียมที่ต่ำ เพื่อสามารถนำไปพัฒนาการเพาะเลี้ยงผักกาดที่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำให้ดียิ่งขึ้นไปต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อลดปริมาณโพแทสเซียมในผักกาดด้วยวิธีการลดปริมาณสารอาหารที่ใช้เลี้ยง
- 1.2.2 เพื่อต้องการผักสำหรับผู้บริโภคที่มีปัญหาสุขภาพโรคไตเรื้อรังและกลุ่มผู้บริโภคอื่นๆ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาพัฒนาวิธีการลดปริมาณโพแทสเซียมให้ต่ำลงต่อไปในอนาคตให้ดียิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

การทดลองลดปริมาณโพแทสเซียมในผักกาดด้วยการลดปริมาณแร่ธาตุอาหารที่ใช้เลี้ยง เพื่อต้องการผักกาดที่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำหรือผักสำหรับคนที่ เป็นโรคไตเรื้อรัง (Chronic kidney disease) โดยใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 50-60 วัน โดยประมาณ และตรวจสอบหาความเข้มข้นของแร่ธาตุโพแทสเซียมในผักกาด ซึ่งจะต้องมีค่าให้น้อยมากที่สุด พร้อมทั้งศึกษาการเจริญเติบโตของพืชภายใต้สภาวะการเลี้ยงในแสงสีที่แตกต่างกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดหวังจะได้รับ

- 1.4.1 มีผักกาดที่มาจากพร้อมทั้งปริมาณโพแทสเซียมต่ำให้กับผู้ป่วยเป็นโรคไตเรื้อรังได้บริโภค
- 1.4.2 ศึกษากระบวนการลดปริมาณโพแทสเซียมโดยวิธีการใช้แสงสีที่แตกต่างกัน
- 1.4.3 สามารถนำไปผลิตต่อในระดับอุตสาหกรรมได้เพื่อให้ได้ปริมาณผักกาดที่มีคุณภาพต่อผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดของผักกาดที่ใช้ในการทดลอง

ผักกาดเขียวหรือผักกาดหัวปลี (leaf mustard) เป็นผักประเภทล้มลุก รากเป็นระบบรากแก้ว เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ใบยาวประมาณ 15-50 เซนติเมตร กว้าง 5-40 เซนติเมตร ใบที่อยู่ด้านบนอกจะมีขนาดใหญ่ ส่วนใบที่อยู่ถัดเข้าไปจะค่อย ๆ เล็กลง ดังรูปที่ 2.1 โดยธรรมชาติของผักกาดแล้วจะดูดซับแร่ธาตุโพแทสเซียมเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นที่น่าสนใจต่อการนำมาศึกษาเพื่อลดปริมาณโพแทสเซียม

2.1.1 ข้อมูลทางสัณฐานวิทยาของผักกาดเขียว (Usda., 2019)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica juncea* (L.) Czern. et Coss.

โดเมน (Eukaryota)

อาณาจักร Plantae – Plants

Subkingdom Tracheobionta – Vascular plants

Superdivision Spermatophyta – Seed plants

ไฟลัม Magnoliophyta – Flowering plants

ชั้น Magnoliopsida – Dicotyledons

Subclass Dilleniidae

อันดับ Capparales

วงศ์ Brassicaceae / Cruciferae – Mustard family

สกุล *Brassica* L. – mustard

ชนิด *Brassica juncea* (L.) Czern. – brown mustard

ที่มา <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=BRJU>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของผักกาดเขียวที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์

2.1.2 ประโยชน์และสรรพคุณผักกาด

(สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2560)

ผักกาดเขียว มีสารอาหารสูง ช่วยบำรุงสายตา มีเบต้าแคโรทีน และ วิตามิน A ช่วยป้องกันโรคตาฟาง (Blurred vision) ตาบอดกลางคืน (Night blindness) ต้อตาชนิดต่างๆ ในผู้สูงอายุได้, มีวิตามินซีช่วยบำรุงผิวพรรณ และ สารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยต้านทานการเกิดโรคมะเร็ง, มีแคลเซียมป้องกันโรคกระดูกพรุน มีเส้นใยอาหารและไฟเบอร์ ช่วยให้เรื่องของระบบการขับถ่าย ดีต่อสุขภาพ

2.1.3 โปแทสเซียมกับผู้ป่วยโรคไต (ภาณุพงศ์, 2561)

โปแทสเซียม มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจ รักษาสมดุลของน้ำ หน้าที่ของไต จะกรองเอาสารอาหารที่มีประโยชน์กลับขึ้นไปดูแลร่างกายผ่านกระแสเลือด และแยกเอาสารอาหารที่เกินความจำเป็นออกไป ผู้ที่เป็นโรคไตเรื้อรังจะมีประสิทธิภาพในการขับโปแทสเซียมลดลงจึงทำให้เกิดการคั่งของโปแทสเซียมในเลือดและน้ำในร่างกาย หากไตเสื่อมไตจะกรองเอาโปแทสเซียมออกจากร่างกายได้น้อยลง ทำให้เกิดภาวะโซเดียมมากเกินไป (hyperkalemia) ระดับสูงกว่า > 5.0 mEq/L ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบร่างกายและ หัวใจได้ หัวใจเต้นเร็วผิดปกติและล้มเหลวในที่สุด

2.2 ไฮโดรโปนิคส์ (อานัฐ, 2548)

คำว่า Hydroponics มาจากการรวมคำในภาษากรีกสองคำ คือ คำว่า “Hydro” หมายถึง “น้ำ” และ “Ponos” หมายถึง “งาน” ซึ่งเมื่อรวมคำสองคำเข้าด้วยกัน “Water-working” หรือ หมายถึง “การทำงานของน้ำที่มีสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืช” เป็นวิธีการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดิน ซึ่งจะไม่ใช้ดินเป็นวัสดุในการเพาะปลูก แต่จะมีการใช้วัสดุปลูกแทนดิน เช่น หินเพอร์ไลท์ ฯลฯ โดยพืชสามารถเจริญเติบโตได้ด้วยการรับสารละลายอาหาร ซึ่งจะเป็นอาหารที่มีน้ำผสมกับไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยซึ่งจะประกอบไปด้วยแร่ธาตุต่างๆ (Nutrient Solution) ที่พืชต้องการผ่านทางราก โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารละลายอาหารโดยตรง (Water culture)

2.2.1 ระบบของการปลูกพืชแบบไรดิน (ไฮโดรโปนิคส์) (อานันท์, 2548)

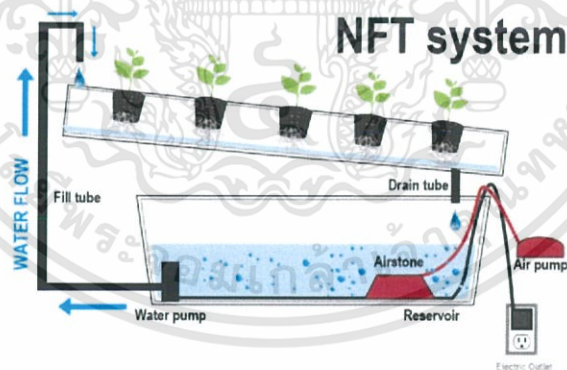
ระบบไฮโดรโปนิคส์ มีด้วยกันถึง 6 ระบบคือ

1. NFT (Nutrient Film Technique),
2. NFLT (Nutrient Flow Technique),
3. DFT (Deep Flow Technique),
4. DRFT (Dynamic Root Floating Technique),
5. FAD (Food and Drain)
6. Aqua Ponics

1.) NFT (Nutrient Film Technique)

คือ การปลูกแบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากเป็นแผ่นน้ำบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (ความสูงของน้ำ 2-3 มิลลิเมตร) ในรางปลูกพืชกว้างตั้งแต่ 5-35 เซนติเมตร ขึ้นกับชนิดของพืชที่ปลูก รางน้ำสูงประมาณ 5 เซนติเมตร ความยาวของรางน้ำตั้งแต่ 5-20 เมตร แต่โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 10 เมตร เพราะจะทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนระหว่างหัวและท้ายของรางน้ำได้ ดังรูปที่

2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบและการทำงานของระบบ

NFT (Nutrient Film Technique),

ภาพจาก <http://utahaquatics.com/how-does-a-hydroponic-system-work/>

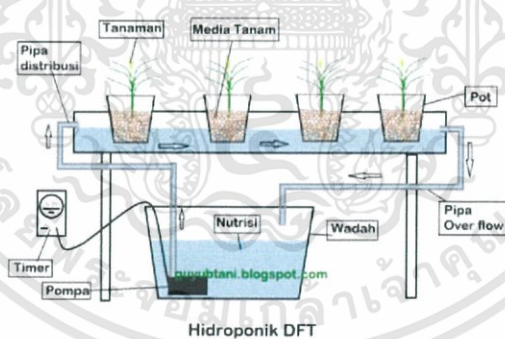
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) NFLT (Nutrient Flow Technique)

คือ การปลูกแบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชแบบแผ่นหนาบนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง ระดับความลึกของสารละลายประมาณ 5-10 มิลลิเมตร จะมีลักษณะคล้ายการทำงานของระบบ NFT (Nutrient Film Technique) ต่างเพียงความสูงของน้ำในรางเพาะปลูก รากพืชจะได้รับออกซิเจนขณะน้ำไหลผ่าน

3.) DFT (Deep Flow Technique)

คือ การปลูกแบบให้รากแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารลึกประมาณ 15- 20 เซนติเมตร โดยจะมีการปลูกพืชบนแผ่นโฟมหรือวัสดุที่ลอยน้ำได้ มีการยึดลำต้นแต่จะปล่อยให้รากเป็นอิสระในน้ำ ระบบนี้ไม่มีความลาดเอียงเป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารโดยการใช้ปั๊มดูดสารละลายธาตุอาหารจากถังพักขึ้นมาใช้ใหม่ในระบบ เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับระบบน้ำที่ใช้ในการผลิตผัก ดังรูปที่ 2.3 ระบบนี้อาจมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบไฮโดรโปนิคส์ลอยน้ำ (Floating Hydroponic Systems). การปลูกแบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในภาชนะ หรือรางน้ำที่ปลูกในระดับลึก ซึ่งจะมีการใช้น้ำในปริมาณที่มากกว่าการปลูกในแบบ NFT (Nutrient Film Technique).



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบและการทำงานของระบบ DFT (Deep Flow Technique)

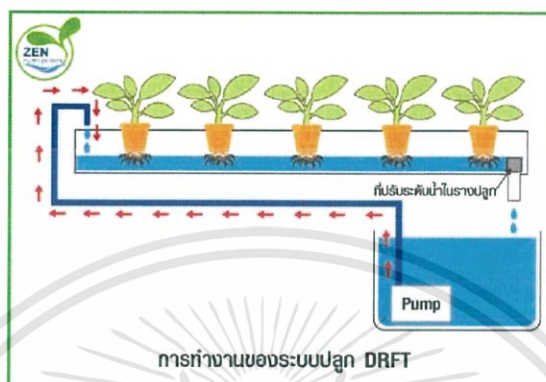
ภาพจาก <http://guyubtani.blogspot.com/2016/05/cara-bertanam-hidroponik-dft-deep-flow-technique.html>

4.) DRFT (Dynamic Root Floating Technique)

เป็นระบบที่มีการทำงานเช่นเดียวกับระบบ NFT คือจะเป็นอาหารที่มีน้ำผสมกับปุ๋ย ซึ่งจะประกอบไปด้วยแร่ธาตุต่างๆไหลผ่านรากพืชในรางปลูก แต่ระดับน้ำที่ไหลผ่านรากพืช

นั้นจะมีความลึกมากกว่าระบบ NFT ดังรูปที่ 2.4 โดยระดับน้ำที่ไหลผ่านรากนั้นจะมีความลึกอยู่ที่ประมาณ 1 - 10 ซม. ระบบนี้ได้แก้ไขข้อจำกัดของระบบ NFT ตรงที่เมื่อไฟฟ้าขัดข้องจน

ไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ปั๊มน้ำได้ก็จะยังคงมีน้ำที่ใช้ปลูกพืชเหลือค้างบางส่วนในรางปลูกทำให้รากพืชไม่ขาดน้ำในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ระบบ DRFT นี้ผู้ปลูกจะต้องมีการปรับลดระดับน้ำในรางปลูกเช่นเดียวกับระบบ DFT เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณอากาศที่รากเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบและการทำงานของระบบกึ่งน้ำลึก DRFT (Dynamic Root Floating Technique)

ภาพจาก <http://zen-hydroponics.blogspot.com/2014/11/blog-post.html>

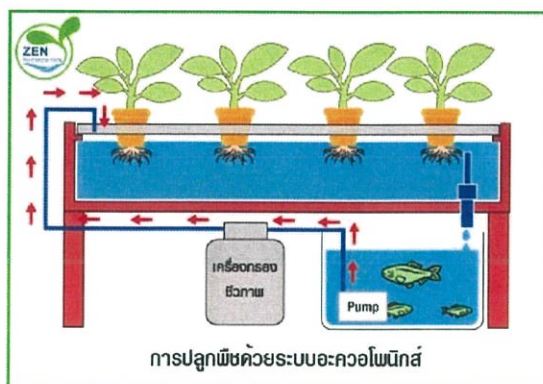
5.) FAD (Food and Drain)

การปลูกพืชที่มีรูปแบบผสมผสานระหว่าง NFT และ DFT เป็นการให้สารละลายธาตุอาหารแบบท่วมรากอยู่ระยะเวลาหนึ่ง และระบายออกระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นจึงให้สารละลายท่วมรากอีกครั้ง สลับเช่นนี้เป็นระยะอย่างต่อเนื่องจนถึงระยะการเก็บเกี่ยว

6.) ระบบอควาโพนิกส์ (Aqua Ponics)

เป็นระบบการปลูกแบบรากแช่ในสารละลายธาตุอาหาร แบบเดียวกับระบบการปลูกทั้ง 5 แบบที่กล่าวมาข้างต้น แต่จะแตกต่างออกไปตรงที่มีการนำน้ำหรือสารละลายอินทรีย์มาใช้หมุนเวียนในการปลูกพืชเป็นน้ำที่ได้มาจากการเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น ปลา, ปู, กุ้ง, หอย ฯลฯ และมีการเพิ่มระบบการกรองทางชีวภาพที่จะใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายเศษอาหาร ดังรูปที่ 2.5 ที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำรวมถึงมูลของสัตว์น้ำ ผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยแบคทีเรียเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนโตรเจน แก่สารละลายธาตุอาหาร เพื่อประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของระบบอะควาโพนิกส์ (Aqua Ponics)
ที่มา <http://zen-hydroponics.blogspot.com/2014/11/blog-post.html>

2.3 บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารในพืช (ลิลลี่ และตรีสม, 2548)

พืชต้องการธาตุอาหารชนิดต่างๆ ในการเจริญเติบโตและการพัฒนา เพื่อให้กิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีพเป็นไปด้วยดี ธาตุอาหารเหล่านี้จึงมีบทบาทต่อการเจริญของพืชทั้งในด้านเป็นแหล่งให้พลังงาน ควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ในเซลล์ และการสร้างเซลล์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 หน้าที่ของธาตุอาหารโดยทั่วไป ได้แก่

- (1). เป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างเซลล์เช่น ผงเซลล์ (C) เซลลูโลส (C, H และ O) โปรตีน (N และ S) กรดอะมิโน และฟอสโฟลิพิด (N และ P) เป็นต้น
- (2). เป็นองค์ประกอบสำคัญของ ADP และ ATP ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานในพืช เป็นองค์ประกอบของ chlorophyll a ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) และ chlorophyll b ($C_{55}H_{70}O_5N_4Mg$) (Mg)
- (3). เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์และโคเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์ทุกชนิดเป็นโปรตีน ส่วนโคเอนไซม์มักมีธาตุ S เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ
- (4). เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชีวเคมี (catalyst) ของเอนไซม์ต่างๆ เช่น Mg, Zn, Ca, Cu, Fe และ K
- (5). รักษาความเต่งของเซลล์ โดยธาตุ K ในเซลล์คุมของปากใบ (guard cell) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเปิดและปิดของปากใบ (stomatal opening)

