

การจัดการสารละลายธาตุอาหารแบบซีโรเวสต์ของการผลิตพืชผัก
ในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ZERO WASTE NUTRIENT MANAGEMENT OF VEGETABLE
PRODUCTION IN HYDROPONICS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-AG-M-065-279

การจัดการสารละลายธาตุอาหารแบบซีโร่เวสต์ของการผลิตพืชผัก
ในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ZERO WASTE NUTRIENT MANAGEMENT OF VEGETABLE
PRODUCTION IN HYDROPONICS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561
KMITL-2018-AG-M-065-279

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ZERO WASTE NUTRIENT MANAGEMENT OF VEGETABLE
PRODUCTION IN HYDROPONICS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE
FACTULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2018

KMITL-2018-AG-M-065-279

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดการสารละลายธาตุอาหารแบบซีโรเวสต์ของการผลิตพืชผักในระบบปลูกโดยไม่ใช้ดิน
ชื่อนักศึกษา	นาย นคร บุญน้อย
รหัสนักศึกษา	59604046
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. พรหมมาศ กุหากาญจน์

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และรูปแบบของการนำสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกพืชแล้วนำกลับมาใช้ซ้ำ เพื่อพัฒนาขั้นตอนการผลิตพืชแบบ zero waste โดยวิธีการดำเนินงาน แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ 1) การศึกษารูปแบบและการจัดการที่เหมาะสมในการนำสารละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำในระบบผลิตพืชผัก 2) ความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติในการผลิตพืชผักแบบซีโรเวสต์

ในขั้นตอนที่ 1 เป็นการปลูกผักสลัดในระบบ NFT เพื่อนำสารละลายธาตุอาหารที่ใช้แล้ว ไปปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT เปรียบเทียบกับการใช้สารละลายธาตุอาหารใหม่ จากนั้นนำสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้าเห็ดหอม ไปใช้ซ้ำอีกครั้งในการปลูกเมล่อนที่ปลูกในระบบ substrate culture โดยทดสอบกับก้านเมล่อน 2 สายพันธุ์ ที่เป็นสายพันธุ์เนื้อสีเขียว และเนื้อสีส้ม เปรียบเทียบกับการใช้สารละลายธาตุอาหารใหม่ และมีการต่อท่อเก็บสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกมารวมไว้ เพื่อนำไปปลูกข้าวโพดในดินเป็นขั้นตอนสุดท้าย จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผักสลัดที่ทำการปลูกทั้งหมด 8 รอบการผลิต มีการเจริญเติบโตปกติ มีปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก และปริมาณสารละลายที่ถ่ายออกไปยังระบบ DRFT ต่อรอบการผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 700, 2.4, 1.95 และ 240 ลิตร ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในสารละลายที่ผ่านการใช้แล้ว 2 สัปดาห์ พบว่ามีปริมาณแร่ธาตุลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสารละลายที่เตรียมใหม่ ยกเว้นธาตุโซเดียมที่พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 11.6 ppm เพิ่มขึ้นเป็น 24.1 ppm เมื่อนำสารละลายดังกล่าวไปปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT โดยปรับความเข้มข้นให้ตรงกับความต้องการของคะน้า ($EC \approx 2.5 \text{ mS/cm}$) พบว่าการเจริญเติบโต และผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีการใช้สารละลายธาตุอาหารใหม่ทั้งหมด และพบว่าสามารถลดปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ได้เท่ากับ 84.92-100, 64.49-75.61 และ 26.25-55.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่ามีปริมาณโซเดียมในสารละลายเก่ามากกว่าสารละลายที่เตรียมใหม่ โดยมีปริมาณเท่ากับ 81.5 และ 59.0 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ จากนั้นนำสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้ำเห็ดหอมไปทดสอบปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture โดยนำมาเจือจางกับน้ำในอัตราส่วน 1:5 และปรับความเข้มข้นโดยใช้ปุ๋ยสูตรที่เตรียมขึ้นใหม่ที่คำนวณจากปริมาณธาตุอาหารที่เหลืออยู่ พบว่าทั้ง 2 รอบการผลิต ของแต่ละสายพันธุ์ ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือมีการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของผลผลิต ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และยังสามารถลดปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ได้เท่ากับ 9.57-21.29, 28.57-42 และ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพบว่าส่วนใหญ่มีปริมาณใกล้เคียงกับสารละลายใหม่มีเพียงโซเดียมของการใช้สารละลายซ้ำจะมีปริมาณมากกว่า สารละลายปกติที่เตรียมใหม่เท่ากับ 34.7 และ 10.8 ppm ตามลำดับ และยังพบว่าสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกมีธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมปริมาณสูง เท่ากับ 482 และ 692 แต่ยังคงพบว่ามีปริมาณของโซเดียมสูงเช่นกัน เท่ากับ 71.7 ppm ซึ่งอาจนำไปใช้ปลูกพืชในรอบสุดท้ายได้ จากการนำสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกมาทดลองปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในดิน พบว่าการเจริญเติบโต และผลผลิต ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และสามารถลดต้นทุนของการใช้น้ำ และ ปุ๋ย ได้เท่ากับ 68.03 และ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ในขั้นตอนที่ 2 ทดสอบระบบที่สามารถได้จริงในเชิงปฏิบัติ กล่าวคือเริ่มจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT จากนั้นถ่ายสารละลายออกเป็น 2 ทาง ได้แก่นำไปปลูกคะน้ำเห็ดหอมในระบบ DRFT และปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture จากนั้นนำสารละลายที่เหลือจากคะน้ำและเมล่อน นำมาปลูกข้าวโพดในดินเป็นขั้นสุดท้าย ซึ่งสามารถสร้างระบบต้นแบบออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) รูปแบบสำหรับผู้ประกอบการรายใหญ่ที่มีระบบควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยอย่างแม่นยำ พบว่าน้ำหนักของผักสลัดเฉลี่ยต่อต้นประมาณ 40-140 กรัม มีการใช้ปุ๋ยเฉลี่ย 1.98 ลิตร และกรด 0.70 ลิตรต่อรอบการผลิต ส่วนผลผลิตของคะน้ำเฉลี่ยต่อต้น 114-124 กรัม มีการใช้สารละลายเท่ากับ 1.39-2.06 ลิตรต่อต้น ส่วนข้อมูลผลผลิตเมล่อนพบว่า การเจริญเติบโต และผลผลิตเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยรวมแล้วไม่แตกต่างกับการใช้สารละลายสูตรปกติ ของในแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งสามารถลดจำนวนใช้ปุ๋ยต่อต้นได้ 23.07 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นราคาสามารถลดได้ 5.38 บาทต่อลิตร ส่วนผลผลิตของข้าวโพดในดิน มีผลผลิตน้ำหนักผักเฉลี่ย 0.25 กิโลกรัม มีปริมาณการใช้น้ำ 51.12 ต่อต้น ใช้สารละลาย 3.84 ลิตรต่อต้น 2) รูปแบบสำหรับผู้ประกอบการรายย่อยที่มีระบบการควบคุมเท่าที่จำเป็น พบว่าผลผลิตของผักสลัดได้น้ำหนักเฉลี่ยอยู่ประมาณ 40-130 กรัมต่อต้น มีการใช้ปุ๋ย และกรด ประมาณ 3.67 และประมาณ 1 ลิตรตามลำดับต่อรอบการผลิต และผลผลิตคะน้ำมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นประมาณ 107.63-126.34 กรัม มีการใช้สารละลาย 2.05-3.33 ลิตรต่อต้น ในส่วนผลผลิตของเมล่อนมีน้ำหนักผลประมาณ 1718-1813 กรัม และมีของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 12.25-15 °Brix มีการใช้สารละลาย 89.42 ลิตรต่อต้น สำหรับผลผลิตของข้าวโพดน้ำหนักของฝักเท่ากับ 0.25 กิโลกรัม/ฝัก มีการใช้น้ำ และสารละลาย เท่ากับ 135.91 และ 9.33 ลิตรต่อต้น ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการจัดการให้อยู่ในรูปแบบการผลิตผักแบบ zero waste ในช่วงแรกอาจมีอุปสรรคที่ต้องมีการจัดการระบบค่อนข้างยุ่งยาก และต้นทุนค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามเมื่อมีการผลิตแบบไม่ทิ้งสารละลายให้สูญเสียเปล่าสามารถเพิ่มมูลค่าของสารละลายโดยเปลี่ยนเป็นผลผลิตได้ และลดต้นทุนในการใช้น้ำ และ ปุ๋ย กรดไนตริก ได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับการเลือกรูปแบบที่ใช้ในการผลิตพืชแบบ zero waste ควรเลือกรูปแบบให้มีความเหมาะสมกับขนาดฟาร์ม ต้นทุน และความรู้ ของเกษตรกร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Zero waste nutrient management of vegetable production in hydroponics
Student	Mr. Nakorn Boonnoi
Student ID	59604046
Degree	Master of Science
Program	Agriculture
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Prommart Koohakan

Abstract

The objective of this research was to study on the possibility and feasibility model for utilization of re-used nutrient solution, according to zero waste management of vegetable production in hydroponics. The experiment was divided into two parts. Part one was focused on planting model for plant production with re-used nutrient solution and practical management to zero waste. Part two was taken on practical production of vegetable production with zero waste management of nutrient solution.

The experiments in part 1 were initiated from lettuces grown in NFT. Then used-nutrient solution (UNS) from NFT was collected and applied for growing Chinese kale in DRFT. Comparison with control, that new nutrient solution (NNS). Then UNS from DRFT was also collected and reused for growing melon in substrate culture. Two cultivars of melon green and orange variety were used in this experiment. Comparison with control, that was new nutrient solution (NNS). Finally, the UNS drained from substrate culture was collected to reuse again for growing sweet corn in soil.

The results found that the growth of lettuces were normal. In each crop, lettuce consumed water, fertilizer, nitric acid and drained out to 700, 2.4, 1.95 and 240 L respectively. The sample of UNS was collected and analyzed the remaining elements. It showed that the concentration of all elements in UNS was decrease but many of them still remained in the nutrient solution, except for Na that found high amount after used for long run. Regard to Na, it's concentration in the beginning and 2 weeks in the system were 11.6 and 21.4 ppm respectively. Using UNS from NFT for growing Chinese kale in DRFT by adjust the concentration to 2.5 mS/cm. The result found that growth and yield were not significant difference compared with using NNS. Moreover, using UNS could reduce water consumption, fertilizer and nitric acid for this production up to 84.92-100, 64.49-75.61 and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26.25-55.27 % respectively. Nutrient analysis of UNS and NNS at the end stage found that it was similar in concentration upto 6 weeks of cultivation, except for Na that found the UNS was much higher than that in NNS (81.9 and 59 ppm respectively). Then, using UNS from DRFT for growing melon in substrate culture. Before growing melon in substrate culture, UNS was diluted with water (1:5) for analysing the remaining minerals, and then reformulating. The results found that growth, yield and yield traits of melon both in crop 1 and 2 in every cultivars using UNS were not significant difference compared with using NNS. In addition, using UNS could reduce water consumption, fertilizer and nitric acid for this production up to 9.57-21.29, 28.57-42 and 30-40 %, respectively. Regarding the nutrient solution analysis, all components except for Na in UNS and NNS were similar. Na the concentration in the UNS was higher than that in the NNS (34.7 and 10.8 ppm respectively). For UNS drainage, N, P and Na were 482, 692 and 71.7 ppm, respectively. Finally, the UNS draining from substrate was used for growing sweet corn in soil. It was found that, the UNS used for sweet corn in soil revealed growth and yield without significant difference compared with that grown by general management. Further more, using UNS could reduce water consumption and fertilizer for this production up to 68.03 and 100 %, respectively.

The experiment in part 2 was testing on the practical application. Initially, lettuces were grown in NFT. Then the UNS from NFT were re-used for growing Chinese kale in DRFT or melon in substrate culture. Finally, the UNS from DRFT and substrate culture were collected and applied for growing sweet corn in soil. Two planting models were proposed, one for large scale grower and another for small scale grower. For large scale growing system, was equipped with continuous fertigation and precision system. The results found that lettuces obtained yield (40-140 g/plant. on average) with fertilizer consumption (1.98 L/crop. on average) and nitric acid (0.70 L/crop. on average). Yield of Chinese kale (114-124 g/plant. on average) by using UNS to 1.39-2.06 L/plant. Each melon obtained yields and yield traits without significant difference compared with control. Using UNS could reduce fertilizer consumption upto (23 %), that reduce cost to (5.38 bath/L). The sweet corn obtained yields (0.25 kg/ear. on average) with water consumption and UNS to 51.12 and 3.84 L/plant respectively.

For small scale growing system, the suitable technology was applied. Results showed that yield of lettuce was (40-130 g/plant. on average) with fertilizer consumption and nitric acid to 3.67 and 1 L/crop respectively. Chinese kale obtained yield (107.63-126.34 g/plant. on average) by using nutrient solution to 2.05-3.335 L/plant. Melon obtained yields (1718-1813 g/fruit) and total soluble solids (12.25-15 °Brix)

with the totally used nutrient solution to 89.42 L/plant. The sweet corn obtained yield (0.25 kg/ear. on average) with water consumption and nutrient solution (UNS) to 135.91 and 9.33 L/plant respectively.

In practical, zero waste nutrient management of vegetable production in hydroponics might be difficult and high cost in the beginning, However such a planting model could increase the value of nutrient solution as well as reduce the production cost more than 50 percent. Furthermore, it also reduced waste from agricultural sector to the environment. For zero waste production model proposed in this study, it should be selected an appropriate model belong to farm size, cost and knowledge of farmers and it would be applied for the smart growers who are responsible for environmentally concern.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว เป็นอย่างสูงที่ส่งเสริมเลี้ยงดู และอบรมบ่มนิสัย รวมทั้งให้กำลังใจและสนับสนุนด้านการศึกษาจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ รศ.ดร. พรหมมาศ คุณหากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งแนะนำให้คำปรึกษาช่วยเหลือแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอขอบคุณ รศ.ดร. อธิวิสุนทร นันทกิจ ที่ช่วยเหลือสถานที่ในการวิจัยครั้งนี้ และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ขอขอบคุณ รศ.ดร. ถนิมนันต์ เจนอักษร อาจารย์ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ด้านโรคพืช รวมถึงให้คำแนะนำแนวทางการดำเนินชีวิตประจำวัน ขอขอบคุณ รศ.ดร. สมยศ เศษภีร์ตนมงคล รศ.ดร. อัมร อินทร์สังข์ และ ผศ.ดร. พรประพา คงตระกูล ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสอบโครงร่างและสอบประมวลความรู้

ขอขอบคุณ ธิติ ทองคำงาม และ ศณศ ใจเก่งกาจ ที่คอยดูแลให้คำปรึกษาในเรื่องการศึกษา และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ สุริยสิทธิ์ สมนึก เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางโรคพืช ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์เครื่องมือและคำแนะนำในการปฏิบัติงานมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ทักษพร ช่างม่วง ปาณิสรา ประสม และ ณัฐนิษฐา จิมพาลี และน้องๆ ที่คอยเป็นกำลังใจ ช่วยเหลือ และร่วมทุกข์ร่วมสุขมาด้วยกันตลอด

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้แผนพัฒนาศักราชภาพันธุ์ที่รุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2561

นคร บุญน้อย

17 กรกฎาคม 2561

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1.2 การจัดการและทดสอบสารละลายที่ถ่ายออกจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT มาปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ dynamic root floating technique (DRFT)	24
3.2.1.3 การจัดการและทดสอบสารละลายที่เหลือจากการปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT นำมาปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture.....	25
3.2.1.4 การจัดการและทดสอบใช้สารละลายที่ระบายออกจากการปลูกเมล่อนนำมาปลูกข้าวโพดในสภาพดิน.....	26
ขั้นตอนที่ 3.2.2 การทดสอบระบบในการผลิตพืชผักที่ปราศจากสารละลายเหลือทิ้ง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม.....	27
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	28
4.1 การศึกษารูปแบบและการจัดการที่เหมาะสมในการนำสารละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำในระบบผลิตพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....	28
4.1.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก และองค์ประกอบของธาตุอาหาร ของการผลิตผักสลัดในระบบ NFT.....	28
4.1.1.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของการผลิตผักสลัดในระบบ NFT.....	28
4.1.1.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการผลิตผักสลัดในระบบ NFT.....	30
4.1.1.3 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารที่ผ่านการใช้แล้ว 2 สัปดาห์ และสารละลายที่เตรียมใหม่จากระบบ NFT.....	31
4.1.2 การจัดการและทดสอบสารละลายที่ถ่ายออกจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT มาปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ dynamic root floating technique (DRFT)	32
4.1.2.1 การทดสอบและจัดการสารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการผลิตผักคะน้า เห็ดหอมในระบบ DRFT.....	33
4.1.2.3 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารที่ผ่านการใช้ซ้ำ และ สารละลายที่เตรียมใหม่จากระบบ DRFT.....	35
4.1.3 การจัดการและทดสอบสารละลายที่เหลือจากการปลูกคะน้าเห็ดหอมใน ระบบ DRFT นำกลับมาใช้ซ้ำในการปลูกเมล่อน ในระบบ substrate culture.....	36
4.1.3.1 การจัดการและทดสอบสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้า ในระบบ DRFT กลับมาใช้ซ้ำต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ของ การผลิตเมล่อนในระบบ substrate culture.....	36
4.1.3.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการผลิตเมล่อน ในระบบ substrate culture.....	41
4.1.3.3 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ซ้ำ และสารละลายที่ ดูสรุปคึกจากการปลูกเมล่อน ในระบบ substrate culture.....	42
4.1.4 การจัดการและทดสอบใช้สารละลายที่ระบายออกจากการปลูกเมล่อน นำมาปลูกข้าวโพดในสภาพดิน.....	43
4.1.4.1 ลักษณะทางกายและเคมีของดินก่อนทำการทดลอง.....	43
4.1.4.2 การจัดการและทดสอบการใช้สารละลายธาตุอาหารที่ระบายออก จากวัสดุปลูกเมล่อนนำมาใช้ซ้ำ ต่อการเจริญเติบโตและ ผลผลิตของข้าวโพดหวานสีแดงในดิน.....	44
4.1.4.3 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการผลิตข้าวโพด หวานในดิน.....	45
4.2 การทดสอบระบบในการผลิตพืชผักที่ปราศจากสารละลายเหลือทิ้ง และเป็น มิตรต่อสิ่งแวดล้อม.....	47
4.2.1. รูปแบบสำหรับผู้ประกอบการรายใหญ่.....	47
4.2.1.1. การทดสอบปลูกผักสลัดในระบบ NFT ในรูปแบบของ ผู้ประกอบการรายใหญ่.....	49
4.2.1.1.1 ข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดในระบบ NFT.....	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1.1.2 ข้อมูลการปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ต่อ การผลิตผักสลัดในระบบ NFT.....	50
4.2.1.2 การทดสอบปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT ในรูปแบบของ ผู้ประกอบการรายใหญ่.....	51
4.2.1.2.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของคะน้าเห็ดหอม ในระบบ DRFT.....	51
4.2.1.2.2 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการผลิต คะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT.....	52
4.2.1.3 การทดสอบการใช้สารละลายสูตรปกติและสารละลายที่ถ่ายอย่าง ต่อเนื่องจากระบบ NFT ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของเม ล่อนในระบบ substrate culture	52
4.2.1.3.1 การทดสอบการใช้สารละลายปกติและสารละลายที่ถ่าย อย่างต่อเนื่องจากระบบ NFT ต่อการเจริญเติบโต และ ผลผลิตของเมล่อนในระบบ substrate culture.....	52
4.2.1.3.2 การสำรวจความพึงพอใจของเมล่อนที่ปลูกใน สารละลายสูตรปกติ และสารละลายที่ใช้ซ้ำจาก NFT ที่ถูกถ่ายออกอย่างต่อเนื่อง.....	54
4.2.1.3.3 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ของการใช้ สารละลายซ้ำและสูตรปกติ ในการปลูกเมล่อนใน ระบบ substrate culture.....	55
4.2.1.4. การใช้สารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้าจากระบบ DRFT และสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดในดิน.....	56
4.2.1.4.1 ข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดในดิน จากการใช้ สารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้าและที่ระบาย ออกจากวัสดุปลูกเมล่อน.....	56
4.2.1.4.2 ข้อมูลการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ของการปลูกข้าวโพด ในดิน.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2. รูปแบบสำหรับผู้ประกอบการรายย่อย.....	58
4.2.2.1 การทดสอบปลูกผักสลัดในระบบ NFT ในรูปแบบของ ผู้ประกอบการรายย่อย.....	59
4.2.2.1.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักสลัดใน ระบบ NFT.....	59
4.2.2.1.2 ข้อมูลการปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ต่อ การผลิตผักสลัดในระบบ NFT.....	60
4.2.2.2 การทดสอบปลูกกะน้ำเห็ดหอมในระบบ DRFT ในรูปแบบของ ผู้ประกอบการรายย่อย.....	61
4.2.2.2.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิต ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ของกะน้ำเห็ดหอมในระบบ DRFT.....	61
4.2.2.2.3 การทดสอบการใช้สารละลายอย่างต่อเนื่องจากระบบ NFT ต่อ การเจริญเติบโต และผลผลิตของเมล็ดในในระบบ substrate culture.....	62
4.2.2.2.3.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิต ของเมล็ดในใน ระบบ substrate culture.....	62
4.2.2.2.3.2 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการปลูก เมล็ดในในระบบ substrate culture.....	62
4.2.2.4 การทดสอบสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวกะน้ำและที่ ระบายออกจากวัสดุปลูกเมล็ดใน ต่อผลผลิต ปริมาณการใช้น้ำ และปุ๋ย ในการปลูกข้าวโพดดิน.....	63
โรคและแมลงที่พบตามธรรมชาติ.....	64
บทที่ 5 วิจัยณ์ผลการทดลอง.....	71
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	76
บรรณานุกรม.....	78
ภาคผนวก	82
ประวัติผู้เขียน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	วัสดุปลูกอินทรีย์และอินทรีย์ที่ใช้ในระบบ substrate culture.....	6
2.2	ลักษณะอาการขาดธาตุของพืช.....	9
2.3	รูปแบบของธาตุอาหารและชนิดของปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน...	10
4.1	ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ในการผลิตผักสลัดในระบบ NFT	31
4.2	องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT ที่เตรียมใหม่และผ่านการใช้เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์.....	32
4.3	การทดสอบและจัดการสารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT ต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT.....	33
4.4	การทดสอบและจัดการสารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT ต่อผลผลิตของผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT.....	34
4.5	ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ของสารละลายใหม่และสารละลายที่ใช้น้ำ ต่อการเจริญเติบโตของคะน้าเห็ดหอม ในระบบ DRFT.....	34
4.6	องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารจากการปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT ที่เตรียมใหม่และสารละลายที่ใช้น้ำในระยะก่อนเริ่มและระยะเก็บเกี่ยว.....	36
4.7	การทดสอบเบื้องต้นของการนำสารละลายเหลือทิ้งจากการปลูกคะน้ากลับมาใช้น้ำ ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของเมล่อนในระบบ substrate culture รอบการผลิตที่ 1	37
4.8	การจัดการและทดสอบสารละลายเหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้ากลับมาใช้น้ำ ต่อการเจริญเติบโตของเมล่อนในระบบ substrate culture.....	39
4.9	การจัดการและทดสอบสารละลายเหลือจากการเก็บเกี่ยวปลูกคะน้ากลับมาใช้น้ำ ต่อการเจริญผลผลิตของเมล่อนในระบบ substrate culture.....	40
4.10	แบบสำรวจความพึงพอใจของเมล่อนที่ปลูกในสารละลายใหม่ และสารละลายที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	40
4.11	ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ในการผลิตเมล่อนในระบบ substrate culture.	42
4.12	องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารของการใช้สารละลายน้ำ การใช้สารละลายสูตรปกติ และสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูก ของการปลูกเมล่อน ในระบบ substrate culture.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.13	ลักษณะทางกายภาพและเคมี ของดินที่ใช้ปลูกข้าวโพดหวานสีแดงก่อนการทดลอง.....	44
4.14	องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกข้าวโพดในสภาพดิน...	44
4.15	การจัดการและทดสอบใช้สารละลายธาตุอาหารที่ระบายออกจากวัสดุปลูก เมล่อนต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในสภาพดิน.....	45
4.16	การจัดการและทดสอบใช้สารละลายธาตุอาหารที่ระบายออกจากวัสดุปลูกเม ล่อนต่อผลผลิตของข้าวโพดหวานในสภาพดิน.....	46
4.17	ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ของการปลูกข้าวโพดในดิน.....	47
4.18	ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ในการผลิตผักสลัดในรูปแบบผู้ประกอบการราย ใหญ่.....	51
4.19	ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT รูปแบบ ผู้ประกอบการรายใหญ่.....	51
4.20	ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ของการใช้สารละลายซ้ำ ต่อการ เจริญเติบโตของคะน้าเห็ดหอม ในระบบ DRFT รูปแบบผู้ประกอบการราย ใหญ่.....	52
4.21	การทดสอบใช้สารละลายสูตรปกติและสารละลายที่ใช้ซ้ำจาก NFT ที่ถูกถ่าย ออกอย่างต่อเนื่อง ในการเจริญเติบโตของเมล่อน ในระบบ substrate culture รูปแบบผู้ประกอบการรายใหญ่.....	53
4.22	การทดสอบใช้สารละลายสูตรปกติและสารละลายที่ใช้ซ้ำจาก NFT ที่ถูกถ่าย ออกอย่างต่อเนื่อง ต่อผลผลิตของเมล่อน ในระบบ substrate culture รูปแบบ ผู้ประกอบการรายใหญ่.....	54
4.23	แบบสำรวจความพึงพอใจของเมล่อนที่ปลูกในสารละลายปกติ และสารละลาย ที่ถ่ายออกต่อเนื่องจาก NFT รูปแบบผู้ประกอบการรายใหญ่.....	55
4.24	ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ในการปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture รูปแบบผู้ประกอบการรายใหญ่.....	56
4.25	การใช้สารละลายธาตุอาหารที่เหลือจากการเก็บคะน้า และสารละลายที่ระบาย ออกจากวัสดุปลูกเมล่อนต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในสภาพดิน รูปแบบผู้ประกอบการรายใหญ่.....	57
4.26	ปริมาณการใช้น้ำ และสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้า และสารละลาย ที่ระบายวัสดุปลูก ในการปลูกข้าวโพด รูปแบบผู้ประกอบการรายใหญ่.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.27	ปริมาณการใช้ ปุ๋ย กรด ของการผลิตผักสลัดในระบบ NFT รูปแบบผู้ประกอบการรายย่อย.....	61
4.28	ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT รูปแบบผู้ประกอบการรายย่อย.....	61
4.29	ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ของการปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT รูปแบบผู้ประกอบการรายย่อย.....	62
4.30	ข้อมูลผลผลิตของเมล่อน ในระบบ substrate culture ที่ปลูกโดยใช้สารละลายจากระบบ NFT รูปแบบผู้ประกอบการรายย่อย.....	63
4.31	ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ในการปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture รูปแบบผู้ประกอบการรายย่อย.....	63
4.32	ข้อมูลผลผลิตของการปลูกข้าวโพดในดิน จากการใช้สารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้าและที่ระบายออกจากวัสดุปลูกเมล่อน รูปแบบผู้ประกอบการรายย่อย....	64
4.33	ปริมาณการใช้น้ำ และสารละลายเก่าจากที่ระบายวัสดุปลูก ในการปลูกข้าวโพด รูปแบบผู้ประกอบการรายย่อย.....	64

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงรูปแบบของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....	4
4.1	แสดงการเจริญเติบโต ขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น และผลผลิตรวมทั้งหมด ของผักสลัดทั้งหมด 6 สายพันธุ์ ในระบบ NFT.....	29
4.2	แสดงการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักสลัด cos, green oak, red oak, frillice iceberg, red coral และ utter head ในระบบ NFT.....	30
4.3	แสดงการเจริญเติบโต และผลผลิตของคะน้าเห็ดหอม ในระบบ DRFT ที่ใช้สารละลายซ้ำและสารละลายใหม่.....	35
4.4	การเจริญเติบโต และผลผลิตของเมล่อนในระบบ substrate culture.....	41
4.5	การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดหวานสีแดงในดิน โดยใช้สารละลายซ้ำระบบปลูกเมล่อน และการปลูกแบบปกติ.....	46
4.6	รูปแบบการผลิตพืชแบบซีโรเวสต์ในระบบปลูกโดยไม่ใช้ดิน สำหรับผู้ประกอบการรายใหญ่.....	49
4.7	ขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักเฉลี่ย และ น้ำหนักรวม ของผักสลัดในระบบ NFT ในรูปแบบของผู้ประกอบการรายใหญ่.....	50
4.8	รูปแบบการผลิตพืชแบบซีโรเวสต์ในระบบปลูกโดยไม่ใช้ดิน สำหรับผู้ประกอบการรายย่อย.....	59
4.9	ขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักเฉลี่ย และน้ำหนักรวมของผักสลัดในระบบ NFT ผู้ประกอบการรายย่อย.....	60
4.10	ภาพแสดงอาการโรคใบจุดที่เกิดกับผักสลัดและคะน้า.....	65
4.11	แสดงลักษณะอาการของโรคราแป้งในพืชเมล่อน.....	66
4.12	แสดงอาการของโรคโคนเน่าของต้นเมล่อน.....	66
4.13	แสดงลักษณะของแมลงเพลี้ยไฟ และลักษณะอาการของการเข้าของผักสลัด.....	67
4.14	การเข้าทำลายของหนอนกระทู้ในผักสลัด.....	68
4.15	แมลงหริ่งขาวที่เข้าทำลายเมล่อนในระบบ substrate culture.....	69
4.16	ลักษณะการเข้าทำลายของหนอนชอนใบ ในเมล่อน.....	70
5.1	แสดงอุณหภูมิ ความชื้น และจุดควบแน่นของน้ำ ในเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2560 ในสภาพโรงเรือน.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (soilless culture) หรือ hydroponics เป็นที่นิยมมาก โดยมีตั้งแต่การปลูกเพื่อรับประทานเองภายในครัวเรือนขนาดเล็ก จนถึงเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่สามารถสร้างรายได้ให้ผู้ประกอบการได้เป็นอย่างดี จากข้อมูลปี 2547 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในเชิงธุรกิจมีพื้นที่ประมาณ 300 ไร่ (ดิเรก, 2547) และมีแนวโน้มที่จะมีการปลูกเพิ่มมากขึ้น เหตุผลหนึ่งเกิดจากพฤติกรรมการรักษาสุขภาพอนามัยของการบริโภค โดยเลือกผักที่ปลอดภัยจากสารพิษ และผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ถึงแม้ว่าราคาค่อนข้างแพงกว่าก็ตาม โดยทั่วไปแล้วการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (soilless culture) แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ 1) การปลูกแบบมีวัสดุปลูก (aggregate hydroponics) หรือ substrate culture เป็นการปลูกที่ใช้วัสดุปลูกอื่นๆ แทนดินที่อาจได้จากวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น แกลบดำ ขุยมะพร้าว หรือวัสดุอนินทรีย์ เช่น เพอร์ไลต์ เวอร์มิคูไลท์ โยหิน ทราช เม็ดดินเผา มีการให้น้ำแบบน้ำหยด (drip irrigation) โดยสารละลายธาตุอาหารส่วนใหญ่ใช้แบบไม่หมุนเวียน ที่เรียกว่า non-recirculated, runoff หรือ open system 2) รูปแบบการปลูกแบบไม่มีวัสดุปลูก เรียกว่า solution culture หรือ hydroponics โดยระบบนี้รากพืชจะสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหาร โดยตรงและสารละลายธาตุอาหารจะมีการหมุนเวียนที่เรียกว่า re-circulated หรือ close system ตัวอย่างของการปลูกในรูปแบบนี้เช่น ระบบการให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (nutrient film technique: NFT) การให้สารละลายไหลผ่านในระดับลึก (deep flow technique: DFT) หรือการปลูกพืชลอยอยู่ในสารละลาย (floating technique) การปลูกโดยให้สารละลายไหลผ่านแบบกึ่งน้ำลึก (dynamic root floating technique : DRFT) (Benoit, 1992)

ซึ่งการเลือกรูปแบบในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินควรคำนึงถึงความเหมาะสมกับชนิดพืช แต่ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใดก็ตามสิ่งที่สามารถทำได้คือ ใช้สารละลายธาตุอาหาร จะต้องมีการปรับและคำนวณให้เหมาะสมกับพืชตลอดฤดูกาลผลิต ทั้งนี้การดูแลสารละลายธาตุอาหารของพืชนั้นจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น ชนิดของพืช อายุพืช อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแสง เป็นต้น ดังนั้นในการปลูกแต่ละระบบจะมีการจัดการสารละลายที่แตกต่างกันออกไป ระบบที่ไม่นำสารละลายกลับมาใช้ใหม่จะต้องจัดการสารละลายให้มีองค์ประกอบของแร่ธาตุเริ่มต้น โดยการปรับคุณสมบัติการนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้เหมาะสมและเพียงพอกับพืช รวมถึงปริมาณการให้สารละลายที่เหมาะสมโดยให้มีส่วนเกินที่ไหลออก (run off) น้อยที่สุด ส่วนในระบบหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารที่นำกลับมาใช้ใหม่ เช่นการปลูกผักในระบบ NFT ที่ต้องมี

การจัดการสารละลายธาตุอาหารเป็นอย่างดีโดยเริ่มต้นมีองค์ประกอบของธาตุอาหารเหมาะสมและเพียงพอต่อพืช แต่เมื่อเวลาผ่านไปพืชมีการดูดซึมแร่ธาตุอาหารทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่า EC และค่าการความเป็น pH ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมความเข้มข้นของสารละลายตลอดเวลา โดยเติม stock สารละลายธาตุอาหารและปรับโดยใช้เครื่องวัด (EC meter) ให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามเครื่องที่ใช่วัดเป็นการวัดค่าความเข้มข้นของปุ๋ยโดยรวมเท่านั้น แต่แท้จริงแล้วพืชดูดแร่ธาตุแต่ละชนิดแตกต่างกันทำให้แร่ธาตุที่พืชต้องการใช้มากเหลือปริมาณลดลง ในทางกลับกันธาตุที่พืชต้องการใช้น้อยจะเหลือปริมาณมากจึงเกิดการไม่สมดุลของธาตุอาหาร (imbalances) ขึ้นได้ (Grattan and Grieve, 1999) และโดยเฉพาะโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้มีการสะสมอยู่ในระบบปลูก และหากปริมาณมากเกินไปอาจทำให้พืชเป็นพิษการเจริญเติบโตไม่ดี (Qin *et al.*, 2013) เพื่อลดผลกระทบดังกล่าวเกษตรกรต้องมีการเปลี่ยนถ่ายสารละลายธาตุอาหารทั้งหมด 2-3 สัปดาห์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้จริงในทางปฏิบัติ (อิทธิสุนทร, 2557; Roberto, 2003) แต่จากการตรวจวิเคราะห์สารละลายพบว่ายังมีธาตุอาหารเหลืออยู่ โดยเฉพาะไนเตรท และฟอสฟอรัสหากปล่อยทิ้งลงสู่สภาพแวดล้อมก็จะสูญเสียและทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำมากขึ้น (eutrophication) เป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์ algal boom การสูญเสียออกซิเจนในน้ำ ซึ่งอาจเป็นพิษกับสัตว์และคนได้ (Park *et al.*, 2008a) ซึ่งในประเทศที่พัฒนาแล้วจะมีความกังวลต่อของเสียในระบบเกษตรเป็นอย่างมาก เช่น ในประเทศแถบยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ จะมีข้อกำหนดถึงการปล่อยของเสียจากระบบการผลิตทางการเกษตรออกสู่สภาพแวดล้อม (Kumar and Cho, 2014) และพยายามให้ภาคการเกษตรกรรมมีการจัดการที่ดีสำหรับการผลิตพืชโดยไม่ให้เหลือของเสียสู่สิ่งแวดล้อม (zero waste) (Coastal environmental services, 2010)

จากพื้นที่ในการปลูกในประเทศไทยประมาณ 300 ไร่ ในระบบ NFT จะมีสารละลายที่ถ่ายออกในแต่ละปีประมาณ 36,000-54,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี (อิทธิสุนทร, 2557) สารละลายอาหารส่วนนี้จึงควรนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงมีนักวิจัยหลายๆ ท่านศึกษาเรื่องการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ เช่น การนำสารละลายธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ต่อผลผลิต และคุณภาพต่อมะเขือเทศ 7 สายพันธุ์ในสภาพโรงเรือน (Gent และ Short, 2012) หรือนำสารละลายที่ใช้แล้วนำกลับมาปลูกพริกแดง (*Capsicum annum* L.) ในดินสภาพโรงเรือน (Park *et al.*, 2005) ปลูกพืชแตงกวา-พริกหวาน-สตรอเบอร์รี่ (Park *et al.*, 2008b) ผักกาดขาว (Choi *et al.*, 2011a) เขียวปี่รา (Savvas *et al.*, 2002) เป็นต้น เหตุผลดังกล่าวจึงมีแนวคิดในการนำสารละลายที่ใช้แล้วจากระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนำกลับมาใช้ใหม่ในการผลิตพืชผักให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและเป็นการใช้น้ำและปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนการผลิตและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นำไปสู่การผลิตพืชแบบ zero waste

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อนำสารละลายที่ถูกถ่ายออกจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT นำกลับมาใช้ซ้ำในการปลูกผักคะน้าในระบบ DRFT

1.2.2 เพื่อนำสารละลายที่เหลือจากการปลูกผักคะน้าในระบบ DRFT นำกลับมาใช้ซ้ำในการปลูกเมล่อน ในระบบ substrate culture

1.2.3 เพื่อนำสารละลายที่ระบายออกจากการปลูกเมล่อน ในระบบ substrate culture กลับมาใช้ซ้ำในการปลูกข้าวโพดในสภาพดิน

1.2.4 เพื่อลดต้นทุนในการ ใช้น้ำ และปุ๋ย ต่อการผลิตผักคะน้า เมล่อน และข้าวโพด

1.2.5 เพื่อศึกษารูปแบบการจัดการสารละลายธาตุอาหารแบบ zero waste ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่สามารถนำมาใช้ได้เชิงปฏิบัติ

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถจัดการสารละลายธาตุอาหารได้แบบซีโรวีเวสต์ เพิ่มมูลค่าของสารละลายธาตุอาหารที่เหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถเปลี่ยนแปลงให้เป็นผลผลิต โดยที่ไม่ส่งผลทำให้ผลผลิตลดลงทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพของผลผลิต อีกทั้งยังลดการปล่อยของเสียลงสู่สิ่งแวดล้อม เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดต้นทุนปริมาณการใช้น้ำ การใช้ปุ๋ย ในการผลิตพืชผักในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

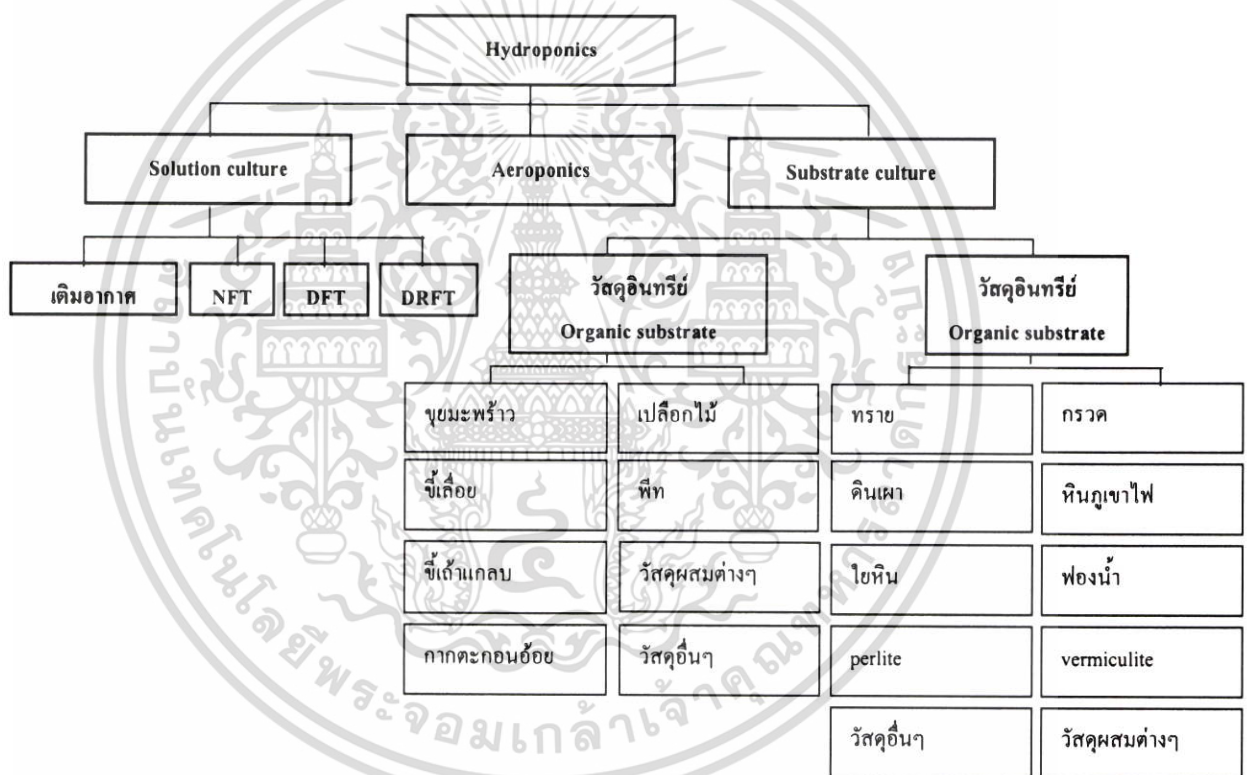
บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

2.1.1 รูปแบบของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่การปลูกแบบไม่มีวัสดุปลูก การปลูกแบบ aeroponics และการปลูกแบบมีวัสดุปลูก ดังภาพที่ 2.1 (อิทธิสุนทร และคณะ, 2552)



ภาพที่ 2.1 แสดงรูปแบบของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
ที่มา: อิทธิสุนทร และคณะ (2552)

โดยมีรายละเอียดการปลูกในแต่ละระบบดังนี้

1. รูปแบบการปลูกแบบไม่มีใช้วัสดุปลูก เรียกว่า solution culture หรือ hydroponics คือรากพืชจะสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง โดยมักจะเป็นระบบหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ที่เรียกว่า re-circulated หรือ close system ซึ่งในรูปแบบนี้จะมีเทคนิคของระบบการปลูกสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระบบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ระบบ NFT (Nutrient Film Technique) การปลูกแบบนี้จะเป็นการปลูกพืช โดยรากพืชแช่ในสารละลายธาตุอาหารโดยตรง ซึ่งสารละลายธาตุอาหารจะไหลผ่านรากเป็น แผ่นฟิล์มบางๆ (ประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) สารละลายจะไหลอย่างต่อเนื่อง โดยให้รางเอียง 1-2 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลอยู่ในช่วง 1-2 ลิตร/นาที/ราง จะมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรางและ รากพืช และเวียนมายังถังเก็บสารละลายธาตุอาหาร

1.2 ระบบ DFT (Deep Flow Technique) ระบบนี้มีลักษณะคล้ายกับระบบ NFT แต่มีข้อแตกต่างของระดับในรางปลูก ระบบ DFT ระดับน้ำจะลึกประมาณ 2-5 เซนติเมตร ซึ่งราก ส่วนใหญ่จะจมอยู่ในน้ำ อาจทำให้มีปัญหาปริมาณออกซิเจนในรากพืช ซึ่งมีความเหมาะสมในพื้นที่ ที่มีสภาพอากาศเย็น

1.3 ระบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique) เป็นระบบที่มีหลักการ ทำงานเหมือนกับ NFT และ DFT แต่มีข้อแตกต่างคือระบบนี้เมื่อเริ่มปลูกพืช รากต้องการอากาศ น้อย จะเป็นระบบที่คล้ายกับ DFT แต่เมื่อโตขึ้นรากพืชต้องการออกซิเจนมากขึ้น จะมีการปรับ ระดับน้ำลงเรื่อยๆ จะเป็นระบบที่คล้ายกับ NFT ทำให้รากพืชได้ออกซิเจนมากขึ้น และลดปลูกท่า จากโพนจึงเป็นฉนวนความร้อนอย่างดีลดปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมิสูงของสารละลายในน้ำร้อน

1.4 ระบบเดิมอากาศ เป็นระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร หรือ เรียกว่าน้ำนิ่ง ทำให้มีออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารมีปริมาณน้อย จึงมีแต่การใช้ปั๊มอากาศใน การเติมออกซิเจนลงไป สารละลายธาตุอาหาร อย่างต่อเนื่อง

2. ระบบ Aeroponics เป็นการปลูกโดยรากพืชลอยอยู่ในอากาศ และมีการฉีดพ่น สารละลายธาตุอาหาร ไปยังรากพืชโดยตรง ซึ่งมีข้อดีเนื่องจากรากพืชลอยอยู่ในอากาศทำให้พืช ได้รับความชื้น และอากาศอย่างเพียงพอ แต่ข้อเสียคือเป็นระบบที่ใช้พลังงานสูงมาก เนื่องจาก ต้องใช้ปั๊มแรงดันสูง และต้องใช้หัวฉีดละอองน้ำเป็นจำนวนมาก โดยสรุปแล้วระบบนี้ไม่ค่อยมี ความเหมาะสมในเชิงธุรกิจ

3. การปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate culture หรือ aggregate hydroponics) ซึ่งส่วน ใหญ่เป็นระบบที่ไม่นำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ ที่เรียกว่า non-recirculated, runoff หรือ open system ส่วนใหญ่ใช้เทคนิคการให้น้ำแบบน้ำหยด (drip irrigation) เป็นการปลูกที่ใช้วัสดุปลูกอื่นๆ แทนดินที่อาจได้จากวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ (organic substrate) เช่น พีท แกลบคั่ว ขุยมะพร้าว กาบ มะพร้าวสับ ชี้เลื้อย หรือวัสดุอนินทรีย์ เช่น ฟองน้ำอัดแห้ง เพอร์ไลท์ เวอร์มิคูไลท์ โยหิน ทราย เม็ด ดินเผา โดยมีรายละเอียดดังนี้ (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 วัสดุปลูกอินทรีย์และอินทรีย์ที่ใช้ในระบบ substrate culture

ชนิดของวัสดุปลูก	คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน	ข้อดี	ข้อเสีย
วัสดุปลูกอินทรีย์สาร				
หินภูเขาไฟ	- pH 6.5 - อุ้มน้ำ 19 % โดยน้ำหนัก - การแลกเปลี่ยนประจุไม่มี - ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-15 มม. - ความคงทนของโครงสร้างดีมาก	หลายปี	- ระบายอากาศดีมาก - ราคาถูก - อายุการใช้งานนาน	- อุ้มน้ำได้น้อย - น้ำหนักมาก
ทรายหยาบ	- อุ้มน้ำได้น้อย - การแลกเปลี่ยนประจุไม่มี - ความพรุนต่ำ - ความคงทนของโครงสร้างดี	หลายปี	- เป็นสารเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยาเคมี - อายุการใช้งานนาน	- น้ำหนักมาก - ความพรุนต่ำ
ใยหิน	- อุ้มน้ำได้โดยเฉลี่ย 70-80 % โดยปริมาตร - การแลกเปลี่ยนประจุไม่มี - ความพรุน 95 % - ความคงทน โครงสร้างไม่ดี	1-2 ครั้ง	- ระบายน้ำอากาศได้ดี - น้ำหนักเบา - ปลอดภัยและแมลง	- มีราคาแพง
เพอร์ไลต์ Perlite	- pH 7-7.2 - อุ้มน้ำได้ 200-300 ลิตรน้ำต่อเพอร์ไลต์ 1 ลูกบาศก์เมตร - การแลกเปลี่ยนประจุไม่มี - ความพรุน 97 % - ความคงทน โครงสร้างดี	1-2 ครั้ง	- น้ำหนักเบา - ปลอดภัยโรคแมลง - อุ้มน้ำได้ดี	- สามารถสลายตัวเป็นอนุภาคขนาดเล็กและเกิดยึดตัวกันแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวอมิกูไลท์ Vermiculite	- pH 7-7.2 - อุ้มน้ำ 350-375 ลิตร/m ³ - แลกเปลี่ยนประจุ 65-140 me/100 gm - ความพรุน 95 % - ความคงทนไม่ดี	1-2 ครั้ง	- น้ำหนักเบา - ไม่เป็นแหล่งสะสมโรคแมลง - อุ้มน้ำได้ดี	- สามารถสลายตัวเป็นอนุภาคขนาดเล็กและเกิดยึดตัวกันแน่น - ราคาแพง - ฆ่าเชื้อโรครากเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ - สามารถแลกเปลี่ยนประจุได้
เศษอิฐมอดูหัก	- อุ้มน้ำ - แลกเปลี่ยนประจุ - ความพรุน - ความคงทน โครงสร้างดี	หลายปี	- โปร่งเหมาะสมกับกล้วยไม้	- น้ำหนักมาก
วัสดุปลูกอินทรีย์				
พีท Peat	- pH 2.5-7 - อุ้มน้ำได้ 4-15 เท่าของน้ำหนัก - แลกเปลี่ยนประจุได้ - ความพรุน 85-95 % - ความคงทน โครงสร้างมีการสลายตัว	2-3 ครั้ง	- มีความสามารถอุ้มน้ำดีมาก	- ต้องปรับ pH - สลายตัวขณะปลูก - องค์ประกอบไม่แน่นอน - กำจัดโรคแมลงยาก
ซีต้าแกลบ	- pH 7-8.5 - อุ้มน้ำดี - ความพรุนสูง - ความคงทน โครงสร้างสูง	2-4 ครั้ง	- น้ำหนักเบา - อุ้มน้ำดี - ราคาถูก - มีการสลายตัวน้อย	- ก่อนนำไปใช้ต้องแช่กรดอ่อน หรือชะด้วยน้ำ
ขุยมะพร้าว	- pH 6-7 - อุ้มน้ำดีมาก - แลกเปลี่ยนประจุได้สูง - ความพรุนสูง - สลายตัวได้	2-3 ครั้ง	- สามารถอุ้มน้ำได้มาก - ราคาถูก	- อาจมีปัญหาในการระบายอากาศที่รากพืช - สลายตัวและอัดแน่น - ยากในการกำจัดโรคและแมลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กามมะพร้าว สับ	- pH 6-7 - อุ้มน้ำปานกลาง - แลกเปลี่ยนประจุสูง - ความพรุนสูง - สลายตัวได้	2-3 ครั้ง	- อุ้มน้ำปานกลาง - ราคาถูก	- อาจมีปัญหาอุ้มน้ำ เมื่อเริ่มปลูก - มีการสลายตัว - ยากในการกำจัดโรค และแมลง
ขี้เลื่อย	- pH 4.2-6 - อุ้มน้ำดีมาก - แลกเปลี่ยนประจุได้ - ความพรุนสูง - สลายตัวได้	2-3 ครั้ง	- น้ำหนักเบา - อุ้มน้ำดีมาก - ราคาถูก	- เสียเวลาในการปล่อย ให้สลายตัว - มีความแปรปรวนใน องค์ประกอบมหาก - มีการสลายตัว - ยากในกำจัดโรคและ แมลง
แกลบสด	- pH 7.5-8.5 - อุ้มน้ำดี - ความพรุนสูง - มีการสลายตัวน้อย	2 ครั้ง	- น้ำหนักเบา - อุ้มน้ำดี - สลายตัวน้อย - ราคาถูก	- ยากในการกำจัดโรค และแมลง - ก่อนนำไปใช้ต้องแช่ กรดอ่อนก่อน

ที่มา : อธิษฐานทร และคณะ (2552)

2.1.2 สารละลายธาตุอาหาร

ธาตุอาหารของพืช (plant nutrient) หมายถึง ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญและพัฒนาของ
เซลล์ ธาตุอาหารที่จำเป็นกับพืชนั้นพิจารณาได้จาก

1. หากขาดธาตุนั้นโดยสิ้นเชิงพืชไม่อาจมีชีวิตจนครบชีพจักรได้
2. หน้าที่ของธาตุนั้น ไม่สามารถทดแทนด้วยธาตุอื่นได้
3. ธาตุนั้นเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืชหรือหน้าที่ย่างใดอย่าง

หนึ่งซึ่งจำเพาะเจาะจงในกระบวนการชีวเคมีของพืช

4. พืชส่วนใหญ่ต้องการธาตุอาหารนี้ในการดำรงชีวิต

โดยทั่วไปธาตุอาหารที่พืชต้องการมีทั้งสิ้น 17 ธาตุอาหาร ซึ่ง 3 ธาตุ คาร์บอน (C)
ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) นั้นได้จากน้ำและอากาศ ส่วนอีก 14 ธาตุที่เหลือสามารถแบ่งตาม
ความต้องการของพืชได้ 2 กลุ่ม ดังนี้

1. ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก หรือมหธาตุ (macronutrient element)
คือพืชต้องการธาตุอาหารมากเมื่อเทียบกับธาตุอื่นๆ สามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่ม คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ธาตุอาหารหลัก (primary nutrient element) คือพืชต้องการมากได้แก่ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K)

1.2 ธาตุอาหารรอง (secondary nutrient element) คือธาตุที่พืชต้องการลดน้อยลงมาได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S)

2. ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย หรือจุลธาตุ (micronutrient element) คือธาตุที่พืชต้องการปริมาณ แต่เป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ไม่สามารถขาดหายตัวใดตัวหนึ่งได้ เมื่อขาดตัวใดตัวหนึ่งไปจะทำให้พืชแสดงอาการผิดปกติ ธาตุอาหารในกลุ่มนี้มีทั้งหมด 8 ธาตุได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) คลอรีน (Cl) และนิกเกิล (Ni) (Roberto, 2003) ลักษณะการขาดธาตุของพืชเมื่อพืชได้รับธาตุอาหารไม่ครบ หรือไม่เพียงพอต่อความต้องการพืชจะแสดงอาการผิดปกติออกมา สังเกตได้ดังนี้ (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ลักษณะอาการขาดธาตุของพืช

ธาตุที่ขาด	ลักษณะอาการ
กลุ่มธาตุอาหารที่แสดงอาการครั้งแรกที่พบในใบแก่ (ธาตุที่เคลื่อนที่ได้)	
ไนโตรเจน	ใบแก่มีสีเหลืองปนส้ม เริ่มจากปลายใบก่อน เมื่อขาดรุนแรง ใบแก่จะแห้งตาย
ฟอสฟอรัส	ใบล่างและลำต้นมีสีแดงอมม่วง
โพแทสเซียม	ใบล่างมีสีเหลืองโดยเริ่มจากขอบใบก่อน หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
แมกนีเซียม	เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบขอบใบแก่จะมีสีเหลือง แต่เส้นใบเป็นสีเขียวปกติ
โมลิบดีนัม	ใบแก่มีสีเหลืองบางครั้งมีจุดสีน้ำตาลไหม้บนใบ
กลุ่มของธาตุที่แสดงอาการครั้งแรกที่ใบอ่อน (ธาตุที่เคลื่อนที่ไม่ได้)	
แคลเซียม	ใบอ่อนบิดเบี้ยว ม้วนงอ ยอดหงิก ใบไม่สามารถคลี่ได้เต็มที่
กำมะถัน	ใบอ่อนหรือใบบนมีสีเหลืองทั้งใบ
เหล็ก	ใบอ่อนที่ยังโตไม่เต็มที่ที่มีสีเหลืองระหว่างเส้นใบ
แมงกานีส	ใบอ่อนที่โตเต็มที่ที่มีสีเหลืองระหว่างเส้นใบ และมีจุดสีน้ำตาลบนใบ
สังกะสี	ใบอ่อนเกิดแถบสีเหลืองทั้งสองข้างของเส้นกลางใบ จากปลายใบลาม เข้าสู่กลางใบ เส้นกลางใบยังเขียว ใบมีขนาดเล็ก
ทองแดง	ปลายใบอ่อนมีสีซีดหรือขาว
โบรอน	ใบย่น หนาผิดปกติและเปราะ ม้วนงอหรือขาดวิน
คลอรีน	ปลายใบแห้ง ใบเหลือง
นิกเกิล	พืชให้ผลผลิตไม่เต็มที่

ที่มา: อธิธิสุนทร และคณะ (2552); กรมส่งเสริมการเกษตร. (2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารเพื่อปลูกพืช มี 2 แบบคือ การเตรียมสารละลายเข้มข้น (stock solution) และการเตรียมสารละลายแบบเจือจาง

1. วิธีการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

1.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้น (stock solution)

เริ่มจากการเตรียมสารละลายเข้มข้นไว้ 2 ถัง อาจเรียกว่า stock solution A และ stock solution B สาเหตุที่ต้องแยกเป็น 2 ถัง เนื่องจากเพื่อป้องกันธาตุบางชนิดทำปฏิกิริยาทางเคมีของสาร จะทำให้ปุ๋ยเกิดการตกตะกอน เช่น แคลเซียมจับกับฟอสเฟต โดยจะแยกแคลเซียมและเหล็กไว้ด้วยกัน ส่วนอีกถังจะผสมธาตุอื่นๆ ทั้งหมด รูปแบบของธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และชนิดของปุ๋ยเคมีใช้ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน มีดังนี้ (ตารางที่ 2.3)

1.2 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเจือจาง

เป็นการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชเพื่อใช้ในถังที่ใช้ปลูกพืช โดยตรง การเตรียมแบบนี้สะดวก แต่ต้องเตรียมบ่อย ๆ เริ่มจากเมื่อทราบปริมาณ ของธาตุอาหาร จำนวน น้ำหนักและจัดหาปุ๋ยเคมี ผสมปุ๋ยเคมีทั้งหมดในน้ำสะอาด แล้วเติมน้ำจนครบ

ตารางที่ 2.3 รูปแบบของธาตุอาหารและชนิดของปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

Fertilizer	Chemical formula	Percentage in nutrient	Molecular weight (g)	Solubility (kg litre ⁻¹ , 0 °C)
Ammonium nitrate	NH ₄ NO ₃	N: 35	80.0	1.18
Calcium nitrate	5[Ca(NO ₃) ₂ ·2H ₂ O]	N: 15.5, Ca: 19	1 080.5	1.02
Potassium nitrate	KNO ₃	N: 13, K: 38	101.1	0.13
Magnesium nitrate	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	N: 11, Mg: 9	256.3	2.79 (20 °C)
Nitric acid	HNO ₃	N: 22	63.0	-
Monoammonium phosphate	NH ₄ H ₂ PO ₄	N: 12, P: 27	115.0	0.23
Monopotassium phosphate	KH ₂ PO ₄	P: 23, K: 28	136.1	1.67
Phosphoric acid	H ₃ PO ₄	P: 32	98.0	-
Potassium sulphate	K ₂ SO ₄	K: 45, S: 18	174.3	0.12
Magnesium sulphate	MgSO ₄ ·7H ₂ O	Mg: 9.7, S: 13	246.3	0.26
Potassium bicarbonate	KHCO ₃	K: 39	100.1	1.12
Iron chelates	various types	Fe: 6–13	-	-
Manganese sulphate	MnSO ₄ ·H ₂ O	Mn: 32	169.0	1.05
Zinc sulphate	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	Zn: 23	287.5	0.62
Copper sulphate	CuSO ₄ ·5H ₂ O	Cu: 25	249.7	0.32
Borax	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	B: 11	381.2	0.016
Boric acid	H ₃ BO ₃	B: 17.5	61.8	0.050
Sodium octaborate	Na ₂ B ₈ O ₁₁ ·4H ₂ O	B: 20.5	412.4	0.045
Ammonium heptamolybdate	(NH ₄) ₇ Mo ₇ O ₂₄	Mo: 58	1 163.3	0.43
Sodium molybdate	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	Mo: 40	241.9	0.56

ที่มา: Rome. (2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การจัดการสารละลายธาตุอาหาร

พืชจะเจริญเติบโตได้ดีจะต้องได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอและเหมาะสมต่อความต้องการและมีปริมาณออกซิเจนในสารละลายอย่างเพียงพอ ในสารละลายธาตุอาหารจำเป็นต้องมีการควบคุมค่า pH และ EC ของสารละลาย เพื่อให้ผักสามารถดูดปุ๋ยหรือสารละลายธาตุอาหารพืชได้ดี ตลอดจนต้องมีการควบคุม อุณหภูมิและออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารพืช

การรักษาและควบคุม pH ของสารละลายเพื่อให้ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดเอาไปใช้ได้ ซึ่งถ้าค่า pH ต่ำหรือสูงเกินไปจะทำให้ธาตุอาหารบางตัวไม่เป็นประโยชน์กับพืช สาเหตุที่ทำให้ค่าของ pH ในสารละลายเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการที่รากพืชดูดธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารพืชแล้วปล่อยไฮโดรเจน (H^+) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) ผู้สารละลายธาตุอาหารพืช ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไป ควรรักษาค่า pH ของสารละลายให้มีค่า pH = 6 ในการรักษา pH เมื่อมีความกรดมาก สามารถปรับได้โดยการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) หรือ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) และเมื่อ pH ความเป็นด่างมาก สามารถปรับได้โดยใช้ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) หรือ กรดอะซิติก (CH_3COOH)

การรักษาและควบคุม EC เนื่องจากต้องการให้มีปริมาณสารอาหารครบ ตามที่พืชต้องการ แต่เป็นการควบคุมค่ารวมของการนำไฟฟ้าของสารละลาย ธาตุอาหารทั้งหมดที่อยู่ในถัง ไม่ใช่ปริมาณที่แท้จริงของธาตุใดธาตุหนึ่ง ซึ่งธาตุที่ถูกใช้น้อยอาจตกตะกอนหรือก่อให้เกิดปัญหา ดังนั้นจึงควรมีการเปลี่ยนสารอาหาร เป็นระยะ ๆ เช่น ทุก 2-3 สัปดาห์ ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ EC เช่น ชนิดของพืช ระยะการเติบโต ความเข้มของแสง และขนาดของถังที่บรรจุสารอาหารพืช สภาพภูมิอากาศก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า EC เพราะเมื่อมีสภาพอากาศ ที่ร้อนจะทำให้พืชต้องการความเข้มข้นของสารละลายที่น้อยลง เนื่องจากพืชจะดูดน้ำ มากกว่าธาตุอาหาร ในขณะที่ถ้าอากาศมีความชื้นพืชก็มีแนวโน้มที่จะดูดธาตุอาหารมากกว่าน้ำ ดังนั้น พืชจึงต้องการสารละลายที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ในการควบคุม EC พืชแต่ละชนิดมีความต้องการที่แตกต่างกันออกไป เช่น ผักสลัด (0.5-2.0 mS/cm) ผักไทย (3-4.5 mS/cm) มะเขือเทศ (2.5-3.5 mS/cm) เครื่องมือที่ใช้วัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity meter) เรียกว่า EC meter (อิทธิสุนทร, 2557)

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดลอง

2.2.1 ผักสลัด

ผักสลัดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* L. อยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) เป็นผักชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคส่วนของใบ และนิยมรับประทานสด มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยวิตามินเอ วิตามินซี แคลเซียม เหล็กโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต มีคุณสมบัติทางเภสัชกรรมในด้านระงับความกระวนกระวายการขับปัสสาวะ และเสมหะ ในผักชนิดนี้ยังประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาร antioxidant หลายชนิดเช่น folic acid, lutene, beta-carotein เป็นต้น ซึ่งมีหลายชนิดหลายสายพันธุ์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ คือชนิดห่อหัว (cabbage หรือ butterhead type) ชนิดใบกรอบหรือเรียกว่าผักกาดหอม cos หรือ romain lettuce และชนิดที่ใบไม่ห่อ (loose-leaf lettuce) เช่น ผักกาดหอมแดง หรือผักสลัดใบแดง นิยมมารับประทานและตกแต่งบนจานอาหาร ซึ่งผักสลัดที่นิยมปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์คือในระบบ NFT และที่นิยมปลูกในเชิงการค้ามีอยู่ทั้ง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ cos, red oak, green oak, butter head, red coral และ frillice iceberg

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ใบ มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันตามสายพันธุ์ เช่น ใบกลม ใบรี ใบเรียบหรือใบหยัก หรือใบบิดงอ บางสายพันธุ์ใบหนาแข็งและบางพันธุ์นุ่มอ่อน

ลำต้น ระยะแรกมักจะมองไม่ค่อยเห็น เนื่องจากใบมักจะปกคลุมไว้ จะเห็นชัดก็ต่อเมื่อระยะแทงช่อดอก ลักษณะลำต้นผักกาดหอมจะตั้งตรง สูงจะลุดขึ้นจนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ลำต้นมีลักษณะอวบอ้วน ถ้าปลูกในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์มากๆ จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 2 นิ้ว ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อสั้น แต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ

ระบบราก รากของผักกาดหอมเป็นระบบรากแก้ว มีรากแก้วที่แข็งแรงอวบอ้วนและเจริญอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อปลูกในดินร่วนปนทรายที่มีความชื้นเพียงพอ รากแก้วสามารถหยั่งลึกลงไปใต้ดินได้ถึง 5 ฟุต หรือมากกว่า แต่รากแก้วจะเสียหายในขณะที่ย้ายปลูก ดังนั้นรากที่เหลือจะเป็นรากแขนง ซึ่งแผ่กระจายอยู่ใต้ ผิวดินประมาณ 1-2 ฟุต โดยปริมาณของรากจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่น ไม่ค่อยแผ่กว้างออกไปมากนัก อย่างไรก็ตามการย้ายปลูกนั้นมีผลดีในการช่วยให้ผักกาดหอมประเภทหัวห่อหัวได้ดีขึ้น

ช่อดอก เป็นแบบ panicle สูง 2-4 ฟุต ประกอบด้วยช่อดอก 10-25 ดอกต่อช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลืองหรือขาวปนเหลือง ดอกหนึ่งประกอบด้วยเมล็ดหลายเมล็ด

เมล็ด เมล็ดผักกาดหอมเป็นชนิดเมล็ดเดี่ยว (achene) ซึ่งเจริญมาจากรังไข่อันเดียว เมล็ดจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง เปลือกเมล็ดจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้งเมล็ดของผักกาดหอมมีลักษณะแบนยาว หัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มีเส้นเล็กๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ด ที่ผิวเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีสีเทาปนครีม ความยาวของเมล็ดประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร

อุณหภูมิที่เหมาะสม สลัดต้องการอากาศที่อบอุ่น อุณหภูมิและช่วงแสง มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต อุณหภูมิที่เมล็ดงอกได้อยู่ระหว่าง 4.5-27.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20-27 องศาเซลเซียส เมล็ดจะพักตัว มีความงอกต่ำเมื่อมีอุณหภูมิ 33-35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต 7.2-28 องศาเซลเซียส ช่วงที่เหมาะสมที่สุดคือ 24 องศาเซลเซียส

แสง ต้องการพลังงานแสง มากกว่า 150 cal/cm²/day คลื่นแสงที่มีความยาว 720-1000 nm เมื่อความเข้มของแสงสูง ช่วงแสงยาว อัตราการเจริญทางด้านลำต้นเพิ่มขึ้น ช่วงช่อยาว ใบจะงัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจริญเติบโต ทำให้ใบสั้น การปลูกในฤดูร้อนที่มีความเข้มแสงสูง ควรพรางแสง (ปิยะภรณ์, 2556)

2.2.2 กะน้าเห็ดหอม

กะน้าเห็ดหอม (Chinese kale) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica alboglabra* อยู่ในวงศ์ Craciterae สายพันธุ์ใหม่ของผักกะน้า ลักษณะเด่นจะมีลำต้นที่เตี้ย อวบอ้วน ใบเล็กมีรสชาติที่หวานกรอบ ได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรทำการเพาะปลูกในโครงการหลวง ในปี พ.ศ. 2555 เป็นผักที่นิยมนำมาปลูกและบริโภคมากเนื่องจากมีรสชาติดี และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง คือวิตามินเอ วิตามินซี คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัส

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลำต้น มีลักษณะตั้งตรง สูง 20-30 ซม. ลำต้นมีลักษณะแข็งแรง อวบใหญ่ มีสีเขียว นวล นิยมนำมาบริโภคมาก รองลงมาจากยอดอ่อน

ใบ ลักษณะใบของกะน้ามีหลายลักษณะตามสายพันธุ์ที่ปลูก อาทิ กะน้าใบกลม กะน้าใบ แหลม บางพันธุ์มีลักษณะก้านใบยาวหรือสั้น การแตกของใบจะแตกออกจากลำต้นเรียงสลับกัน 4-6 ใบ

ยอดและดอก บริเวณที่ตัดจากใบสุดท้ายที่เติบโตแยกออกมาเห็นได้ชัด ซึ่งจะเป็นส่วนของยอดที่มีลักษณะเป็นใบอ่อนขนาดเล็ก มีลักษณะคล้ายบัวตูม ขนาดเมล็ดสีเขียวอ่อนรอที่จะเจริญเติบโตเป็นใบแก่ ถือเป็นส่วนที่นิยมรับประทาน

ราก รากกะน้าประกอบด้วยรากแก้วขนาดใหญ่ต่อจากลำต้น มีสีขาวออกน้ำตาลเล็กน้อยยังลึกประมาณ 10-30 ซม. ตามสภาพลักษณะหน้าดิน และรากฝอยสีน้ำตาลอ่อนซึ่งพบไม่มาก

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ดินควรมี pH ระหว่าง 5.5-6.8 และหากดินเป็นกรด ควรใส่ปูนขาวเพื่อปรับสภาพดินในอัตราที่สอดคล้องกับสภาพดินในแต่ละที่ อุณหภูมิที่เหมาะสม 20-25 องศาเซลเซียส

การเก็บเกี่ยว หลังจากหว่านเมล็ด 45-55 วัน (นภาพร และวัชรวิทย์, 2559)

2.2.3 เมล่อน

เมล่อนหรือแตงเทศมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cucumis melo* L. จัดอยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae เนื้อมีรสหวาน กลิ่นหอม รสชาติดี ประกอบด้วยวิตามินเอ และวิตามินซีสูง เป็นแตงที่นิยมบริโภคกันมาก จึงเป็นพืชที่มีการเพาะปลูกกันอย่างแพร่หลายในเขตอบอุ่นแถบยุโรป สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

1. Cantaloupe (*C. melo* var. *cantalupensis*) ลักษณะผลกลม หรือกลมรี ขนาดค่อนข้างใหญ่มีน้ำหนักมากกว่า 1 กิโลกรัม เปลือกผลหนา ขรุขระ สีน้ำตาลฟางขาว มีลายตาข่ายห่าง มีร่องเป็นทางตามความยาวของผลเด่นชัด เนื้อส่วนใหญ่เป็นสีส้มและมีกลิ่นหอม

2. Muskmelon (*C. melo* var. *reticulatus*) ลักษณะผลมีขนาดเล็กกว่าแคนตาลูป เปลือกผลหนา สีฟางขาว และมีตาข่ายถี่มากจนดูเรียบเป็นผืนเดียวกันทั่วทั้งผล ไม่มีร่องรอยตามยาว ผลเนื้อส่วนใหญ่สีส้มสด รสชาติหวาน และมีกลิ่นหอม

3. Honey Dew (*C. melo* var. *inodorous*) ลักษณะผลกลมหรือกลมรีขนาดเท่า ๆ กับ Muskmelon หรือใหญ่กว่าเล็กน้อย เปลือกผลหนาแข็งสีเขียว หรือขาวเรียบ ไม่มีลายตาข่ายและไม่มีร่องตามความยาวของผล เนื้อส่วนใหญ่สีเขียวอ่อน รสชาติหวาน เมื่อสุกจะมีกลิ่นหอม

4. แดงไทย (*C. melo* var. *acidulous*) ส่วนใหญ่ผลมีลักษณะยาว ขนาดใหญ่ น้ำหนักมากกว่า 1 กิโลกรัม ขึ้นไป อาจหนักถึง 2 กิโลกรัม เปลือกผลบาง สีขาว เหลือง เขียว เขียวคล้ำ ส้ม หรือลายสลับของสีเหล่านี้ ไม่มีลายตาข่ายและไม่มีร่องตามความยาวของผล เนื้อสีเขียว อ่อน สีขาว สีส้มจาง และสีเขียว รสชาติไม่หวาน แต่มีกลิ่นหอม (นิพนธ์, 2528)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ใบ เป็นแบบใบเดี่ยวอยู่สลับกัน ใบหยักแบบใบปาล์มยาว 6 – 20 ซม. โดยทั่วไปจะมี 5 หยัก แต่ในบางพันธุ์จะมีหยักตื้น ๆ 3 – 7 หยัก ใบมีขน ผิวใบหยาบ กว้าง 7 – 30 ซม

ลำต้น เป็นไม้เนื้ออ่อน มีขนอ่อนที่ผิวของลำ ต้น ผิวเรียบหรือเป็นเหลี่ยม เถายาวประมาณ 3.0 เมตร แตกแขนงตามมุมระหว่างก้านใบและลำ ต้น ส่วนข้อจะมีมือเกาะ

ดอก อาจจะเป็นดอกสมบูรณ์ (perfect or complete flower) หรือ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันแต่อยู่บนต้นเดียวกัน (monoecious) หรือ มีดอกตัวผู้และดอกกระเทย แยกกันแต่อยู่บนต้นเดียวกัน (andromonoecious) ดอกกว้าง 1.5 – 2.0 เซนติเมตร ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 5 กลีบ และกลีบดอกสีเหลือง 5 กลีบ ดอกตัวเมียส่วนใหญ่จะเจริญในข้อแรกของกิ่งแขนง สายพันธุ์ที่มีผลทรงกลมยาว ส่วนใหญ่จะมีดอกตัวเมียและดอกตัวผู้แยกกัน แต่อยู่บนต้นเดียวกัน (monoecious) สายพันธุ์ที่มีผลทรงกลม มีดอกตัวผู้และดอกกระเทยแยกกันแต่อยู่บนต้นเดียวกัน (andromonoecious) ดอกจะบานตอนเช้าและปิดตอนบ่าย

ผล กลม ยาว ผิวเรียบ ขรุขระ ลายนูนแบบร่างแห ผลมีสีเหลือง เขียว น้ำตาลปนเหลือง จะแตกต่างออกไปในแต่ละสายพันธุ์ มีการไว้ลูกที่ข้อ 8-10 ของลำต้น

อุณหภูมิที่เหมาะสม 25-30 องศาเซลเซียส

การให้น้ำ

การให้น้ำเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้น้ำ เนื่องจากเมล่อนเป็นผลไม้ที่ราคาแพง ให้ผลตอบแทนสูง การให้น้ำ (fertigation) มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำของพืช ลดการสูญเสียและน้ำที่เกินความจำเป็นและยังสามารถใช้กับดินที่มีปัญหาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประหยัดแรงงานและน้ำมันในการให้น้ำ ซึ่งแต่ละวิธีจะมีวัตถุประสงค์คล้ายคลึงกันคือ เป็นการให้น้ำและปุ๋ยเฉพาะจุด เช่นให้น้ำในรูปสารละลายร่วมกับระบบน้ำหยด (drip irrigation) หรือแบบพ่นฝอย (micro sprinkler) นอกจากนี้ ยังควบคุมการให้น้ำในระบบเพื่อให้เกิดความถูกต้อง และได้สัดส่วนที่เหมาะสมกับแต่ละช่วงการ เจริญเติบโตของพืช (มนตรี, 2531)

2.2.4 ข้าวโพดหวาน

ข้าวโพด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* L. var. *saccharata* อยู่ในวงศ์ Gramineae เป็นธัญพืชที่ใช้เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ ในบรรดาพืชอาหารที่ใช้เมล็ดด้วยกันข้าวโพดจัดว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็น อันดับ 3 ของโลก มีการผลิตทั่วไปในเขตอบอุ่น (temperate) เขตอากาศกึ่งร้อนชื้น (subtropic) และ พื้นที่ราบเขตร้อน (lowland tropic) ข้าวโพดสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมที่กว้างขวาง ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงประมาณ 71 เปอร์เซ็นต์ แต่มีโปรตีนค่อนข้างต่ำประมาณ 9.5 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ยปริมาณน้ำมันเกือบทั้งหมดอยู่ในต้นอ่อนใน เมล็ด (germ หรือ embryo) และมีโปรตีนราวๆ 20 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดจะอยู่ในต้นอ่อน โปรตีนในต้นอ่อนมีคุณภาพทางอาหารสูง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก ระบบรากฝอย (fibrous root system) ซึ่งแบ่งออกเป็นหลายชนิด เช่น รากขั้นต้น (primary root) รากยึดเหนี่ยว (brace root) รากด้านข้าง (lateral root) และรากฝอย (root hair) แต่ไม่มีรากแก้ว (tap root) น้ำหนักของรากคิดเป็นร้อยละ 12-15 ของน้ำหนักทั้งหมด ปริมาณของรากข้าวโพดแต่ละต้นแต่ละพันธุ์ มีมากน้อยต่างกันไปแล้วแต่ลักษณะทางพันธุกรรม และสิ่งแวดล้อม ข้าวโพดที่มีรากมากมีความแข็งแรงและทนทานต่อการหักล้มได้ดีกว่าพวกที่มีปริมาณรากน้อย

ลำต้น แข็งใสนั่นไม่กลวง ความสูงตั้งแต่ 60 เซนติเมตร ถึง 6 เมตร แล้วแต่สายพันธุ์ การแตกกอของต้นข้าวโพดขึ้นกับพันธุ์และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปล้องเหนือดินจะมีจำนวนตั้งแต่ 8-20 ปล้อง เมื่อผ่าลำต้นตามขวางจะเห็นเปลือกอยู่เป็นวงรอบนอก ซึ่งด้านนอกจะประกอบด้วยเซลล์ป้องกันน้ำได้ ส่วนด้านในเป็นท่อลำเลียงน้ำและอาหาร

ใบ ประกอบด้วยกาบใบ ที่หุ้มลำต้นและแผ่นใบกางสลับบนส่วนของลำต้น ตัวแผ่นใบจะทำมุมกับลำต้นด้วยการยึดของเส้นกลางใบเพื่อให้ใบได้รับแสงสำหรับกระบวนการปรุงอาหาร จำนวนใบมีตั้งแต่ 8-48 ใบ

ดอก มีดอกตัวผู้และตัวเมียแยกจากกัน แต่อยู่ในต้นเดียวกัน (monoecious) ดอกตัวผู้รวมกันอยู่เป็นช่อ เรียกว่าช่อดอกตัวผู้ อยู่บนสุดของต้น เกสรมักเรียกดอกหัว ดอกตัวผู้ดอกหนึ่งอับเกสร 3 อับ แต่ละอับยาว 6 มิลลิเมตร และมีเกสรประมาณอันละ 2,000 เกสร ส่วนดอกตัวเมียอยู่รวมกันเป็นช่อหรือฝักที่ขั้วกลางลำต้น ดอกตัวเมียแต่ละดอกประกอบด้วยรังไข่ และมีเส้นไหม 400-

1000 เส้น ที่มีความยาวประมาณ 5-15 เซนติเมตร และมียางเหนียวไว้ดักจับเกสรตัวผู้ ทำให้ข้าวโพด 1 ฝักมีเมล็ดได้ 400-1000 เมล็ด

เมล็ด เกิดจากผสมกันระหว่างเกสรตัวผู้ตกลงบนเส้นไหมและผสมกับไขในรังไข่

อุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อผลผลิตสูงสุด 24-30 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิกลางวัน อยู่ในช่วง 15-18 องศาเซลเซียส จะทำให้ข้าวโพดหวานมีคุณภาพดีและมีความหวานสูง

การใส่ปุ๋ย ครั้งที่ 1 46-0-0 ผสมกับ 15-15-15 อัตรา 1:1 อัตรา 50 ก.ก./ไร่ ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ย 14-14-21 อัตรา 50 ก.ก./ไร่

เก็บเกี่ยว พันธุ์เบา 55-65 วัน พันธุ์ปานกลาง 70-85 วัน พันธุ์หนัก 90 วันขึ้นไป (สมศรี และ อานาจ, 2551)

2.3 การใช้ประโยชน์จากสารละลายที่ใช้แล้ว

การปลูกพืชแบบโดยไม่ใช้ดิน (soilless culture) หรือที่เรียกว่า hydroponics เป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยใช้วัสดุอื่นๆ แทน และเตรียมธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปของน้ำ ซึ่งระบบไฮโดรโปนิคส์สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือกลุ่มที่มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารในระบบปลูกพืช (recirculated) และกลุ่มที่ไม่มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร (non-recirculated) แต่อย่างไรก็ตามทั้ง 2 ระบบมีการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร และใช้ธาตุอาหารชนิดเดียวกันคือในสารละลายต้องมีธาตุอาหารที่พืชจำเป็นต้องใช้ในการเจริญเติบโตครบทั้งทุกธาตุ ได้แก่ธาตุอาหารหลัก คือไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ธาตุอาหารรอง คือแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถัน (S) ธาตุอาหารเสริม คือสังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) โบรอน (B) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) โมลิบดีนัม (Mo) คลอรีน (Cl) (Uchida, 2000) อย่างไรก็ตามพืชไม่สามารถนำธาตุอาหารทุกชนิดไปใช้ได้ทั้งหมด และจะถูกทิ้งไปสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรงอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนได้ สารละลายที่ถูกทิ้งหรือเรียกว่าของเสีย (waste nutrient solution: WNS) เกิดจากหลายสาเหตุด้วยกันได้แก่ ในระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลายอาหารกลับมาใช้ใหม่ เมื่อใช้เป็นระยะเวลาอันนานจะเกิดปัญหาในด้านความไม่สมดุลของธาตุอาหาร (imbalances) ทำให้พืชเจริญเติบโตไม่ดี (Grattan and Grieve, 1999) และมีการสะสมของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หากมีปริมาณมากอาจเป็นพิษต่อพืชโดยเฉพาะผักสลัดที่ปลูกในระบบ NFT ที่รากพืชจะแช่อยู่ในน้ำโดยตรง จะมีความอ่อนแอต่อความไม่สมดุลของธาตุอาหาร และโซเดียมคลอไรด์สูง กล่าวคือยิ่งระดับของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้นยิ่งส่งผลเสียต่อผักกาดหอม คือที่ระดับความเข้มข้น 50 mM พบว่าจำนวนใบ น้ำหนักสดของต้นและราก น้ำหนักแห้งของต้นและราก พื้นที่ใบและดัชนีพื้นที่ใบ น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (Al-Maskri *et al.*, 2010) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Qin *et al.* (2013) ที่รายงานถ้ามีปริมาณของโซเดียมคลอไรด์สูงมากกว่า 1000 ppm (17.1 mM) จะทำให้มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของผักกาดหอม นอกจากนี้ได้มีการตรวจสอบการสะสมของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phytotoxic organic acids ในการใช้สารละลายธาตุอาหารจำเป็นระยะเวลาของระบบไฮโดรโปนิคส์ต่อการปลูกผักสลัด ซึ่งมีผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยสามารถตรวจพบ organic acids ใน root residues ได้ถึง 7 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายใหม่ตรวจพบเพียง 5 ชนิด และพบว่าเมื่อใช้สารละลายเป็นเวลานาน 3 รอบการผลิตทำให้ จำนวนใบ ขนาดใบ น้ำหนักสด (ต้น ราก) น้ำหนักแห้ง (ต้น ราก) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในรอบการผลิตแรก (Lee *et al.*, 2006) นอกจากนี้ผักสลัดที่อ่อนแอแล้วยังมีการรายงานของ Sato *et al.* (2006) ที่ทดสอบผลของปริมาณโซเดียมคลอไรด์ต่อผลผลิตของมะเขือในระบบ NFT ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณโซเดียมคลอไรด์มากขึ้นโดยใช้ค่า EC เท่ากับ 5 mS/cm ทำให้ส่งผลต่อน้ำหนักสดของผลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากเหตุผลที่กล่าวมาทำให้เกษตรกรจำเป็นต้องมีการถ่ายสารละลายธาตุอาหารออกเป็นประจำทั้งที่ยังมีธาตุอาหารเหลืออยู่ (Resh, 2013)

อย่างไรก็ตามก็ยังมีพืชที่สามารถทนทานต่อโซเดียมคลอไรด์ได้ดี ตระกูลผักไทยที่สามารถทนต่อโซเดียมคลอไรด์ได้สูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด มีงานวิจัยหลายๆท่านรายงานว่าสำหรับความเค็มที่เพิ่มขึ้นโดยวัดจากการนำไฟฟ้าที่ EC เท่ากับ 2.0, 6.0 และ 10.0 mS/cm พบว่าไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักชีฝรั่ง (*Apium graveolens* L.) ในระบบ NFT และยังสามารถดูดธาตุโซเดียมคลอไรด์ไปเก็บไว้ที่ใบแก่และส่วนมากใบจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Pardossi *et al.*, 1999) และผักโขมสามารถทนต่อโซเดียมคลอไรด์ได้ถึง 5,000 ppm (85.6 mM) (Qin *et al.*, 2013) ซึ่งอาจจะไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารบ่อยครั้ง ส่วนในระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนธาตุอาหาร หรือเป็นระบบเปิด (open system) ก็คือการปลูกพืชในวัสดุปลูกโดยที่ไม่ใช้ดิน ในการให้สารละลายกับพืชผ่านเทคนิคระบบการให้น้ำแบบหยด อย่างไรก็ตามการที่จะให้พืชเจริญเติบโตและผลผลิตได้ดีที่สุดจำเป็นต้องให้สารละลายไหลระบายออกจากวัสดุปลูกไม่น้อยกว่า 20-30 เปอร์เซ็นต์ เพื่อลดการสะสมของเกลือจากปุ๋ย ที่อาจจะเป็นพิษกับพืชเมื่อมีการสะสมเป็นระยะเวลาานาน (Singandhupe *et al.*, 2003) ซึ่งสารละลายนี้ก็เป็นสารละลายที่ถูกทิ้งสู่แวดล้อมและอาจปนเปื้อนได้ โดยสารละลายธาตุอาหารที่เหลือทิ้งจากการรายงานนั้นมีปริมาณของไนเตรท และฟอสฟอรัสสูง เท่ากับ 200-300 mg/L และ 30-100 mg/L แต่ไม่มีส่วนประกอบของออกซิเจนคาร์บอน (Park *et al.* 2008a; Prystay and Lo, 2001) เช่นเดียวกับรายงานของ Grasselly *et al.* (2005) ที่รายงานว่าสารละลายที่ถูกทิ้งจากระบบการปลูกพืชแบบวัสดุปลูกมีปริมาณของไนเตรทสูงประมาณ 150-500 mg/L ซึ่งสารละลายธาตุอาหารที่ถูกทิ้งอาจถูกนำไปปลูกพืชในดิน หรือมีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรง ซึ่งปริมาณธาตุอาหารที่เหลืออยู่จะทำให้มีการปนเปื้อนสู่สภาพแวดล้อมและสามารถชักนำให้เกิดปรากฏการณ์ eutrophication ในน้ำ เป็นสาเหตุให้เกิด algal boom การสูญเสียออกซิเจนในน้ำ และสามารถเป็นพิษกับสัตว์และคน และเมื่อไนเตรทมีการซึมลงไปยังชั้นของน้ำบาดาลซึ่งอาจส่งผลต่อน้ำดื่มได้ (Prystay and Lo, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักวิจัยหลายๆ ท่านได้คำนึงถึงการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และลดการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม โดยการนำสารละลายธาตุอาหารที่เหลือทิ้งจากการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ก่อนปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมหรือนำไปสู่การจัดการแบบ zero waste โดยอาจเริ่มจากการนำสารละลายไปกรองและฆ่าเชื้อ สามารถลด chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD5) และ แบคทีเรียได้ (Salgot *et al.*, 2003) และ การใช้ระบบกรองทรายในการกรองสารละลายที่ถูกทิ้งจากการปลูกพืชและมะเขือเทศ ที่มีค่า EC เท่ากับ 2.1 mS/cm ทำการกรอง 2 รอบ สามารถลดค่า EC ได้เป็น 1.3 (รอบที่ 1) และ 0.7 (รอบที่ 2) mS/cm (Choi *et al.*, 2011c)

จากนั้นมีการพัฒนาที่จะลดธาตุอาหารในสารละลายที่เหลือทิ้งจากระบบไฮโดรโปนิคส์ การกำจัดสารอินทรีย์ ไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัส ในสารละลายที่ถูกทิ้งจากระบบไฮโดรโปนิคส์ โดยนำกลับมาปลูกกุหลาบ ในระบบ NFT (nutrient film technique) ซึ่งพบว่าสามารถกำจัดค่า chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD5) และ suspended solids (SS) เท่ากับ 89, 95 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อกุหลาบออกดอกสามารถกำจัดฟอสฟอรัสและไนเตรทได้มากกว่า 20-23 และ 20 เปอร์เซ็นต์ จากค่าเริ่มต้น (Monnet *et al.*, 2002) หรือมีการทดสอบระบบการใช้สารละลายที่ถูกทิ้งนำมาปลูกพืชแดงกวา-พริกหวาน-สตรอเบอรี่ ตามลำดับ โดยออกรูปแบบระบบเป็นลักษณะ horizontal flow-horizontal flow system ซึ่งสามารถลดค่าของ BOD, COD, suspended solid, T-N และ T-P ได้เท่ากับ 84, 81, 84, 51 และ 93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Park *et al.*, 2008b) ถัดมาได้มีการออกแบบระบบที่ใช้ลดปริมาณธาตุอาหาร N และ P ในสารละลายที่ถูกทิ้งจากระบบไฮโดรโปนิคส์ คือระบบ Up-Up stream ซึ่งสามารถลด BOD, COD, suspended solid, T-N และ T-P ได้เท่ากับ 88, 77, 94, 54 และ 94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Park *et al.*, 2012)

จากนั้นได้เริ่มมีการนำสารละลายที่ถูกทิ้งมาเพิ่มเติมธาตุอาหารส่วนที่ขาดหายไปแล้วนำมาปลูกพืชใหม่ อย่างเช่นการเพิ่มโพแทสเซียม (K) ในอัตรา 0.40, 0.48, 0.58 และ equivalent basis ในการตอบสนองการเจริญเติบโตของ gerbera ในระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่าการเพิ่มโพแทสเซียมอัตรา 0.56 จะให้ผลผลิตของ gerbera ได้สูงที่สุด (Savvas *et al.*, 2002) ในทำนองเดียวกันยังมีการนำกลับมาปลูกพริกแดง (*Capsicum annum* L.) ในดินสภาพโรงเรือน มีการเพิ่มค่า EC ของ (Ca, Mg, และ K), T-N, NH₄-N, และ NO₃-N ซึ่งพบว่าต้องใช้ปุ๋ยเคมี 70 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับสารละลายที่ใช้แล้ว 30 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถได้การเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกแดงที่สูงที่สุด (Park *et al.*, 2005) และยังมีการนำสารละลายเก่าไปทดสอบปลูกมะเขือเทศ 7 สายพันธุ์ในระบบ substrate culture สภาพโรงเรือน ซึ่งจะมีการพัฒนาปรับปรุงสูตรธาตุอาหารที่ใช้ recycle ให้เหมาะสมเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ recycle สารละลายธาตุอาหาร พบว่าในระบบที่ recycle สารละลาย