ตารางที่ 2.1 บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารแต่ละชนิดต่อการเจริญเติบโตของพืช

| ธาตุ | บทบาทและหน้าที่ |
|----------|---|
| คาร์บอน | เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ |
| ไฮโดรเจน | เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบอินทรีย์ |
| ออกซิเจน | เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบอินทรีย์ |
| ไนโตรเจน | - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไทด์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ทำกรณีใดๆ ทั้งสิ้น - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไทด์เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญคลอโรฟิลล์ - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอัลคาลอยด์ - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโคเอนไซม์ - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของฮอร์โมน (IAA และไซโตไคนิน) - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญเป็นของ ATP, ADP และ AMP |
| ฟอสฟอรัส | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ sugarphosphate - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญนิวคลีโอไทด์ - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญฟอสโฟลิพิดของเยื่อหุ้มเซลล์ - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ATP, ADP และ AMP - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ phosphorylated organic acid |
| โพแทสเซียม | <ul style="list-style-type: none"> - เป็น osmoregulatory - กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์มากกว่า 60 ชนิด - เป็น activator ของเอนไซม์ในการสังเคราะห์แสงและกระบวนการหายใจ - เป็น activator ของเอนไซม์ในการสังเคราะห์แป้งและโปรตีน - เป็น activator ของเอนไซม์ในการสังเคราะห์แป้งและโปรตีน |
| แคลเซียม | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบของมิตเดิลลาเมลลาของผนังเซลล์ - มีบทบาทในการสร้าง spindle fiber - รักษาสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ - กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์โดยจับกับ calmodulin - เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ในกระบวนการไฮโดรไลซิสของ ATP และฟอสโฟลิพิด - ทำหน้าที่เป็น second messenger ที่ทำให้เกิด protein phosphorylation |
| แมกนีเซียม | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ - ทำหน้าที่ในการเชื่อม ATP กับ active site ของเอนไซม์ - เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาเคมี phosphorylation - กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ DNA และ RNA - กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการหายใจ - กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการ CO₂ assimilation - (RuBP carboxylase และ pep carboxylase) - รักษาโครงสร้างของ ribosome |
| กำมะถัน | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน 3 ชนิด คือ ซีสทีน ซีสเทอีน และ เมทไธโอนีน - เป็นองค์ประกอบของโปรตีน - เป็นองค์ประกอบของวิตามิน (ไทอะมิน และ ไบโอติน) - เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ เอ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งมีค่าและหากท่านนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น กรุณาแจ้งผู้ดูแลระบบของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบของ iron-sulfur protein (การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการตรึงไนโตรเจน) - เป็นองค์ประกอบของ mustard oil (thiocyanate และ isothiocyanate) |
| เหล็ก | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของรีดอกซ์เอนไซม์และโปรตีนในการส่งผ่านอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง การหายใจ และการตรึงไนโตรเจน ได้แก่ heme-containing cytochrome, non-heme iron-sulfur proteins (เช่น Rieske protein, ferredoxin) |
| แมงกานีส | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของ chloroplast membrane |
| สังกะสี | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์มากกว่า 80 ชนิด เช่นคาร์บอนิกแอนไฮเดรส แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส pyridine nucleotide dehydrogenase - กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (รีดิวซ์ acetaldehyde ให้ ethanol) - กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรส (hydration คาร์บอนไดออกไซด์ ให้ไบคาร์บอเนต) - การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลาย - การสังเคราะห์ออกซิเจน (การขาดสังกะสีทำให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ tryptophan synthetase ลดลง → tryptophan ลดลง → ออกซิเจนลดลง) |
| ทองแดง | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบของพลาสโตไซยานิน ซึ่งเป็น chloroplast protein - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดสในไมโทคอนเดรีย - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ polyphenoloxidases (phenolase) (ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิด สีน้ำตาล (browning) ที่ผิวแอปเปิ้ลหรือมันฝรั่ง) - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ superoxide dismutase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วย detoxify superoxide radical (O_2^-) - เป็นโคแฟกเตอร์ของ oxidative enzyme หลายชนิดเช่น ascorbic acid oxidase และ cytochrome oxidase (เอนไซม์ตัวสุดท้ายของ oxidase enzyme ในกระบวนการหายใจในไมโทคอนเดรีย) |
| โบรอน | <ul style="list-style-type: none"> - รักษาสภาพของผนังเซลล์โดยร่วมกับหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำตาลแมนโนสหรือน้ำตาลอื่นๆ (ยกเว้นกลูโคส ฟรุกโตส กาแลคโตส และซูโครส) ในผนังเซลล์ - การแบ่งเซลล์ที่บริเวณ apical meristem - การยืดยาวของเซลล์ - กระตุ้นการงอกและการยืดยาวของ pollen tube - การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ภายใต้การพิจารณาของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้อ่านและผู้รับใช้ต้องปฏิบัติตามและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|------------|--|
| โมลิบดีนัม | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ไนเทรตรีดักซ์เตส - เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ ไดไนโตรจีเนส - เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ xanthine dehydrogenase - เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ oxidase |
| คลอรีน | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบ เช่น 4- chlorindoleacetic acid ซึ่งเป็นออกซินชนิดหนึ่ง - จำเป็นสำหรับกระบวนการ photosynthetic O₂ evolution (photosynthetic split/oxidation of H₂O) - จำเป็นสำหรับการแบ่งเซลล์ที่ราก ใบ และ ยอด - เป็น osmoregulatory ใน vacuole (osmotically active solute in the vacule) - รักษาสมดุลประจุของเซลล์ (maintaining electrical neutrality across membrane) |
| นิเกิล | <ul style="list-style-type: none"> - เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ยูรีเอส - เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ hydrogenase |

2.3.1 ลักษณะอาการเมื่อพืชได้รับธาตุอาหารน้อยหรือมากเกินไป

เมื่อพืชได้รับธาตุอาหารน้อยกว่าปริมาณที่ต้องการ พืชจะแสดงลักษณะอาการผิดปกติ ซึ่งลักษณะอาการดังกล่าวนี้จะเป็นลักษณะที่เฉพาะของธาตุนั้นๆ ตารางที่ 2.2 พืชจะได้รับคาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจนจากอากาศ และน้ำในปริมาณที่มากเกินไปพอสมควร ดังนั้น จะไม่เคยพบลักษณะอาการขาดธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้ นอกจากนี้คลอรีนก็เป็นอีกธาตุหนึ่งที่พืชมักจะขาดเพราะคลอรีนมักจะปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม ในสภาพธรรมชาติพืชอาจจะขาดธาตุต่างๆ หลายธาตุพร้อมกัน หรือในบางครั้งอาจจะมีลักษณะอาการที่ได้รับธาตุบางธาตุมากเกินไป ตารางที่ 2.3 ร่วมด้วย ดังนั้นในการประเมินการขาดธาตุโดยดูจากลักษณะอาการจะต้องอาศัยความชำนาญมิฉะนั้นอาจจะผิดพลาดได้

ลักษณะทั่วไปของอาการขาดธาตุอาหารพืช คือ

- (1). เกิด chlorosis ที่ใบหรือลำต้นเนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์
- (2). เกิด necrosis (เนื้อเยื่อตายเป็นหย่อมๆ)
- (3). แคระแกร็น
- (4). เหี่ยว
- (5). รูปร่างผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารพืช

| ธาตุ | ลักษณะอาการขาด |
|------------|---|
| ไนโตรเจน | ใบเหลือง (chlorosis) ทั้งใบ เกิดที่ใบแก่ก่อน อาจจะมีสีแดงก้านใบ หรือเกิดใบเหลืองทั้งต้น แคระแกร็น |
| ฟอสฟอรัส | ใบมีสีเขียวเข้ม อาจจะมีสีแดงหรือสีม่วงที่ใบหรือก้านใบ ต้นแคระแกร็นเกิดที่ใบแก่ก่อน |
| โพแทสเซียม | ใบเหลือง ของใบ-ปลายใบไหม้ เนื้อเยื่อใบตายเป็นหย่อมๆ (necrotic spot) เกิดที่ใบแก่ก่อน |
| แคลเซียม | เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด-ปลายรากตาย ใบอ่อนหงิกงอ ปลายใบ-ขอบใบ เหี่ยว ทำให้ผลผิดปกติ เช่นทำให้ผลมะเขือเทศเกิดอาการ blossom-endrot |
| แมกนีเซียม | ใบเหลืองระหว่างเส้นใบ-เส้นใบเขียวเนื้อเยื่อใบตายเป็นหย่อมๆ ในไม้ยืนต้นบริเวณของใบที่ยังคงมีสีเขียวอาจจะเป็นรูปตัววี (V-shape หรือ arrowhead) เกิดที่ใบแก่ก่อน |
| กำมะถัน | ใบเหลืองทั้งใบเกิดที่ใบอ่อนก่อน หรือเกิดใบเหลืองทั้งต้น |
| เหล็ก | ใบเหลืองระหว่างเส้นใบ-เส้นใบเขียว เกิดที่ใบอ่อนก่อน ถ้าอาการรุนแรงใบอ่อนอาจจะมีสีขาวและแห้งตาย (necrosis) |
| แมงกานีส | ใบเหลืองระหว่างเส้นใบ-เส้นใบเขียว (interveinal chlorosis) เนื้อเยื่อใบตายเป็นหย่อมๆ หรือเป็นลายตามยาว เกิดที่ใบอ่อนก่อน |
| สังกะสี | ใบเล็ก รวมกันเป็นกระจุก (rosette) ใบเหลืองเป็นหย่อมๆ |
| ทองแดง | ใบอ่อนเหลือง ใบอ่อนตาย เกิดอย่างไหลในพืชตระกูลส้ม |
| โบรอน | เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด-ปลายรากตาย แตกตาข้างมาก ก้านใบแตก รากสะสมอาหารกลาง |
| โมลิบดีนัม | ใบมีสีอ่อน ขอบใบไหม้ ใบฉีกขาด |
| คลอรีน | ใบเหลืองระหว่างเส้นใบ-เส้นใบเขียว เส้นใบยกขึ้น เกิดที่ใบอ่อนก่อน |

ตารางที่ 2.3 ลักษณะอาการเมื่อพืชได้รับธาตุอาหารมากเกินไป

| ธาตุ | ลักษณะอาการที่พืชได้รับธาตุอาหารมากเกินไป |
|---------------------|--|
| ไนเตรต-ไนโตรเจน | ขอบใบไหม้ อาจเกิดใบเหลืองระหว่างเส้นใบ - เส้นใบเขียว |
| แอมโมเนียม-ไนโตรเจน | Necrosis ปลายใบ-ขอบใบมีสีดำ อาจพบรากตาย |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------|--|
| พอสפורัส | ใบอ่อนเหลืองระหว่างเส้นใบ-เส้นเขียว ใบตาย (necrosis) ขอบใบไหม้ |
| แมงกานีส | ใบเหลืองโดยเริ่มเกิดจากขอบใบของใบแก่ |
| โบรอน | ใบเหลืองระหว่างเส้นใบ-เส้นใบเขียว ลักษณะอาการที่ปรากฏระยะแรกจะเป็นจุดๆ |
| คลอรีน | ใบเหลือง ขอบใบไหม้ ขอบใบม้วนขึ้นใบเป็นมันวาว ใบร่วง |

ธาตุอาหารที่จำเป็นทั้ง 17 ธาตุมีบทบาทสำคัญสำหรับการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของพืชถ้าพืชได้รับธาตุต่างๆ เหล่านี้ไม่เพียงพอ พืชจะแสดงลักษณะอาการผิดปกติ หรือถ้าได้รับมากเกินไปพืชจะแสดงอาการเป็นพิษ ซึ่งอาจจะทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตจนครบ วัฏจักรได้

2.4 แสง (Light) (ศรีสม, 2548)

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีคุณสมบัติเป็นทั้งคลื่น (wave) และอนุภาค (particle) อนุภาคของพลังงานแสงเรียกว่า โฟตอน (photon) พลังงานของโฟตอนขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสง กล่าวคือ โฟตอนของแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นมีพลังงานสูงกว่าโฟตอนของแสงที่มีความยาวคลื่นสูงกว่า เช่น โฟตอนของแสงสีม่วง (แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุดใน visible light) มีพลังงานมากกว่าโฟตอนของแสงสีแดง (แสงที่มีความยาวคลื่นยาวที่สุดใน visible light) ประมาณ 2 เท่า ชนิดของแสงที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงคือ visible light ซึ่งเป็นแสงที่ตามองเห็น visible light เป็นเพียงส่วนหนึ่งของ electromagnetic spectrum มีความยาวคลื่นระหว่าง 380 -760 นาโนเมตร แสงที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงมากที่สุด คือ แสงสีแดงและแสงสีน้ำเงิน และแสงที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงน้อยที่สุด คือ แสงสีเขียว แสงที่อยู่ในช่วงของ visible light นี้สามารถกระตุ้น biological molecule และทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากโมเลกุลไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงขึ้นได้เมื่ออิเล็กตรอนที่ระดับพลังงานปกติ (ground state) ดูดซับพลังงานแสงและไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า (excited state) อิเล็กตรอนอาจจะกลับมาที่ระดับพลังงานปกติและมีการคายพลังงานออกมาในรูปของความร้อนหรือแสงที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น หรืออิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้น

2.4.1 แสงกับการเจริญเติบโตของพืช

แสงมีความสำคัญและความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ แสงสามารถ อธิบาย ได้ดังนี้

- เชนปริมาณ (ความเข้มของแสง)

หมายถึง ปริมาณทั้งหมดที่พืชได้รับ ซึ่ง ความเข้มของแสงจะแตกต่างกันตามพื้นที่ เวลา ฤดูกาล อิทธิพลของความเข้มของแสงต่อการเจริญเติบโต ของพืช คือ ความเข้มของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่เหมาะสม โดยมีปัจจัยอื่น ๆ เหมาะสมและการหายใจเป็นปกติ ระดับความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป อาจแบ่งพืชตามความต้องการความเข้มของแสงออกได้เป็น ความเข้มของแสงที่สูงเกินไป จะทำให้พืชบางชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง หรือคลอโรฟิลล์มี ประสิทธิภาพที่ต่ำลง อุณหภูมิของใบเพิ่มขึ้น และยังเป็นผลให้ระบบเอนไซม์ลดการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้งลง ทำให้พืชมีการสะสมน้ำตาลแทนแป้ง และทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง

- เชิงคุณภาพ (ความยาวคลื่นของแสง)

หมายถึง ความยาวของคลื่นแสง ซึ่ง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ คลื่นแสงที่มองไม่เห็น (Invisible light) ได้แก่ แสงเหนือม่วง (Ultra Violet, UV) ซึ่งเป็นตัวการในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และ แสงสี Far Red ซึ่งจะทำให้ ปล้องของพืชยืดยาวออก คลื่นแสงที่มองเห็น (Visible light) ความยาวคลื่น โดยแต่ละช่วงความ ยาวคลื่นจะมีสีต่างกัน แสงในกลุ่มนี้จะมีผลต่อพืช คือ - แสงสีม่วงและสีน้ำเงิน เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อแสงที่เรียกว่า Phototropism - แสงสีเขียว ระวังการเจริญเติบโตของพืช - แสงสีเหลืองและสีส้ม เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด - แสงสีแดง ส่งเสริมการงอกของเมล็ด - แสงสี Far Red ยับยั้งการงอกของเมล็ด ช่วงแสง ระยะเวลาของแสงในแต่ละวัน ซึ่งช่วงแสงในแต่ละวัน จะแตกต่างกันไปตามฤดูกาลและท้องถิ่น โดยทั่วไปช่วงแสงจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตด้านลำต้น, การปฏิสนธิของพืช และการตอบสนองของพืชต่อช่วงแสง

2.4.2 หน่วยวัดของแสง ที่ใช้ในการปลูกต้นไม้

1.) Lumen ,Lux

เหมาะสำหรับการวัดแสงที่ใช้กับตามนุษย์ แสงในช่วง 400nm-700nm มนุษย์สามารถมองเห็นได้หรือเรียกว่า visible light แต่ตามนุษย์ตอบสนองได้ดีกับแสงในช่วงสีเขียวและเหลือง(ประมาณ500 nm จนถึง 600 nm) ส่วนแสงที่สีอื่น พืชตอบสนองได้ไม่ดีตามที่ควร เช่น เซอร์วัดแสงในหน่วย Lumen และ Lux จึงออกแบบมาให้วัดค่าการตอบสนองในช่วงแสงสีเหลืองและเขียวได้ ซึ่งแสงในช่วงนี้สำหรับพืชแล้วไม่ใช่แสงที่พืชตอบสนองได้ดีที่สุด

2.) Photosynthetically Photon Flux Density PPF (ธนาพร, 2560)

คือการวัดว่าพืชได้รับแสงที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงเป็นปริมาณเท่าไร ซึ่งมีหน่วยเป็น $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) Daily Light Integral DLI (ธนาพร, 2560)

คือการวัดจำนวนอนุภาคของแสงหรือโฟตอนที่ตกต่อพื้นที่ (1 meter x 1 metwe) ต่อวัน มีหน่วยเป็น $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ หากเป็นการปลูกต้นไม้แบบในร่มหรือโรงเรือน คำนี้อาจมีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้ทราบได้ว่าสามารถเปิดไฟปลูกต้นไม้เป็นเวลาชั่วโมงต่อวันเพื่อให้พืชได้รับค่า DLI ที่เพียงพอในช่วงของความยาวคลื่นระหว่าง 400-700 nm ซึ่งเป็นช่วงที่ให้พลังงานในการสังเคราะห์แสง ซึ่งโมลของแสงเป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 6.022×10^{23} ซึ่งเป็นค่าที่เยอะมาก กำหนดให้ 1 mol เท่ากับ 6.022×10^{23} โฟตอน

4.) Light-emitting diode grow light (นภัทร และไชยยันต์, 2560)

LED Grow Light คือหลอดไฟที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับปลูกต้นไม้ การที่ใช้ LED เฉพาะความยาวของคลื่นแสงที่ต้องการได้ โดยความยาวของคลื่นแสงที่นำมาใช้คือ ประมาณ 430 - 460 nm (แสงสีน้ำเงิน) และ 630 - 660 nm (แสงสีแดง) เพราะ ความยาวของคลื่นแสงในช่วงนี้เหมาะสำหรับการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโต ของ ต้นไม้ มากที่สุด

5.) ประโยชน์ของ LED GROW LIGHT (นภัทร และไชยยันต์, 2560)

- ให้แสงสว่างกับพืช ผัก และผลไม้ ได้ตลอดเวลาช่วยให้เติบโตได้ดี
- เร่งการเจริญเติบโตของพืช
- ได้ผลผลิตรวดเร็วและเพิ่มมากขึ้น
- ปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เหมาะสำหรับการเพาะปลูกในโรงเรือน อาคาร คอนโด บ้านเรือน
- ประหยัดพลังงาน

2.4.3 การนำหลอดไฟ LED มาใช้การปลูกผัก (Mazaki, 2561)

การเลือกใช้แสงเทียมในการปลูกต้นไม้ เพื่อแก้ไขปัญหาวิกฤตอากาศ แปรปรวน เช่น ฝนตก หรือ แสงแดดไม่เพียงพอ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุดควรพิจารณาสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้โดยในแต่ละความยาวคลื่นแสง ในแต่ละสีจะส่งอิทธิพลในการเจริญเติบโตของพืช ในแต่ละส่วนต่างๆที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.4

- คุณภาพของแสง(ความยาวคลื่นแสง)หรือสเปกตรัมแสง ซึ่งควรมีสเปกตรัมแสงครบทุกช่วงแสง ตั้งแต่ 400 ถึง 700 นาโนเมตร(แสงสีขาว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาณของแสง (ความเข้มแสง) ยังมีค่ามากพืชจะเจริญเติบโตได้ดี แต่ถ้ามากเกินไปจนถึงจุดหนึ่งจะเกิดผลเสียกับพืชได้

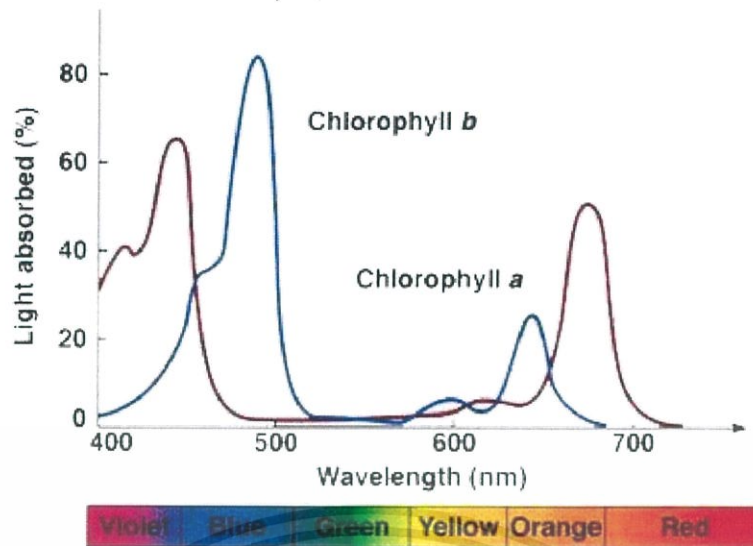
ตารางที่ 2.4 แสดงอิทธิพลของแสงแต่ละที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในส่วนต่างๆของพืช

| สี | ความยาวคลื่น(นาโนเมตร) | คุณลักษณะ |
|---------------------|------------------------|---|
| แดงไกล (Far Red) | 761-810 | มีผลในการยับยั้งการงอกของเมล็ด |
| แดง | 648-760 | ช่วยสังเคราะห์แสง เป็นสีที่พืชดูดซับมากที่สุด และยังส่งผลต่อการออกดอกของพืช |
| ส้ม | 589-627 | ดีที่สุดสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด |
| เหลือง | 566-589 | มีความจำเป็นน้อย แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสง |
| เขียว | 493-535 | มีผลในการระงับการเจริญเติบโตของพืช แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสง |
| น้ำเงิน | 426-492 | การสังเคราะห์แสงให้พืชเบนเข้าหาแสงของพืช |
| คราม | 411-425 | |
| ม่วง | 390-410 | |

2.5 คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) (ปราโมทย์, 2551)

คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดง แต่สามารถดูดกลืนช่วงคลื่นแสงสีเหลืองและแสงสีเขียวได้น้อย ดังนั้นเมื่อได้รับแสงจะดูดกลืนเพียงแสงสีน้ำเงินและสีแดง ส่วนแสงสีเขียวที่ไม่ได้ถูกดูดกลืนจึงได้สะท้อนออกมาเป็นแสงสีเขียว ทำให้เห็นคลอโรฟิลล์เป็นสีเขียว ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงค่าดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์เอ และ บี
ที่มา <http://www.thaigoodview.com/node/18097>

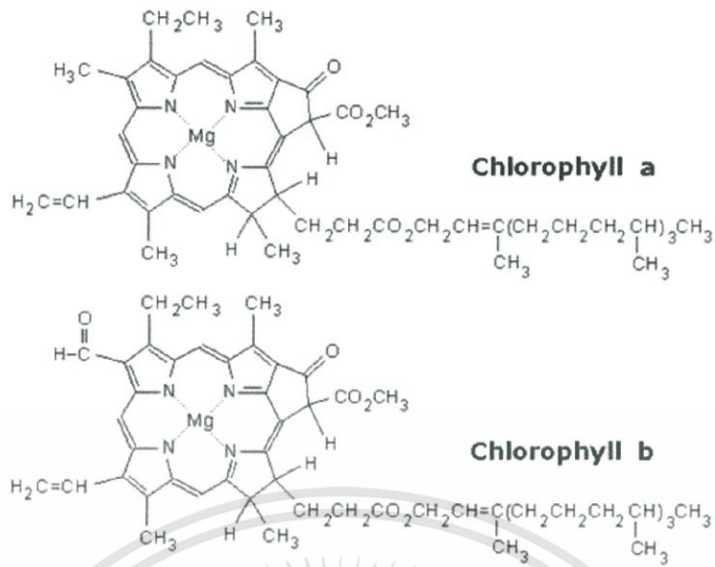
2.5.1 คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a)

พบในพืชทุกชนิดจัดเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นต้น (primary pigment) ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงโดยตรง โดยจะดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่น 430 นาโน เมตร (แสงสีน้ำเงิน) และ 662 นาโนเมตร (แสงสีแดง)

2.5.2 คลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b)

ทำหน้าที่ดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่น 453 นาโนเมตรและ 642 นาโนเมตร จากความแตกต่างระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) และคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) ดังรูปที่ 2.7 คือ ที่วงแหวนไพรอล วงที่สองของคลอโรฟิลล์ เอ มีไฮดรอกซิล (-OH) ส่วนของคลอโรฟิลล์ บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ (-CHO) การที่โครงสร้างโมเลกุลคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.7 ทำให้คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงต่างกันด้วย จึงทำให้คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี มีสีต่างกันเล็กน้อย โดยที่คลอโรฟิลล์ เอ จะมีสีเขียวเข้ม ส่วนคลอโรฟิลล์ บี มีสีเขียวอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างคลอโรฟิลล์ เอ และ บี

ที่มา <https://www.thaibiotech.info/what-is-chlorophyll.php>

2.6 บทวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Matthew et al. (2018) ได้ศึกษาอิทธิพลของแสง สีขาว (W), สีแดง R (635 นาโนเมตร) และ สีน้ำเงิน B (460 นาโนเมตร) โดยมีการเลี้ยงในแสง ขาว + สีน้ำเงิน (B), ขาว + เขียว (G), ขาว + แดง, ขาว + แดง (FR), RGB + FR ที่มีอัตราส่วนใกล้เคียงกับแสงแดดธรรมชาติ ผักกาดที่ปลูกภายใต้ RGB + FR ทำให้เกิดผลดีต่อน้ำหนัก ในขณะที่ใบจาก WB และ RB แสดงให้เห็นว่าเม็ดสีมีระดับสูงสุด สารทุติยภูมิและสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบ การเลี้ยงใน WG จะเพิ่มมวลสดในการเพาะปลูก ในขณะที่ WR เพิ่มมวลของต้นผักกาดหอมในการปลูก พืชที่ปลูกภายใต้ WFR แสดงการยึดตัวของ ก้านใบ ปริมาณสารอาหารที่ลดลงและมวลชีวภาพที่คล้ายกันกับการควบคุมสีขาว ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการเสริมสเปกตรัมในวงกว้างแสงพื้นหลังสีขาวที่มีความยาวคลื่นไม่ต่อเนื่องสามารถนำมาใช้เพื่อจัดการผลผลิตรวมทางสัณฐานวิทยาและระดับของไฟโตนิวเทรียนท์ในผักกาดหอมในหลาย ๆ ครั้งในระหว่างการปลูกพืชในแต่ละครั้ง

Geng et al. (2017) ได้ศึกษาเทคนิคการ ปลูกในสูตรสารละลายอาหาร Enshi แบบลดลงกึ่งหนึ่ง, 4, 2 หรือ 1 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ของปริมาณโพแทสเซียมผลผลิตและอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของผักกาดหอมทั้งสามชนิดจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อมีการปลูกไว้ ที่ระดับ 1 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ของปริมาณโพแทสเซียม ในผักกาดหอมใบเขียว อัตราการดูดซึมสุทธิ (Net Assimilation Rate หรือ NAR) และ ประสิทธิภาพของพื้นที่ใบในการสังเคราะห์แสง (Leaf Area Ratio หรือ LAR)

การลดลง ของทั้งสองค่านี้ ส่งผลทำให้ อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate หรือ RGR) ลดลงไปด้วย แต่ใน ผักกาดหอมบอสตัน และ ผักกาดหอมโรเมน นั้น การลดลงของ RGR ส่วน

ใหญ่เป็นผลมาจากการลดลงของ LAR ส่วนใน NAR นั้นมีผลเล็กน้อย ในผักกาดหอมใบเขียวและบอสตัน อัตราการสังเคราะห์แสงของใบโตเต็มที่นั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญภายใต้สภาวะที่มีการเลี้ยงดูด้วยโพแทสเซียมต่ำกว่าค่าของ CO₂ ภายในเซลล์ที่ค่อยๆเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าปัจจัยการคายน้ำแบบไม่ใช้ปากใบ จะยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่วนในผักกาดหอมโรเมน ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงเล็กน้อยจากการลดระดับโพแทสเซียมในสารละลายอาหารลง และการเพิ่มขึ้นของมวลใบต่อพื้นที่อาจมีส่วนช่วยให้รักษาระดับการสังเคราะห์แสงของใบไว้ การลดลงของกระบวนการสังเคราะห์ในใบโตเต็มที่ที่มีลักษณะที่คล้ายกันกับใบของผักกาดหอมทั้งสามชนิดที่มีการลดปริมาณโพแทสเซียมลงแต่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ที่ลดลงนั้นก็ยังมี ความแตกต่างกันอยู่

คงเอก (2557) ทำการศึกษาผล ของความเข้มข้นของโพแทสเซียม (200 250 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในสารละลายธาตุอาหารสูตร Resh Tropical dry summer ดัดแปลงต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยา ของผักกาดหอมพันธุ์คอสที่ปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินโดยใช้ระบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ซ้ำ จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารมีผลในการเพิ่มการสะสมโพแทสเซียมไอออนและ แคลเซียมไอออนในผักกาดหอมพันธุ์คอสที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูก แต่ไม่มีผลต่อการ สะสมแมกนีเซียมไอออน รวมทั้งพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในผักกาดหอมพันธุ์คอสมีความสัมพันธ์กับ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์คอส ประกอบด้วย จำนวนใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และมวลชีวภาพแห้ง

นฤมล และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาผักที่มีการซื้อขายกันมีการปนเปื้อนด้วยไนเตรท จึงได้นำเทคนิค capillary electrophoresis แบบ indirect detection มาใช้ในการตรวจวัดสารไนเตรทในผักกาดหอมพันธุ์ green oak ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์โดยพบความเข้มข้นของไนเตรทมีค่า 3,266 mg/kg เมื่อเก็บผักจากสารละลายธาตุอาหารที่ปลูกแต่ละความเข้มข้นของไนเตรทลดลงเหลือ 3,046, 1,299 mg/kg และ 1,123 mg/kg เมื่อให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารเป็นเวลา 1, 2 และ 3 วันก่อนการเก็บเกี่ยวตามลำดับ

นภัทร และไชยยันต์ (2560) ได้ทำการศึกษารูปแบบของ ไดโอดเปล่งแสง (light emitting diodes, LEDs) นำเสนอการค้นพบและการพัฒนาไดโอดเปล่งแสงในรูปแบบต่างๆ การพัฒนาคุณลักษณะของแสงความยาวคลื่น แสง สีของแสง และความเข้มของแสง ที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ ด้วยแสงของพืชและการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงการค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ การประยุกต์ ใช้ไดโอดเปล่งแสงเพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์เพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการเจริญเติบโตของพืชรวมทั้งการเสนอบทวิเคราะห์ผลของการใช้ ไดโอดเปล่งแสงในราคา

ไม่ว่ากระบวนการเพาะปลูกพืช ว่าแสงสีเหล่านั้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างไรและหากต้องการใช้

เลือกใช้ไดโอดเปล่งแสงมาเป็นแสงเทียมสำหรับการปลูกพืช ควรจะเลือกแสงที่มีความยาวคลื่นแสงเท่าไร จึงจะทำให้พืชเจริญเติบโตดีที่สุดสำหรับช่วงเวลาเพาะกล้า ช่วงเวลาการเจริญเติบโตและช่วงเวลาการออกดอกและแพร่พันธุ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือ

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- ระบบการเลี้ยงพืชผักแบบ Hydroponic
- ตู้เพาะเลี้ยงพืชผัก Growth Chamber
- ซ้อนตักสาร
- Forceps
- เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล หน่วยเป็นกรัม
- เมล็ดพันธุ์ผักกาด
- น้ำประปา
- น้ำกลั่น
- ปิเปต
- เครื่องวัดปริมาณโพแทสเซียม ยี่ห้อ HORIBA
- เครื่องวัดปริมาณไนเตรท ยี่ห้อ HORIBA
- เครื่องวัดปริมาณโซเดียม ยี่ห้อ HORIBA
- กระจดอากาศ
- กระจดทึบ
- ไม้บรรทัดวัด เซนติเมตร
- สายวัด เซนติเมตร
- ถังน้ำขนาด 5 ลิตร
- ถังน้ำขนาด 50 ลิตร
- เครื่องวัดค่า EC ยี่ห้อ Bluelab ในน้ำ
- สมุดจด
- กระจดถันไม้
- กระจดพลาสติกขนาดเล็กที่ใช้เลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์
- ตะกร้าใส่ผัก
- ฟอกกี้ฉีดน้ำ
- Timer switch ตัวจับกำหนดเวลาเปิดปิดแสงไฟและรดน้ำ
- หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แสง สีขาว, สีม่วง, สีฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

วัสดุเพาะปลูก หินสีขาว เพอร์ไลท์ (Perlite)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sponge Clay เม็ดดินเผา (ใช้แทนดิน)
- สากครกหิน แกรนิต หรือ โกร่งบดยา 4 ใบ
- Dropper
- ปีกเกอร์
- กรรไกร
- ดินผสมพร้อมปลุก ออร์แกนิก ไร้สารเคมี 100%
- เครื่อง spectro photometer
- หลอดไฟแสงสีขาวยาวคลื่น 454 nm
- หลอดไฟแสงสีแดงที่ยาวคลื่น 610 nm
- หลอดไฟแสงสีน้ำเงินที่ยาวคลื่น 446 nm
- หลอดไฟแสงสีม่วงที่ยาวคลื่น 451 nm
- หลอดไฟแสงสีเหลืองที่ยาวคลื่น 631 nm

3.1.2 แร่ธาตุอาหารที่ใช้

- Ammonium Nitrate
- Boric Acid
- Calcium Chloride, Anhydrous
- Cobalt Chloride•6H₂O
- Cupric Sulfate•5H₂O
- Na₂EDTA•2H₂O
- Ferrous Sulfate•7H₂O
- Magnesium Sulfate, Anhydrous
- Manganese Sulfate•4H₂O
- Molybdic Acid (Sodium Salt)• 2H₂O
- Potassium Iodide
- Potassium Nitrate
- Potassium Phosphate, Monobasic
- Zinc Sulfate•4H₂O
- Glycine (Free Base)
- myo-Inositol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Nicotinic Acid (Free Acid)

- Pyridoxine•HCl

3.1.3 อาหารที่ใช้

- Murashige & Skoog (MS)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 วิธีการเตรียมต้นกล้า

นำเมล็ดของผักกาดไปเพาะในกระดาดหิซุที่ชุ่มไปด้วยน้ำที่มีความชื้นใสในการชนะที่มีลักษณะเป็นกล่องพลาสติกใสแสงสามารถส่องเข้าถึงภายในกล่องได้ ตลอดระยะเวลาการดูแลอย่าปล่อยให้แห้งต้องมันเติมน้ำให้ชุ่มอยู่ตลอด เป็นเวลา 2-4 วัน จากนั้นจะได้ต้นกล้าแรกเกิด ที่มีลักษณะลำต้นขนาดเล็ก พร้อมทั้งจะนำไปปลูกหรือนำไปทำการทดลองต่อไป

3.2.2 การเตรียมสารอาหาร

เตรียมอาหารสูตร Murashige & Skoog (MS) อัตราส่วนที่ใช้ในการละลายน้ำ 4.43g/L สูตรอาหาร (มิลลิกรัม/ลิตร) แร่ธาตุอาหารและน้ำหนักของอาหาร MS ต่อปริมาณ 4.43g ดังตารางที่3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่อยู่ในอาหาร Murashige & Skoog (MS)

| แร่ธาตุอาหาร | น้ำหนัก |
|---|---------|
| Ammonium Nitrate | 1650 |
| Boric Acid | 6.2 |
| Calcium Chloride, Anhydrous | 332.2 |
| Cobalt Chloride•6H ₂ O | 0.025 |
| Cupric Sulfate•5H ₂ O | 0.025 |
| Na ₂ EDTA•2H ₂ O | 37.26 |
| Ferrous Sulfate•7H ₂ O | 27.8 |
| Magnesium Sulfate, Anhydrous | 180.7 |
| Manganese Sulfate•4H ₂ O | 16.9 |
| Molybdc Acid (Sodium Salt)• 2H ₂ O | 0.25 |
| Potassium Iodide | 0.83 |
| Potassium Nitrate | 1900 |
| Potassium Phosphate, Monobasic | 170 |
| Zinc Sulfate•4H ₂ O | 8.6 |
| Glycine (Free Base) | 2 |
| myo-Inositol | 100 |

| | |
|----------------------------|-----|
| Nicotinic Acid (Free Acid) | 0.5 |
| Pyridoxine•HCl | 0.5 |
| Thiamine•HCl | 0.1 |

สูตรที่ 1 คือการเตรียมสารอาหาร สูตร MS ในปริมาณ 1/1

- นำไปละลายในน้ำ 40 ลิตร ที่เตรียมไว้แล้วในถังขนาดใหญ่ ต้องชั่งน้ำหนักอาหารที่ใช้เป็น $40 \times 4.43 = 177.2\text{g}$