ที่ระบายออกจากวัสดุปลูกค่า EC เพิ่มสูงมาก ผลผลิตและขนาดของผลลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่ผลผลิตตอบแทนทางด้านตลาดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Gent และ Short, 2012)

สุดท้ายการนำสารละลายจากทิ้งจากระบบไฮโดรโปนิคส์นำกลับมาปลูกในดิน เช่นการนำมาปลูกผักกาดขาวในดิน พบว่าความกว้างของใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ให้ผลไม่ต่างและดีกว่าการปลูกแบบวิธีปกติ (Choi *et al.*, 2011a; Choi *et al.*, 2011b) เช่นเดียวกับ Hong *et al.* (2009) การทดสอบการใช้สารละลายที่เหลือทิ้งไปเพาะต้นกล้าของผักกาดขาว พบว่าให้ผลการทดลองการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับการปลูกแบบวิธีปกติ รวมทั้งการทดสอบของ Zhang *et al.*, (2006) รายงานการนำสารละลายเก่ากลับมาใช้ใหม่มาเพิ่มในเตรท แคลเซียม และโพแทสเซียม ในการปลูกเมล่อนในดินซึ่งผลคือความสูงของต้น ความยาวราก ปริมาณคลอโรฟิลล์ น้ำหนักผลสูงกว่าการปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในโรงเรือนและแปลงปลูกพืช

3.1.1 ระบบ NFT (nutrient film technique) จำนวน 3 โต๊ะ ขนาด 1.6 × 6 เมตร

- เครื่องให้ปุ๋ยอัตโนมัติ (Dostronic (bluelab), (PONPE 594 HD)
- ปั๊มน้ำขนาด AP 2500 (lifetech)
- ปั๊มน้ำ 1/2 แรง
- ถังสารละลายปริมาตร 200 ลิตร
- รางอนุบาล 1 จำนวน 3 ราง
- รางอนุบาล 2 จำนวน 9 ราง
- รางปลูก จำนวน 24 ราง
- ท่อ PE ขนาด 20 มิลลิเมตร
- มินิสปริงเกอร์
- timer

3.1.2 ระบบ DRFT (dynamic root floating technique) จำนวน 6 โต๊ะ ขนาด 1 × 3.2 เมตร

- แผ่น โฟมปลูกพืช 3.5 ปอนด์ (higreen shop)
- โฟมวางกลาง 3.5 ปอนด์ (higreen shop)
- โฟมห้ว-ท้าย 3.5 ปอนด์ (higreen shop)
- ปั๊มน้ำขนาด AP 2500 (lifetech)
- ถังสารละลายปริมาตร 200 ลิตร
- พลาสติกดำ
- ท่อ PE มิลลิเมตร
- หัวจ่ายน้ำ
- สะคือปรับระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ระบบ substrate culture

- เครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติ Dosatron
- เครื่องวัดความชื้น NECTEC
- หัวน้ำหยด (super product)
- ขาปักน้ำหยด (super product)
- ป้อนน้ำ 1/2 แรง
- ถังสารละลายปริมาตร 200 ลิตร
- ท่อ PE มิลลิเมตร
- ขุยมะพร้าว
- กระจกปลุกขนาด 12 นิ้ว
- timer

3.1.4 เมล็ดพันธุ์

3.1.4.1 ผักสลัด

- green oak (Hi-Q)
- cos (Hi-Q)
- red oak (Hi-Q)
- red coral (Hi-Q)
- frillice iceberg (Hi-Q)
- butter head (Hi-Q)

3.1.4.2 กระดาษเห็ดหอม (สามเอ)

3.1.4.3 เมล่อน

- เนื้อสีเขียว (green net, army green, pert, rocky green)
- เนื้อสีส้ม (pot orange, army orange, rocky orange, sakura)

3.1.4.4 ข้าวโพดหวานสีแดง (Siam ruby)

3.1.5 เครื่องมือวัดค่าต่าง ๆ

- เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (electrical conductivity; EC) (blue lab)
- เครื่องวัดค่าพีเอช (potential of hydrogen ion; pH)
- เครื่องวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll Meter SPAD-502)
- เทอโมมิเตอร์
- เครื่องวัดของแข็งที่ละลายน้ำได้
- เครื่องวัดความแน่นเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในสภาพแปลง

- เทปน้ำหยด (netafilm)
- ป้อนน้ำ 1/2 แรง
- ท่อ PE ขนาด 20 มิลลิเมตร
- timer
- tensiometer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษารูปแบบและการจัดการที่เหมาะสมในการนำสารละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำในระบบผลิตพืชผัก และความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติในการผลิตพืชผัก ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขั้นตอนที่ 3.2.1 การศึกษารูปแบบและการจัดการที่เหมาะสมในการนำสารละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำในระบบผลิตพืชผัก

3.2.1.1 การปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิคส์ในระบบ nutrient film technique (NFT)

การทดลองครั้งนี้ปลูกพืชในโรงเรือนเกษตรกร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา เริ่มจากปลูกผักสลัด (lettuce) ในระบบ nutrient film technique (NFT) เพราะเป็นผักที่มีมูลค่าสูง เป็นระบบการปลูกพืชที่ให้ผลตอบแทนต่อหนึ่งพื้นที่สูง และสามารถเร่งรอบการผลิตได้ถึง 20 รอบการผลิตต่อปี ในการปลูกผักสลัดครั้งนี้จะใช้สารละลายเข้มข้นมาตรฐานสูตร KMITL2 ความเข้มข้น 200 เท่า ปริมาตร 20 ลิตร (stock A: FeEDDHA 80 กรัม CaNO₃ 3800 กรัม Stock B: KNO₃ 1800 กรัม KH₂PO₄ 650 กรัม MgSO₄ 1000 กรัม) (อิทธิสุนทร, 2557) และปรับสารละลายเจือจาง 1.6-1.8 mS/cm pH 5.8-6.0 ปลูกผักสลัดทั้งหมด 6 ชนิด คือ cos, green oak, red oak, frillice iceberg, red coral และ butter head โดยใช้วัสดุปลูกเพอร์ไลต์ เริ่มจากการใส่วัสดุปลูกลงในถ้วยปลูกขนาด 5 × 5 เซนติเมตรประมาณ 2/3 ของถ้วย จากนั้นนำเมล็ดผักสลัด 6 สายพันธุ์ ใส่ลงไปพอประมาณไม่ลึกจนเกินไป รดน้ำทุกวัน เมื่อผักสลัดอายุ 7-10 วัน ย้ายผักขึ้นบนรางปลูกอนุบาล 1 ต่อมาเมื่ออายุครบ 2 สัปดาห์ ย้ายผักไปรางอนุบาล 2 และเมื่อผักอายุได้ 4 สัปดาห์ ย้ายลงบนรางปลูก เก็บเกี่ยวผักสลัดเมื่ออายุครบ 6 สัปดาห์ และเนื่องจากผักสลัดไม่สามารถทนต่อความไม่สมดุลทางธาตุอาหาร และปริมาณของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จำเป็นต้องมีการถ่ายสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์ แล้วนำไปปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT ต่อไป และนำสารละลายที่ผ่านการใช้แล้วไปวิเคราะห์ธาตุอาหารที่เหลือ เพื่อนำไปปรับสูตรสารละลายเข้มข้นของการปลูกผักคะน้าเห็ดหอมต่อไป บันทึกข้อมูลดังนี้

- ขนาดทรงพุ่มทุกสัปดาห์หลังจากย้ายผักสลัดลงรางปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว
- น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังจากย้ายลงรางปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว
- บันทึกปริมาณน้ำปุ๋ย กรด ปริมาณสารละลายที่ถ่ายออกจากการปลูกผักสลัด

ที่ใช้ในแต่ละรอบการผลิต

3.2.1.2 การจัดการและทดสอบสารละลายที่ถ่ายออกจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT มาปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ dynamic root floating technique (DRFT)

การจัดการและทดสอบสารละลายที่ถ่ายออกจากการปลูกผักสลัดจากข้อ

3.2.1.1 มาปลูกผักคะน้าเห็ดหอม ในระบบ dynamic root floating technique (DRFT) เหตุผลที่ใช้ผักคะน้าเห็ดหอม เพราะสามารถทนต่อความไม่สมดุลของธาตุอาหาร และทนต่อโซเดียมคลอไรด์ได้ในปริมาณสูงรวมทั้งความต้องการสารอาหารที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การปรับองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารยังสามารถทำได้ง่าย โดยการเติมสารละลายเข้มข้นบางส่วนโดยใช้สูตร KMITL2 โดยปรับความเข้มข้นให้ตรงกับความต้องการของผักคะน้าเห็ดหอม ($EC \approx 2.5 - 3.5$ mS/cm) ปรับค่า pH = 5.8-6.0 วางแผนการทดลองแบบ RCBD 3 ซ้ำ ซ้ำละ 50 ต้น เพาะกล้าโดยใช้ฟองน้ำขนาดช่อง $1 \times 1 \times 1$ นิ้ว เมื่ออายุครบ 7 วัน ย้ายกล้าขึ้นบนโต๊ะปลูกใส่ลงช่องแผ่นโฟมปลูกขนาด 50 ช่อง โดยให้ระยะห่างเว้น 1 ช่อง เก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุครบ 45 วัน พร้อมนำสารละลายที่เหลือไปวิเคราะห์ และนำมาปลูกเมล็ดต่อไป ส่วนในชุดควบคุม (control) จะใช้น้ำปุ๋ยใหม่สูตร KMITL2 ความเข้มข้น 200 เท่า ปริมาตร 20 ลิตร (stock A: Fe-EDDHA 80 กรัม $CaNO_3$ 3800 กรัม Stock B: KNO_3 1800 กรัม KH_2PO_4 650 กรัม $MgSO_4$ 1000 กรัม) (อิทธิสุนทร, 2557) ซึ่งจะปรับสารละลายเจือจาง และค่า pH เหมือนกับชุดการทดลอง มีการบันทึกผลการทดลองดังนี้

- จำนวนใบ สัปดาห์ที่ 4, 5 และเก็บเกี่ยว หลังจากเพาะเมล็ด
- น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งหลังเก็บเกี่ยว
- เส้นผ่าศูนย์กลางของต้นหลังเก็บเกี่ยว
- ปริมาณน้ำ ฟูย กรด ปริมาณสารละลายที่เหลือจากการปลูกคะน้าหลังจาก

การเก็บเกี่ยวแต่ละรอบการผลิต

- เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตจากการใช้สารละลายใหม่ และสารละลายที่ผ่านการใช้มาแล้ว

สารละลายที่เหลือจากการปลูกคะน้าเห็ดหอมจะมีประมาณของโซเดียมคลอไรด์มากยิ่งขึ้น จึงต้องนำมาจัดการและทดสอบปลูกพืชในระบบ substrate culture ซึ่งวัสดุปลูกจะสามารถดูดซับโซเดียมไว้ได้ และปลูกเมล็ดอ่อนที่สามารถทนได้สูงเช่นเดียวกัน

3.2.1.3 การจัดการและทดสอบสารละลายที่เหลือจากการปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT นำมาปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture

การจัดการและทดสอบสารละลายที่เหลือทิ้งจากการปลูกคะน้าเห็ดหอม จากข้อ 3.2.1.2 แล้วนำมาปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture ใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปลูก เนื่องจากวัสดุปลูกสามารถดูดซับโซเดียมได้ แต่อย่างไรก็ตามยังจำเป็นต้องให้มีสารละลายระบายนอกจากวัสดุปลูกเพื่อลดการสะสมของโซเดียมที่มากเกินไปอาจส่งเป็นอันตรายต่อพืชได้ โดยจะให้มีการระบายออกไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ (Singandhupe *et al.*, 2003) สารละลายที่ใช้แล้วจากการปลูกคะน้าอาจมีค่า EC ที่สูงขึ้นเกินกว่าค่า EC ของเมล่อนต้องการ ดังนั้นก่อนนำไปใช้จะต้องทำการเจือจางกับน้ำโดยนำสารละลายที่เหลือมาผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:5 จากนั้นนำไปผสมกับปุ๋ยเมล่อนที่ได้จากการคำนวณใหม่ (คำนวณโดยคัดแปลงจาก อธิวิสุนทร, 2557) ที่เป็นสารละลายสูตรเข้มข้นต้องใส่เพิ่มตามความต้องการของเมล่อน และปรับสารละลายเจือจาง EC = 2.5-3.0 mS/cm ปรับค่า pH = 5.8-6.0 ให้น้ำระบบน้ำหยดโดยใช้เครื่องตั้งเวลาแบบอัตโนมัติ (timer) ซึ่งตั้งเวลาอยู่ในช่วง 5-10 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 2-5 นาที ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาเจริญเติบโตของเมล่อน จัดกลุ่มทดลองแบบ Split plot in CRD 20 ซ้ำ Sub plot ได้แก่ สารละลายที่ใช้แล้วและสารละลายที่เตรียมใหม่ Main plot ได้แก่ เมล่อนพันธุ์เนื้อสีเขียว และเนื้อสีส้ม โดยเริ่มจากนำเมล็ดไปแช่น้ำประมาณ 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวางบนกระดาษเพาะ เมื่อเมล็ดเริ่มงอกย้ายลงปลูกในวัสดุปลูกที่หมอสแล้วรดน้ำเป็นประจำจนอายุประมาณ 10-14 วัน จึงนำกล้าย้ายลงระบบที่มีขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปลูก โดยในระยะแรกที่ยังเป็นต้นกล้าจะให้น้ำ 3-5 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 3-5 นาที จากนั้นเมื่อเมล่อนเริ่มออกดอกทำการตัดกิ่งแขนงออกจนถึงข้อที่ 9 แล้วเริ่มผสมดอกตั้งแต่ข้อที่ 9 ขึ้นไป และให้ไว้ลูกตั้งแต่ข้อที่ 9-13 ถือว่าเป็นข้อที่เหมาะสม โดยให้ไว้ 1 ลูกต่อต้น และค่อยๆ เพิ่มปริมาณการให้น้ำและค่า EC จากนั้นจะมีการตัดยอดตั้งแต่ข้อที่ 25-30 เพื่อให้สารอาหารไปเลี้ยงที่ลูกเมล่อน แล้วมีการปรับสารละลายเจือจางค่า EC = 3.0 mS/cm และเพิ่มปริมาณการให้น้ำอยู่ที่ประมาณ 7-10 ครั้ง ครั้งละ 3-5 นาที จากนั้นนับอายุการเก็บเกี่ยวโดยนับหลังจากผสมเกสรไปอีก 45 วัน จึงสามารถเก็บเกี่ยวได้ แต่ก่อนถึงเวลาเก็บเกี่ยวจะลดปริมาณการให้สารละลายลงเรื่อยๆ จนหยุดการให้สารละลายเป็นเวลา 3 วัน จึงเก็บเกี่ยวได้ ส่วนในชุดควบคุม (control) จะมีการให้ปุ๋ยสูตรเมล่อนที่เป็นมาตรฐาน (ความเข้มข้น 200 เท่า ปริมาตร 20 ลิตร (stock A: FeEDDHA 17 กรัม CaNO₃ 5,151 กรัม Stock B: KNO₃ 2,370 กรัม KH₂PO₄ 871 กรัม K₂SO₄ 136 กรัม MgSO₄ 1,292 กรัม จุลธาตุ ZnSO₄ 2.616 กรัม CuSO₄ 0.318 กรัม MnSO₄ 9.167 กรัม Boric acid 7.855 กรัม Ammonium Molyb 0.392 กรัม) (อธิวิสุนทร, 2557) ซึ่งจะมีการดูแลและการให้สารละลายธาตุอาหารที่เท่ากัน พร้อมเก็บตัวอย่างสารละลายก่อนใช้และที่ระบายออกจากวัสดุปลูกนำไปวิเคราะห์เพื่อดูปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่และนำมาเก็บไว้ในถังเพื่อนำมาจัดการและทดสอบการปลูกข้าวโพดในดินเป็นวิธีการสุดท้ายไม่ให้มีเหลือสารละลายทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ บันทึกผลการทดลองดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเจริญเติบโตโดยการนับจำนวนข้อทุก 2 สัปดาห์ จะถึง 25 ข้อ
- ค่าความเขียวของใบ
- เก็บข้อมูลผลผลิต ชั่งน้ำหนัก และเส้นผ่าศูนย์กลางของผลเมล่อน
- ของแข็งที่ละลายน้ำได้ และความหนาแน่นของเนื้อ
- บันทึกปริมาณน้ำ ปุ๋ย กรด ปริมาณสารละลายที่ระบายออกทิ้งจากการปลูกเมล่อนในแต่ละรอบการผลิต

- เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตจากการใช้สารละลายใหม่ และสารละลายที่ผ่านการใช้มาแล้ว

- ทำแบบประเมินความพึงพอใจของเมล่อน รายการทดสอบได้แก่ กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ+ความหวาน สี ความกรอบ ความชอบโดยรวม โดยมีการให้คะแนน 5 ระดับ คือ 1= ชอบน้อยที่สุด 2= ชอบน้อย 3= ชอบปานกลาง 4= ชอบมาก 5= ชอบมากที่สุด (ดัดแปลงจาก พัชร และชมภู, 2554)

3.2.1.4 การจัดการและทดสอบใช้สารละลายที่ระบายออกจากการปลูกเมล่อนนำมาปลูกข้าวโพดในสภาพดิน

การจัดการและทดสอบโดยใช้สารละลายที่เหลือทิ้งจากการปลูกเมล่อนในข้อ 3.2.1.3 แล้วนำกลับมาใช้ซ้ำในการปลูกข้าวโพดหวานสีแดงพันธุ์ทับทิมสยาม (Siam ruby) ในแปลงปลูก เตรียมการโดยนำตัวอย่างดินและสารละลายที่เหลือทิ้งไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการจัดการสารละลายธาตุอาหาร วางแผนการทดลองแบบ RCBD 3 ซ้ำ ซ้ำละ 24 ต้น โดยใช้สารละลายที่เก็บไว้มาเจือจางกับน้ำ เพราะน้ำทั้งจากระบบ substrate มีค่า EC สูง ให้สารละลายแบบน้ำหยดตรงกึ่งกลางของร่องปลูกแบบ ควบคุมให้น้ำอัตโนมัติ (timer) 5-10 ครั้ง/วัน ครั้งละ 10-30 นาที ขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโตของพืช เริ่มจากการเพาะกล้าในกระบะเพาะเมื่อ ครอบอายุ 10-14 วัน นำกล้าย้ายลงแปลงปลูกโดยกำหนดปลูกแบบแถวคู่ระยะห่างต้น 20×25 เซนติเมตร ระยะห่างร่อง 120 เซนติเมตร เมื่อข้าวโพดออกใหม่โดยเฉลี่ยทั้งแปลง 50 เปอร์เซ็นต์ ให้นับไปอีก 16-20 วัน จึงสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ส่วนในชุดควบคุม (control) มีการใส่ปุ๋ย (15-15-15) และให้น้ำตามการปลูกแบบเกษตรกรทั่วไป โดยมีการบันทึกผลการทดลองดังนี้

- การเจริญเติบโตความสูงของต้น ทุก 2 สัปดาห์ จนถึงระยะออกดอก
- ค่าความเขียวของใบ
- ผลผลิตน้ำหนักสดต้น จำนวนฝัก น้ำหนักสดฝัก
- เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของการใช้ปุ๋ยตามปกติ และสารละลายที่ผ่านการใช้มาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3.2.2 การทดสอบระบบในการผลิตพืชผักที่ปราศจากสารละลายเหลือทิ้ง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

นำข้อมูลและรูปแบบการจัดการที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาปรับใช้ในการทดสอบระบบและยืนยันผลอีกครั้ง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยยึดหลักการใช้สารละลายอย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เหลือทิ้งซึ่งทำการเริ่มปลูกผักสลัดในระบบ NFT โดยใช้ค่า EC เท่ากับ 1.6 mS/cm pH 5.8 จากนั้นมีถ่ายสารละลายออกอย่างต่อเนื่องออกเป็น 2 ทาง คือทางที่ 1 ถ่ายไปปลูกเมล็ดอ่อนในระบบ substrate culture และมีการเติมปุ๋ยจากการคำนวณปรับสูตรใหม่ โดยใช้ EC เริ่มต้น 2.5 mS/cm pH 5.8 และทางที่ 2 ถ่ายสารละลายไปปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT และเติมปุ๋ยบางส่วนโดยใช้สูตร KMITL2 โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 2.5 mS/cm pH 5.8 จากนั้นนำสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้าเห็ดหอมและสารละลายที่ระบายออกจากการวัสดุปลูกนำมาวมกัน และนำมาจัดการเพื่อนำไปปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในดิน ทำการเก็บข้อมูลดังนี้

- ปริมาณการใช้น้ำ/ปุ๋ย ในการปลูกพืช
- ข้อมูลผลผลิตในแต่ละรอบการผลิต
- โรคและแมลงที่พบตามธรรมชาติ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ตอนที่ 4.1 การศึกษารูปแบบและการจัดการที่เหมาะสมในการนำสารละลายที่ใช้แล้ว กลับมาใช้ซ้ำในระบบผลิตพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ในการทดสอบตอนที่ 1 เป็นการทดสอบถึงรูปแบบและการจัดการสารละลายที่เหลือทิ้งให้สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้และการเลือกระบบที่เหมาะสมกับพืช โดยเริ่มจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT และนำสารละลายที่ถ่ายออกทุก 2 สัปดาห์ มาทดสอบปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT จากนั้นนำสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้าเห็ดหอม มาเจือจางกับน้ำอัตรา 1:5 แล้วนำมาปรับสูตรใหม่ในการปลูกเมล่อน จากนั้นนำสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกเมล่อนมาปลูกข้าวโพดในดินต่อไป ซึ่งได้บันทึกการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช รวมทั้งปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก และคำนวณต้นทุนในการผลิตพืช ผลการทดสอบมีดังต่อไปนี้

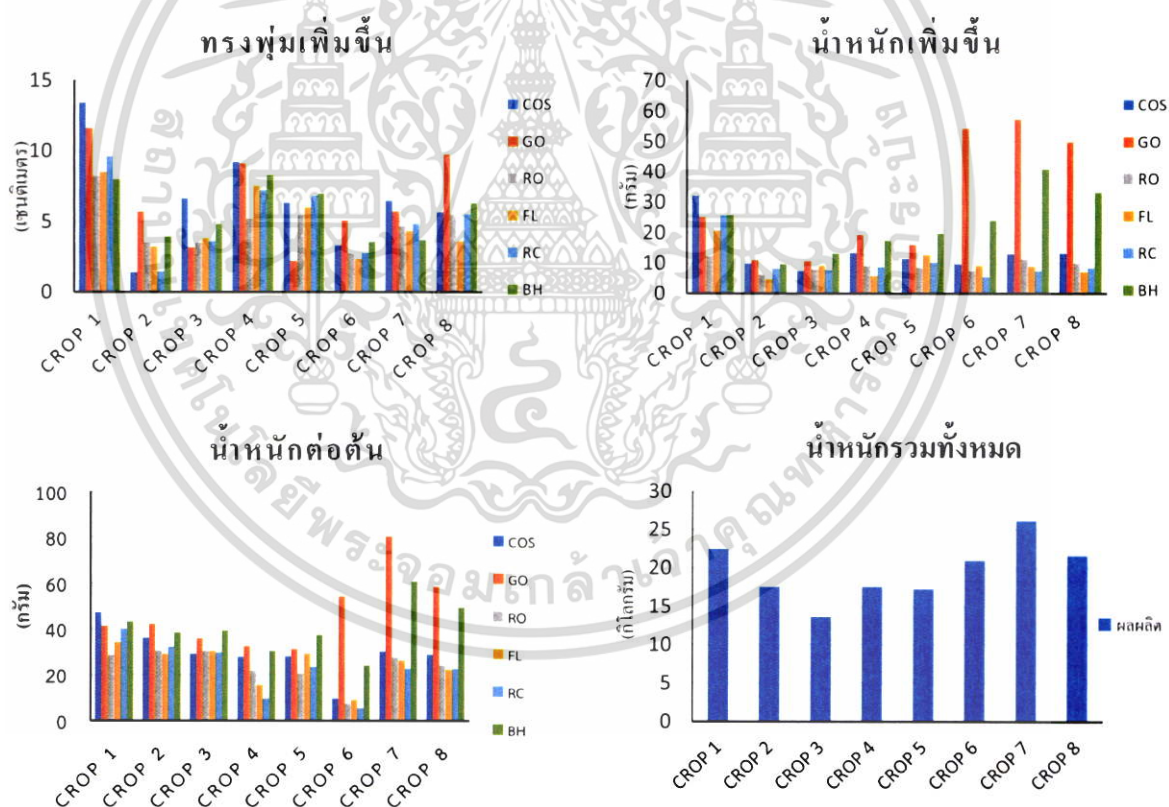
4.1.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก และองค์ประกอบของธาตุอาหาร ของการผลิตผักสลัดในระบบ NFT

4.1.1.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของการผลิตผักสลัดในระบบ NFT

จากการทดลองในลำดับแรกต้องปลูกผักสลัดในระบบ NFT เพื่อให้ได้มาซึ่งสารละลายธาตุอาหารที่เหลือทิ้ง ซึ่งปลูกผักสลัดทั้งหมด 6 สายพันธุ์ ได้แก่ cos, green oak, red oak, frillice iceberg, red coral และ butter head ปลูกทั้งหมด 8 รอบการผลิต ตั้งแต่เดือน มีนาคม - สิงหาคม 2559 ซึ่งเก็บเกี่ยวทุก 2 สัปดาห์ อายุการเก็บเกี่ยว 45 วัน บันทึกการเจริญเติบโต และผลผลิต ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4, 5 และ 6 (เก็บเกี่ยว) จากนั้นนำสารละลายกลับมาใช้ปลูกพืชอื่นต่อไป จากการทดสอบการปลูกพืชพบว่า การเจริญเติบโตของขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้นในรอบการผลิตที่ 1 ทั้ง 6 สายพันธุ์ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือให้ขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดจากทั้งหมด 8 รอบการผลิต ซึ่งสายพันธุ์ cos และ green oak จะให้ขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้นมากประมาณ 12-13 เซนติเมตร ส่วนสายพันธุ์ red oak, frillice iceberg และ butter head จะมีขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้นประมาณ 8-9 เซนติเมตร และหลังจากนั้นในรอบการผลิตที่ 2 ทั้ง 6 สายพันธุ์ขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้นไม่ต่างกัน และลดลงเหลือประมาณ 1-5 เซนติเมตร และมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง จากนั้นตั้งแต่รอบการผลิตที่ 3-8 ทั้ง 6 สายพันธุ์ขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้น แต่พบว่าสายพันธุ์ cos, green oak และ butter head ก่อนข้างมีขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ซึ่งขนาดทรงพุ่มค่อยๆ เพิ่มขึ้นเป็นลำดับอยู่ตั้งแต่ 2-10 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลผลิต พบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักต่อต้น และผลผลิตทั้งหมดทำให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือทั้ง 6 สายพันธุ์ ในช่วงรอบการผลิตที่ 1 ให้น้ำหนักที่เพิ่มค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับในรอบการผลิตที่ 2-8 ที่มีน้ำหนักลดลง ยกเว้นสายพันธุ์ green oak และ butter head ที่มีน้ำหนักเพิ่มสูงสุดตั้งแต่รอบการผลิตที่ 6-8 เท่ากับ 57.26 และ 40.8 กรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือตั้งแต่รอบการผลิต 1-8 น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นเริ่มลดลง และจากนั้นก็เริ่มคงที่ ยกเว้นสายพันธุ์ green oak และ butter head ที่พบว่าตั้งแต่รอบการผลิตที่ 6-8 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นเพิ่มขึ้นสูงสุด เท่ากับ 80.3 และ 60.7 กรัม ตามลำดับ สำหรับผลผลิตรวมทั้งในแต่ละรอบการผลิต พบว่าเริ่มตั้งแต่ในรอบการผลิตที่ 1 ผลผลิตโดยรวมทั้ง 6 สายพันธุ์ ได้เท่ากับ 22.51 กิโลกรัม จากนั้นในรอบการผลิตที่ 2 และ 3 ผลผลิตเริ่มลดลงเป็นลำดับ เท่ากับ 17.54 และ 13.64 กิโลกรัม ตามลำดับ หลังจากนั้นในรอบการผลิตที่ 4-8 ผลผลิตรวมทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 17.56- 26.14 กิโลกรัม (ภาพที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.1 แสดงการเจริญเติบโต ขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (สัปดาห์ที่ 4-6) น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น และผลผลิตรวมทั้งหมด (สัปดาห์ที่ 6) ของผักสลัดทั้งหมด 6 สายพันธุ์ ในระบบ NFT



ภาพที่ 4.2 แสดงการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักสลัด cos, green oak, red oak, frillice iceberg, red coral และ butter head ในระบบ NFT

4.1.1.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการผลิตผักสลัดในระบบ NFT

การปลูกผักสลัดในระบบ NFT ใช้สารละลายเข้มข้น KMITL2 ที่ความเข้มข้น 200 เท่า โดยปรับระดับความเข้มข้นเจือจางให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายธาตุ 1.6 mS/cm และ pH 5.8 ซึ่งในช่วงแรกในรอบการผลิตที่ 1-4 ใช้ถังรับสารละลายธาตุอาหาร ปริมาตร 200 ลิตร จำนวน 3 ใบ และในรอบการผลิตที่ 5-8 ได้ลดจำนวนถังสารละลายลงเหลือเพียง 1 ใบ ต่อจำนวนโต๊ะ NFT จำนวน 3 โต๊ะ สามารถปลูกผักสลัดได้ทั้งหมด 720 ต้น เพื่อให้ง่ายต่อการทำงาน และควบคุมภายในระบบการปลูก จากการผลิตผักสลัดในระบบ NFT พบว่า การให้ความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมใหม่มีค่า EC เท่ากับ 1.6 mS/cm แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปพบว่าค่า EC เพิ่มสูงขึ้น และสูงสุดในรอบการผลิตที่ 3 ซึ่งสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 2.4 mS/cm ทั้งนี้เกิดจากรอบการผลิตที่ 3 อยู่ในช่วงฤดูร้อนทำให้สารละลายธาตุอาหารมีอุณหภูมิสูงจึงมีการระเหยของน้ำ และพืชไม่ดูดธาตุอาหาร ทำให้ค่า EC เพิ่มสูงขึ้นและรวดเร็ว ซึ่งปริมาณการใช้น้ำของแต่ละรอบการผลิตก็จะมีค่าแตกต่างกันไป มีการใช้น้ำที่ต่ำสุด 508 ลิตร จนถึงการใช้น้ำสูงสุดเท่ากับ 1094 ลิตร อาจขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย เช่น สภาพอากาศ ความสมบูรณ์ของดินกล้า เป็นต้น ส่วนการใช้น้ำจะเห็นได้ว่าในรอบการผลิตที่ 1-4 จะค่อนข้างสูงอยู่ประมาณ 3-5.22 ลิตร เนื่องจากจำนวนถังรับสารละลายมี 3 ใบทำให้การเตรียมสารละลายใหม่ครั้งแรกมาก ส่วนในรอบการผลิตที่ 5-8 จะใช้สารละลายเข้มข้นค่อนข้างน้อยประมาณ 0.9-1.4 ลิตร เนื่องจากลดถังรับสารละลายธาตุอาหารเหลือ 1 ใบ สำหรับปริมาณการใช้กรดไนตริก (10 เปอร์เซ็นต์) ในการปรับ pH ในสารละลายธาตุอาหารให้ได้ประมาณ 5.8 พบว่าการใช้กรดของแต่ละรอบการผลิตมีความแตกต่างกันออกไป กล่าวคือในรอบการผลิตที่ 1, 4, 5 และ 6 กลุ่มนี้มีการใช้อยู่ในช่วง 0.99-1.91 ลิตร และในรอบการผลิตที่ 2, 3, 7 และ 8 มีการใช้กรดไนตริกสูงกว่าอยู่ในช่วง 2.43-2.60 ลิตร ส่วนปริมาณของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายที่ถูกถ่ายออกไปให้กับระบบ DRFT พบว่าในรอบการผลิตที่ 1-4 จะมีปริมาณของสารละลายที่ถ่ายออกสูง 234-480 ลิตร และในรอบการผลิตที่ 5-8 มีปริมาณการถ่ายออกต่ำ 109-160 ลิตร (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ในการผลิตผักสลัดในระบบ NFT

รอบการผลิต ^{1/}	EC (mS/cm)	pH	ปริมาณการใช้น้ำ (ลิตร)	ปริมาณการใช้ปุ๋ย (ลิตร) ^{2/}	ปริมาณการใช้กรดไนตริก (10 %) (ลิตร)	เปลี่ยนสารละลาย (ลิตร)
1	1.6-2.0	5.8	985	5.22	0.99	320
2	1.7-2.3	5.8	600	3.65	2.60	320
3	1.7-2.4	5.8	600	3.1	2.60	480
4	1.6-1.8	5.8	600	3.0	1.10	234
5	1.6-1.9	5.8	625	1.10	1.59	150
6	1.6-2.0	5.8	1094	1.40	1.91	160
7	1.6-2.0	5.8	628	0.90	2.43	109
8	1.6-2.2	5.8	508	0.93	2.43	150

^{1/} ตั้งแต่รอบการผลิตที่ 5 เป็นต้นไป ได้รวมสารละลายเป็นถังเดียวและใช้ร่วมกัน 3 โตะปลูก

^{2/} ในรูป stock สารละลายปุ๋ย A และ B ความเข้มข้น 200 เท่า จำนวนอย่างละเท่าๆ กัน, สูตร KMITL2 (ตารางผนวกที่ 1.1)

4.1.1.3 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารที่ผ่านการใช้แล้ว 2 สัปดาห์ และสารละลายที่เตรียมใหม่จากระบบ NFT

จากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT ทำการเก็บเกี่ยวผักสลัดทุก 2 สัปดาห์ และเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารใหม่ และนำสารละลายเก่าไปใช้ซ้ำในการปลูกผักคะน้าต่อไป ก่อนนำไปใช้ซ้ำได้เก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ธาตุอาหารที่เหลือ และเปรียบเทียบกับสารละลายใหม่ จากการวิเคราะห์พบว่าสารละลายเมื่อผ่านไป 2 สัปดาห์ ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) มีการควบคุมอยู่เป็นประจำทำให้ไม่มีการเปลี่ยนและคงที่อยู่ที่ประมาณ 1.6 mS/cm แต่เมื่อตรวจสอบธาตุอาหาร พบว่าส่วนใหญ่มีปริมาณของธาตุอาหารลดลง ได้แก่ NH_4^+ , NO_3^- , P, K, Mg, Fe, Mn, Cu และมีธาตุบางตัวเท่านั้นที่พบว่าปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยได้แก่ Ca ยกเว้น Na พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งในสารละลายเตรียมใหม่มีปริมาณเริ่มต้นที่ 11.6 ppm และเมื่อผ่านไป 2 สัปดาห์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 24.1 ppm (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT ที่เตรียมใหม่และผ่านการใช้เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

Description	pH	EC	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na
	-	mS/cm						(ppm)					
NFT-lettuce													
NNS	5.80	1.60	20.1	267	25.0	186	232	34.0	1.42	0.54	0.045	0.04	11.6
UNS	6.84	1.59	10.6	210	0.42	2.52	236	33.2	0.32	0.00	0.02	0.04	24.1

NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

4.1.2 การจัดการและทดสอบสารละลายที่ถ่ายออกจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT มาปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ dynamic root floating technique (DRFT)

4.1.2.1 การทดสอบและจัดการสารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT

จากการทดสอบสารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT ต่อการเจริญเติบโต ผักคะน้าเห็ดหอม ในระบบ DRFT ในการจัดการโดยการเติมบางส่วนโดยใช้สารละลายเข้มข้นสูตร KMITL2 และปรับความเงาจึงให้เหมาะสมกับพืชทดสอบทั้งหมด 2 รอบการผลิต กล่าวคือในรอบการผลิตที่ 1 การใช้สารละลายธาตุอาหารมาใช้ซ้ำ (UNS) ให้จำนวนใบในสัปดาห์ที่ 4, 5 และ 6 ไม่แตกต่างกับการใช้สารละลายใหม่ (NNS) อย่างมีนัยสำคัญ (อยู่ในช่วง 5.3-5.6, 6.8-7.0 และ 8.6-8.8 ใบ ตามลำดับ) ส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าการใช้สารละลายซ้ำให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายใหม่ (อยู่ในช่วง 1.3-1.43 เซนติเมตร) ส่วนรอบการผลิตที่ 2 พบว่าให้ผลการทดลองเป็นไปทางเดียวรอบการผลิตที่ 1 กล่าวคือเมื่อนำสารละลายมาใช้ซ้ำ สามารถให้การเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากการใช้สารละลายใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งทางด้านจำนวนใบ ในสัปดาห์ที่ 4, 5 และ 6 อยู่ในช่วง 7.4-7.5, 9.4-9.5 และ 12.1 ใบ ตามลำดับ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (อยู่ในช่วง 2.8-3.0 เซนติเมตร) (ตารางที่ 4.3)

สำหรับผลการทดลองด้านผลผลิต พบว่า ทั้ง 2 รอบการผลิตให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ การใช้สารละลายซ้ำจากระบบ NFT ให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น น้ำหนักสด (ต้นและใบ) น้ำหนักแห้ง (ต้นและใบ) และน้ำหนักรวมทั้งหมด ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายใหม่ ซึ่งในรอบการผลิตที่ 1 มีน้ำหนักสดของต้น ใบ และน้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 20.39-21.48, 12.20-14.10 และ 37.80-39.30 กรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักแห้งของต้น ใบ และใบ เท่ากับ 1.40-1.44 และ 1.24-1.27 กรัม ตามลำดับ สำหรับในรอบการผลิตที่ 2 กล่าวคือ น้ำหนักสดของต้น ใบ และน้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 110.9-126.4, 82.0-86.50 และ 178.8-195.4 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักแห้งของต้น และใบ เท่ากับ 6.56-8.16 และ 6.63-7.38 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) (ภาพที่ 4.3)

4.1.2.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการผลิตผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT

จากการใช้สารละลายที่ใช้แล้วจากระบบ NFT นำมาปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT สามารถให้การเจริญเติบโต และผลผลิตไม่แตกต่างกับการใช้สารละลายใหม่อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังสามารถลดการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก กล่าวคือในรอบการผลิตที่ 1 ในกรรมวิธีสารละลายใหม่ใช้น้ำ ปุ๋ย และกรด เท่ากับ 960, 8.49 และ 0.688 ลิตร ตามลำดับ ส่วนในกรรมวิธีใช้สารละลายซ้ำใช้ 0, 2.070 และ 0.504 ลิตร ดังนั้นสามารถลดการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรด เท่ากับ 100, 75.61 และ 26.25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และในรอบการผลิตที่ 2 กรรมวิธีใช้สารละลายใหม่การใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก เท่ากับ 793.2, 5.070 และ 2.750 ลิตร ส่วนกรรมวิธีสารละลายที่ใช้แล้วใช้ 119.6, 5.070 และ 2.750 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถลดปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ได้เท่ากับ 84.92, 64.49 และ 55.27 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.3 การทดสอบและจัดการสารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT ต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT

	จำนวนใบ			ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต้น (ซม.)
	4 สัปดาห์	5 สัปดาห์	6 สัปดาห์	
crop 1				
NNS ^{1/}	5.3	7.0	8.6	1.43
UNS ^{1/}	5.6	6.8	8.8	1.3
	ns ^{2/}	ns	ns	ns
crop 2				
NNS	7.4	9.56	12.1	3.0
UNS	7.5	9.43	12.16	2.8
	ns	ns	ns	ns

^{1/} NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

^{2/} ns= ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การทดสอบและจัดการสารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT ต่อผลผลิตของผักคะน้า
เห็ดหอมในระบบ DRFT

กรรมวิธี	จำนวน ต้น	ผลผลิตรวม (กก.)	น้ำหนักเฉลี่ย/ ต้น(กรัม)	น้ำหนักสด (กรัม)			น้ำหนักแห้ง (กรัม)		
				ต้น	ใบ	รวม	ต้น	ใบ	รวม
Crop1									
NNS ^{1/}	293	11.510	39.30	20.39	12.20	32.59	1.40	1.27	2.67
UNS ^{1/}	302	11.420	37.80	21.48	14.12	35.60	1.44	1.24	2.68
			ns ^{2/}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Crop2									
NNS	138	26.960	195.40	110.9	86.50	197.40	6.56	7.38	13.95
UNS	139	24.860	178.80	126.4	82.10	208.50	8.16	6.63	14.80
			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^{1/}NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

^{2/}ns= ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ของสารละลายใหม่และสารละลายที่ใช้ซ้ำ ต่อ
การเจริญเติบโตของคะน้าเห็ดหอม ในระบบ DRFT

	ปริมาณการใช้น้ำ (ลิตร)	ปริมาณการใช้ปุ๋ย (ลิตร) ^{2/}	ปริมาณการใช้กรดไนตริก (ลิตร)
Crop1			
NNS ^{1/}	960.0	8.490	0.688
UNS ^{1/}	0	2.070	0.504
% save	100	75.61	26.25
Crop2			
NNS	793.2	5.070	2.750
UNS	119.6	1.800	1.230
% save	84.92	64.49	55.27

^{1/}NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

^{2/}ในรูป stock สารละลายปุ๋ย A และ B ความเข้มข้น 200 เท่า จำนวนอย่างละเท่าๆ กัน, สูตรสารละลายเข้มข้น KMITL2 (ตารางผนวกที่ 1.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 แสดงการเจริญเติบโต และผลผลิตของคะน้าเห็ดหอม ในระบบ DRFT ที่ใช้สารละลายซ้ำและสารละลายใหม่

4.1.2.3 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารที่ผ่านการใช้ซ้ำ และสารละลายที่เตรียมใหม่จากการปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT

จากการนำสารละลายธาตุอาหารที่ถ่ายออกจากระบบ NFT นำกลับมาใช้ซ้ำ ปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT ได้มีการปรับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารให้มีความเหมาะสมกับผักคะน้าเห็ดหอม โดยใช้ stock KMITL2 และปรับความเจือจางของสารละลายธาตุอาหารตั้งแต่ 2.5 mS/cm และ pH 5.8 ทำการตรวจสอบธาตุอาหาร 2 รอบ ก่อนเริ่มปลูกและระยะเก็บเกี่ยว จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารพบว่าเมื่อเริ่มนำกล้าลงปลูกในระบบในสัปดาห์ที่ 1 ให้ค่า EC ประมาณ 2.5-2.7 mS/cm ในกรรมวิธีที่เป็นสารละลายซ้ำและสารละลายใหม่ ธาตุอาหารส่วนใหญ่มีปริมาณธาตุอาหารมีความใกล้เคียงกัน ยกเว้น Na ที่พบว่าสารละลายเก่ามีปริมาณสูงกว่าสารละลายที่เตรียมใหม่ เท่า 26.3 และ 10.8 ppm ตามลำดับ และเมื่อระยะการเก็บเกี่ยวจากผลวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ทั้ง 2 กรรมวิธี แต่ละธาตุอาหารมีปริมาณใกล้เคียงกัน ยกเว้นธาตุอาหาร NO_3^- และ K ในสารละลายใหม่มีปริมาณสูงกว่าการใช้สารละลายซ้ำอย่างเห็นได้ชัด แต่ในทางกลับกันพบว่า Na ยังให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 1 ในการใช้สารละลายซ้ำมีปริมาณสูงกว่าสารละลายใหม่ เท่ากับ 81.9 และ 59.0 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารจากการปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT ที่เตรียมใหม่และสารละลายที่ใช้ซ้ำในระยะก่อนเริ่มและระยะเก็บเกี่ยว

Description	pH	EC	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na
	-	mS/cm	(ppm)										
DRFT-Chinese kale													
NNS 1 wk	6.13	2.51	6.15	349	27.9	318	199	39.2	0.93	0.42	0.09	0.10	10.8
UNS 1 wk	5.90	2.70	6.15	377	29.7	208	255	46.2	0.64	0.82	0.08	0.18	26.3
NNS 6 wk	6.67	8.90	13.2	150	0.00	733	708	176	1.00	0.16	0.42	0.24	59.0
UNS 6 wk	5.96	7.89	17.1	50.9	0.05	1.29	882	155	1.99	0.16	0.22	0.11	81.9

NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

4.1.3 การจัดการและทดสอบสารละลายที่เหลือจากการปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT นำกลับมาใช้ซ้ำในการปลูกเมล็ดอ่อน ในระบบ substrate culture

4.1.3.1 การจัดการและทดสอบสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้าเห็ดหอม ในระบบ DRFT กลับมาใช้ซ้ำต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ของการผลิต เมล็ดอ่อนในระบบ substrate culture

จากการที่นำสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวของคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT พบว่าสารละลายธาตุอาหารมีปริมาณความเข้มข้นสูงเนื่องจากผักไทยต้องการธาตุอาหาร และมีปริมาณโซเดียมมาก จึงเลือกทำการปลูกเมล็ดอ่อนในระบบ substrate culture ที่มีวัสดุปลูกช่วยสามารถดูดซับปริมาณของ โซเดียมได้ แต่เนื่องจากเมล็ดอ่อนต้องการธาตุอาหารน้อยกว่าผักไทย จึงต้องทำการเจือจางกับน้ำในอัตรา 1:5 เท่า จากนั้นจึงปรับสูตรสารละลายเข้มข้นให้เหมาะสมกับความต้องการของเมล็ดอ่อน จากโปรแกรม NutriCal V.1.7 (อิทธิสุนทร, 2557) ทำการทดสอบ 2 รอบการผลิต ซึ่งในรอบการผลิตที่ 1 เป็นการทดสอบเบื้องต้น โดยทดสอบกับเมล็ดอ่อน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ green net (เนื้อสีเขียว) และ pot orange (เนื้อสีส้ม) ผลแสดงให้เห็นว่า แต่ละสายพันธุ์ คือ ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือการใช้สารละลายซ้ำและสารละลายสูตรปกติ ให้ส่วนของการเจริญเติบโต และผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ สายพันธุ์ green net มีวันติดดอกอยู่ที่ช่วง 2 วัน จำนวนข้อสัปดาห์ที่ 2 และ 4 เท่ากับ 8.5-8.9 และ 8.55-9.0 ข้อ ส่วนสายพันธุ์ pot orange มี จำนวนข้อสัปดาห์ที่ 2 และ 4 เท่ากับ 22.40-22.57 และ 22.70 ข้อ

สำหรับผลผลิตซึ่งทั้งการใช้สารละลายซ้ำและสารละลายสูตรปกติให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ คือสายพันธุ์ green net มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 14-14.5 เซนติเมตร และ 1624.09-1689.56 กรัม ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ pot orange มี

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 14.12-14.35 เซนติเมตร และ 1572.57-1729.44 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) (ภาพที่ 4.4)

ตารางที่ 4.7 การทดสอบเบื้องต้นของการนำสารละลายเหลือทิ้งจากการปลูกคะน้ำเห็ดหอมกลับมาใช้ซ้ำ ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของเมล่อนในระบบ substrate culture รอบการผลิตที่ 1

สายพันธุ์	กรรมวิธี	จำนวนต้น	การเจริญเติบโต		เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย/ผล (ซม)	ผลผลิต	
			จำนวนข้อ			น้ำหนักรวม (กก.)	น้ำหนักเฉลี่ย/ผล (กรัม)
			2 สัปดาห์	4 สัปดาห์			
green net	NNS ^{1/}	18	8.9	22.57	13.97	29.50	1624.09
	UNS ^{1/}	19	8.5	22.40	14.55	32.12	1689.56
			ns ^{2/}	ns	ns		ns
pot orange	NNS	19	9.0	22.70	14.12	31.40	1672.57
	UNS	19	8.55	22.70	14.35	32.80	1729.44
			ns	ns	ns		ns

^{1/}NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

^{2/}ns= ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

สำหรับรอบการผลิตที่ 2 ได้ทำการปลูกเมล่อน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ สีเขียว (army green) และ สีส้ม (army orange) โดยใช้สารละลายซ้ำจากการปลูกคะน้ำ ในระบบ DRFT ทำการทดสอบและจัดการเหมือนรอบการผลิตที่ 1 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นให้เห็นว่าในรอบการผลิตที่ 2 ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับรอบการผลิตที่ 1 กล่าวคือสารละลายที่ใช้ซ้ำ (ปรับสูตร) ให้ผลการเจริญเติบโต ผลผลิตทั้งเชิงปริมาณ และคุณภาพไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้สารละลายสูตรปกติ กับทั้งเมล่อน 2 สายพันธุ์ (army green และ army orange) กล่าวคือในสายพันธุ์ army green มีจำนวนข้อในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 อยู่ในช่วง 15.05-15.60 และ 16.55-16.80 ข้อ ตามลำดับ และปริมาณ SPAD สัปดาห์ที่ 2, 4, และ 6 พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นตามลำดับ อยู่ในช่วง 34.15-35.53, 45.25-47.50 และ 54.10-55.14 ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ army orange มีจำนวนข้อในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 อยู่ในช่วง 16.55-16.80 และ 26.70-27.60 ข้อ ตามลำดับ และปริมาณ SPAD สัปดาห์ที่ 2, 4, และ 6 อยู่ในช่วง 36.94, 46.24-49.87 และ 51.19-55.87 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลการทดสอบในด้านผลผลิตในเชิงปริมาณ และคุณภาพ ทั้งสารละลายสูตรปกติ และสารละลายที่ใช้แล้วให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ของเมล็ดแต่ละสายพันธุ์ กล่าวคือเมล็ดสายพันธุ์ army green มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล อยู่ประมาณ 13.20-13.45 เซนติเมตร และ 1237.5-1280 กรัม ตามลำดับ ส่วนคุณภาพของเมล็ดมีของแข็งที่ละลายน้ำได้ และความแน่นเนื้อประมาณ 16-16.5 °Brix และ 20.9-24.3 นิวตัน ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ army orange ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล อยู่ประมาณ 14-14.17 เซนติเมตร และ 1483.19-1599 กรัม ตามลำดับ ส่วนคุณภาพมีของแข็งที่ละลายน้ำได้ และความแน่นเนื้อประมาณ 14-15.25 °Brix และ 20.6-21.5 นิวตัน (ตารางที่ 4.9)

จากนั้นได้ทำแบบสำรวจความพึงพอใจในด้าน กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ+ความหวาน สี ความกรอบ และความชอบโดยรวม โดยสุ่มเก็บตัวอย่าง 16 ผล พันธุ์ละ 4 ผล โดยมีการให้คะแนน ออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้ 1=น้อยที่สุด จนถึงระดับที่ 5=มากที่สุด จากการทำแบบประเมินพบว่าทั้ง 2 กรรมวิธี มีผลความพึงพอใจด้าน กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ+ความหวาน สี ความกรอบ และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ของในแต่ละสายพันธุ์ กล่าวคือสายพันธุ์ army green ได้แบบประเมินความพึงพอใจด้าน กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ+ความหวาน สี ความกรอบ และความชอบโดยรวม อยู่ในช่วง 2.0-2.52, 3.28-3.44, 3.78-4.01, 3.25, 3.03-3.07 และ 3.25 ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ army orange ได้แบบประเมินอยู่ในช่วง 2.40-2.90, 2.90-3.25, 3.25-3.30, 2.92-3.07, 2.73-3.36 และ 2.58-2.75 ตามลำดับ ซึ่งจากทั้ง 2 สายพันธุ์พบว่ามีแบบประเมินที่ค่อนข้างดี (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.8 การจัดการและทดสอบสารละลายเหลือทิ้งจากการปลูกคะน้าเห็ดหอมกลับมาใช้ซ้ำ ต่อการเจริญเติบโตของเมล่อนในระบบ substrate culture

สายพันธุ์	กรรมวิธี	ข้อมูลการเจริญเติบโต				
		จำนวนข้อ		SPAD (สัปดาห์)		
		2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
army green	NNS ^{1/}	15.05	25.30	34.15	45.28	55.14
	UNS ^{1/}	15.60	26.92	35.53	47.90	54.10
		ns ^{2/}	ns	*	*	ns
army orange	NNS	16.55	26.70	37.53	49.87	55.87
	UNS	16.80	27.60	36.94	46.24	51.19
		ns	*	*	ns	ns

^{1/} NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

^{2/} ns= ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, *= แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 การจัดการและทดสอบสารละลายเหลือทิ้งจากการปลูกคะน้ำเห็ดหอมกลับมาใช้ซ้ำ ต่อ การเจริญผลผลิตของเมล่อนในระบบ substrate culture

สายพันธุ์	กรรมวิธี	จำนวน ต้น	เส้นผ่าศูนย์กลาง ผล (ซม.)	น้ำหนัก รวม (กก.)	น้ำหนัก เฉลี่ย/ผล (กรัม)	ของแข็ง ละลาย น้ำได้ ($^{\circ}$ Brix) ^{2/}	ความ แน่นเนื้อ (นิวตัน) ^{2/}
army green	NNS ^{1/}	18	13.20	22.560	1237.5	16.5	20.9
	UNS ^{1/}	20	13.45	25.600	1280.0	16.0	24.3
			ns ^{3/}		ns	ns	ns
army orange	NNS	17	14.01	25.120	1483.19	15.25	20.6
	UNS	20	14.17	31.980	1599.00	14.0	21.5
			ns		ns	ns	ns

^{1/}NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

^{2/}สุ่มเก็บตัวอย่าง 16 ผล, พันธุ์ละ 4 ผลต่อกรรมวิธี แต่ละผลสุ่มวัดจำนวน 4 ครั้ง

^{3/}ns= ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

ตารางที่ 4.10 แบบสำรวจความพึงพอใจของเมล่อนที่ปลูกในสารละลายใหม่ และสารละลายที่นำกลับมาใช้ซ้ำ

สายพันธุ์	treatment	กลิ่น	เนื้อ สัมผัส	รสชาติ+ความ หวาน	สี	ความ กรอบ	ความชอบ โดยรวม
army green	NNS	2.00	3.44	4.01	3.25	3.03	3.25
	UNS	2.53	3.28	3.78	3.25	3.07	3.25
		ns ^{2/}	ns	ns	ns	Ns	ns
army orange	NNS	2.40	3.25	3.30	3.07	3.36	2.58
	UNS	2.90	2.90	3.25	2.92	2.73	2.75
		ns	ns	ns	ns	ns	ns

^{1/}คะแนนการประเมิน 1-5 ตามความชอบ โดยที่ 1= น้อยที่สุด ไปจนถึง 5= มากที่สุด ; n=13

^{2/}ns= ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การเจริญเติบโตของเมล่อน

ระยะการให้ผลผลิต

ภาพที่ 4.4 การเจริญเติบโต และผลผลิตของเมล่อนในระบบ substrate culture

4.1.3.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการผลิตเมล่อนในระบบ substrate culture

การทดสอบการนำสารละลายธาตุอาหารที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้าในระบบ DRFT นำมาปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture โดยนำสารละลายธาตุอาหารมาทำการเจือจางกับน้ำในอัตรา 1:5 นำมาวิเคราะห์และนำมาคำนวณเพื่อปรับเปลี่ยนสูตรเมล่อนเป็นสูตรใหม่ และนำมาเปรียบเทียบกับกับสูตรเมล่อนปกติ จากการทดสอบพบว่าในรอบการผลิตที่ 1 และ 2 จากการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่สามารถประหยัดการใช้น้ำได้เท่ากับ 21.29 และ 9.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการใช้น้ำโดยคิดจากน้ำหนักปุ๋ยที่ใช้เฉลี่ยต่อต้น โดยพบว่าในรอบการผลิตที่ 1 การใช้สารละลายสูตรปกติและสูตรการใส่สารละลายซ้ำ คิดจากจำนวนน้ำหนักปุ๋ยที่ใช้ต่อต้น เท่ากับ 0.19 และ 0.11 ตามลำดับ ซึ่งการใส่สารละลายซ้ำสามารถลดการใช้น้ำได้ถึง 42 เปอร์เซ็นต์ และในรอบการผลิตที่ 2 ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน สามารถลดการใช้น้ำได้เท่ากับ 28.57 เปอร์เซ็นต์ และนอกจากนี้การใส่สารละลายซ้ำจากการปลูกคะน้ายังสามารถลดปริมาณการใส่กรดไนตริก ทั้งในรอบการผลิตที่ 1 และ 2 ได้ เท่ากับ 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ในการผลิตเมล็ดอ่อนในระบบ substrate culture

กรรมวิธี	น้ำทั้งหมด (ลิตร)	ปุ๋ย ^{2/}					กรดไน ตริกรวม (ลิตร)
		NS เก่า (ลิตร)	Stock solution ทั้งหมด (ลิตร)	เฉลี่ย/ ต้น (ลิตร)	น.น.ปุ๋ย/ ลิตร (ก.ก)	จำนวนปุ๋ย ใช้/ต้น (ก.ก)	
Crop1							
NNS ^{1/}	2,700	-	13.403	0.33	0.49	0.19	5.11
UNS	2,125	525	24.700	0.65	0.18	0.11	3.56
% save	21.29					42.0	30.33
Crop2							
NNS	2068	-	10.340	0.30	0.49	0.14	3.929
UNS	1870	327.8	22.650	0.56	0.18	0.10	2.350
% save	9.57					28.57	40.0

^{1/}NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

^{2/}ในรูป stock สารละลายปุ๋ย A และ B ความเข้มข้น 200 เท่า, สูตรเมล็ดอ่อนปกติ (ตารางผนวกที่ 1.3) และสูตรปรับจากสารละลายที่เหลือจากค่น้ำ (ตารางผนวกที่ 1.4)

4.1.3.3 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ซ้ำ และสารละลายที่สูตรปกติจากการปลูกเมล็ดอ่อน ในระบบ substrate culture

จากการนำสารละลายธาตุอาหารที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวค่น้ำนำมาใช้ซ้ำในการปลูกเมล็ดอ่อน และเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายสูตรปกติ และนำสารละลายไปวิเคราะห์ ในระยะช่วงติดผลพบว่า เมื่อเริ่มให้สารละลายธาตุอาหารจะให้ความเข้มข้นค่อนข้างต่ำประมาณ 2.5 mS/cm แต่เมื่อระยะที่เมล็ดอ่อนมีการติดผลแล้ว มีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารประมาณ 3.5 mS/cm และเมื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร พบว่าธาตุอาหาร NH_4^+ , NO_3^- และธาตุอาหารรอง (Ca, Mg) ในสารละลายสูตรปกติมีปริมาณสูงกว่าการใช้สารละลายซ้ำ ยกเว้นธาตุ P และ K ในสารละลายที่ใช้ซ้ำมีปริมาณสูงกว่า และยังพบว่าจุลธาตุ Fe, Mn, Cu, Zn ในสารละลายที่ใช้ซ้ำมีปริมาณสูงกว่าเช่นกัน และโดยเฉพาะธาตุ Na ซึ่งในสารละลายเก่ามีปริมาณสูงกว่าสารละลายสูตรปกติ คือ 34.7 และ 10.8 ppm ตามลำดับ และเมื่อสารละลายไหลระบายออกจากวัสดุปลูกจากนั้นนำกลับมาปลูกข้าวโพดต่อไป โดยได้นำสารละลายที่ไหลออกจากวัสดุมาวิเคราะห์พบว่า ค่าความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจากเดิมที่ให้ไปมากเป็น 4.18 mS/cm แต่เมื่อดูธาตุอาหารแต่ละตัวพบว่าธาตุอาหารไนเตรท และโพแทสเซียมสูง เท่ากับ 489 และ 692 ppm ตามลำดับ และธาตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารบางตัวไม่ได้เพิ่มจากเดิมและมีบางตัวที่มีปริมาณลดลง เช่น P, Mn, Cu และ Zn แต่ในทางกลับกันพบว่าธาตุ Na มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากเป็น 71.7 ppm เนื่องจากวัสดุปลูกสามารถดูดซับ Na ได้ และสะสมอยู่ในระบบ substrate (ตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.12 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารของการใช้สารละลายซ้ำ การใช้สารละลายสูตรปกติ และสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูก ของการปลูกเมล่อน ในระบบ substrate culture

Description	pH	EC	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na
	-	mS/cm	(ppm)										
NNS ระยะติดผล	6.00	3.71	24.9	438	69.5	470	385	58.3	0.19	0.96	0.03	0.16	10.8
UNS ระยะติดผล	6.33	3.81	17.5	339	110	890	195	38.6	0.37	2.10	0.11	0.33	34.7
NS ที่ระบายออก	6.62	4.18	18.5	482	61.8	692	244	89.8	0.23	0.14	0.02	0.15	71.7

NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution; NS= nutrient solution

4.1.4 การจัดการและทดสอบใช้สารละลายที่ระบายออกจากการปลูกเมล่อนนำมาปลูกข้าวโพดในสภาพดิน

4.1.4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินก่อนทำการทดลอง

ในการทดลองในดินเป็นการนำสารละลายกลับมาใช้ซ้ำเป็นขั้นสุดท้าย โดยมีการนำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์เพื่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน ก่อนทำการทดลองเพื่อประเมินและกำหนดการใช้ความเข้มข้นของสารละลายแก่พืช จากการวิเคราะห์พบว่า ดินเป็นด่างปานกลาง ดินเค็มเล็กน้อย และเริ่มมีการสะสมของเกลือ อินทรีย์วัตถุต่ำ ฟอสฟอรัสสูงมาก โพแทสเซียมปานกลางและมีสัดส่วนที่ไม่สมดุลกับแคลเซียม และแมกนีเซียมส่งผลให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมได้ไม่ดี แคลเซียมสูง แมกนีเซียมสูง และสมดุลกับแคลเซียม เหล็กค่อนข้างต่ำ แมงกานีสค่อนข้างต่ำ ทองแดงค่อนข้างต่ำ สังกะสีต่ำมาก (ตารางที่ 4.13) ซึ่งในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารที่ให้กับข้าวโพดในสภาพดินดังกล่าว ที่ได้จากการไหลออกจากวัสดุปลูกของการปลูกเมล่อน ซึ่งเดิมมีค่า EC ที่สูงถึง 4.18 mS/cm ในการเตรียมให้กับข้าวโพดจะทำการเจือจางให้ความเข้มข้นของสารละลายธาตุที่ค่า EC ประมาณ 2 mS/cm และ pH 5.8 ซึ่งจากการนำสารละลายไปวิเคราะห์พบว่า มี NH₄⁺ (11.5 ppm), NO₃⁻ (196 ppm), P (66 ppm), K (193 ppm), Ca (144 ppm), Mg (52.6 ppm), Fe (0.05 ppm), Mn (0.00 ppm), Cu (0.01 ppm), Zn (0.01 ppm) และ Na (73.1 ppm) (ตารางที่ 4.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ลักษณะทางกายภาพและเคมี ของดินที่ใช้ปลูกข้าวโพดหวานสีแดงก่อนการทดลอง

รายการที่วิเคราะห์		หน่วย	ผลการวิเคราะห์
ความเป็นกรด-ด่าง (pH, 1:1)		-	8.20
ค่าการนำไฟฟ้า (EC, 1:1)		μS/cm	228
อินทรีย์วัตถุ (Walkley & Black)		%	0.62
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (BrayII)		ppm	288
สกัดโดย IN NH ₄ OAC pH 7.0	โพแทสเซียม (K)	ppm	68.9
	แคลเซียม (Ca)	ppm	2,058
	แมกนีเซียม (Mg)	ppm	446
สกัดโดย DTPA	เหล็ก (Fe)	ppm	3.97
	แมงกานีส (Mn)	ppm	6.58
	ทองแดง (Cu)	ppm	0.48
	สังกะสี (Zn)	ppm	0.49

ตารางที่ 4.14 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกข้าวโพดในสภาพดิน

Description	pH	EC	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na
	-	mS/cm						(ppm)					
ข้าวโพด	7.68	2.12	11.5	196	6.66	193	144	52.6	0.05	0.00	0.01	0.01	73.1

4.1.4.2 การจัดการและทดสอบการใช้สารละลายธาตุอาหารที่ระบายนอกจากวัสดุปลูก เมล็ด่อนนำมาใช้ซ้ำ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวานสีแดงใน ดิน

จากการทดสอบการปลูกเมล็ด่อนในระบบ substrate culture ซึ่งเมื่อสารละลายที่ระบายนอกจากวัสดุปลูก ทำการเก็บสารละลายมาใช้ซ้ำในการปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในสภาพดิน โดยเปรียบเทียบกับการปลูกโดยใส่ปุ๋ยในดินปกติ (สูตร 15-15-15) พบว่าการใช้สารละลายซ้ำมีผลต่อการเจริญเติบโต ของความสูง แต่ละสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกแบบใส่ปุ๋ยปกติ เท่ากับ 37.7-39.3, 111.1-118.9 และ 343-346.3 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่า SPAD แสดงถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ ในสัปดาห์ที่ 3 และ 8 พบว่าค่า SPAD เพิ่มขึ้นเมื่ออายุพืชเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามทั้งการใช้สารละลายซ้ำและการใส่ปุ๋ยปกติ ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เท่ากับ 42.5-42.9 และ 51.9-54.6 ตามลำดับ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเก็บเกี่ยว (8 สัปดาห์) ทำการชั่งน้ำหนักสดต้นผลให้สอดคล้องกับข้อมูลความสูงของต้นและค่า SPAD คือทั้ง 2 กรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีน้ำหนักสดเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 0.375-0.553 กิโลกรัม (ตารางที่ 4.15)

ด้านผลผลิต ผลเป็นไปทิศทางเดียวกับการเจริญเติบโต กล่าวคือ ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตในครั้งแรกในกรรมวิธี และชุดควบคุม สามารถเก็บเกี่ยวได้ 41 และ 40 ต้น พบว่า มีจำนวนฝักเฉลี่ยต่อแถวที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 17 ฝักต่อแถว และส่วนของน้ำหนักฝักรวม น้ำหนักต่อฝัก และน้ำหนักผลผลิตต่อต้น ทั้ง 2 กรรมวิธีให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เท่ากับ 3.67-4.53, 0.21-0.226 และ 0.21-0.33 กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อทำการเก็บผลผลิตทั้งหมด พบว่า น้ำหนักรวมทั้งหมดที่ได้ของกรรมวิธี และชุดควบคุม เท่ากับ 13.6 และ 11 กิโลกรัม และให้ผลผลิตต่อต้นเท่ากับ 0.26 และ 0.21 กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16 และ ภาพที่ 4.5)

4.1.4.3 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการผลิตข้าวโพดหวานสีแดงในดิน

ส่วนปริมาณการใช้น้ำ และปุ๋ย การปลูกแบบปกติทำการรดน้ำเข้า-เย็น เฉลี่ย 108.25 ลิตรต่อต้น ใช้น้ำเฉลี่ย 17.64 กรัม ส่วนในกรรมวิธีใช้สารละลายขี้ไก่มีการใช้น้ำเฉลี่ย 34.55 ลิตรต่อต้น และใช้สารละลายเก่าเฉลี่ยต่อต้น 12.64 ลิตรต่อต้น ดังนั้นการใช้สารละลายเก่าสามารถลดการใช้น้ำได้ 68.04 และ ปุ๋ยได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.17)

ตารางที่ 4.15 การจัดการและทดสอบใช้สารละลายธาตุอาหารที่ระบายออกจากวัสดุปลูกเมล่อนต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานสีแดงในสภาพดิน

กรรมวิธี	ข้อมูลการเจริญเติบโต					น้ำหนักต้นสดเฉลี่ย (กิโลกรัม)
	ความสูงต้น (ซม.)			ค่า SPAD		
	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 8	
control	37.7	111.1	243.0	42.5	51.9	0.375
UNS	39.3	118.9	246.3	42.9	54.6	0.553
	ns ^{1/}	ns	ns	ns	ns	ns

^{1/}ns= ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

ตารางที่ 4.16 การจัดการและทดสอบใช้สารละลายธาตุอาหารที่ระบายออกจากวัสดุปลูกเมล่อนต่อ
ผลผลิตของข้าวโพดหวานสีแดงในสภาพดิน

กรรมวิธี	เก็บเกี่ยวครั้งแรก				ผลผลิตทั้งหมด			
	จำนวน ต้น	น้ำหนัก ฝักรวม (กก.)	จำนวน ฝักเฉลี่ย	น้ำหนัก/ ฝัก (กก.)	น้ำหนัก ผลผลิต/ ต้น (กก.)	จำนวน ต้น	น.น. รวม (กก.)	น.น. ผลผลิต/ ต้น (กก.)
Control	51	3.67	17	0.214	0.217	51	11.0	0.215
UNS	52	4.53	17.3	0.264	0.333	52	13.6	0.261
		ns ^{1/}	ns	ns	ns			

^{1/}ns= ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)



ระยะการเจริญเติบโต

ผลผลิต

ภาพที่ 4.5 การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดหวานสีแดงในดิน โดยใช้สารละลายชำระบบ
ปลูกเมล่อน และการปลูกแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ของการปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในดิน

กรรมวิธี	ต้น	น้ำ (ลิตร)	สารละลายเก่า (ลิตร)	ปุ๋ย	กรดไนตริกรวม (ลิตร)
Control ^{2/}	51	5520	-	900 กรัม	-
		เฉลี่ย/ต้น		เฉลี่ย/ต้น	
		108.23	-	17.64 กรัม	-
UNS ^{1/}	52	1796.6	657.6	-	5.225
		เฉลี่ย/ต้น	เฉลี่ย/ต้น		
		34.55	12.64	-	
% save		68.07		100	-

^{1/} กรรมวิธี UNS ใช้สารละลายเก่าเจือจางกับน้ำให้ได้ EC 2.0 mS/cm ให้ไปกับระบบน้ำหยด

^{2/} กรรมวิธี control ใช้สายยางรดน้ำเข้า-เย็น ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยวันละ 40 L/แถว/วัน จำนวน 3 แถว

ตอนที่ 4.2 การทดสอบระบบในการผลิตพืชผักที่ปราศจากสารละลายเหลือทิ้ง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

นำข้อมูลและรูปแบบการจัดการที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาปรับใช้ในการทดสอบระบบ และยืนยันผลอีกครั้ง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยยึดหลักการใช้สารละลายอย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เหลือทิ้งซึ่งทำการปลูกผักสลัดในระบบ NFT และนำสารละลายที่ถ่ายออกมาใช้ในการปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT หรือปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture และปลูกพืชในสภาพดิน

ซึ่งสามารถแบ่งการผลิตพืชในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่ปราศจากสารละลายเหลือทิ้งสามารถปฏิบัติได้จริง ออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบสำหรับผู้ประกอบการรายใหญ่ และรูปแบบสำหรับผู้ประกอบการรายย่อย

4.2.1. รูปแบบสำหรับผู้ประกอบการรายใหญ่ (ภาพที่ 4.6)

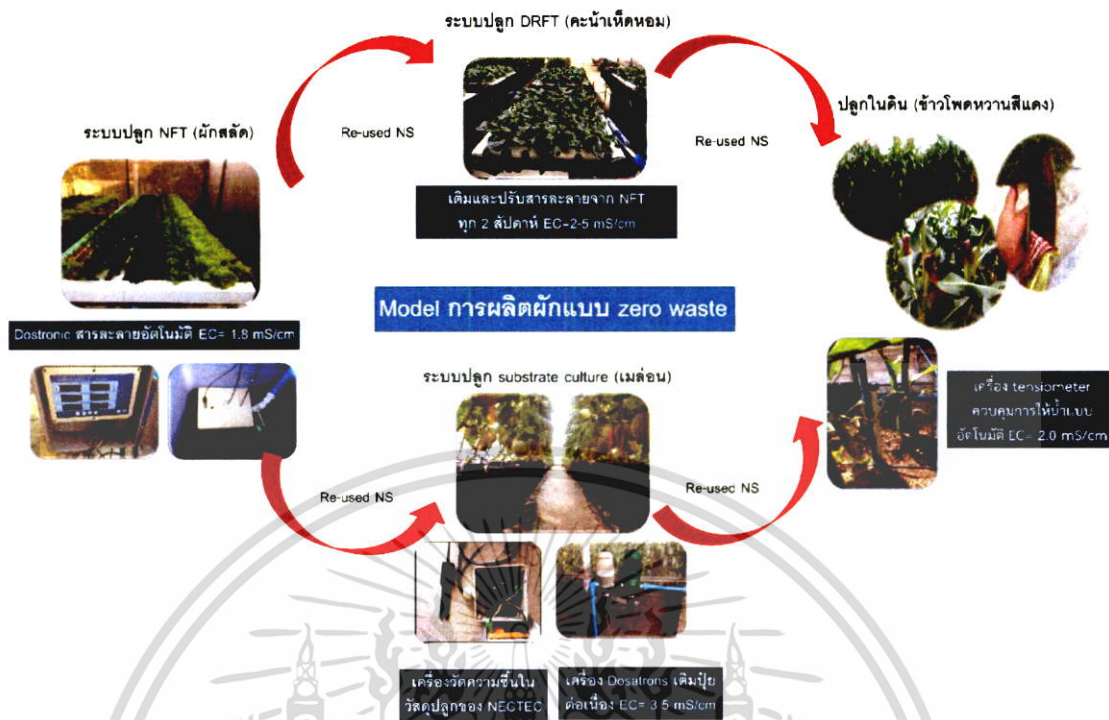
ในการทดสอบนี้ได้ทดสอบที่โรงเรียนฟาร์มเกษตรกร อ. ปากช่อง จ.นครราชสีมา โดยใช้น้ำบาดาลทั้งหมด ต้องมีการคำนวณสูตรปุ๋ยปรับสูตรทั้งหมด เริ่มจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT ที่มีระบบเตรียมสารละลายอัตโนมัติโดยเครื่อง Dostronics และลูกกลยรักษาระดับน้ำ เมื่อพืชมีการใช้น้ำ หรือมีการนำสารละลายไปให้กับพืชในวัสดุปลูก ระดับน้ำจะลดลง ลูกกลยจะปล่อยน้ำเปล่าลงในถัง ค่า EC ของสารละลายจะลดลง เมื่อค่าลดลงต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ (EC=1.6 mS/cm) เครื่อง Dostronics จะปล่อยสารละลายเข้มข้น A และ B ลงในถังสารละลาย ค่า

EC ของสารละลายจะเพิ่มขึ้นจนถึง 1.6 mS/cm ก็จะหยุดปล่อยสารละลายเข้มข้น ดังนั้นค่า EC ของถัง NFT จะคงที่อยู่ที่ 1.6 mS/cm ตลอดเวลา สารละลายจาก NFT จะมีการนำไปใช้ 2 ทางคือ

ทางที่ 1 ถึงสารละลายของ NFT จะต่อกับปั้มน้ำของระบบปลูกเมล็ดในวัสดุปลูก ซึ่งการให้น้ำถูกควบคุมโดยเครื่องวัดความชื้นในวัสดุปลูกของ NECTEC ควบคุมกับการตั้งเวลาในการให้น้ำจะมีน้ำส่วนเกินระบายออกจากกระถางปลูกเมล็ด สารละลายที่ระบายออกจะเก็บไว้ในถังเพื่อใช้ให้กับพืชในดินต่อไป การให้น้ำเมล็ดแต่ละครั้งจะใช้สารละลายจากถัง NFT ที่มีค่า EC = 1.6 mS/cm สารละลายนี้จะถูกเพิ่มความเข้มข้น โดยเครื่อง Dosatrons 2 ตัว ทำหน้าที่ดูดอัดสารละลายเข้มข้น A และ B ที่ผ่านการคำนวณและผสมให้มีค่า EC และ pH ที่เหมาะสมกับเมล็ดที่ EC = 2.5-3.5 mS/cm (ขึ้นกับช่วงอายุการเจริญเติบโต) pH = 6.0

สารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกจะถูกเก็บไว้ในถังเพื่อจะนำไปให้กับข้าวโพดหวานสีแดง การให้น้ำและปุ๋ยกับข้าวโพดหวานจะเป็นระบบน้ำหยด โดยมีการควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติโดย Tensiometer ซึ่งจะต่อกับเครื่องตั้งเวลา ในการทดลองนี้จะตั้งเวลาไว้เพื่อเช็คเป็นระยะๆ เครื่องตั้งเวลาจะให้น้ำเมื่อเครื่องวัดจาก tensiometer อ่านค่าความเครียดของน้ำในดิน ได้มากกว่า 25 cbar ขณะที่ให้น้ำถ้าอ่านได้ค่าต่ำกว่า 25 cbar เครื่องก็จะหยุดการให้น้ำ

ทางที่ 2 การปลูกผักในระบบ NFT จะต้องมีการถ่ายสารละลายทิ้งทุก 2 สัปดาห์ สารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT จะถูกนำไปใช้กับระบบ DRFT สำหรับปลูกคะน้าเห็ดหอมที่ต้องการ EC อยู่ที่ 2-5 mS/cm ซึ่งเมื่อนำสารละลายจาก NFT ที่มีค่า EC = 1.6 mS/cm ไปใช้ปลูกผักไทยจะมีการเพิ่มความเข้มข้นโดยเติมสารละลายเข้มข้น A และ B ที่คำนวณให้เหมาะสมกับการปลูกผักคะน้า และเมื่อปลูกคะน้าเสร็จ จะมีสารละลายเหลืออยู่ในถัง ก็จะนำไปรวมกับสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกในระบบที่ปลูกเมล็ดเพื่อนำไปใช้ปลูกข้าวโพดหวานสีแดงต่อไป ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้สารละลายได้หมด 100 % (zero waste) เป็นการใช้ปุ๋ยอย่างคุ้มค่า สามารถแปลงเป็นผลผลิตได้ทั้งหมด ข้อมูลที่ได้ดังนี้



ภาพที่ 4.6 รูปแบบการผลิตพืชแบบซีไรเวสต์ในระบบปลูกโดยไม่ใช้ดิน สำหรับผู้ประกอบการรายใหญ่

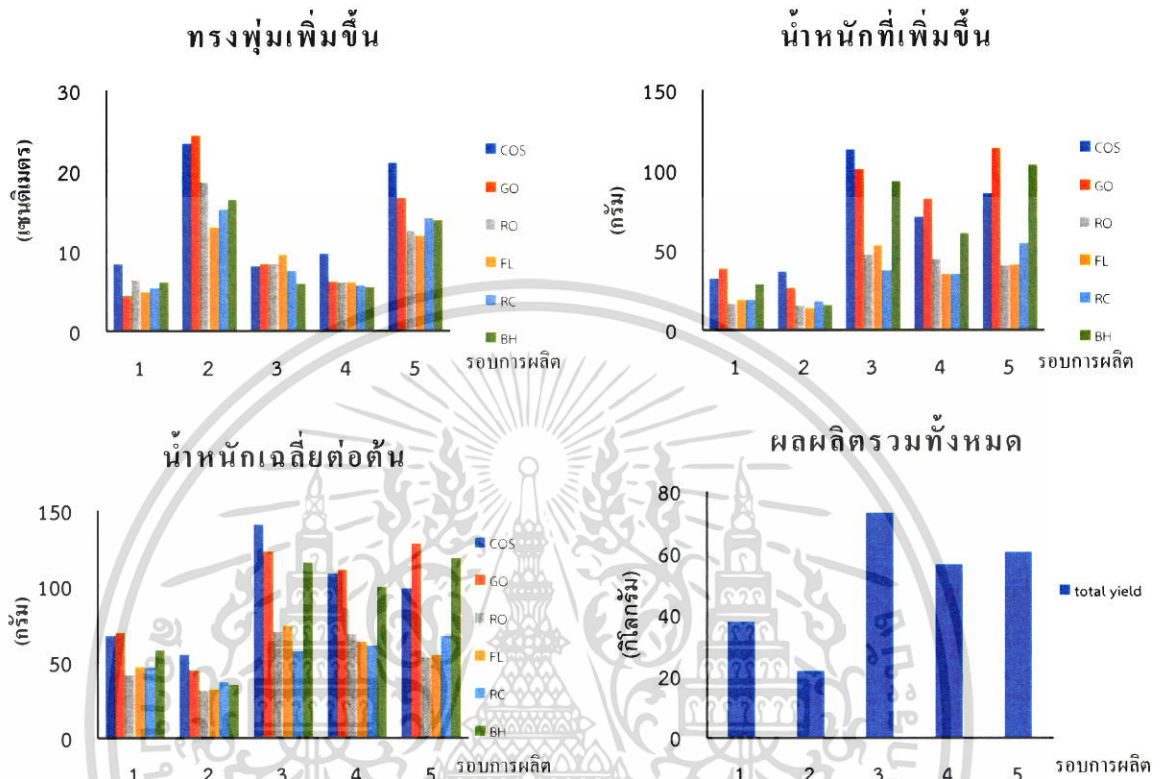
4.2.1.1. การทดสอบปลูกผักสลัดในระบบ NFT ในรูปแบบของผู้ประกอบการรายใหญ่

4.2.1.1.1 ข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดในระบบ NFT

ในการทดสอบระบบสำหรับผู้ประกอบการรายใหญ่ ซึ่งในการปลูกผักสลัดในระบบ NFT มีการนำเทคโนโลยีมาช่วยในการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายเครื่อง Dostronic ในการทดสอบนี้ทำการปลูกผักสลัดทั้งหมด 6 สายพันธุ์ ได้แก่ cos, green oak, red oak, frillice iceberg, red coral และ butter head ปลูกทั้งหมด 5 รอบการผลิต ในช่วงเดือนธันวาคม 2559 - มีนาคม 2560 พบว่าการเจริญเติบโตของขนาดทรงที่เพิ่มขึ้นทั้ง 5 รอบการผลิต เฉลี่ยเท่ากับ 5-25 เซนติเมตร และยังพบว่าในสายพันธุ์ green oak และ cos จะเพิ่มขึ้นมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นพบว่าในสายพันธุ์ red oak, frillice iceberg และ red coral มีการเพิ่มขึ้นประมาณ 20-50 กรัม ส่วนในสายพันธุ์ cos, green oak และ butter head มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นประมาณ 20-110 กรัม และน้ำหนักเฉลี่ยต้นก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือสายพันธุ์ red oak, frillice iceberg และ red coral จะมีน้ำหนักต่อต้นประมาณ 40-75 กรัม และในสายพันธุ์ cos, green oak และ butter head มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นตั้งแต่ 40-140 กรัม ส่วนผลผลิตรวมทั้งหมดของ 6 สายพันธุ์ พบว่าในช่วงรอบการผลิตที่ 1 และ 2 จะให้ผลผลิตค่อนข้างน้อยเท่ากับ 40 และ 20 กิโลกรัม แต่ในช่วงรอบการผลิตที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3-5 จะให้ผลผลิตค่อนข้างสูงเท่ากับ 60-70 กิโลกรัม เนื่องจากสภาพอากาศในช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ค่อนข้างมีอากาศเย็น (ภาพที่ 4.7)



ภาพที่ 4.7 ขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (สัปดาห์ที่ 4-6) น้ำหนักเฉลี่ย และ น้ำหนักรวม (สัปดาห์ที่ 4-6) ของผักสลัด ในระบบ NFT ในรูปแบบของผู้ประกอบการรายใหญ่

4.2.1.1.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ต่อการผลิตผักสลัดในระบบ NFT

การใช้น้ำในระบบ NFT ที่ปลูกผักสลัด จะถูกถ่ายออกอย่างต่อเนื่อง โดยสารละลายแยกออกเป็น 2 ทาง คือให้กับค่น้ำในระบบ DRFT และให้เมล็ดอ่อนในระบบ substrate culture จากการทดสอบเห็นได้ว่าในรอบการผลิตที่ 1-5 ปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้นเป็นลำดับและค่อยๆ ลดลงในช่วงสุดท้ายเนื่องจากช่วงการเจริญเติบโตของเมล็ดอ่อน ในช่วงให้ติดผลจะมีความต้องการมากและในระยะการเก็บเกี่ยวจะใช้น้อย ซึ่งมีการใช้น้ำ ตั้งแต่ 1.49-3.2 ลิตร และรวมทั้ง 5 รอบการผลิตมีการใช้น้ำ 9.91 ลิตร ส่วนกรดไนตริกจากการปรับสูตรมีการเติมไว้ใน stock solution B แล้ว ที่ความเข้มข้น 100 % ปริมาณ 0.7 ลิตร (ตารางที่ 4.18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ปริมาณการใช้ปุ๋ย กรดไนตริก ในการผลิตผักสลัดในรูปแบบผู้ประกอบการรายใหญ่

รอบการผลิต	ปุ๋ย (ลิตร) ^{1/}	กรดไนตริก (100 %) (ลิตร)
1	1.49	0.70
2	3.66	0.70
3	2.60	0.70
4	1.05	0.70
5	1.11	0.70

^{1/}ในรูปแบบ stock สารละลายปุ๋ย A และ B ความเข้มข้น 200 เท่า จำนวนอย่างละเท่าๆ กัน, โดยคำนวณจากน้ำหนักและปรับสูตรใหม่จากโปรแกรม Nutrical V1.7 (ตารางภาคผนวกที่ 1.2)

4.2.1.2 การทดสอบปลูกกะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT ในรูปแบบของผู้ประกอบการรายใหญ่

4.2.1.2.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของกะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT

ในการทดสอบระบบเพื่อความเป็นไปได้ในรูปแบบผู้ประกอบการรายใหญ่ ในการนำสารละลายจาก NFT นำกลับมาใช้ซ้ำในการปลูกกะน้าเห็ดหอม โดยการถ่ายไประบบ DRFT ใช้ปริมาณเล็กน้อย ระยะเวลาในการถ่ายโดยประมาณทุกๆ 2 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งหมด 2 รอบการผลิต จากการทดสอบกะน้าเห็ดหอม ทั้ง 2 รอบการผลิต มีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตเป็นอย่างดี ไม่มีความผิดปกติใดๆ ซึ่งในรอบการผลิตที่ 1 ทำการปลูกทั้งหมด 216 ต้น มีจำนวนใบ และ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต้น เท่ากับ 10.8 และ 2.63 ตามลำดับ และมีน้ำหนักรวมทั้งหมดเท่ากับ 24.12 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 114.46 กรัม สำหรับในรอบการผลิตที่ 2 ทำการปลูกจำนวน 355 ต้น มีจำนวนใบ และ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต้น เท่ากับ 10.82 ใบ และ 2.86 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งให้ผลผลิตน้ำหนักรวมทั้งหมดเท่ากับ 44.26 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 124.76 กรัม (ตารางที่ 4.19)

ตารางที่ 4.19 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของกะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT

	จำนวนต้น	จำนวนใบ ^{1/}	เส้นผ่าศูนย์กลางต้น (ซม.) ^{1/}	น้ำหนักรวม (กก.)	น้ำหนักเฉลี่ย/ต้น (กรัม)
Crop 1	216	10.8	2.63	24.12	114.46
Crop 2	355	10.82	2.86	44.26	124.76

^{1/}สุ่มนับ/วัด 20 ต้น ต่อโต๊ะปลูก ในวันเก็บเกี่ยวที่ 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2.2 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการผลิตคะน้ำเห็ดหอมในระบบ DRFT

ในการทดสอบการปลูกคะน้ำเห็ดหอมในระบบ DRFT ที่ได้สารละลายจากระบบ NFT ที่ได้ทำการปลูก 2 รอบการผลิต พบว่าในรอบการผลิตที่ 1 ในการปลูกคะน้ำเห็ดหอมมีปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ยทั้งหมด กรดไนตริก และสารละลายที่ใช่ทั้งหมด เท่ากับ 50, 3.85, 1.4 และ 444.5 ลิตร ตามลำดับ ส่วนในรอบการผลิตที่ 2 มีการใช้ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ยทั้งหมด กรดไนตริก และสารละลายที่ใช่ทั้งหมด ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีจำนวนต้นและมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า เท่ากับ 100, 5.5, 2.14 และ 496.3 ลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.20)

ตารางที่ 4.20 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ของการใช้สารละลายซ้ำ ต่อการเจริญเติบโตของคะน้ำเห็ดหอม ในระบบ DRFT

	น้ำทั้งหมด (L)	ปุ๋ยทั้งหมด ¹⁾ (ลิตร)	กรดไนตริกทั้งหมด (ลิตร)	สารละลายทั้งหมด (ลิตร)
Crop1	50	3.850	1.402.5	ประมาณ 444.6
Crop2	100	5.500	2.145	ประมาณ 496.3

¹⁾ในรูป stock สารละลายปุ๋ย A และ B ความเข้มข้น 200 เท่า จำนวนอย่างละเท่าๆ กัน, สูตร KMITL2 (ตารางผนวกที่ 1.1)

4.2.1.3 การทดสอบการใช้สารละลายสูตรปกติและสารละลายที่ถ่ายอย่างต่อเนื่องจากระบบ NFT ต่อการปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture ในรูปแบบของผู้ประกอบการรายใหญ่

4.2.1.3.1 การทดสอบการใช้สารละลายปกติและสารละลายที่ถ่ายอย่างต่อเนื่องจากระบบ NFT ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของเมล่อนในระบบ substrate culture

การทดสอบการใช้สารละลายจากระบบ NFT ที่ถ่ายอย่างต่อเนื่อง มาปลูกเมล่อน 2 สายพันธุ์ (army green และ army orange) ในระบบ substrate culture โดยการป้อนสารละลายจากระบบ NFT ผ่านเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติ dosatron โดย stock solution มีการปรับสูตรใหม่ ในการให้สารละลายธาตุอาหารถูกควบคุมโดยเครื่องวัดความชื้นในวัสดุปลูก NECTEC และทำการเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายปกติที่คำนวณจากน้ำบาดาล จากการทดสอบพบว่าในส่วนของการเจริญเติบโต จำนวนข้อ และ SPAD ของแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งทั้ง 2 กรรมวิธีให้ผลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือในสายพันธุ์ army green ในสัปดาห์ที่ 4 มีจำนวนข้ออยู่ในช่วง 21.56-23.9 ข้อ และมี SPAD ในสัปดาห์ที่ 4 และ 6 เท่ากับ 43-46 และ 50.9-53 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายพันธุ์ army orange ในสัปดาห์ที่ 4 มีจำนวนข้อ 21.8-24.9 ข้อ และค่า SPAD ในสัปดาห์ที่ 4 และ 6 มีค่าเท่ากับ 46.9-47.4 และ 50.9-61.35 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.21)

สำหรับข้อมูลผลผลิตพบว่าในสายพันธุ์ army green ในส่วนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผล และน้ำหนักเฉลี่ย การใช้สารละลายธาตุอาหารซ้ำจาก NFT และปรับสูตรใหม่ มีค่าสูงกว่าการใช้สารละลายสูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญ เท่ากับ (12.20 และ 11.02 เซนติเมตร) และ (901.88 และ 723.14 กรัม) ตามลำดับ ส่วนในเรื่องคุณภาพของผลผลิตพบว่าค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้ง 2 กรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่เท่ากับ 14.07 และ 14.37 ° Brix และใน ส่วนความหนาแน่นเนื้อพบว่าในกรรมวิธีการเตรียมสารสูตรปกติให้ความหนาแน่นเนื้อดีกว่าการใช้ซ้ำจากระบบ NFT อย่างมีนัยสำคัญกันทางสถิติ เท่ากับ 22.95 และ 16.96 นิวตัน ตามลำดับ ส่วนในสายพันธุ์ army orange ผลการทดลองให้เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ การใช้สารละลายซ้ำมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และน้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 14.15 เซนติเมตร และ 1316 กรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้สารละลายสูตรปกติที่มีค่า 11.98 เซนติเมตร และ 914.42 กรัม อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผลผลิตในเชิงคุณภาพพบว่าทั้ง 2 กรรมวิธีให้ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ และ ความหนาแน่นเนื้อ ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เท่ากับ 13.7-14.11 ° Brix และ 17.27-17.46 นิวตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.22)