- ดังนั้นปริมาณสารอาหาร MS ที่จะใช้นั้นคือ 177.2g

สูตรที่ 2 คือการเตรียมสารอาหาร สูตร MS แบบอัตราส่วน 1/4

- ทำเช่นเดียวกับสูตรที่ 1

- นำปริมาณสารอาหารที่ซึ่งแบบปกติมาหาร 4 คือ $177.2/4 = 44.3\text{g}$

สูตรที่ 3 คือการเตรียมสารอาหาร สูตร MS แบบอัตราส่วน 1/8

- ทำเช่นเดียวกับสูตรที่ 1

- นำปริมาณสารอาหารที่ซึ่งแบบปกติมาหาร 8 คือ $177.2/8 = 22.15\text{g}$

สูตรที่ 4 คือการเตรียมสารอาหาร สูตร MS แบบอัตราส่วน 1/16

- ทำเช่นเดียวกับสูตรที่ 1

- นำปริมาณสารอาหารที่ซึ่งแบบปกติมาหาร 16 คือ $177.2/16 = 11.07\text{g}$

สูตรที่ 5 คือการเตรียมสารอาหาร MS แบบอัตราส่วน 1/8 แทนที่โพแทสเซียมและไนเตรทด้วยโซเดียมโมโนโซเดียมกลูตาเมต

- ทำเช่นเดียวกับสูตรที่ 3

- สารอาหารในสูตรนี้จะไม่โพแทสเซียมและไนเตรท แต่จะมีการใช้โมโนโซเดียมกลูตาเมตแทน ปริมาณ 10g/l

จากนั้นทำการปรับ pH ของสารละลายอาหาร ในถังให้อยู่ในช่วง 5.6-5.8 โดยใช้สารละลาย ไฮโดรคลอริก (HCl) 1 M เมื่อค่าของสารละลายอาหารมีค่าเป็น เบส มากไป และ ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 M เมื่อค่าของสารละลายอาหารมีค่าเป็น กรด มากไป ทำไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้ค่า pH ที่ต้องการโดยนำไปวัดกับเรื่อง pH ORP BENCHTOP METER แบบตั้งโต๊ะ สุดท้ายให้นำไปวัดค่า EC ด้วยเครื่อง EC Meter ยี่ห้อ Bule lab โดยการจุ่มลงไป

ในสารละลายอาหารที่ต้องการวัดรอ 5 วินาที และ อ่านค่าที่ปรากฏกฎต่อไปให้น้ำถึงน้ำที่ทำการปรับ pH และวัดค่า EC แล้วไปติดตั้งเข้ากับ ระบบไฮโดรโปนิคส์ เป็นลำดับต่อมา โดยนำบ่มน้ำลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วางไว้ที่ก้นถังเพื่อให้บีมได้ดูน้ำขึ้นไปและหมุนเวียนลงมา สำหรับใช้เลี้ยงพืชทั้งหมดที่อยู่ในระบบ ไฮโดรโปนิกส์

3.2.3 การเตรียมกระถาง

ใส่กระดาดหิซซู ตรงบริเวณก้นของกระถาง เพื่อให้มีการอุ้มน้ำเล็กน้อย จากนั้นใส่ Sponge Clay (เม็ดดินเผา) 1/4 ของกระถาง ตามด้วย ใสดินผสมพร้อมปลุก ออร์แกนิก ไร้สารเคมี 100% จนเต็ม

3.2.4 การวัดค่าการสะสมปริมาณแร่ธาตุอาหาร

การวัดค่าปริมาณ โปแทสเซียม ไนเตรท และ โซเดียม จะต้องทำการตั้งค่ามาตรฐาน (calibrate) เครื่องวัดปริมาณ โปแทสเซียม และ ไนเตรท ก่อนทำการทดลอง โดยขั้นแรกเราจะนำน้ำยาที่มีชื่อว่า Standard Solution ที่มีค่า 150 ppm และ 2000 ppm หยดลงไปให้เต็มช่องใส่ตัวอย่างที่อยู่ด้านปลายอีกฝั่งของหน้าจอแสดงผล รอจนกว่าเครื่องจะอ่านค่าซึ่งที่หน้าจอของเครื่องวัดจะแสดงผลออกมาโดยมี ไฟสว่าง และมี สัญญาลักษณ์ 😊 หลังจากที่เสร็จสิ้นการ ตั้งค่ามาตรฐาน เครื่องเรียบร้อยแล้ว ให้นำไปล้างด้วยน้ำกลั่น และทำให้แห้งโดยกระดาดหิซซูเพื่อรอนำตัวอย่างมาวัดค่าต่อไป

- คัดเลือกใบที่สภาพสมบูรณ์ที่ต้องการจะนำมาวัด ปริมาณ โปแทสเซียม, ไนเตรท และ โซเดียม

- เลือกตัดใบของต้นผักกาดที่สมบูรณ์ใบกว้างใหญ่ยามมากที่สุด โดยห้ามให้น้ำค้างอยู่ หรือ เศษดินจากกระถางติดอยู่เป็นอันขาดเพราะอาจทำให้การวัดค่าปริมาณสารต่างๆผิดพลาดและอาจจะทำให้เครื่องวัดปริมาณเกิดความเสียหายได้

- นำใบของผักกาดที่ได้ทำการเลือกมาแล้วไปย่อยบดให้ละเอียด กับ ครกหินแกรนิตหรือ โกรงบดยา ให้เป็นน้ำหรือสารละลายที่เป็นของเหลวออกมา

- ใช้ Dropper นำน้ำที่ได้จากการบดไป วัดปริมาณ โปแทสเซียม ไนเตรท และ โซเดียม กับ เครื่องวัดปริมาณโปแทสเซียม, ไนเตรท และ โซเดียม ยี่ห้อ HORIBA ตามลำดับ ซึ่งจะต้องหยดลงไปบริเวณช่องใส่น้ำตัวอย่างของเครื่อง

- รอจนกว่าเครื่องจะอ่านค่าซึ่งที่หน้าจอของเครื่องวัดจะแสดงผลออกมาโดยมีแสงไฟสว่างและมีสัญญาณ 😊 ปรากฏขึ้นมา

- ทำการบันทึกค่าตัวเลขที่เครื่องวัดได้

- ให้ทำการล้างช่องวัดตัวอย่างและเช็ดให้แห้งทุกครั้งก่อนนำไปตรวจวัดสารละลายตัวอย่างต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การวิเคราะห์การเจริญเติบโต

นักสรีรวิทยาชาวอังกฤษ V H Black (1919) ได้เสนอหลักการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช โดยที่การเจริญเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับขนาดเริ่มต้นของพืชและเวลาและเรียกอัตรานี้ว่า

Relative growth rate (RGR; R) ดังสมการ $W_1 = W_0 e^{rt}$ (1)

W_1 = ขนาดสุดท้าย (น้ำหนัก ความสูง ฯลฯ)

W_0 = ขนาดเริ่มต้น

t = เวลา

r = relative growth rate

e = ฐาน natural logarithms

จากสมการ (1) จะเห็นว่าขนาดสุดท้ายของพืชขึ้นอยู่กับขนาดเริ่มต้น เวลา และ Relative growth rate เช่น ต้นอ่อนจากเมล็ดขนาดใหญ่จะกลายเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่กว่าต้นอ่อนที่เกิดจากเมล็ดขนาดเล็ก ซึ่งจะเป็นจริงที่ระยะการเจริญเติบโตเริ่มต้น และถ้าเวลามากพอ ขนาดสุดท้ายของพืชไม่ว่าจะมาจากเมล็ดขนาดใหญ่หรือเล็กอาจมีค่าเท่ากันได้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (1) เขียนอีกอย่างคือ } \ln W_1 &= \ln (W_0 e^{rt}) \\ &= \ln W_0 + \ln e^{rt} \\ &= \ln W_0 + rt \end{aligned} \quad (2)$$

สมการ (2) เป็นสมการกราฟเส้นตรง เมื่อนำมาเขียนบนกระดาษกราฟแบบเซมิล็อก โดยแกน Y เป็นแกนขนาด และ แกน X เป็นแกนเวลา ค่าความชันคือค่า r ซึ่งคือค่า relative growth rate เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างพืชที่เวลาต่างกัน เราสามารถคำนวณหาค่าอัตราการเจริญเติบโตได้จากสมการ (3)

$$RGR = \frac{[\ln(W_2) - \ln(W_1)]}{(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

W_1 = น้ำหนักแห้งเริ่มต้น

W_2 = น้ำหนักแห้งสุดท้าย

t_1 = เวลาเริ่มต้น

t_2 = เวลาสุดท้าย

ค่า RGR จะมีค่าคงที่ต่อเมื่อการเจริญเป็นแบบ exponential และเมื่อเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักแห้งกับเวลาบนกระดาษเซมิล็อก แล้วต้องได้เส้นตรง แต่ความเป็นจริง จากกราฟ Sigmoid ค่า RGR จะมีการลดลงเรื่อยๆตามช่วงการเจริญเติบโตแบบ Sigmoidal growth จากสมการ (3) ถ้าแปลงเป็น log ฐาน 10 จะได้ดังนี้

$$RGR = \frac{2.303(\log_{10} W_2 - \log_{10} W_1)}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 การศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมแร่ธาตุของผักกาดที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกัน

นำต้นกล้าที่ได้จากการเตรียมต้นกล้า นั้นไปปลูกลงในกระถางที่เตรียมไว้แล้ว 4 ต้น ต้นละ 1 กระถาง เป็น 4 กระถาง โดยใช้ forceps จับต้นกล้าอย่างระมัดระวัง เนื่องจากลำต้นของต้นกล้านั้นยังมีขนาดเล็ก ค่อยๆดึงตามแนวของรากที่ติดอยู่กับกระดาดขีซซุ ระวังอย่าให้รากขาด เพราะจะทำให้ต้นไม้ไม่สามารถดูดสารอาหารและตายได้ เมื่อนำมาลงดิน ลักษณะของลำต้นของต้นกล้าจะต้องตั้งตรงไม่โค้งงอไปทางไหนทางหนึ่งนำไปวางไว้ในตู้ เพาะเลี้ยงพืชผัก Growth Chamber ซึ่งจะมี 3 ชั้นวาง ด้วยกัน แต่ละชั้นก็จะมีแสงสีที่แตกต่างกัน ให้ทำการแบ่งต้นผักกาด ไปไว้ภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน นำไปวางไว้ใน แสงสี แดง ม่วง น้ำเงิน ภายใต้ อุณหภูมิ 25 °C และสุดท้ายคือแสงสีขาว ซึ่งจะเป็นตัว ควบคุม แยกอยู่อีกตู้หนึ่งเป็นอุณหภูมิห้องปกติ 30 °C ดังนั้นจะมีทั้งหมด 4 แสงด้วยกันคอยหมั่นรดน้ำพรวดดินดูแลอยู่ตลอดเวลา เวลาจนครบ 60 วันและทำการเก็บผลวัด ปริมาณ โฟทอสเซียม ไนเตรท น้ำหนัก จำนวนใบ พื้นที่ใบ ลักษณะของต้น ว่าต้นใดมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดหรือไม่อย่างไร ภายใต้สภาวะการเลี้ยงดูที่มีแสงแตกต่างกัน

3.2.7 การศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมแร่ธาตุของผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์

ให้ทำการเตรียมสารอาหาร สูตรที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับและนำต้นกล้าที่เตรียมไว้แล้ว นั้น ลงไปเลี้ยงในสารอาหารที่แตกต่างกัน โดย โดยใช้ forceps จับต้นกล้าอย่างระมัดระวัง เนื่องจากลำต้นของต้นนั้นยังมีขนาดเล็ก ค่อยๆดึงตามแนวของรากที่ติดอยู่กับกระดาดขีซซุ ระวังอย่าให้รากขาด เพราะจะทำให้ต้นไม้ไม่สามารถดูดสารอาหารและตายได้ ใส่ลงไปในกระถางพลาสติกขนาดเล็ก ซึ่งเป็นกระถางที่ใช้สำหรับเลี้ยงใน ระบบ Hydroponic จากนั้นใส่ หินเพอร์ไลนส์สีขาวรอบๆ 1/4 ของกระถาง อย่าใส่เยอะจนเกินไปเพราะต้นกล้ายังมีรากที่ไม่ยาวพอสำหรับการดูดซึมสารอาหาร ทำการเก็บผลทุกๆ 10 วัน วัดปริมาณ โฟทอสเซียม ไนเตรท น้ำหนัก จำนวนใบ พื้นที่ใบ และ เมื่อผ่านไป 20 วัน ให้ทำการเติมหิน เพอร์ไลนส์อีกทีจนเต็มเนื่องจากต้นเริ่มมีขนาดใหญ่ขึ้น

3.2.8 การศึกษาการสะสมแร่ธาตุของผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ร่วมกับการปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง

นำต้นกล้าที่เตรียมไว้มาลงใน Hydroponic ที่มีสูตรอาหาร 1/8 MS น้ำ 40l pH 5.6

- เลี้ยงจนผักกาดมีอายุ 30 วัน วัดค่า โฟทอสเซียม, ไนเตรท จากนั้นนำไปลงในกระถางและนำไปเลี้ยงต่อในแสงสีม่วง เป็นเวลา 30 วัน วัดค่า โฟทอสเซียม, ไนเตรท
- เลี้ยงจนผักกาดมีอายุ 40 วัน วัดค่า โฟทอสเซียม, ไนเตรท จากนั้นนำไปลงในกระถางและนำไปเลี้ยงต่อในแสงสีม่วง เป็นเวลา 30 วัน วัดค่า โฟทอสเซียม, ไนเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลี้ยงจนผักกาดมีอายุ 50 วัน วัดค่า โฟแทสเซียม, ไนเตรท จากนั้นนำไปลงในกระถางและนำไปเลี้ยงต่อในแสงสีม่วง เป็นเวลา 30 วัน วัดค่า โฟแทสเซียม, ไนเตรท

3.2.9 การศึกษาการสะสมแร่ธาตุของผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์มา 30 วัน แล้วย้ายลง ไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง 3 ระบบที่แตกต่างภายใต้สภาวะแสงสีเหลือง

นำต้นผักกาดจากการเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยสูตรอาหาร 1/8 MS อายุ 30 วัน ย้ายมาเลี้ยงต่อในระบบไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่งที่แตกต่างกัน 3 ระบบภายใต้สภาวะแสงสีเหลือง เพื่อศึกษาว่าระบบใดจะช่วยลดปริมาณโพแทสเซียมได้ดีกว่ากัน

ระบบที่ 1

นำต้นผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์ที่อายุ 30 วัน มาลงในระบบไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่งที่มีอาหาร สูตร 1/8 MS ที่ใช้โมโนโซเดียมกลูตาเมต ที่ความเข้มข้น 10g/l แทนการใช้โพแทสเซียม และไนเตรท เมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน ทำการเก็บผล วัดการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และ โซเดียม จากนั้นทำการย้ายลงน้ำเกลือที่ความเข้มข้น 10g/l เมื่อผ่านไป 5 วัน ทำการเก็บผล วัดการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และ โซเดียม จากนั้นทำการย้ายลงน้ำประปา เมื่อผ่านไป 3 วัน ทำการเก็บผล วัดการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และ โซเดียม

ระบบที่ 2

นำต้นผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์ที่อายุ 30 วัน มาลงในระบบไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่งที่เป็นน้ำประปา เมื่อเวลาผ่านไป 5 วัน ทำการเก็บผล วัดการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และ โซเดียม จากนั้นนำไปลงในน้ำเกลือ ที่ความเข้มข้น 10g/l เป็นเวลา 1 วัน ต่อด้วยการนำไปลงในน้ำประปาอีก 2 วัน และทำการวัดปริมาณการสะสมของโพแทสเซียม, ไนเตรท และ โซเดียม

ระบบที่ 3

นำผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์ที่อายุ 30 วัน มาลงในไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่งที่เป็นน้ำเกลือ ความเข้มข้น 10g/l เมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน จากนั้นเมื่อนำไปเลี้ยงต่อใน น้ำประปา อีก 2 วัน ทำการเก็บผลวัดการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และ โซเดียม

3.2.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ค่า \pm SD ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Significant differences) ของจำนวนใบ พื้นที่ใบ และ น้ำหนักสด ของผักกาด สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ General Linear Model ANOVA กับ พหุคูณของ Tukey ในการทดสอบเปรียบเทียบ ด้วย โปรแกรมทาง สถิติซอฟต์แวร์ Minitab รุ่น 18 (ระดับ $P < 0.05$) ความสัมพันธ์ของสูตรอาหารที่แตกต่างมีผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตและการสะสมแร่ธาตุอาหารของผักกาดถูกวิเคราะห์โดย Comparisons

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมแร่ธาตุของผักกาดที่ปลูกลงในดินภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกัน

4.1.1 การเจริญเติบโตของพืช

การปลูกลงในดินภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาด (จากรูปที่ 4.1) การเลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีขาวส่งผลต่อการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด แต่การเลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีน้ำเงิน และ ม่วง มีผลทำให้ชีวมวลของผักกาดที่เลี้ยงไว้ลดลง โดยในการเลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีม่วง แสดงให้เห็นว่ามีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตมากกว่าการเลี้ยงในแสงสีน้ำเงิน (ตารางที่ 4.1) จำนวนใบของต้นผักกาดที่เลี้ยงไว้ในสภาวะแสงสี ขาว, น้ำเงิน, ม่วง เป็น 9, 6 และ 5 ใบ ตามลำดับ น้ำหนักของวันที่ 60 ภายใต้สภาวะ แสงสี ขาว, น้ำเงิน, ม่วง เป็น 24.69, 5.11 และ 4.62 กรัม ตามลำดับ พื้นที่ใบ ภายใต้สภาวะแสงสีขาว, น้ำเงิน, ม่วง เป็น 65, 31 และ 14 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ จะเห็นว่าจำนวนใบ น้ำหนักสดของต้นผักกาดวันที่ 60 และ พื้นที่ใบ ของต้นผักกาดที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีม่วง และน้ำเงิน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับการเลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีขาว



รูปที่ 4.1 การเจริญเติบโตของต้นผักกาดที่ปลูกลงในดินภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกันเป็นเวลา 30 วัน (ก); ต้นผักกาดที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะแสงสีม่วง (ข); ต้นผักกาดที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะแสงสีขาว; (ค); ต้นผักกาดที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะแสงสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นว่า การเลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีม่วงมีการเจริญเติบโตที่น้อยที่สุดเมื่อดูจาก น้ำหนักสด พื้นที่ใบ และจำนวนใบ หรือมีอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำ จึงทำให้มีการสะสมของปริมาณไนเตรทสูง เนื่องจาก ต้นผักกาดที่เจริญเติบโตได้ดีไม่สามารถนำไนเตรทที่ถูกเก็บสะสมไว้นั้นนำออกมาใช้ในการทำ กิจกรรมต่างๆของพืชได้ ส่วนแสงสีน้ำเงินและสีขาวมีการสะสมของปริมาณไนเตรทที่น้อยลง ตามลำดับต้นผักกาดที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีแดงนั้นตายเนื่องจากตูมของแสงสีแดงมีอุณหภูมิสูง

4.2 การศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมแร่ธาตุของผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์

4.2.1 การเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ ด้วยสูตรอาหาร 1/4 MS

4.2.1.1 การเจริญเติบโตพืช

การเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์สูตรอาหารที่ใช้ 1/4 MS มีผลต่อการเจริญเติบโตของ ผักกาดสังเกตได้ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า จำนวนใบ ของต้นผักกาดที่เลี้ยงในระบบ ไฮโดรโปนิคส์ ที่ใช้สูตรอาหาร 1/4 MS เป็น 4, 5, 11, 21 และ 21 ใบ สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 จะเห็นว่ามี น้ำหนักสด อยู่ที่ 0.14, 2.9, 27.9, 90 และ 84 กรัม สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับ จาก ตารางที่ 2 และรูปที่ 4.4 จะเห็นว่ามี พื้นที่ใบ อยู่ที่ 1.48, 16.46, 79, 122 และ 112 ตารางเซนติเมตร สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับ

นอกจากนี้ น้ำหนักของต้นผักกาดยังสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่า RGR (Relative Growth Rate) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ จากสมการในหัวข้อที่ 3.2.5 การวัดอัตราการ เจริญเติบโตของพืช ซึ่งได้ใช้น้ำหนักในวันที่ 20 จากตารางที่ 4.2 จะมีน้ำหนักอยู่ที่ 2.9 g และน้ำหนัก ในวันที่ 40 จะมีน้ำหนักอยู่ที่ 90 g สำหรับผักกาดที่เลี้ยงในไฮโดรโปนิคส์ด้วยสูตรอาหาร 1/4 MS พบว่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ จะอยู่ที่ 0.1717 g/day ดังในตารางที่ 4.3

4.2.1.2 การสะสมปริมาณแร่ธาตุอาหาร

การสะสมปริมาณโพแทสเซียมของการเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 พบว่า ในสูตรอาหาร 1/4 MS มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมอยู่ที่ 5900, 4300, 4400 และ 4600 ppm สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 20, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับ

การสะสมปริมาณไนเตรทของการเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ จากตารางที่ 4.2 และรูป ที่ 4.6 พบว่า ในสูตรอาหาร 1/4 MS จะมีการสะสมของปริมาณไนเตรทอยู่ที่ 8300, 6700, 9000 และ 5900 ppm สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 20, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับ

ค่า EC ที่อยู่ในสารละลายอาหารสำหรับใช้เลี้ยงผักกาดของระบบไฮโดรโปนิคส์ลดลงอย่าง อย่างมีนัยสำคัญ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7 จะเห็นว่า ค่า EC ในสารละลายอาหาร 1/4 MS ของ วันที่ 20, 30, 40 และ 50 วัน มีค่าของ EC อยู่ที่ 1.8, 1.3, 1.2 และ 1.2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ ด้วยสูตรอาหาร 1/8 MS

4.2.2.1 การเจริญเติบโตของพืช

การเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยสูตรอาหารที่ใช้ 1/8 MS มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดสังเกตได้ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า จำนวนใบ ของต้นผักกาดที่เลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ ที่ใช้สูตรอาหาร 1/8 MS เป็น 4, 5, 10, 12 และ 16 ใบ สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับจากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 จะเห็นว่ามี น้ำหนักสด อยู่ที่ 0.14, 3.08, 37.2, 80.5 และ 80.8 กรัม สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 จะเห็นว่ามี พื้นที่ใบ อยู่ที่ 1.48, 41.67, 125 และ 249 ตารางเซนติเมตร สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 10, 30, 40, และ 50 วัน ตามลำดับ

นอกจากนี้ น้ำหนักของต้นผักกาดยังสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่า RGR (Relative Growth Rate) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ จากสมการในหัวข้อที่ 3.2.5 การวัดอัตราการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งได้ใช้น้ำหนักในวันที่ 20 จากตารางที่ 4.2 จะมีน้ำหนักอยู่ที่ 3.08 g และน้ำหนักในวันที่ 40 จะมีน้ำหนักอยู่ที่ 80.5 g สำหรับผักกาดที่เลี้ยงในไฮโดรโปนิคส์ด้วยสูตรอาหารที่ 1/8 MS พบว่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ จะอยู่ที่ 0.1679 g/day ดังในตารางที่ 4.3

4.2.2.2 การสะสมปริมาณแร่ธาตุอาหาร

การสะสมปริมาณโพแทสเซียมของการเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 พบว่า ในสูตรอาหาร 1/8 MS จะมีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมอยู่ที่ 3100, 3450, 3050, และ 1520 ppm สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 20, 30, 40, และ 50 วัน ตามลำดับ

การสะสมปริมาณไนเตรทของการเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.6 พบว่า ในสูตรอาหาร 1/8 MS มีการสะสมของปริมาณไนเตรทอยู่ที่ 6433, 7250, 3700, และ 230 ppm สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 20, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับ

ค่า EC ที่อยู่ในสารละลายอาหารสำหรับใช้เลี้ยงผักกาดของระบบไฮโดรโปนิคส์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7 จะเห็นว่า ค่า EC ในสารละลายอาหาร 1/8 MS ของวันที่ 20, 30, 40 และ 50 วัน มีค่าของ EC อยู่ที่ 1.2, 0.9, 0.6 และ 0.5 ตามลำดับ

4.2.3 การเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ ด้วยสูตรอาหาร 1/16 MS

4.2.3.1 การเจริญเติบโตของพืช

การเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์สูตรอาหารที่ใช้ 1/16 MS มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดสังเกตได้ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า จำนวนใบ ของต้นผักกาดที่เลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ ที่ใช้สูตรอาหาร 1/16 MS เป็น 4, 5, 14, 14 และ 21 ใบ สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 จะเห็นว่ามี น้ำหนักสด อยู่ที่ 0.14, 2.5, 21.73, 50 และ 62 กรัม สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 จะเห็นว่ามี พื้นที่ใบ อยู่ที่ 1.48, 41.67, 125 และ 249 ตารางเซนติเมตร สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 10, 30, 40, และ 50 วัน ตามลำดับ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 จะเห็นว่ามี พื้นที่ใบ อยู่ที่ 1.48, 55.67, 61.3, และ 64.5 ตารางเซนติเมตร สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 10, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับ

นอกจากนี้ น้ำหนักของต้นผักกาดยังสามารถนำมาใช้ในการคำนวณค่า RGR (Relative Growth Rate) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ จากสมการในหัวข้อที่ 3.2.5 การวัดอัตราการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งได้ใช้น้ำหนักในวันที่ 20 จากตารางที่ 4.2 จะมีน้ำหนักอยู่ที่ 2.5 g และน้ำหนักในวันที่ 40 จะมีน้ำหนักอยู่ที่ 61.3 g สำหรับผักกาดที่เลี้ยงในไฮโดรโปนิคส์ด้วยสูตรอาหารที่ 1/16 MS พบว่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ จะอยู่ที่ 0.1497 g/day ดังในตารางที่ 4.3

4.2.3.2 การสะสมปริมาณแร่ธาตุอาหาร

การสะสมปริมาณโพแทสเซียมของการเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 พบว่า ในสูตรอาหาร 1/16 MS มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมอยู่ที่ 3300, 4600, 3000 และ 2000 ppm สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 20, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับ

การสะสมปริมาณไนเตรทของการเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.6 ในสูตรอาหาร 1/16 MS จะพบว่ามี การสะสมของปริมาณไนเตรทอยู่ที่ 5150, 4700, 3800 และ 355 ppm สำหรับอายุผักกาดในวันที่ 20, 30, 40 และ 50 วัน ตามลำดับ

ค่า EC ที่อยู่ในสารละลายอาหารสำหรับใช้เลี้ยงผักกาดของระบบไฮโดรโปนิคส์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7 จะเห็นว่า ค่า EC ในสารละลายอาหาร 1/16 MS ของวันที่ 20, 30, 40 และ 50 วัน มีค่าของ EC อยู่ที่ 1.2, 0.9, 0.6 และ 0.5 ตามลำดับ

การศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมแร่ธาตุของผักกาดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่าการเลี้ยงด้วยสูตรอาหาร 1/8 MS อายุ 30 วัน เหมาะสมต่อการนำไปศึกษาต่อ จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่า การเจริญเติบโตในวันที่ 30 ของสูตรอาหาร ทั้ง 3 สูตร 1/8 MS นั้นมีค่าน้ำหนักสดของต้นผักกาดมากที่สุด ปริมาณการสะสมของโพแทสเซียม น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอาหารทั้ง 2 สูตร และอยู่ในช่วงของ ระยะการเจริญเติบโตในระยะ log phase ของ กราฟ General time อีกด้วย ซึ่งเป็นช่วงที่ต้องการต่อการนำไปศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมปริมาณแร่ธาตุอาหารของผักกาดในการทดลองอื่นๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

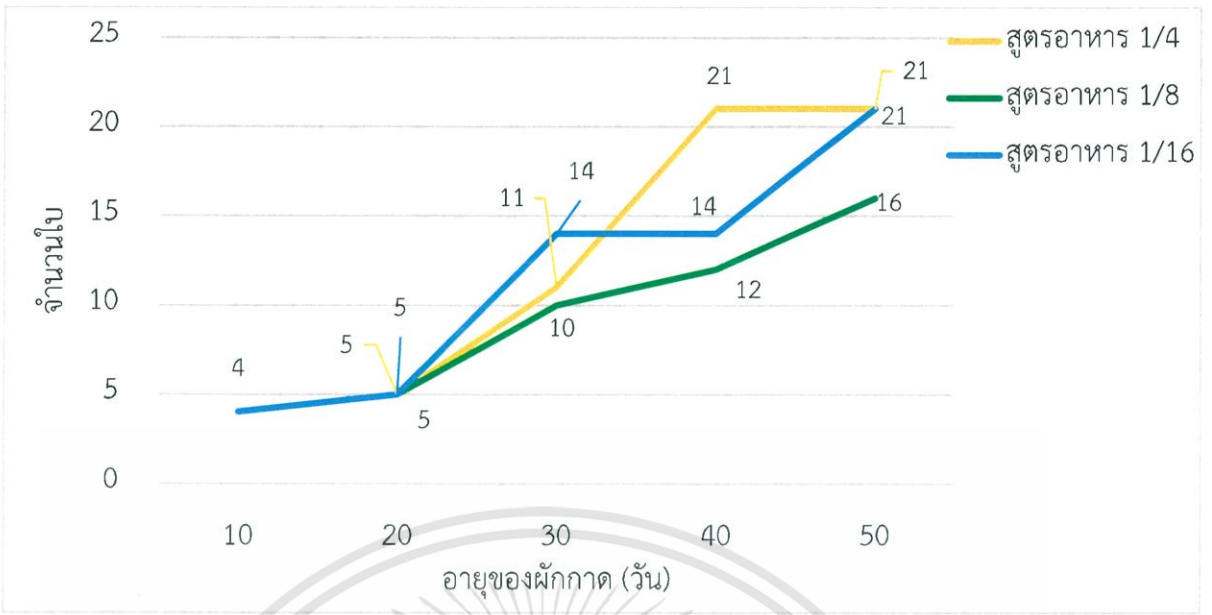
| วัน | สูตรอาหาร | จำนวนใบ | น้ำหนัก (g) | พื้นที่ใบ (Cm ²) | K ⁺ (ppm) | NO ₃ ⁻ (ppm) | EC |
|-----|-----------|---------|----------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----|
| 10 | 1/4 | 4 | 0.14 | 1.48 | - | - | - |
| | 1/8 | 4 | 0.14 | 1.48 | - | - | - |
| | 1/16 | 4 | 0.14 | 1.48 | - | - | - |
| 20 | 1/4 | 5 | 2.9 | 16.46 | 5900 | 8300 | 1.8 |
| | 1/8 | 5 | 3.08 | - | 3100 | 6433 | 1.2 |
| | 1/16 | 5 | 2.5 | - | 3300 | 5150 | 0.8 |
| 30 | 1/4 | 11 | 27.9 | 79 | 4300 | 6700 | 1.3 |
| | 1/8 | 10 | 37.2 | 41.67 | 3450 | 7250 | 0.9 |
| | 1/16 | 14 | 21.73 | 55.66 | 4600 | 4700 | 0.8 |
| 40 | 1/4 | 21 | 90 | 122 | 4400 | 9000 | 1.2 |
| | 1/8 | 12 | 80.5 | 125 | 3050 | 3700 | 0.6 |
| | 1/16 | 14 | 50 | 61.3 | 3000 | 3800 | 0.7 |
| 50 | 1/4 | 21 | 84 | 112 | 4600 | 5900 | 1.2 |
| | 1/8 | 16 | 80.8 | 249 | 1520 | 230 | 0.5 |
| | 1/16 | 21 | 62 | 64.5 | 2000 | 355 | 0.6 |

ตารางที่ 4.2 การเจริญเติบโตของผักกาด จำนวนใบ น้ำหนัก พื้นที่ใบ และการสะสมปริมาณโพแทสเซียม และ ไนเตรท ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์

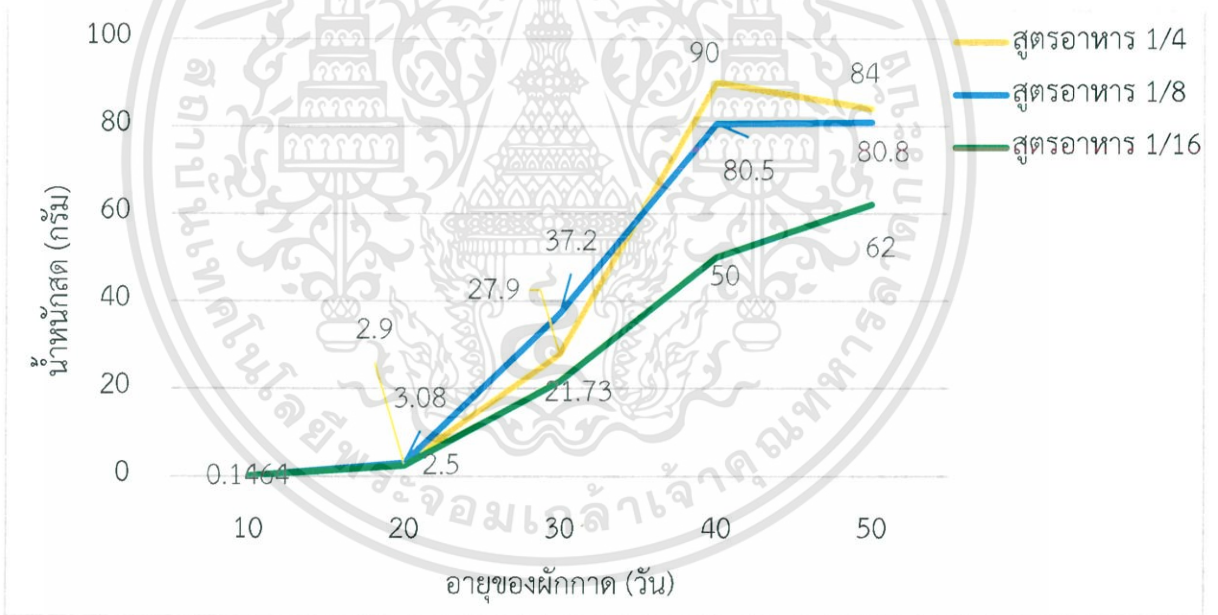
| สูตรอาหาร MS | RGR (g/day) |
|--------------|-------------|
| 1/4 | 0.1717 |
| 1/8 | 0.1679 |
| 1/16 | 0.1497 |

ตารางที่ 4.3 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ RGR (Relative Growth Rate) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ของผักกาด ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยสูตรอาหาร MS 1/4, 1/8 และ 1/16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

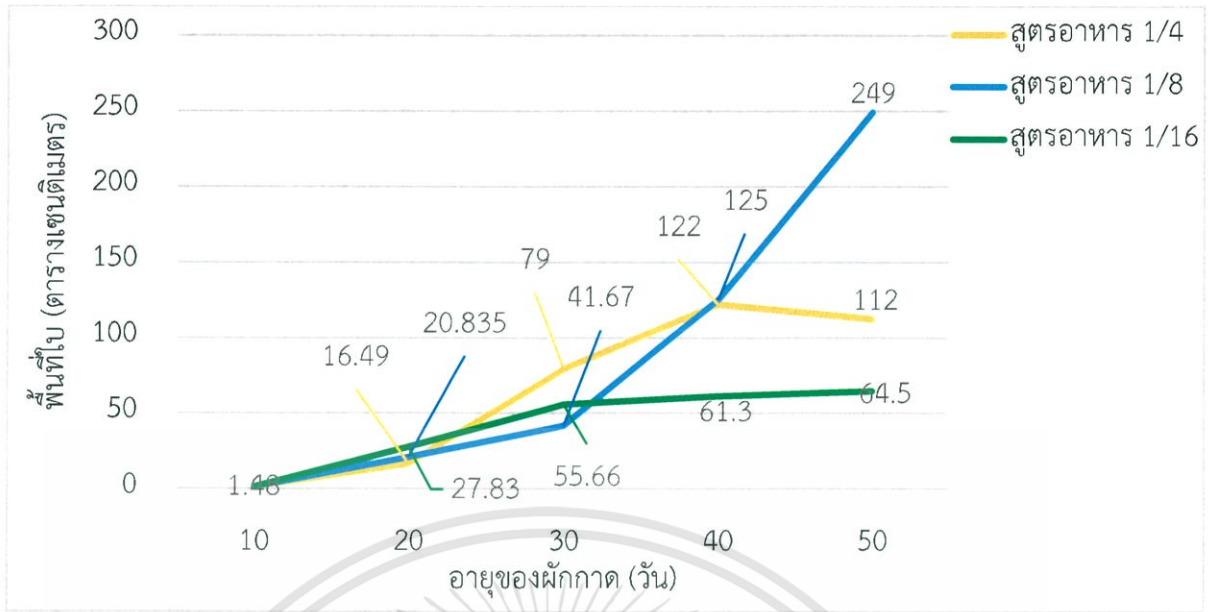


รูปที่4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนใบ กับ อายุของฟักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิกส์

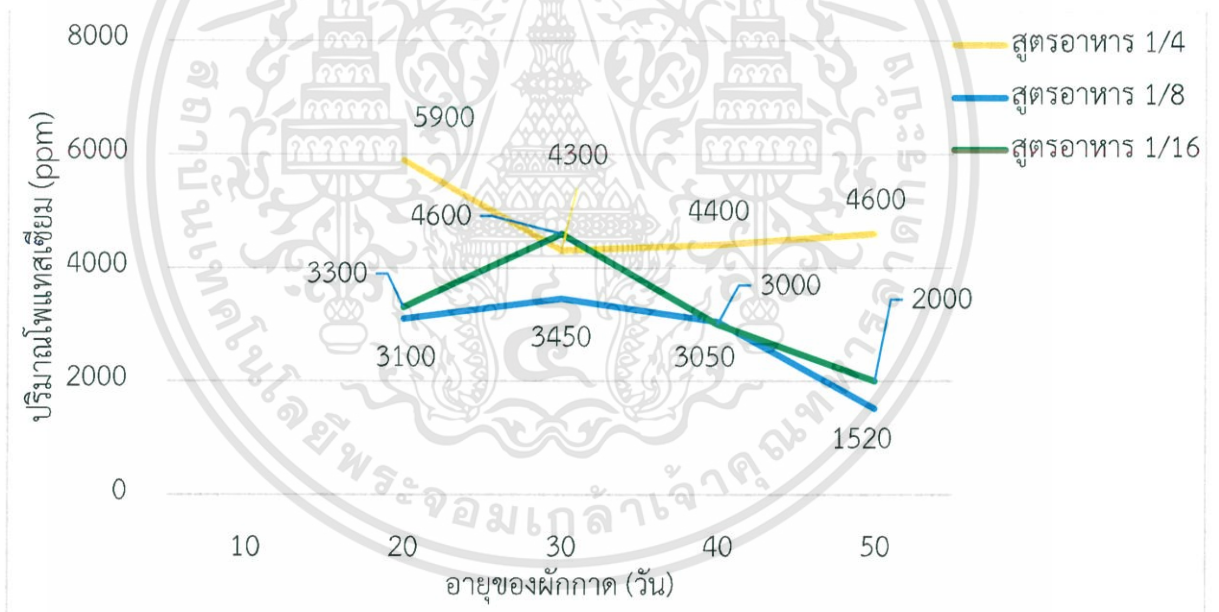


รูปที่4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักสด กับ อายุของฟักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

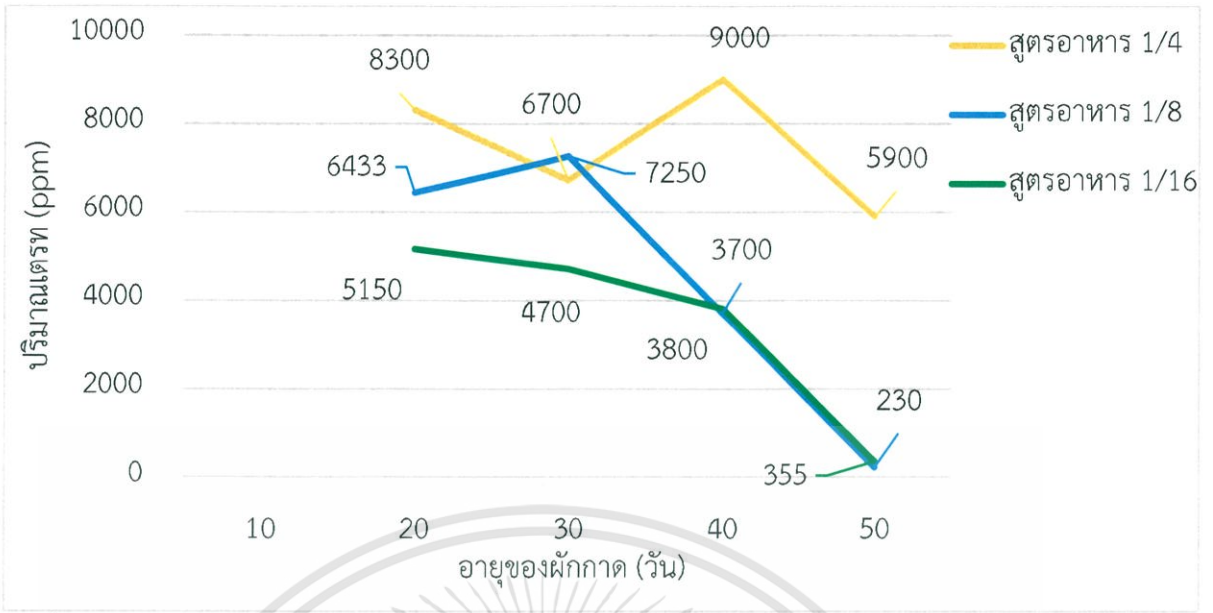


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ใบ กับ อายุของผักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิคส์

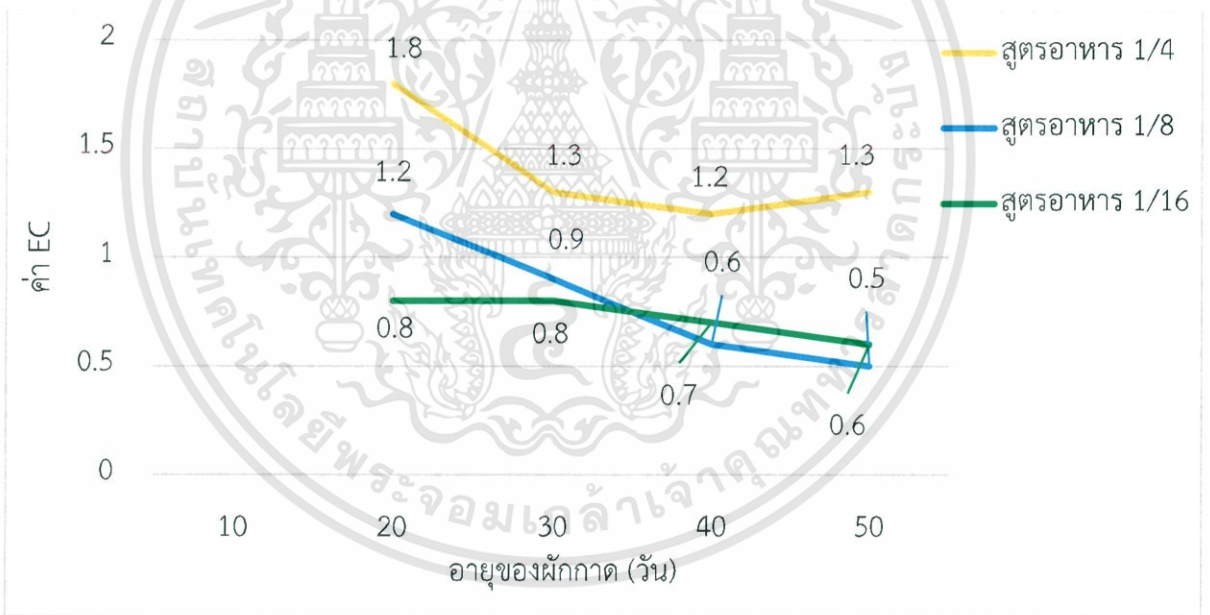


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมของปริมาณโพแทสเซียม กับ อายุของผักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมของปริมาณไนเตรท กับ อายุของผักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิคส์



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า EC กับ อายุของผักกาด ของสูตรอาหาร 1/4, 1/8 และ 1/16 MS ในระบบไฮโดรโปนิคส์

4.3 การศึกษาการสะสมแร่ธาตุของผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ร่วมกับการปลูกลงดิน ภายใต้สภาวะแสงสีม่วง

ทำการย้ายต้นผักกาด ของสูตรอาหาร 1/8MS ที่เลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่มีอายุแตกต่างกัน คือ 30, 40 และ 50 วัน มาเพาะลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงพบว่าปริมาณโพแทสเซียมและไนเตรทของต้นไฮโดรโปนิคส์ที่อายุ 30 วันก่อนเพาะลงดินมีค่าเท่ากับ 3450 และ 7250 ppm ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงวันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต ผิดกฎหมายและต้องรับผิดชอบต่อผู้เกี่ยวข้อง

ลำดับส่วนต้นไฮโดรโปนิคส์ที่อายุ 40 วันก่อนเพาะลงดินมีค่าเท่ากับ 3050 และ 3700 ppm ตามลำดับส่วนต้นไฮโดรโปนิคส์ที่อายุ 50 วันก่อนเพาะลงดินมีค่าเท่ากับ 1520 และ 230 ppm ตามลำดับ จากนั้นทำการวัดปริมาณการสะสมของโพแทสเซียมและไนเตรททุก 10 วัน จนครบเป็นระยะเวลา 30 วัน

4.3.1 การสะสมของปริมาณโพแทสเซียมและไนเตรทของผักกาดที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ 30 วันก่อนปลูกลงดิน

การปลูกผักกาดลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ร่วมกับการปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงมีผลต่อการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมในผักกาดสังเกตได้ จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมในผักกาดอายุ 30 วันจากการเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์หลังจากมาปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง 10, 20 และ 30 วัน มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมอยู่ที่ 3650, 3000 และ 2800 ppm ตามลำดับ การปลูกผักกาดลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ร่วมกับการปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง มีผลต่อการสะสมของปริมาณไนเตรทในผักกาด สังเกตได้จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าการสะสมของปริมาณไนเตรทในผักกาดอายุ 30 วัน จากการเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์หลังจากมาปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง 10, 20 และ 30 วัน มีการสะสมของปริมาณไนเตรทอยู่ที่ 3700, 225 และ 280 ppm ตามลำดับ

4.3.2 การสะสมของปริมาณโพแทสเซียมและไนเตรทของผักกาดที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ 40 วันก่อนปลูกลงดิน

การปลูกผักกาดลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ร่วมกับการปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง มีผลต่อการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมในผักกาด สังเกตได้จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมในผักกาดอายุ 40 วัน จากการเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ หลังจากมาปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง 10, 20 และ 30 วัน มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมอยู่ที่ 2200, 2200 และ 2000 ppm ตามลำดับ

การปลูกผักกาดลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ร่วมกับการปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงมีผลต่อการสะสมของปริมาณไนเตรทในผักกาด สังเกตได้จาก ตารางที่ 4 และรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าการสะสมของปริมาณไนเตรท ในผักกาดอายุ 40 วัน จากการเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์หลังจากมาปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง 10, 20 และ 30 วัน มีการสะสมของปริมาณไนเตรทอยู่ที่ 470, 280 และ 270 ppm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การสะสมของปริมาณโพแทสเซียม และไนเตรท ของผักกาดที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ 50 วันก่อนปลูกลงดิน

การปลูกผักกาดลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ ร่วมกับการปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง มีผลต่อการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมในผักกาด สังเกตได้จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมในผักกาดอายุ 50 วัน จากการเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ หลังจากนำมาปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง 10 และ 20 วัน มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมอยู่ที่ 3300 และ 3133 ppm ตามลำดับ

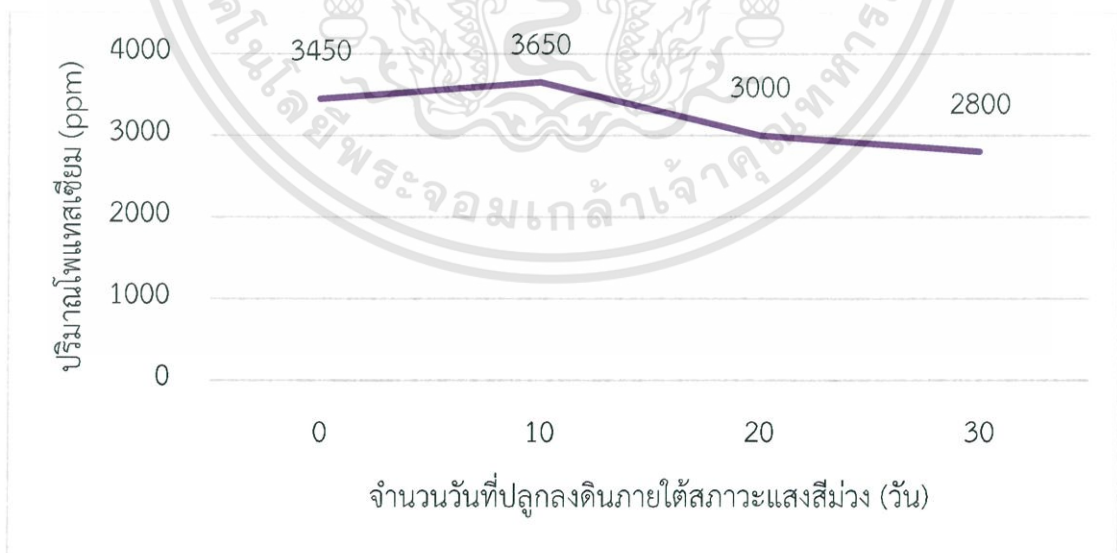
การปลูกผักกาดลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ร่วมกับการปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงมีผลต่อการสะสมของปริมาณไนเตรทในผักกาดสังเกตได้จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าการสะสมของปริมาณไนเตรทในผักกาดอายุ 50 วัน จากการเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์หลังจากมาปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง 10 และ 20 วัน มีการสะสมของปริมาณไนเตรทอยู่ที่ 3233 และ 2066 ppm ตามลำดับ

จากการเลี้ยงผักกาดในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยสูตรอาหาร 1/8MS วันที่ 30, 40 และ 50 วัน มาเพาะลงดินต่อภายใต้สภาวะแสงสีม่วง ผลปรากฏว่า 30 และ 40 วัน มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมและ ไนเตรท มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่วน ผักกาดที่ย้ายมาจากระบบไฮโดรโปนิคส์ในวันที่ 50 กลับมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นใน 10 วันแรกของการนำมาเพาะเลี้ยงต่อลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง จึงสรุปได้ว่า การที่จะย้ายผักกาดจากระบบไฮโดรโปนิคส์มาเพาะลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงเพื่อลดปริมาณการสะสมของแร่ธาตุลงนั้น ต้องเป็นวันที่ เหมาะสมต่อการย้ายมาเพาะลงดิน การที่ต้นผักกาดอายุ 50 จากไฮโดรโปนิคส์ มีค่าการสะสมปริมาณแร่ธาตุอาหารที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านไป 10 วันนั้น เป็นผลมาจากปริมาณสารละลายอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์นั้นเหลือน้อยแล้ว จากตารางที่ 4.2 การทดลองที่ 4.2 ในสูตรอาหาร 1/8 ของวันที่ 50 จะเห็นว่า ค่า EC ของสารละลายอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์นั้นมีค่าเหลืออยู่ที่ 0.5 จาก 1.2 ของวันที่ 10 นั้นหมายความว่า เมื่อนำต้นผักกาดอายุ 50 วันที่ถูกเลี้ยงมาในระบบไฮโดรโปนิคส์ซึ่งมีปริมาณสารละลายอาหารที่น้อยมากแล้วในระบบไฮโดรโปนิคส์เมื่อนำมาเพาะเลี้ยงต่อลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงผ่านไป 10 วัน กลับทำให้ต้นผักกาดนั้นมีการดูดซึมแร่ธาตุอาหารส่งผลให้มีการสะสมของปริมาณแร่ธาตุอาหารนั้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากถูกนำมาเพาะเลี้ยงต่อในสภาพแวดล้อมที่มีอาหารสมบูรณ์มากกว่าจากแหล่งเดิมที่ถูกย้ายมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

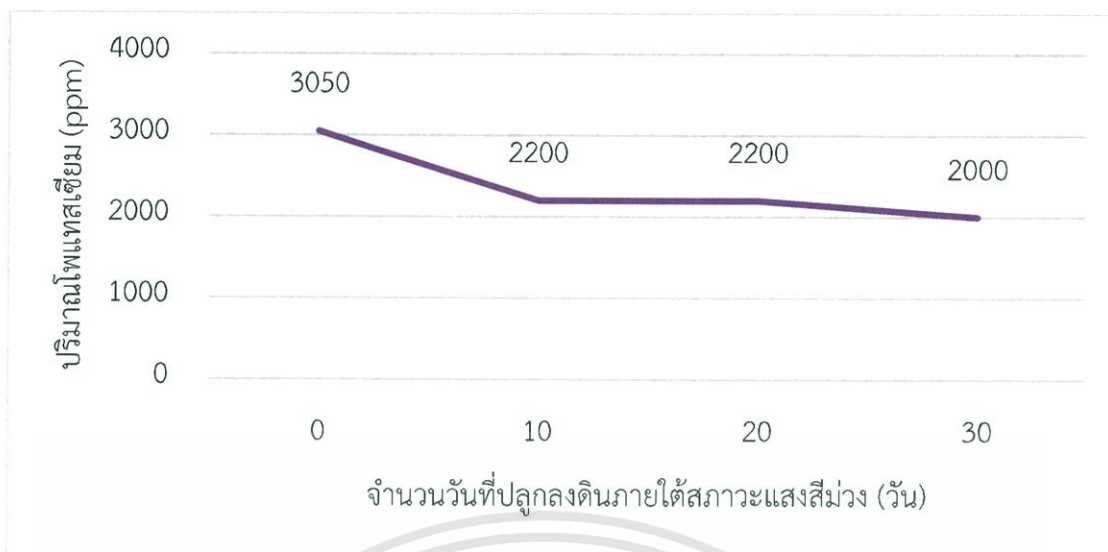
| อายุของผักกาดตอน ที่ย้ายจากไฮโดรโป นิกส์ (วัน) | จำนวนวันที่อยู่ในแสง สีม่วง (วัน) | โพแทสเซียม (ppm) | ไนเตรท (ppm) |
|---|--------------------------------------|---------------------|-----------------|
| 30 | 0 | 3450 | 7250 |
| | 10 | 3650 | 3700 |
| | 20 | 3000 | 225 |
| | 30 | 2800 | 280 |
| 40 | 0 | 3050 | 3700 |
| | 10 | 2200 | 470 |
| | 20 | 2200 | 280 |
| | 30 | 2000 | 270 |
| 50 | 0 | 1520 | 230 |
| | 10 | 3300 | 3233 |
| | 20 | 3133 | 2066 |
| | 30 | - | - |

ตารางที่ 4.4 การสะสมของปริมาณโพแทสเซียมและไนเตรทในผักกาดที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง

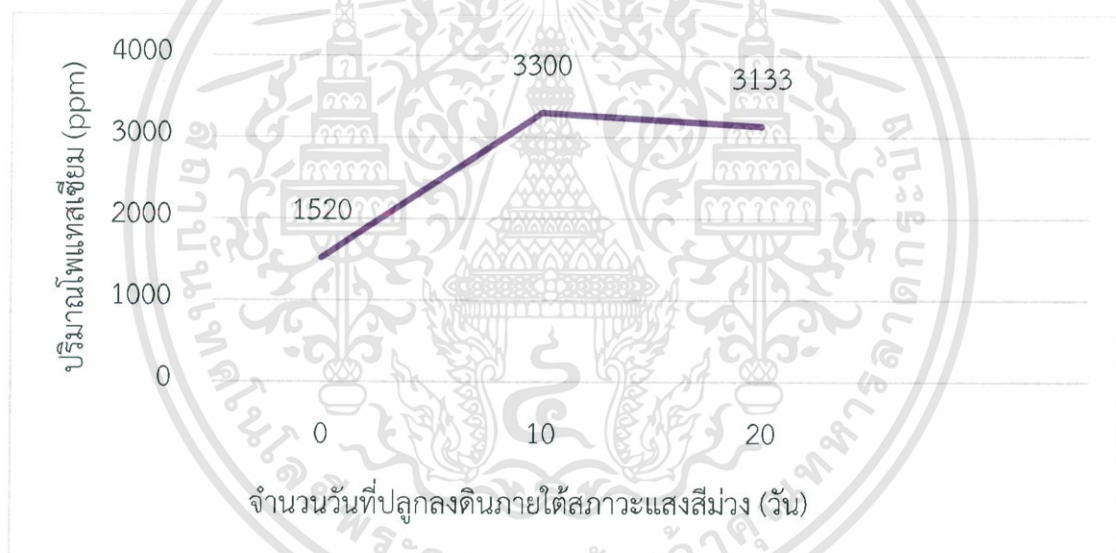


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณโพแทสเซียม กับ จำนวนวันที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิกส์อายุ 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

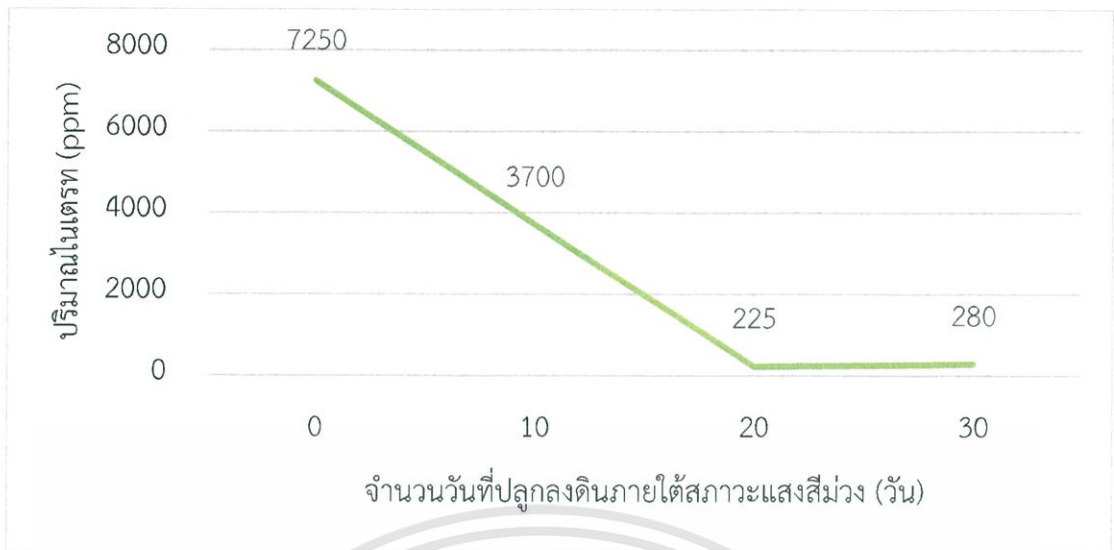


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณโพแทสเซียม กับ จำนวนวันที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์อายุ 40 วัน

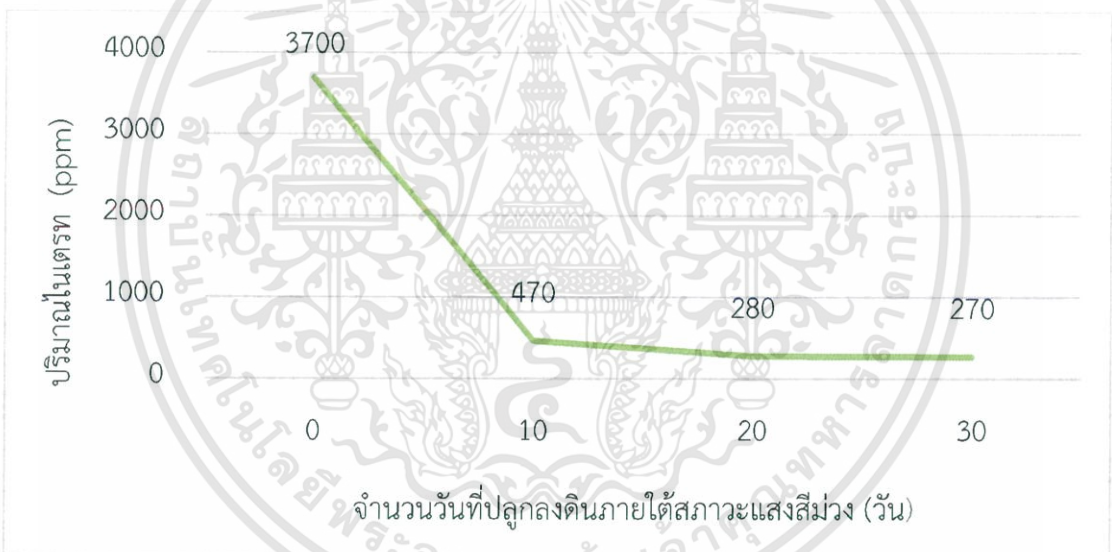


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณโพแทสเซียม กับ จำนวนวันที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์อายุ 50 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

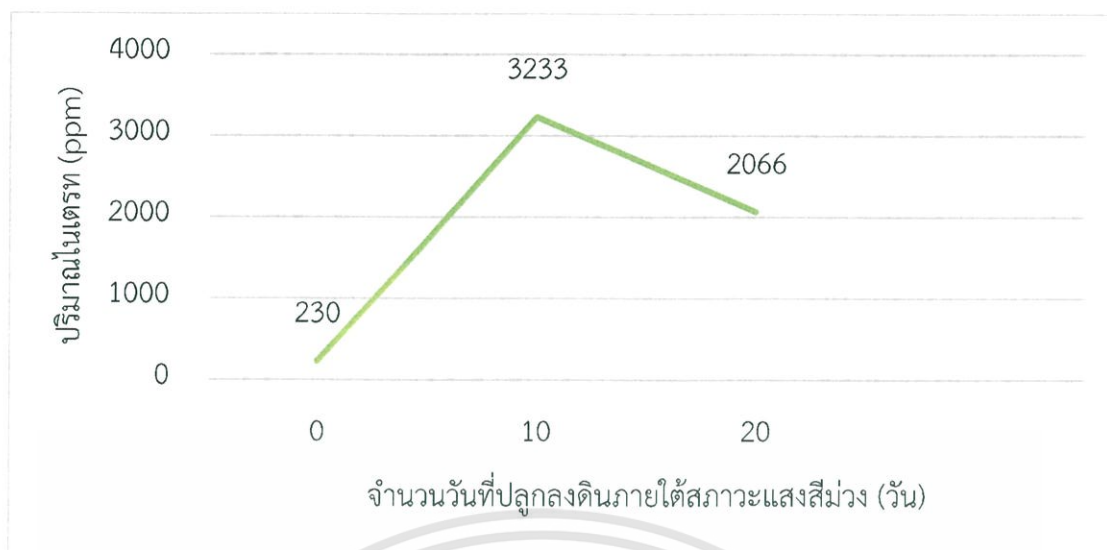


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณไนเตรท กับ จำนวนวันที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์อายุ 30 วัน



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณไนเตรท กับ จำนวนวันที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์อายุ 40 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง การสะสมปริมาณไนเตรท กับ จำนวนวันที่ปลุกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงของผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์อายุ 50 วัน

4.4 การศึกษาการสะสมแร่ธาตุของผักกาดที่ปลุกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ 30วันแล้วย้ายลงไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง 3 ระบบที่แตกต่างภายใต้สภาวะแสงสีเหลือง

นำผักกาดจากการเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์สูตรอาหาร 1/8MS อายุ 30 วันมาเพาะเลี้ยงต่อในระบบไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง ที่แตกต่าง 3 ระบบ

ระบบที่ 1

นำต้นผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์ที่อายุ 30 วัน มาลงในระบบไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.14 จะเห็นว่ามีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม และไนเตรท สำหรับวันแรกก่อนลงในระบบอยู่ที่ 4825 และ 4250 ppm ตามลำดับ เมื่อนำมาเลี้ยงที่ อาหารสูตร 1/8 MS ที่ใช้โมโนโซเดียมกลูตาเมต ที่ความเข้มข้น 10g/L แทนการใช้โพแทสเซียมและไนเตรท ผ่านไป 3 วัน ผลปรากฏว่ามีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และโซเดียม อยู่ที่ 4175, 4500 และ 546 ppm ตามลำดับ จากนั้นทำการย้าย ลงน้ำเกลือ ที่ความเข้มข้น 10g/L เมื่อผ่านไป 5 วัน ปรากฏว่ามีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และโซเดียม อยู่ที่ 2900, 2700 และ 180 ppm ตามลำดับ จากนั้นทำการย้ายลงน้ำประปาเป็นระยะเวลา 3 วัน มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และโซเดียม อยู่ที่ 2100, 1500, 550 ppm ตามลำดับ

ระบบที่ 2

นำต้นผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์ที่อายุ 30 วัน มาลงในระบบไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.15 จะเห็นว่า มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม และ ไนเตรท สำหรับวันแรกก่อนลงในระบบอยู่ที่ 4825 และ 4250 ppm ตามลำดับ ที่มีน้ำประปา เมื่อเวลาผ่านไป 5 วัน มีการสะสมของ ปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และโซเดียม อยู่ที่ 3000, 1550 และ 350 ppm

จากนั้นนำไป ลงในน้ำเกลือ ที่ความเข้มข้น 10g/L เป็นเวลา 1 วัน ต่อด้วยการนำไปลงในน้ำประปา

เมื่อผ่านไป 2 วัน มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และโซเดียม อยู่ที่ 2500,1800 และ 520 ppm ตามลำดับ

ระบบที่3

นำผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์ที่อายุ 30 วัน จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.16 จะเห็นว่ามีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และโซเดียม สำหรับวันแรกก่อนลงในระบบอยู่ที่ 4300, 2300 และ 480 ppm ตามลำดับ มาลงในไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง ที่เป็นน้ำเกลือความเข้มข้น 10g/l เป็นเวลา3วัน จากนั้นนำไปเลี้ยงต่อในน้ำประปา เมื่อผ่านไป 2 วัน มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และโซเดียม อยู่ที่ 3800, 1900 และ 1000 ตามลำดับ

การศึกษาการสะสมแร่ธาตุของผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์มา30วัน แล้วย้ายลงไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง 3ระบบที่ต่างกันภายใต้สภาวะแสงสีเหลืองพบว่า จากการเลี้ยงทั้ง 3 ระบบ ค่าการสะสมปริมาณ โพแทสเซียม,ไนเตรท และโซเดียม มีค่าที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ระบบที่มีการสะสมปริมาณแร่ธาตุอาหารที่น้อยที่สุด คือระบบที่ 2 ซึ่งถือว่าเป็นระบบที่ดีที่สุด สำหรับการเลี้ยงผักกาด เพื่อลดปริมาณการสะสมของปริมาณแร่ธาตุอาหาร ผักกาดที่เลี้ยงในสูตรอาหาร น้ำเกลือ เกิดกระบวนการออสโมซิส (osmosis) สารละลายชนิด (hypertonic solution) คือความเข้มข้นภายนอกเซลล์สูงกว่าภายในเซลล์ ทำให้น้ำไหลออกจากเซลล์ของต้นผักกาด ส่งผลให้เซลล์เหี่ยว เรียกว่ากระบวนการครีเนชัน (crenation)

| จำนวนวันและสูตรอาหาร | โพแทสเซียม (ppm) | ไนเตรท (ppm) | โซเดียม (ppm) |
|---|---------------------|-----------------|------------------|
| วันแรกก่อนลงในระบบ | 4825 | 4250 | - |
| 3วันใน 1/8 MS ใช้โมโนโซเดียมกลูตาเมต แทนการใช้โพแทสเซียม และไนเตรท | 4175 | 4500 | 497 |
| 5วัน ในน้ำเกลือ | 2900 | 2700 | 180 |
| 3วันในน้ำประปา | 2100 | 1500 | 550 |

ตารางที่ 4.5 การสะสมของปริมาณโพแทสเซียม, ไนเตรท และโซเดียม ในผักกาดที่ปลูกลงในไฮโดรโป

นิคส์น้ำนิ่ง ระบบที่1

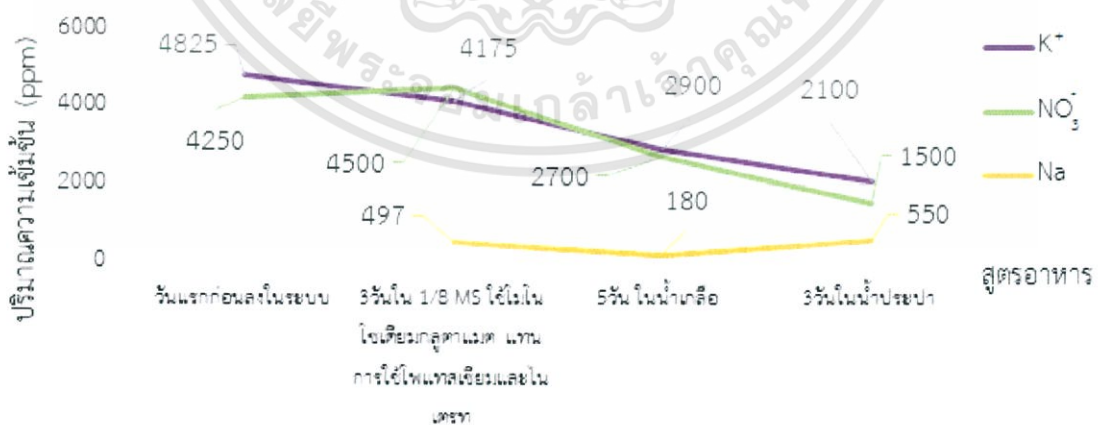
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| จำนวนวันและสูตรอาหาร | โพแทสเซียม (ppm) | ไนเตรท (ppm) | โซเดียม (ppm) |
|---|------------------|--------------|---------------|
| วันแรกก่อนลงในระบบ | 4825 | 4250 | - |
| 5 วันในสูตรอาหารน้ำประปา | 3000 | 1550 | 350 |
| 1วันในน้ำเกลือต่อด้วย 2วันในน้ำประปา (วัน) | 2500 | 1800 | 520 |

ตารางที่ 4.6 การสะสมของปริมาณ โพแทสเซียม, ไนเตรท และโซเดียม ในผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง ระบบที่2

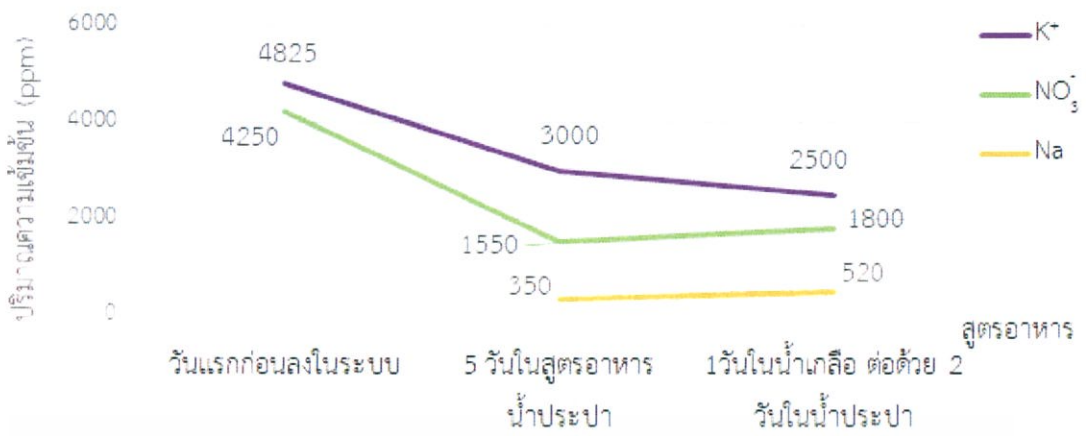
| จำนวนวันและสูตรอาหาร | โพแทสเซียม (ppm) | ไนเตรท (ppm) | โซเดียม (ppm) |
|---|------------------|--------------|---------------|
| วันแรกก่อนลงในระบบ | 4300 | 2300 | 480 |
| 3วันในน้ำเกลือต่อด้วย 2วันในน้ำประปา | 3800 | 1900 | 1000 |

ตารางที่ 4.7 การสะสมของปริมาณ โพแทสเซียม, ไนเตรท และโซเดียม ในผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง ระบบที่3

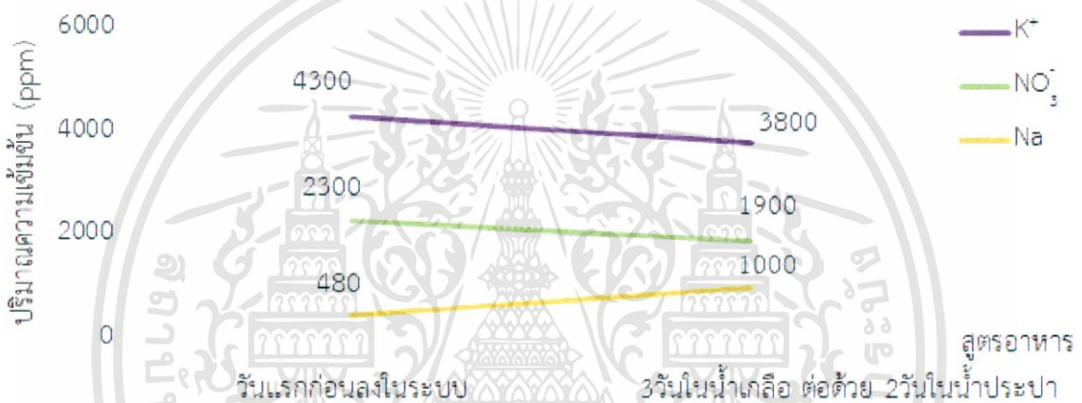


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น (ppm) ต่อ สูตรอาหารต่างๆของระบบที่1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น (ppm) ต่อ สูตรอาหารต่างๆ ของระบบที่2



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น (ppm) ต่อ สูตรอาหารต่างๆ ของระบบที่3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

การเจริญเติบโตและการสะสมโพแทสเซียมในผักกาดที่เลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองผักกาดทั้งหมด 4 การทดลอง ได้แก่ ผักกาดที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกัน, ผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์, ผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ ร่วมกับการปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง และ ผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ 30 วัน แล้วย้ายลงไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง 3 ระบบที่แตกต่างกันภายใต้สภาวะแสงสีเหลือง ผลการทดลองทั้ง 4 การทดลองสรุปได้ดังนี้

- การทดลองที่ 4.1

ผักกาดที่ปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกัน ภายใต้สภาวะแสงสีขาวมีการเจริญเติบโตและการสะสมโพแทสเซียมที่มากที่สุด เมื่อเทียบกับการเลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีน้ำเงินและม่วง

- การทดลองที่ 4.2

ผักกาดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ เพื่อหาสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการนำไปศึกษาต่อในการทดลองต่อไป พบว่า สูตรอาหารที่เหมาะสมที่สุดคือสูตรอาหาร 1/8 MS ของผักกาดที่อายุ 30 วัน

- การทดลองที่ 4.3

ผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ร่วมกับการปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง พบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการย้ายผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์มาปลูกลงดินช่วงของวันที่ 30 และ 40 วันเพราะจะทำให้การสะสมของปริมาณโพแทสเซียมลดลง

- การทดลองที่ 4.4

ผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ 30 วัน แล้วย้ายลงไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง 3 ระบบที่แตกต่างกันภายใต้สภาวะแสงสีม่วง พบว่าการเลี้ยงใน ระบบที่ 2 มีการสะสมของโพแทสเซียมน้อยที่สุด อยู่ที่ 2500 ppm ที่ลดลงจาก 4825 ppm ซึ่งเป็นค่าของวันแรกก่อนนำมาลงในระบบ

จากการทดลอง ทั้ง 4 การทดลองทำให้ทราบว่า วิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตผักกาดที่มีปริมาณการสะสมโพแทสเซียมต่ำนั้นคือ การเลี้ยงผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยสูตรอาหาร 1/8 MS ที่อายุ 30 วัน แล้วย้ายลงไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง ระบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 4.1 การศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมโพแทสเซียมในผักกาดที่เลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ เพื่อลดปริมาณการสะสมของแร่ธาตุโพแทสเซียม ในผักกาดที่ปลูกภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกัน พบว่า แสงสีที่ใช้ในการเลี้ยงที่แตกต่างกันส่งผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตของต้นผักกาดทั้ง การเจริญเติบโต และการสะสมปริมาณแร่ธาตุอาหาร โดยแสงสีขาว จะมีการสะสมปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดซึ่งส่งผลดีต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของพืช ทำให้ต้นผักกาดที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีขาวมีลักษณะการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด ซึ่งกลับกันกับการเลี้ยงภายใต้สภาวะแสงสีม่วงที่มีปริมาณโพแทสเซียมน้อยที่สุดส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชและการเจริญเติบโตได้ไม่ดี รวมไปถึงค่า PPF D ของแสงสีขาวมีค่าที่สูงกว่า แสงสี น้ำเงิน และ ม่วง จึงส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืชและการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง ส่วนแสงสีแดงนั้นมีอุณหภูมิในการเลี้ยงอยู่ที่ 34 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไปสำหรับการเพาะปลูก โดยปกติปกติแล้วผักกาดจะสามารถเจริญได้ดีที่ อุณหภูมิ 22-26 °C

จากการทดลองที่ 4.2 ผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ ได้มีการใช้สารอาหาร MS ที่เจือจางอยู่ที่ 1/4, 1/8 และ 1/16 MS พบว่าเมื่อเลี้ยงไปจนถึงวันที่ 30 การเจริญเติบโตและการสะสมโพแทสเซียม นั้น มีค่าที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการนำไปศึกษาต่อที่มีน้ำหนักสดอยู่ที่ 37.2 g ค่าการสะสมโพแทสเซียมและไนเตรทอยู่ที่ 3450 และ 7250 ppm ตามลำดับ และค่า RGR อยู่ที่ 0.1679 g/day โดยปกติแล้ว พืชที่เจริญในสภาวะที่มีโพแทสเซียมต่ำ ก็จะมีปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมอยู่ในใบต่ำด้วยเช่นกัน โพแทสเซียมมีบทบาทหน้าที่ที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง รวมไปถึงบริเวณที่มีการควบคุมปากใบ การสังเคราะห์ ATP และ การกระตุ้นเอนไซม์ (Lebaudy et al., 2008; Marschner, 1995; Tombesi et)

จากการทดลองที่ 4.3 ผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์รวมกับการปลูกลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง ย้อนกลับไปในการทดลองที่ 4.1 การเลี้ยงผักกาดภายใต้สภาวะแสงสีที่แตกต่างกันภายใต้สภาวะแสงสีม่วงนั้น พบว่ามีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมที่น้อยที่สุด แสงสีม่วงจึงถูกนำมาใช้ในการทดลองที่ 3 นี้ ผลปรากฏว่า ผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์อายุ 30 และ 40 วันนั้นมีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อย้ายมาลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง แต่กลับกันกับผักกาดจากไฮโดรโปนิคส์ในวันที่ 50 นั้นเมื่อ 10 วันแรกของการย้ายมาลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วง พบว่ามีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณสารละลายอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์นั้นเหลือน้อยแล้ว จากตารางในการทดลองที่ 4.2 ในสูตรอาหาร 1/8 MS ของวันที่ 50 จะเห็นว่า ค่า EC ของสารละลายอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์นั้นมีค่าเหลืออยู่ที่ 0.5 จาก 1.2 ของวันที่ 10 นั้นหมายความว่า เมื่อนำต้นผักกาดอายุ 50 วันซึ่งถูกเลี้ยงมาจากระบบไฮโดรโปนิคส์ซึ่งมีปริมาณสารละลายอาหารที่น้อยแล้วในระบบไฮโดรโปนิคส์เมื่อนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติไปจนจบอดีตไปไม่แจ้งและโดยผู้ดำเนินการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาะเลี้ยงต่อลงดินภายใต้สภาวะแสงสีม่วงผ่านไป10วัน กลับทำให้ต้นผักกาดนั้นมีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมที่สูงขึ้น

จากการทดลองที่ 4.4 ผักกาดที่ปลูกลงในระบบไฮโดรโปนิคส์ 30 วัน แล้วย้ายลงไฮโดรโปนิคส์น้ำนิ่ง 3 ระบบที่แตกต่างกันภายใต้สภาวะแสงสีเหลือง ได้ค้นพบกระบวนการครีเนชัน (crenation) โดยการนำไปเลี้ยงในระบบต่างๆ 3 ระบบ ที่มีการใช้ น้ำเกลือใน ระบบที่2 (ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดเนื่องจากการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมในวันเก็บสุดท้าย) เป็นสารละลายชนิด ไฮเปอร์โทนิคส์ (hypertonic solution) เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าภายในเซลล์ เมื่อนำต้นผักกาดที่ย้ายมาจากระบบไฮโดรโปนิคส์มาเลี้ยงในระบบนี้ ส่งผลให้เซลล์เหี่ยวและขับสารละลายแร่ธาตุต่างๆ ออกเป็นจำนวนมาก จากนั้นค่อยเปลี่ยนเป็นประปา เพื่อให้เซลล์พืชได้มีการดูดน้ำกลับ ส่งผลให้ต้นของผักกาดไม่เหี่ยวจนเกินไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1.) ต้องมีการคิดสูตรอาหารเพิ่มเติมในขั้นตอนสำหรับการเลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิคส์ ต้องเป็นสูตรอาหารเฉพาะมากกว่านี้ เพื่อให้ได้มาซึ่ง ผักกาดที่มีการสะสมของปริมาณโพแทสเซียมต่ำและพร้อมสำหรับการนำไปเข้าสู่กระบวนการครีเนชันต่อไป
- 2.) ต้องทำให้ต้นผักกาดเกิดกระบวนการครีเนชัน (crenation) โดยใช้สารละลายชนิดไฮเปอร์โทนิคส์ (hypertonic solution) เป็นสักระยะหนึ่งอาจจะ 2-3 วันภายใต้การเลี้ยงด้วยสูตรอาหารนี้ ก่อนที่จะนำไปเลี้ยงต่อในน้ำเปล่าปกติ เพื่อให้เซลล์ต้นผักกาดไม่เหี่ยวจนเกินไป
- 3.) ต้องมีการจำกัดระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงผักกาดต้องไม่ใช่ระยะเวลาในการเพาะปลูกลานาน หรือ เร็วเกินไป เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเพื่อเพิ่มปริมาณในระดับอุตสาหกรรมต่อไป
- 4.) ต้องมีการศึกษาเรื่องการเจริญเติบโตและการสะสมปริมาณแร่ธาตุอาหารของต้นผักกาดอย่างต่อเนื่องและตลอดเวลาเพื่อให้มีการพัฒนา ปรับปรุง วิธีการต่างๆ ให้นำมาซึ่งวิธีการที่ดีที่สุดที่สามารถทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

คงเอก ศิริงาม. 2557. ผลของโพแทสเซียมต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดที่ปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. บทความวิจัย. สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร สืบค้นได้จาก [ออนไลน์].

https://www.tcithaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/article/view/41826

ธนาพร นพรัตน์ไพบุลย์. 2551. ผลกระทบของสัดส่วนของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน จากหลอด LED ต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของพืชเบญจมาศ คาร์เนชั่น ลิเซียนทัส และสตรอร์วีเบอร์รี่. การวิจัย ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี [ออนไลน์]. https://www.sci.nu.ac.th/spc2018/uploadfile/paperfile/meetn_673@gmail.com-p-1524236354.pdf

นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี , 2560. ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืชวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2560 หน้า 158-176. คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สืบค้นได้จาก [ออนไลน์]. <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/69616/56527>

นฤมล วชิรปัทมา, ศิรินทรา น่วมินทร์, วีรวัฒน์ รอดคุ้ม. 2554. การวิเคราะห์ในเตรทในผักไฮโดรโปนิคส์โดย Capillary Electrophoresis. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปีที่ 19 ฉบับที่ 4 ต.ค.-ธ.ค. 54 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต สืบค้นได้จาก [ออนไลน์]. <http://tujournals.tu.ac.th/tstj/detailart.aspx?ArticleID=202>

ปราโมทย์ ทองเนียม. (2551). การสังเคราะห์ด้วยแสง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.thaigoodview.com/node/18097>. (สืบค้นเมื่อ 17 กุมภาพันธ์ 2562)

ภาณุพงศ์ รักขางค์. 2561. ภาวะความผิดปกติของโพแทสเซียม (Potassium disorder). คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. สืบค้นได้จาก [ออนไลน์]. https://ccpe.pharmacycouncil.org/index.php?option=article_detail&subpage=article_detail&id=435

ลิลลี่ กาวีตะ และ ศรีสม สุวรรณวงศ์ 2548. “สรีรวิทยาของพืช.” พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : บทที่ 5 ธาตุอาหารพืช หน้า 50-56 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรรณภา เสนาดี 2561. ขยายความสารตกค้างในไฮโดรโปนิคส์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.kehakeset.com/newsactivities_details.php?view_item=349.

ศรีสม สุวรรณวงศ์ 2548. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : บทที่ 9 คาร์บอนเมทาบอลิซึม หน้า 98 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งมีขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.), 2560. สรรพคุณและประโยชน์ของ ผักกาดขาว (Chinese Cabbage). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://medthai.com/ผักกาดขาว/>.

อานัฐ ตันโช. 2548. บทที่ 3 ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบไฮโดรโปนิคส์ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://digi.library.tu.ac.th/thesis/ec/1085/10CHAPTER_3.pdf : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

อำภา ตันติสิระ, อรสา ติสถาพรหม, ธงชัย สถาพรวรรคักดี และจิราภา จอมไธสง. 2540. ผักกาดเขียวปลี, กองส่งเสริมพืชสวน. พิมพ์ครั้งที่ 1. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://www.jijayvegan.com/articles/42240852/ผักกาดเขียวปลี-\(ตัวถ่าย\).html](http://www.jijayvegan.com/articles/42240852/ผักกาดเขียวปลี-(ตัวถ่าย).html)

Bajwa, S. S. and I. S. Kwatra. 2013. Nutritional needs and dietary modifications in patients on dialysis and chronic kidney disease. J. Medical Nutr. Nutraceuticals 2: 46.

Basile, B., E. J. Reidel, S. A. Weinbaum and T. M. DeJong. 2003. Leaf potassium concentration, CO₂ exchange and light interception in almond trees (*Prunus dulcis* (Mill) DA Webb). Sci. Hortic. 98: 185–194.

Epron, D., J. P. Laclau, J. C. Almeida, J. L. M. Gonçalves, S. Ponton, C. R. Sette and Y. Nouvellon. 2012. Do changes in carbon allocation account for the growth response to potassium and sodium applications in tropical *Eucalyptus* plantations? Tree Physiol. 32: 667–679.

Geng Zhang, Masahumi Johkan, Masaaki Hohjo, Satoru Tsukagoshi and Toru Maruo. 2017. Plant Growth and Photosynthesis Response to Low Potassium Conditions in Three Lettuce (*Lactuca sativa*). The Horticulture Journal 86 (2): 229–237.

Jin, S. H., J. Q. Huang, X. Q. Li, B. S. Zheng, J. S. Wu, Z. J. Wang and M. Chen. 2011. Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. Tree Physiol. 31: 1142–1151.

Lebaudy, A., A. Vavasseur, E. Hosy, I. Dreyer, N. Leonhardt, J. B. Thibaud and H. Sentenac. 2008. Plant adaptation to fluctuating environment and biomass production are strongly dependent on guard cell potassium channels. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 105: 5271–5276

Matthew A. Mickens, Emilie Skoog, L. E. Reese, Payton Barnwell, Lashelle E. Spencer,

เอกสารนี้เป็นของ Gioia D. Massa, Raymond Wheeler. (2018) A Strategic Approach for Investigating...
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Light Recipes for ‘Outredgeous’ Red Romaine Lettuce Using White and Monochromatic LEDs. *Life Sciences in Space Research*

Mazaki Garden. (2561). การเลือกไฟปลูกต้นไม้ ต้องพิจารณาอะไรบ้าง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://masakigarden.com/การเลือกไฟปลูกต้นไม้> (สืบค้นเมื่อ 27 พฤษภาคม 2562)

Tombesi, L., M. T. Calè and B. Tibone. 1969. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on the assimilation capacity of beta vulgaris chloroplasts (I). *Plant Soil* 31: 65-76.

Usda Natural Resources Conservation Service. 2019. Plant profile.[Online]. Available : <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=BRJU> (สืบค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2562)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้