ตารางที่ 4.21 การทดสอบใช้สารละลายสูตรปกติและสารละลายที่ใช้ซ้ำจาก NFT ที่ถูกถ่ายออกอย่างต่อเนื่อง ในการเจริญเติบโตของเมล่อน ในระบบ substrate culture

สายพันธุ์	กรรมวิธี	จำนวนข้อ ^{2/}		SPAD ^{2/}	
		4 สัปดาห์	6 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
army green	NNS ^{1/}	21.56	24.9	43.42	50.94
	UNS ^{1/}	23.9	24.9	46.38	53.08
		ns ^{2/}	ns	ns	ns
army orange	NNS	21.88	24.9	46.97	50.94
	UNS	24.9	24.9	47.42	61.35
		ns	ns	ns	ns

^{1/}NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

^{2/}ns= ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 การทดสอบใช้สารละลายสูตรปกติและสารละลายที่ใช้ซ้ำจาก NFT ที่ถูกถ่ายออก
อย่างต่อเนื่อง ต่อผลผลิตของเมล่อน ในระบบ substrate culture

สายพันธุ์	กรรมวิธี	จำนวนต้น	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)	น้ำหนักรวม (กก.)	น้ำหนักเฉลี่ย/ผล (กรัม)	ของแข็งที่ละลายน้ำได้ ($^{\circ}$ Brix) ^{2/}	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ^{2/}
army green	NNS ^{1/}	21	11.02	15.17	723.14	14.07	22.95
	UNS ^{1/}	24	12.20	21.78	901.88	14.37	16.96
			* ^{3/}		*	ns	*
army orange	NNS	17	11.98	15.58	914.42	14.15	17.27
	UNS	10	14.15	12.18	1316.0	13.7	17.46
			*		*	ns	ns

^{1/} NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

^{2/} ตุ่มเก็บตัวอย่าง 16 ผล, พันธุ์ละ 4 ผลต่อกรรมวิธี แต่ละผลสุ่มวัดจำนวน 4 ครั้ง

^{3/} ns= ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, *=แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

4.2.1.3.2 การสำรวจความพึงพอใจของเมล่อนที่ปลูกในสารละลายสูตรปกติ และสารละลายที่ใช้ซ้ำจาก NFT ที่ถูกถ่ายออกอย่างต่อเนื่อง

ทำการสำรวจความพึงพอใจของเมล่อนทั้ง 2 สายพันธุ์ ได้แก่ army green และ army orange ที่ปลูกโดยใช้สารละลายเก่าจาก NFT และสารละลายสูตรปกติ ซึ่งมีข้อในการสำรวจดังนี้ กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ-ความหวาน สี ความกรอบ และความชอบโดยรวม โดยมีการให้คะแนน 1-5 คะแนน จากการสุ่มสำรวจพบว่าในแต่ละสายพันธุ์ ทั้ง 2 กรรมวิธี ซึ่งโดยรวมแล้วอยู่ในเกณฑ์ที่มีความพึงพอใจค่อนข้างสูง และทั้ง 2 กรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ของแต่ละสายพันธุ์ กล่าวคือในสายพันธุ์ army green มีแบบประเมินกลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ-ความหวาน สี ความกรอบ และความชอบโดยรวม อยู่ประมาณ 2.44-3.04, 3.31-3.29, 3.07-3.56, 3.29-3.23, 3.17-3.83 และ 3.26-3.59 ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ army orange มีแบบประเมินกลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ-ความหวาน สี ความกรอบ และความชอบโดยรวม ประมาณ 2.33-2.60, 3.25-3.41, 3.01-3.09, 3.57-3.72, 3.08-3.25 และ 3.31-3.48 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.23)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 แบบสำรวจความพึงพอใจของเมล็ดอ่อนที่ปลูกในสารละลายปกติ และสารละลายที่ถ่ายออกต่อเนื่องจาก NFT

สายพันธุ์	กรรมวิธี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	รสชาติ+ความหวาน	สี	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
army green	NNS	2.44	3.13	3.07	3.23	3.83	3.26
	UNS	3.04	3.29	3.56	3.29	3.17	3.59
		ns ^{3/}	ns	ns	ns	ns	ns
army orange	NNS	2.33	3.25	3.01	3.57	3.25	3.31
	UNS	2.60	3.41	3.09	3.72	3.08	3.48
		ns	ns	ns	ns	ns	ns

^{1/} ตุ่มเก็บตัวอย่าง 16 ผล, พันธุ์ละ 4 ผลต่อกรรมวิธี แต่ละผลสุ่มวัดจำนวน 4 ครั้ง

^{2/} คะแนนการประเมิน 1-5 ตามความชอบโดยที่ 1= น้อยที่สุด ไปจนถึง 5= มากที่สุด ; n=13

^{3/} ns= ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p = 0.05$ โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

4.2.1.3.3 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ของการใช้สารละลายซ้ำและสูตรปกติ ในการปลูกเมล็ดอ่อนในระบบ substrate culture

จากการทดสอบการให้สารละลายแบบอัตโนมัติ จากระบบ NFT มายังระบบ substrate culture ผ่านเครื่องผสมปุ๋ย dosatron เปรียบเทียบกับสารละลายสูตรปกติ จากการทดสอบพบว่าปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยต่อต้นมีความใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 67 ลิตรต่อต้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้น้ำในกรรมวิธี (UNS) มีการใช้ stock solution น้อยกว่า ชุดควบคุม (NNS) คิดเป็น 36.4 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้นำมาคิดเป็นราคาต่อลิตรของ stock solution พบว่าสามารถประหยัดราคาปุ๋ยต่อลิตรได้ 5.38 บาท แต่เมื่อนำมาคิดต้นทุนของน้ำหมักแม่ปุ๋ยต่อต้นพบว่าสามารถประหยัดปริมาณปุ๋ยต่อต้นได้เท่ากับ 23.07 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณการใช้กรดไนตริกในกรรมวิธี (UNS) จะไม่มีการเติมกรดเนื่องจากกรดได้ปรับในส่วนของระบบ NFT แล้ว (ตารางที่ 4.24)

ตารางที่ 4.24 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ของการใช้สารละลายจ้ำและสูตรปกติ ในการปลูก
เมล็ดในระบบ substrate culture

กรรมวิธี	จำนวน ต้น	น้ำ (ลิตร)	เฉลี่ย (ลิตร)	ปุ๋ย ^{1/}					กรดไน ตริก (ลิตร)
				ปุ๋ย AB (ลิตร)	ราคา/ ลิตร	เฉลี่ย/ ต้น (ลิตร)	น.น. ปุ๋ย/L (กก.)	ปุ๋ยใช้/ ต้น (กก.)	
NNS	38	2576	67.78	15.0	20.8	0.39	0.339	0.13	1.866
UNS	34	2305	67.79	9.54	15.42	0.28	0.379	0.10	-
save				36.4 %	5.38 บาท			23.07 %	

^{1/}ในรูป stock สารละลายปุ๋ย A และ B ความเข้มข้น 200 เท่า, สูตรเมล็ดปกติสูตรน้ำคาล (ตารางผนวกที่ 1.6) และ
สูตรปรับจากสารละลายที่ถ่ายต่อเนื่องจาก NFT (ตารางผนวกที่ 1.5)

4.2.1.4. การใช้สารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะแนเห็ดหอมจากระบบ DRFT และ สารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกต่อการปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในดิน

4.2.1.4.1 ข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานสีแดงในดิน จากการใช้ สารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะแนเห็ดหอมและที่ระบายออก จากวัสดุปลูกเมล็ด

สารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะแนจากระบบ DRFT และ
สารละลายที่ไหลออกจากวัสดุปลูกเมล็ด นำมาปลูกข้าวโพดในดินในการให้น้ำได้มีการควบคุม
การให้น้ำแบบอัตโนมัติโดยใช้ tensiometer ควบคุมขึ้นของน้ำภายในดิน นำสารละลายที่ได้จาก
คะแนและจากวัสดุปลูกมาเจือจางกับโดยใช้ความเข้มข้น 2 mS/cm ในการปลูกข้าวโพด ในการ
ทดสอบพบว่า การเจริญเติบโตข้าวโพดเป็นปกติ โดยให้ความสูงในสัปดาห์ที่ 4 เท่ากับ 140.27
เซนติเมตร และ SPAD เท่ากับ 38.87 และในระยะก่อนเก็บเกี่ยวในสัปดาห์ที่ 8 มีค่า SPAD เท่า
43.77 สำหรับข้อมูลผลผลิตน้ำหนักเฉลี่ยต่อฝักยังให้ผลใกล้เคียงกับการทดสอบในขั้นตอนที่ 1 ได้
เท่ากับ 0.25 กิโลกรัม/ฝัก และได้ผลผลิตรวมทั้งหมด 31.50 กิโลกรัม (ตารางที่ 4.25)

ตารางที่ 4.25 การใช้สารละลายธาตุอาหารที่เหลือจากการเก็บค่น้ำ และสารละลายที่ระบายออก จากวัสดุปลูกเมื่อนำมาต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานสีแดงในสภาพดิน

กรรมวิธี	จำนวน ต้น	ข้อมูลการเจริญเติบโต ^{1/}			ผลผลิต	
		ความสูงต้น (ซม.) ^{1/}	ค่า SPAD ^{1/}		รวมทั้งหมด (กก.)	เฉลี่ย/ฝัก (กก.)
		สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 8		
UNS ^{2/}	124	140.27	38.87	43.77	31.50	0.25

^{1/} สุ่มนับ/วัด จำนวน 80 ต้น แถวละ 20 ต้น

^{2/} UNS=used nutrient solution

4.2.1.4.2 ข้อมูลการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ของการปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในดิน

จากการปลูกข้าวโพดหวานสีแดงโดยใช้สารละลายที่ระบายออกจาก วัสดุปลูกเมื่อนำมาในระบบ substrate culture การกำหนดการให้น้ำโดยใช้ tensiometer ซึ่งปริมาณการ ใช้น้ำที่ให้กับข้าวโพดประมาณ 6338 ลิตร โดยเฉลี่ยต่อต้นใช้ประมาณ 51 ลิตรต่อต้น สารละลายที่ เหลือจากการเก็บเกี่ยวค่น้ำประมาณ 218.4 ลิตร และสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูก ประมาณ 258.87 ลิตร เมื่อนำสารละลายทั้ง 2 ทางมารวมกันก็จะได้สารละลายที่ให้กับข้าวโพดโดย มีประมาณ 477 ลิตร (ตารางที่ 4.26)

ตารางการที่ 4.26 ปริมาณการใช้น้ำและสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวค่น้ำ และสารละลายที่ ระบายวัสดุปลูก ในการปลูกข้าวโพดหวานสีแดง

กรรมวิธี	น้ำ (ลิตร)	น้ำ/ต้น (ลิตร)	สารละลายที่เหลือทิ้ง จากค่น้ำ (ลิตร)	สารละลายระบายออก จากวัสดุปลูก (ลิตร)	ปุ๋ย	กรดไน
						ตริก (ลิตร)
UNS ^{1/}	6338	51.12	218.4	258.57	-	-

^{1/} UNS=used nutrient solution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. รูปแบบสำหรับผู้ประกอบการรายย่อย (ภาพที่ 4.8)

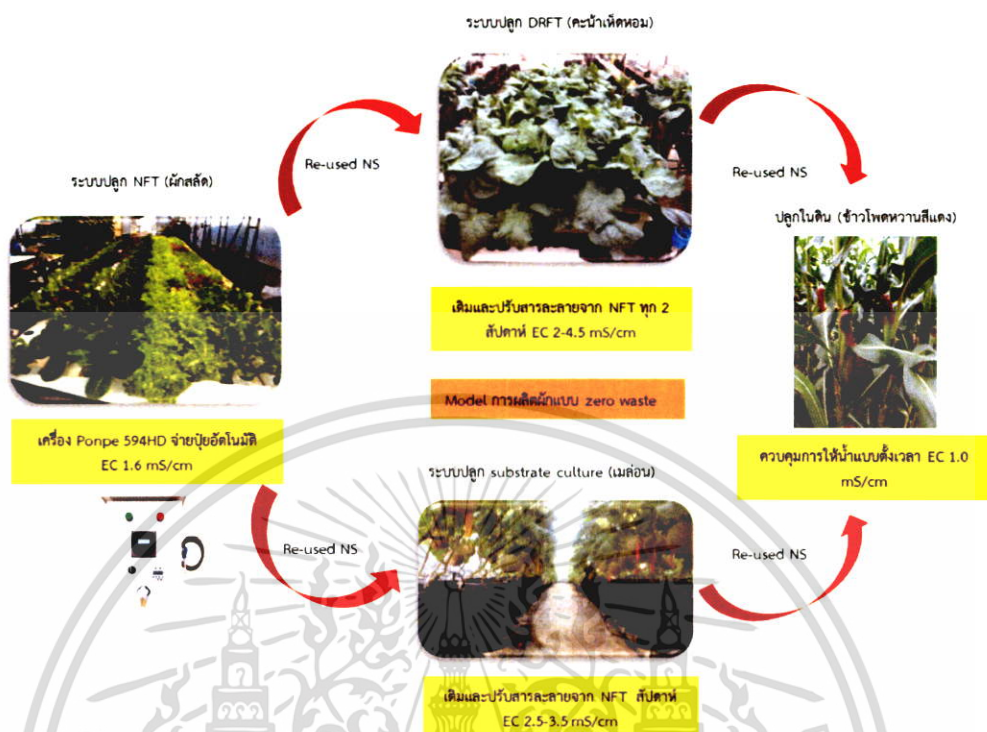
เป็นการปรับใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสมกับขนาดของกิจการโดยลดต้นทุนในส่วนเครื่องควบคุมบางอย่างออกไป หรือปรับใช้ให้เหมาะสม ทดสอบที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้น้ำประปา

เริ่มจาก ระบบ NFT ปลุกสลัดที่มีระบบเตรียมสารละลายอัตโนมัติโดยเครื่อง Ponpe 594HD ซึ่งมีราคาค่อนข้างถูก และถูกลอยรักษาระดับน้ำเมื่อพีซีมีการใช้น้ำ หรือมีการนำสารละลายไปให้กับพืชในวัสดุปลูก ระดับน้ำจะลดลง ถูกลอยจะปล่อยน้ำลงในถัง ค่า EC ของสารละลายจะลดลง เมื่อค่าลดลงต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ($EC=1.6 \text{ mS/cm}$) เครื่อง Ponpe 594HD จะปล่อยสารละลายเข้มข้น A และ B ลงในถังสารละลาย ค่า EC ของสารละลายจะเพิ่มขึ้นจนถึง 1.6 mS/cm ก็จะหยุดปล่อยสารละลายเข้มข้น ดังนั้นค่า EC ของ ถัง NFT จะคงที่อยู่ที่ 1.6 mS/cm ตลอดเวลา สารละลายจาก NFT จะมีการนำไปใช้ 2 ทาง

ทางที่ 1 การปลูกผักในระบบ NFT จะต้องมีการถ่ายสารละลายทิ้งทุก 2 สัปดาห์ สารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT จะถูกนำไปใช้กับระบบ DRFT สำหรับปลูกคะน้าเห็ดหอมที่ต้องการ EC อยู่ที่ $2.0-3.5 \text{ mS/cm}$ ซึ่งเมื่อนำสารละลายจาก NFT ที่มีค่า $EC = 1.6 \text{ mS/cm}$ ไปใช้ปลูกผักไทยจะมีการเพิ่มความเข้มข้นโดยเติมสารละลายเข้มข้น A และ B ที่คำนวณให้เหมาะสมกับการปลูกผักคะน้า

หลังจากการปลูกคะน้าเห็ดหอม จะมีสารละลายเหลืออยู่ในถัง ก็จะนำไปรวมกับสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกในระบบที่ปลูกเมล่อนเพื่อนำไปใช้ปลูกข้าวโพดต่อไป ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้สารละลายได้หมด 100 % (zero waste) เป็นการใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า สามารถแปลงเป็นผลผลิตได้

ทางที่ 2 สารละลายของ NFT จะถ่ายไปยังระบบปลูกเมล่อนในวัสดุปลูก ซึ่งการให้น้ำถูกควบคุมโดยเครื่องตั้งเวลา การให้น้ำแต่ละครั้งจะใช้สารละลายจากถัง NFT ที่มีค่า $EC= 1.6 \text{ mS/cm}$ สารละลายนี้จะถูกเพิ่มความเข้มข้น ตามที่ผ่านการคำนวณและผสมให้มีค่า EC และ pH ที่เหมาะสมกับเมล่อน ที่ $EC = 2.5-3.0 \text{ mS/cm}$ (ขึ้นกับช่วงอายุการเจริญเติบโต) $pH = 6.0$ ในการให้น้ำจะมีน้ำส่วนเกินระบายออกจากกระถางปลูกเมล่อน สารละลายที่ระบายออกจะเก็บไว้ในถังเพื่อใช้ปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในดินต่อไป ข้อมูลที่ได้ดังนี้



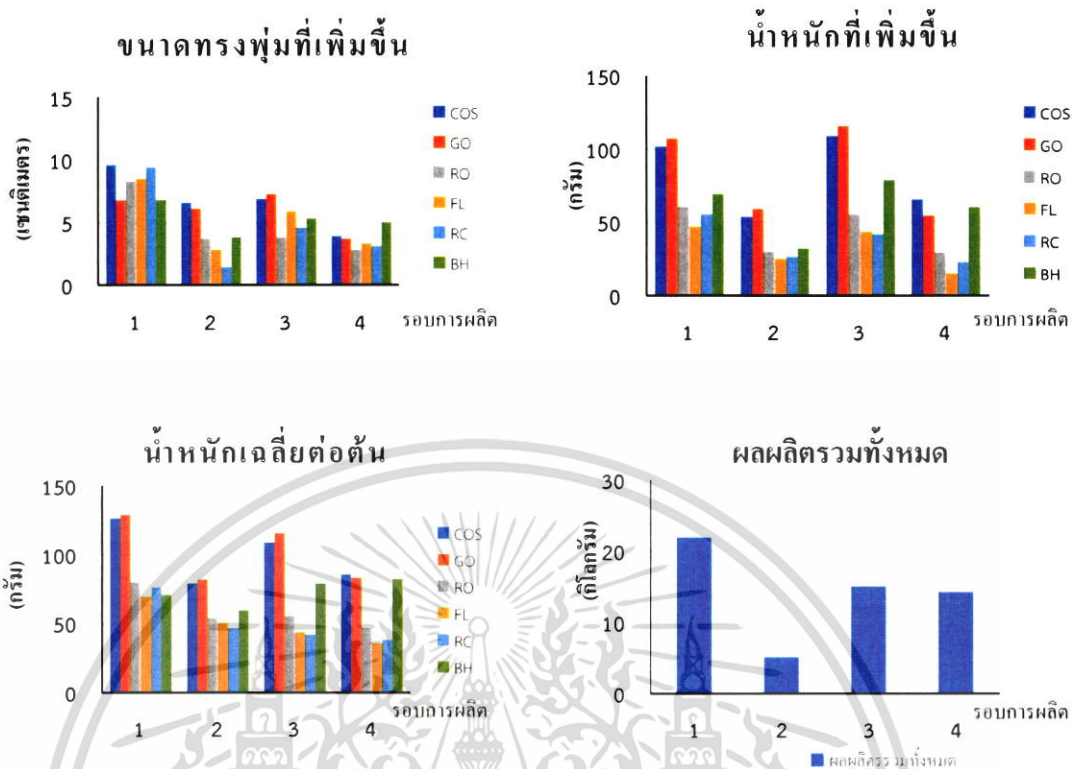
ภาพที่ 4.8 รูปแบบการผลิตพืชแบบซีโรเวสต์ในระบบปลูกโดยไม่ใช้ดิน สำหรับผู้ประกอบการรายย่อย

4.2.2.1 การทดสอบปลูกผักสลัดในระบบ NFT ในรูปแบบของผู้ประกอบการรายย่อย

4.2.2.1.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักสลัดในระบบ NFT

ในการทดสอบระบบที่ใช้สำหรับรายย่อยนี้ ซึ่งในระบบ NFT มีการควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติ ทำการทดสอบในช่วงเดือน มกราคม-มีนาคม 2561 ทำการปลูกผักสลัดทั้งหมด 6 สายพันธุ์ ได้แก่ cos, green oak, red oak, frillice iceberg, red coral และ butter head จำนวน 1 โตะ ปลูกได้ 240 ต้น ข้อมูลการเจริญเติบโตขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้นโดยรวมแล้วในรอบการผลิตที่ 1-4 มีขนาดเพิ่มขึ้นประมาณ 2-10 เซนติเมตร ส่วนผลผลิตในส่วนของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในสายพันธุ์ green oak, cos และ butter head จะให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นประมาณ 50-100 กรัม ส่วนในสายพันธุ์ red oak, frillice iceberg และ red coral เพิ่มขึ้นประมาณ 20-60 กรัม ส่วนน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นก็ให้ผลไปในทางเดียวกันคือในสายพันธุ์ green oak, cos และ butter head มีน้ำหนักสูงประมาณ 70-130 กรัม ส่วนในสายพันธุ์ red oak, frillice iceberg และ red coral จะมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 40-60 กรัม สำหรับผลผลิตรวมทั้ง 6 สายพันธุ์โดยเฉลี่ยแล้วผลผลิตอยู่ที่ประมาณ 15 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต (ภาพที่ 4.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ขนาดทรงฟุ่มที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (สัปดาห์ 4-6) น้ำหนักเฉลี่ย และน้ำหนักรวม (สัปดาห์ 6) ของผักสลัดในระบบ NFT ของผู้ประกอบการรายย่อย

4.2.2.1.2 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ต่อการผลิตผักสลัดในระบบ NFT

การใช้น้ำในระบบ NFT ที่ปลูกผักสลัด โดยสารละลายแยกออกเป็น 2 ทาง คือให้กับค่น้ำเห็ดหอมในระบบ DRFT และให้เมล็ดอ่อนในระบบ substrate culture ซึ่งสารละลายจากระบบ NFT ถ่ายออกอย่างต่อเนื่องให้กับทั้ง 2 ทาง จากการทดสอบเห็นได้ว่าในรอบการผลิตที่ 1-4 ปริมาณการใช้น้ำถูกถ่ายออกอย่างต่อเนื่อง และปุ๋ย และกรดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และในช่วงสุดท้ายก็จะลดน้อยลง เนื่องจากในการปลูกเมล็ดอ่อนระยะการเจริญเติบโตในช่วงแรกต้องการปริมาณน้ำน้อย และเมื่อถึงระยะติดผลความต้องการมากขึ้นทำให้มีการใช้น้ำและ ปุ๋ยมากขึ้นตามไปด้วย และใกล้ถึงระยะเก็บเกี่ยวความต้องการของน้ำและปุ๋ยก็จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดที่ใช้ในผักสลัดทั้ง 4 รอบการผลิตรวมเท่ากับ 3604, 14.7 และ 4.05 ลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.27)

ตารางที่ 4.27 ปริมาณใช้ ปุ๋ย กรด ของการผลิตผักสลัดในระบบ NFT

รอบการผลิต	EC mS/cm	pH	ปุ๋ย (ลิตร) ^{1/}	กรดไนตริก (10 %) (ลิตร)
1	1.6	5.8	3.8	1.0
2	1.6	5.8	4.1	0.55
3	1.6	5.8	4.0	1.0
4	1.6	5.8	2.8	1.5

^{1/}ในรูป stock สารละลายปุ๋ย A และ B ความเข้มข้น 200 เท่า, สูตรผัก KMITL2 (ตารางผนวกที่ 1.1)

4.2.2.2 การทดสอบปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT ในรูปแบบของผู้ประกอบการรายย่อย

4.2.2.2.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิต ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ของคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT

การใช้สารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT มาปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT ทำการปลูกทั้งหมด 2 รอบการผลิต พบว่าการเจริญเติบโตเป็นปกติ ซึ่งผลผลิตในรอบการผลิตที่ 1 ที่ปลูกทั้งหมด 90 ต้น มีจำนวนใบ เส้นผ่าศูนย์กลางต้น ให้ผลผลิตรวมทั้งหมด น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 10.5 ใบ, 3.21 เซนติเมตร, 11.37 กิโลกรัม และ 126.34 กรัม ตามลำดับ ส่วนในรอบการผลิตที่ 2 ที่ปลูกทั้งหมด 104 ต้น มีจำนวนใบ เส้นผ่าศูนย์กลางต้น ผลผลิตรวมทั้งหมด น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 9 ใบ, 2.74 เซนติเมตร, 11.19 กิโลกรัม และ 107.63 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.28)

ส่วนข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในรอบการผลิตที่ 1 มีการใช้เท่ากับ 0, 1.15 และ 0.5 ลิตร ซึ่งสารละลายที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 301.6 ลิตร และโดยเฉลี่ยต่อต้นในรอบการผลิตมีการใช้สารละลาย 3.35 ลิตร ส่วนในรอบการผลิต 2 มีการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก เท่ากับ 0, 0.75 และ 0.25 ลิตร ซึ่งสารละลายที่ใช้ทั้งหมดใช้ 213.2 ลิตร โดยคิดเฉลี่ยต่อต้นแล้วมีการใช้เท่ากับ 2.05 ลิตรต่อต้น (ตารางที่ 4.29)

ตารางที่ 4.28 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT

รอบการผลิต	จำนวนต้น	จำนวนใบ ^{1/}	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.) ^{1/}	น้ำหนักรวม (กก.)	น้ำหนักเฉลี่ย/ต้น (กรัม)
1	90	10.5	3.21	11.371	126.34
2	104	9	2.74	11.197	107.63

^{1/}ส่วนนับ/วัด 20 ต้น ต่อ โต๊ะปลูก ในวันเก็บเกี่ยวที่ 6 สัปดาห์

ตารางที่ 4.29 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ของการปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT

รอบการ ผลิต	น้ำ (ลิตร)	ปุ๋ย ^{1/} (ลิตร)	กรดไนตริก (ลิตร)	สารละลายทั้งหมด (ลิตร)	เฉลี่ยต่อต้น (ลิตร)
1	0	1.15	0.5	301.6	3.35
2	0	0.75	0.25	213.2	2.05

^{1/}ในรูป stock สารละลายปุ๋ย A และ B ความเข้มข้น 200 เท่า, สูตรผัก KMITL2 (ตารางผนวกที่ 1.1)

4.2.2.3 การทดสอบการใช้สารละลายอย่างต่อเนื่องจากระบบ NFT ในการปลูกของ เมล่อนในระบบ substrate culture ในรูปแบบของผู้ประกอบการรายย่อย

4.2.2.3.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิต ของเมล่อนในระบบ substrate culture

ในการทดสอบนี้ได้นำสารละลายจาก NFT มาปลูกเมล่อนทั้งหมด 4 สายพันธุ์ ได้แก่ rocky orange 15 ต้น, rocky green 15 ต้น, pert 7 ต้น และ sakura 10 ต้น ในการทดสอบนี้พบว่าการระบาดของราแป้งทำให้สูญเสียผลผลิตเหลือจำนวนที่เก็บผลผลิตได้ rocky orange 6 ต้น, rocky green 10 ต้น, pert 5 ต้น และ sakura 8 ต้น ซึ่งแต่ละสายพันธุ์ให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 15.17, 14.45, 15.5 และ 15.06 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลเท่ากับ 1718.83, 1773.2, 1799.6 และ 1813.6 กรัม ตามลำดับ และของแข็งที่ละลายน้ำได้แต่ละสายพันธุ์อาจน้อยกว่ามาตรฐานเล็กน้อยอาจเนื่องจากการเกิดโรคราแป้งเข้าทำลาย ซึ่งมีเท่ากับ 13.38, 13.25, 12.25 และ 15 °Brix ตามลำดับ (ตารางที่ 4.30)

4.2.2.3.2 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture

สำหรับปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ในการทดสอบนี้ได้ นำ และสารละลายจากระบบ NFT ซึ่งปุ๋ยที่ปรับสูตรใหม่ใช้ทั้งหมด 31.60 ลิตร และกรดไนตริก 1.91 ลิตร ซึ่งสารละลายที่ถ่ายมาระบบ substrate ในการปลูกเมล่อนทั้งหมด 4203 ลิตร คิดปริมาณในการใช้สารละลายเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 89.42 ลิตรต่อต้น (ตารางที่ 4.31)

ตารางที่ 4.30 ข้อมูลผลผลิตของเมล็ดอ่อน ในระบบ substrate culture ที่ปลูกโดยใช้สารละลายจาก ระบบ NFT

สายพันธุ์	จำนวน ต้น	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)	น้ำหนัก รวม (กก.)	น้ำหนัก เฉลี่ย/ผล (กรัม)	ของแข็ง ละลายน้ำได้ Brix ^{1/}
rocky orange	6	15.17	10.31	1718.83	13.38
rocky green	10	14.45	17.32	1773.2	13.25
pert	5	15.5	8.99	1799.6	12.25
sakura	8	15.06	14.50	1813.62	15

^{1/}สุ่มเก็บตัวอย่าง 8 ผล, พันธุ์ละ 2 ผล วัดจำนวน 4 ครั้ง

ตารางที่ 4.31 ปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย กรดไนตริก ในการปลูกเมล็ดอ่อนในระบบ substrate culture

กรรมวิธี	สารละลายเก่าจาก NFT (ลิตร)	เฉลี่ย/ต้น (ลิตร)	ปุ๋ย (ลิตร) ^{2/}	กรดไนตริก 10 % (ลิตร)
UNS ^{1/}	ประมาณ 4203	89.42	31.60	1.915

^{1/}UNS=used nutrient solution

^{2/}ในรูป stock สารละลายปุ๋ย A และ B ความเข้มข้น 200 เท่า, และสูตรปรับจากสารละลายที่ถ่ายออกต่อเนื่องจาก ระบบ NFT (น้ำประปา) (ตารางภาคผนวกที่ 1.7)

4.2.2.4 การทดสอบสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวกะน้ำเห็ดหอมและที่ระบายออกจากวัสดุปลูกเมล็ดอ่อน ต่อผลผลิต ปริมาณการใช้น้ำ และปุ๋ย ในการปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในดิน

จากการนำสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกเมล็ดอ่อนและสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวกะน้ำเห็ดหอม นำมาปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในดิน โดยใช้ EC ประมาณ 1.0 mS/cm เนื่องจากสภาพดินที่ สจล. ลักษณะเป็นดินเหนียวซึ่งมีธาตุอาหารค่อนข้างมาก ทำการปลูกทั้งหมด 78 ต้น พบว่าการเจริญเติบโตเป็นปกติ ซึ่งให้ผลผลิตรวมทั้งหมด 19.5 กิโลกรัม โดย น้ำหนักเฉลี่ยต่อฝัก 0.25 กิโลกรัม (ตารางที่ 4.32)

สำหรับการใช้น้ำ และสารละลายที่ได้จากระบบ substrate และ DRFT ซึ่งมีการใช้น้ำเท่ากับ 10,601 ลิตร และสารละลายเก่ามี 728 ลิตร คิดเฉลี่ยที่ข้าวโพดใช้น้ำต่อต้นเท่ากับ 135.91 ลิตร และสารละลายเก่าต่อต้นเท่ากับ 9.33 ลิตร (ตารางที่ 4.33)

ตารางที่ 4.32 ข้อมูลผลผลิตของการปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในดิน จากการใช้สารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้าเห็ดหอมและที่ระบายออกจากวัสดุปลูกเมลอน

กรรมวิธี	ผลผลิต		
	จำนวนต้น	รวมทั้งหมด (กก.)	เฉลี่ย/ฝัก (กก.)
UNS	78	19.5	0.25

UNS=used nutrient solution

ตารางที่ 4.33 ปริมาณการใช้น้ำ และสารละลายเก่าจากที่ระบายวัสดุปลูก ในการปลูกข้าวโพดหวานสีแดง

กรรมวิธี	น้ำ	สารละลายเก่า	กรดไนตริก
	(ลิตร)	(ลิตร)	(ลิตร)
UNS	10,601	ประมาณ 728	-
เฉลี่ยต่อต้น	135.91	9.33	

UNS=used nutrient solution

โรคและแมลงที่พบตามธรรมชาติ

ผู้บริโภคร้องการรับประทานพืชผัก และผลไม้ที่มีความปลอดภัย ผักในระบบไฮโดรโปนิคส์ถือเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับผู้บริโภค ที่มีความสะอาด และปลอดภัย แต่เมื่อการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ในบริเวณชำเดิมเป็นระยะเวลาานาน ก็จะเป็นแหล่งอาหารเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช เมื่อเป็นเช่นนั้นจึงจำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านโรคพืชและแมลงศัตรูพืช และวิธีการป้องกันกำจัดอย่างถูกต้อง ในการทดลองนี้ได้สำรวจและเก็บข้อมูลทางด้านโรคพืชและแมลงศัตรูที่ทำความเสียหายให้กับผักสลัด คะน้า เมลอน และข้าวโพด ที่ทำการทดลอง และวิธีการป้องกันกำจัด ดังนี้

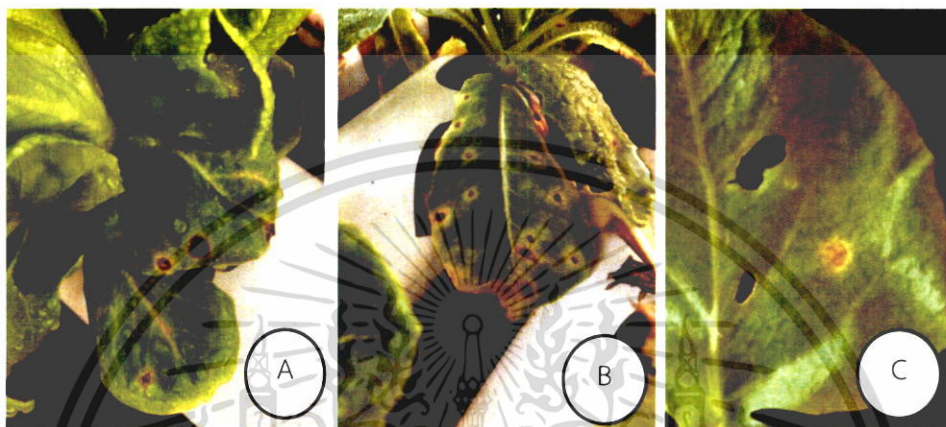
โรคพืชที่ตรวจพบ

1. โรคใบจุด

เป็นโรคที่เกิดจากเชื้อราได้หลายชนิดเช่น *Alternaria* sp., *Curvularia* sp. และ *Cercospora* sp. สปอร์ของเชื้อสามารถปลิวและแพร่กระจายไปกับลม ลักษณะอาการเริ่มจากเป็นจุดขนาดเล็ก และขยายเป็นวงกลมซ้อนกันสีน้ำตาล มีจุดตรงกลางสีขาวคล้ายตากบขนาดเล็ก รอบแผลมีสีเหลืองล้อมรอบ (yellow halo) เมื่ออาการรุนแรงทำให้เนื้อเยื่อตาย และใบแห้งตาย พืชที่เกิดอาการโรคได้แก่ ผักสลัดทุกสายพันธุ์ที่ทำการปลูก โดยเฉพาะ butter head, cos และผักคะน้าเห็ดหอม มีการระบาดมากในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว (ภาพที่ 4.10)

วิธีการดำเนินแก้ไขดังนี้

- เริ่มจากตัดใบพืชที่เป็นโรครอกและนำไปกำจัดทำลาย
- ใช้สารเคมีในผักผลัดใบระยะต้นกล้าอนุบาล ทีบูโคนาโซล + ไตรฟลอกซีสโตรบิน (tebuconazole + trifloxystrobin)



ภาพที่ 4.10 ภาพแสดงอาการ โรคใบจุดที่เกิดกับผักสลัดและกะน้า, A=ใบจุดที่เกิดกับสายพันธุ์ butter head, B=ใบจุดที่เกิดกับสายพันธุ์ cos, C=ใบจุดผักกะน้า

2. โรคราแป้ง

เป็นโรคที่สำคัญในพืชตระกูลแตง โดยเกิดจากเชื้อรา *Oidium* sp. สปอร์ของเชื้อสามารถปลิวและแพร่กระจายไปตามลมได้ ลักษณะอาการของโรคเริ่มแรกเป็นที่ใบล่าง และด้านบนของใบมีจุดสีขาวขนาดเล็ก จากนั้นมีการลุกลามขยายใหญ่ขึ้นกลายเป็นผงแป้งปกคลุมอยู่ด้านบนของใบ จนปกคลุมทั่วทั้งใบ เมื่อมีการระบาดรุนแรงจะมีการลุกลามไปทั่วทั้งต้น และทำให้ใบแห้งเป็นสีน้ำตาล จนทำให้ต้นแห้งตายในที่สุด มีการระบาดได้ทุกฤดูปลูก โดยเฉพาะช่วงฤดูฝนที่มีความชื้นสูงและฤดูหนาว (ภาพที่ 4.11)

วิธีการดำเนินแก้ไขดังนี้

- ไม่ปลูกเมล็ดอ่อนหนาแน่นจนเกินไป สามารถให้มีอากาศถ่ายเทได้ดี
- ตัดใบล่างที่เป็นโรครอกเพื่อลดปริมาณของเชื้อโรค
- ฉีดพ่นสารเคมี ทีบูโคนาโซล + ไตรฟลอกซีสโตรบิน (tebuconazole + trifloxystrobin) หรือ คาร์เบนดาซิม (carbendazim) หรือ แมนโคเซบ (mancozeb) โดยแนะนำไม่ควรฉีดพ่นตัวใดตัวหนึ่งเป็นเวลานาน ควรฉีดสลับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 แสดงลักษณะอาการของโรคราแป้งในพืชเมล่อน

3. โรคโคนเน่า

เกิดได้จากเชื้อราหลายสาเหตุ ได้แก่ *Phytophthora* sp., *Pythium* sp., *Sclerotium* sp., *Fusarium* sp. และ *Rhizoctonia* sp. ลักษณะอาการบริเวณโคนของต้นเริ่มจากมีสีน้ำตาล และลุกลามขยายกว้างขึ้น พบส่วนเส้นใยสีขาวของเชื้อบริเวณของแผล จากนั้น โคนต้นเริ่มนุ่มระบบท่อลำเลียงถูกทำลาย ทำให้ต้นเหี่ยวและตายในที่สุด (ภาพที่ 4.12)

วิธีการดำเนินแก้ไขดังนี้

- ป้องกันโดยไม่นำวัสดุปลูกที่เป็นโรคมานำใช้ต่อในรอบการผลิตต่อไป
- วัสดุปลูกควรผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อมาก่อนนำมาใช้



ภาพที่ 4.12 แสดงอาการของโรคโคนเน่าของต้นเมล่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

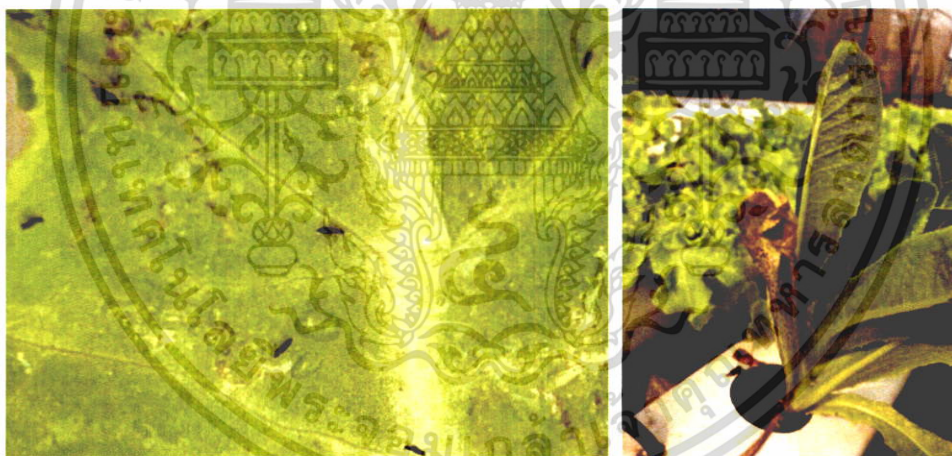
แมลงศัตรูพืชที่ตรวจพบ

1. เพลี้ยไฟ

เป็นแมลงขนาดเล็กซึ่งสามารถเข้าไปในโรงเรือนที่ทำการทดลองได้ ตัวเต็มวัยมีปีกเรียวยาวแคบ 2 คู่ มองเห็นเป็นน้ำตาลเข้ม หรือสีดำ ตัวอ่อนจะมองเห็นได้ยาก จะมองเห็นเป็นสีเหลืองนวล มีลักษณะการกินแบบเขี่ยดูดกินน้ำเลี้ยงของพืช ระบาดมากในช่วงฤดูร้อน จากการทดลองสามารถเข้าทำลายได้ทั้ง ผักสลัด และเมล่อน โดยการเข้าทำลายในผักสลัดจะเข้าไปดูดกินน้ำเลี้ยงบริเวณใบ และใบล่างก่อน และค่อยๆลุกลามมาถึงยอด ลักษณะอาการใบค่อๆ เป็นสีน้ำตาล จากปลายใบมาที่โคนใบ จนไหม้ จนพืชอาจแห้งตายไปที่สุด (ภาพที่ 4.13) ส่วนการเข้าทำลายของเมล่อน เพลี้ยไฟจะเข้าทำลายบริเวณส่วนยอดของลำต้น และใบอ่อน โดยจะพบว่าตัวอ่อนที่มีสีเหลือง อยู่บริเวณใต้ใบของใบอ่อนของเมล่อน ลักษณะอาการทำให้เมล่อนยอดหงิก และเป็นพาหะไวรัสทำให้อาการใบค่างสีเหลือง ทำให้ต้องทำลายต้นเมล่อนที่เป็นโรคไวรัส

วิธีการดำเนินแก้ไขดังนี้

- ใช้สารเคมีฉีดพ่น อิมิดาโคลพริด (imidacloprid) หรือ อะบาเม็กติน (abamectin)
- กับดักกาวเหนียวสีเหลือง



ภาพที่ 4.13 แสดงลักษณะของแมลงเพลี้ยไฟ และลักษณะอาการของการเข้าทำลายของผักสลัด

2. หนอนกระทู้ผัก

หนอนกระทู้ผักกินพืชผักเป็นอาหารได้หลากหลายชนิด ซึ่งตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อกลางคืนขนาดเล็ก เมื่อปีกหุบมีรูปร่างคล้ายหลังคา ปีกคู่หน้ามีลวดลายออกสีน้ำตาลอ่อน สีเทา สีดำ หรือสลัดขาว ปีกคู่หลังเป็นแบบบาง การวางไข่สามารถวางไข่ได้ประมาณ 2,000-4,000 ฟอง กลุ่มไข่จะสีเหลืองอ่อน ตัวอ่อนมีสีระยะดำ มีขาเทียมเห็นชัดเจน ระยะโตเต็มวัยจะมีลักษณะอ้วนกลม กินอาหาร

จุ เจอมูลมาก ตัวสีดำ ลวดลายบนตัวค่อยๆ หายไป จากการทดสอบพบหนอนกระทู้ผักเข้าทำลายทั้ง ผักสลัด และผักคะน้า (ภาพที่ 4.14)

วิธีการดำเนินแก้ไขดังนี้

- เมื่อเจอตัวหนอนหรือกลุ่มไข่ในแปลงให้เก็บและนำไปทำลาย



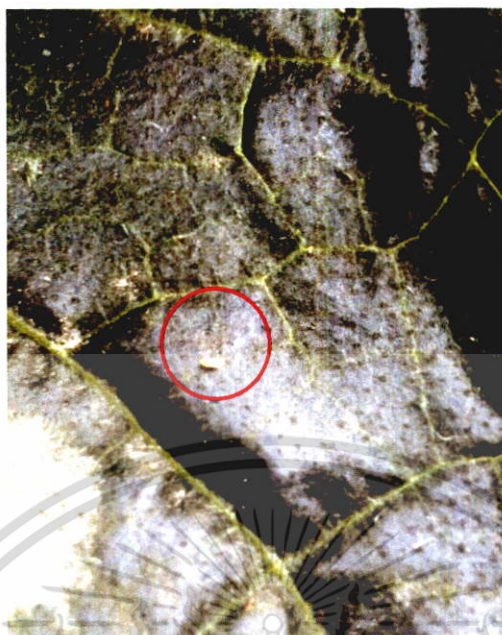
ภาพที่ 4.14 การเข้าทำลายของหนอนกระทู้ในผักสลัด

3. แมลงหีขาว

เป็นแมลงขนาดเล็กประเภทปากดูด เข้าทำลายเมล่อนในระบบ substrate culture ลักษณะตัวเต็มวัยปกคลุมด้วยฝุ่นขาว ตัวอ่อนลักษณะเหมือนรูปไข่สีเหลืองแบนราบติดกับผิวใบ การเข้าทำลายของตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากใบยอดอ่อนของพืช ทำให้เกิดเป็นจุดสีเหลืองบนใบพืช ใบหงิกงอมีวันส่งด้านล่าง ต้นแคระแกรน นอกจากนี้ยังเป็นแมลงพาหะของโรคไวรัสสาเหตุโรคใบด่าง (ภาพที่ 4.15)

วิธีการดำเนินแก้ไขดังนี้

- กำจัดพืชอาศัยของแมลงหีขาวเช่นวัชพืช
- ใช้กับดักเหนียวสีเหลือง
- ฉีดพ่นสารเคมี อิมิดาโคลพริด (imidacloprid) ฉีดพ่นเมื่อเจอการระบาด



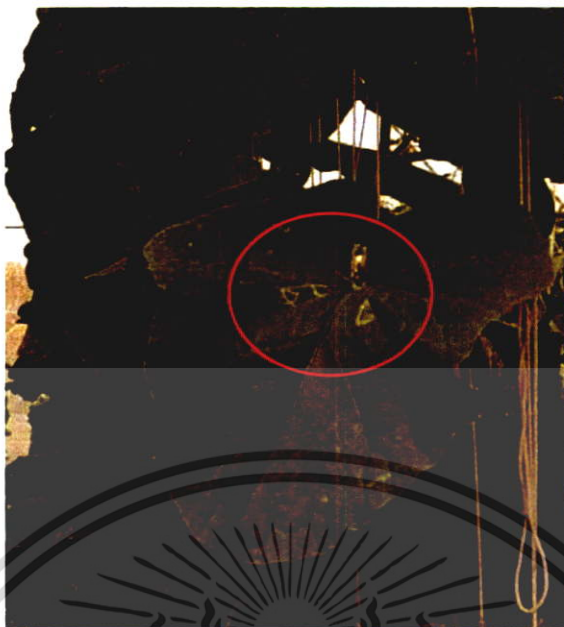
ภาพที่ 4.15 เมล่งหวีขาวที่เข้าทำลายเมล็ดในในระบบ substrate culture

4. หนอนซอนใบ

เป็นแมลงศัตรูพืชขนาดเล็ก ตัวเต็มวัยเป็นผีเสื้อกลางคืนสีขาว ตัวหนอนมีสีเหลืองจะออกจากไข่แล้วแทงเข้าไปใต้ใบพืชเพื่อดูดกินน้ำเลี้ยงของพืช เราจะสามารถมองเห็นเป็นทางสีขาวบนใบพืช คดเคี้ยวไปตามที่หนอนเคลื่อนที่ เมื่อระยะบารุนแรงใบจะเต็มไปด้วยทางเคลื่อนที่ของตัวหนอน ใบจะมีสีซีด ซึ่งสามารถระบาดได้ตลอดทุกฤดูกาล (ภาพที่ 4.16)

วิธีการดำเนินแก้ไขดังนี้

- เก็บใบที่มีหนอนซอน ไปทิ้งหรือทำลาย
- ใช้ของปลายแหลมแคะตัวหนอนออกจากใบไปทำลาย
- ใช้สารเคมี อะบาเม็กติน (abamectin)



ภาพที่ 4.16 ลักษณะการเข้าทำลายของหนอนชอนใบ ในเมล็ดอ่อน



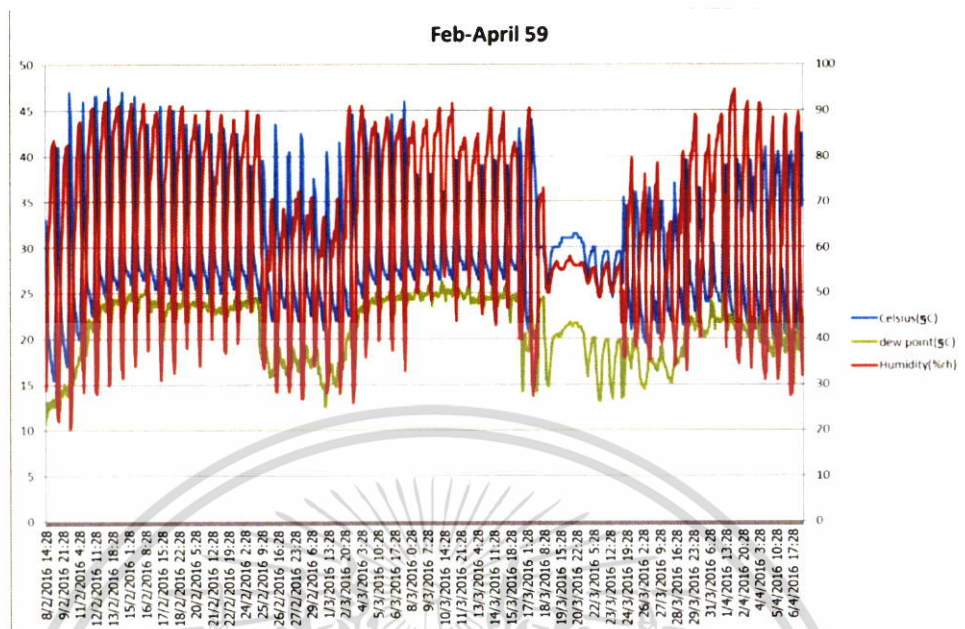
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT เพื่อให้ได้สารละลายธาตุอาหารตั้งต้นในการนำกลับมาปลูกพืชใหม่ ทำการปลูก 6 สายพันธุ์ ในช่วงเดือน มีนาคม-สิงหาคม 2559 พบว่าในรอบการผลิตที่ 1 ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง และผลผลิตค่อยๆ ลดลงในรอบการผลิตที่ 2-3 จากนั้นค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่รอบการผลิตที่ 4 เป็นต้นไป โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักต่อต้นของสายพันธุ์ cos, green oak, red oak frillice iceberg, red coral และ butter head ประมาณ 40, 60, 20, 30, 30 และ 60 กรัม ตามลำดับ ซึ่งรอบการผลิตที่ 2 และ 3 อยู่ในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน เป็นในช่วงสภาพอากาศร้อนจัด อุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนแตกต่างกันมากอยู่ในช่วง 15-47 องศาเซลเซียส จากนั้นในเดือน พฤษภาคมอุณหภูมิเริ่มลดลงที่สูงสุดอยู่ที่ 44 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 5.1) ซึ่งผลสอดคล้องกับปิยะภรณ์ (2556) ที่ปลูกผักสลัด green oak, red oak, red coral และ butter head ในช่วงมกราคม-พฤษภาคม 2557 โดยใช้สูตรมาตรฐานทำการปลูกในเขตปทุมธานี มีน้ำหนักสดเท่ากับ 60.82, 45.12, 31.62 และ 99.85 กรัม ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในโรงเรือนที่ทำการทดลองในครั้งนี้นี้อ่อนข้างสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผักสลัดที่จะเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งโดยปกติแล้วผักสลัดสามารถเจริญเติบโตได้ดีอยู่ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ในช่วงกลางวัน 19 องศาเซลเซียสในช่วงกลางคืน และอุณหภูมิในสารละลายห้ามเกิน 25 องศาเซลเซียส ความชื้นอยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์ (Brechner *et al.*, 2015) และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 30 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณออกซิเจนน้ำลดลงจาก 8.11 เหลือ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ (อิทธิสุนทร และคณะ, 2552) ซึ่งจากการทดสอบมีข้อสังเกตเห็นว่าผักสลัดที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในฤดูร้อนคือผักสลัดสายพันธุ์ green oak และ butter head เนื่องจากยังสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ เมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์อื่น ถึงแม้จะเจริญเติบโตได้ไม่ดีมากก็ตาม แต่ก็ยังเป็นแนวทางให้เกษตรกรเลือกสายพันธุ์ผักสลัดที่สามารถปลูกได้ในฤดูร้อน



ภาพที่ 5.1 แสดงอุณหภูมิ ความชื้น และจุดควบแน่นของน้ำ ในเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2559 ในสภาพโรงเรือน

โดยปกติแล้วการปลูกผักสลัดในระบบ NFT ต้องมีการถ่ายสารละลายธาตุอาหารเป็นประจำทุกๆ 2-3 สัปดาห์ เพื่อลดความเสี่ยงจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารและการสะสมของเกลือที่อาจเป็นพิษกับผักสลัดได้ (Roberto, 2003) ซึ่งมีหลายงานวิจัยระบุว่าเมื่อระบบมีการใช้สารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนเป็นเวลานานทำให้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัด โดยปริมาณของโซเดียม เท่ากับ 50 mM (Al-Maskri *et al.*, 2010) และ 17 mM (Qin *et al.*, 2013) มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักสลัด ซึ่งจากการทดสอบในการนำสารละลายที่ผ่านการใช้แล้ว 2 สัปดาห์ ไปตรวจวิเคราะห์ธาตุอาหารพบว่า ในสารละลายที่เตรียมใหม่มีปริมาณโซเดียม 11.6 ppm เมื่อระยะเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ ปริมาณโซเดียมเพิ่มขึ้นเป็น 24.1 ppm ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Grattan and Grieve (1999) ที่ว่าในระบบ recirculated ของสารละลายธาตุอาหาร มีการสะสมของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารเมื่อใช้เป็นเวลานาน ดังมีรายงานของ Baas และ Berg (2000) ที่ระบุว่าพบการเพิ่มขึ้นของโซเดียมในการปลูกกุหลาบตัดดอกในระบบ NFT โดยเมื่อเริ่มทดลองมีปริมาณโซเดียมเท่ากับ 0.6 mM และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 16 และ 30 สัปดาห์ ปริมาณ Na เพิ่มขึ้นเท่า 6 และ 30 mM ตามลำดับ

จากการที่นำสารละลายที่ถ่ายออกจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT มาปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT โดยมีเติมด้วย stock solution KMITL2 และปรับความเข้มข้นของสารละลายจากผักสลัดที่มี EC= 1.6 เพิ่มขึ้น 2.5 mS/cm ผลการทดสอบพบว่าการใช้สารละลายซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถให้จำนวนใบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นและใบ น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น ไม่แตกต่างกับชุดควบคุมที่เป็นการใช้สารละลายใหม่อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการใช้น้ำปุ๋ย กรดไนตริก ได้ถึง 84-100, 64-75 และ 26-55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากผักในตระกูลผักกาดขาว คะน้า กะหล่ำปลี หัวไชเท้า (Cruciferae) สามารถทนทานต่อความไม่เหมาะสมของธาตุอาหาร และปริมาณของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ได้สูง (Qin *et al.*, 2013) ดังรายงานของ Pardossi *et al.* (1999) ที่ทดสอบความเค็มของสารละลายโดยเพิ่มค่า EC เท่ากับ 2.0, 6.0 และ 10.0 mS/cm พบว่าไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักชีฝรั่ง (*Apium graveolens* L.) ในระบบ NFT แต่ยังสามารถดูดธาตุโซเดียมคลอไรด์ไปเก็บไว้ที่ใบแก่และส่วนมากใบจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณของโซเดียมในสัปดาห์ที่ 1 จาก 26 ppm เพิ่มขึ้น เป็น 81.9 ppm ในสัปดาห์ที่ 6 และมีปริมาณมากกว่าชุดควบคุม เช่นเดียวกับรายงานของ Carmassi *et al.* (2005) ที่ทดลองปลูกมะเขือเทศในระบบ recirculated และพบว่าเมื่อเริ่มการทดสอบมีปริมาณโซเดียม และคลอไรด์ เท่ากับ 10 และ 20 mM เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 วัน ปริมาณ โซเดียม และคลอไรด์ เพิ่มขึ้นเท่ากับ 16 และ 35 mM ตามลำดับ และมีรายงานเช่นเดียวกันว่าในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่มีการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ มีปริมาณโซเดียมมากกว่าชุดควบคุม ในการปลูกมะเขือเทศและผักกาดขาว (Gent and Short, 2012; Choi *et al.*, 2011b) ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วสามารถนำสารละลายจากผักสลัดนำมาปลูกผักไทยได้เลยเพียงปรับความเข้มข้นของสารละลายให้เหมาะสมกับพืชนั้นๆ เกษตรกรสามารถปฏิบัติได้โดยง่าย

จากการเก็บเกี่ยวคะน้าเห็ดหอมจากระบบ DRFT นำสารละลายที่เหลือกลับมาใช้ใหม่เพื่อปลูกเมล็ดในในระบบ substrate culture ทั้งนี้เพื่อให้วัสดุที่ใช้เป็นขุยมะพร้าวดูดซับโซเดียมเอาไว้และจำเป็นต้องให้สารละลายที่ให้กับพืชไหลระบายออกจากวัสดุปลูกประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ เพื่อลดการสะสมของโซเดียมที่มากเกินไปอาจไม่ให้เป็นพิษกับพืช และได้ผลผลิตที่สูงสุด (Singandhupe *et al.*, 2003) ในการจัดการสารละลายจากระบบ DRFT เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายปลูกผักคะน้าหลังการเก็บเกี่ยวมีความเข้มข้นสูง จึงนำมาเจือจางกับน้ำ 1 ต่อ 5 แล้วนำไปคำนวณปรับสูตรใหม่เพื่อให้กับเมล็ด เปรียบเทียบกับสารละลายสูตรปกติ พบว่าการใช้สารละลายซ้ำให้ผลการเจริญเติบโต และผลผลิตเชิงปริมาณและคุณภาพไม่แตกต่างกับการใช้สารละลายสูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถลดต้นทุนการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริกได้ เท่ากับ 9-21, 38-42 และ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของงานวิจัยหลายๆ ท่าน โดยการทดสอบการใช้สารละลายที่เหลือทิ้งนำกลับมาใช้ใหม่ในการปลูกพืช เช่นการทดสอบพริกแดงในสภาพโรงเรือนโดยใช้สารละลายที่ถูกทิ้ง 30 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มปุ๋ยเคมีอีก 70 เปอร์เซ็นต์ สามารถให้การเจริญเติบโตและผลผลิตที่สูงที่สุด (Park *et al.*, 2005) การนำสารละลายที่เหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่โดยเพิ่มโพแทสเซียม (K) ในอัตราส่วน 0.56 สามารถให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของเขือบีระ (gerbera) ในระบบไฮโดรโปนิคส์ได้สูงที่สุด (Savvas *et al.*, 2002) การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ในการปลูกมะเขือเทศในระบบ substrate culture พบว่าผลผลิตลดลงเล็กน้อยแต่ผลตอบแทนทางด้านการตลาดไม่แตกต่างกับชุดควบคุมที่ใช้สารละลายใหม่ และสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยได้ 14-17 เปอร์เซ็นต์ (Gent and Short, 2012) ซึ่งจากการทดลองนี้ได้นำสารละลายที่ให้กับพืชในระยะติดผลไปวิเคราะห์ธาตุอาหาร พบว่าธาตุอาหารส่วนใหญ่มีความใกล้เคียงกันแต่ยกเว้นในส่วนของปริมาณของโซเดียมในกรรมวิธีที่ใช้สารละลายซ้ำจะมีมากกว่าชุดควบคุม เท่ากับ 34.7 และ 10.8 ppm ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Gent and Short. (2012) ที่ทดลองนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ พบว่าชุดกรรมวิธีมีปริมาณโซเดียมสูงกว่าชุดควบคุม เท่ากับ 260 และ 78 mg/L ตามลำดับ

จากการทดลองในส่วนของสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกที่จำเป็นต้องให้ระบายออก 20-30 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีปริมาณของไนเตรท และ โพแทสเซียม ที่สูงถึง 482 และ 692 ppm ตามลำดับ ทั้งนี้เกิดจากวัสดุปลูกดูดซับเกลือจากปุ๋ยที่ให้กับพืช และการดูดธาตุอาหารของพืช ทำให้มีระดับปุ๋ยในรูปของเกลือเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ (Grasselly *et al.* 2005) เช่นเดียวกับรายงานของ Park *et al.* (2008a) และ Prystay and Lo. (2001) ที่พบว่าสารละลายที่เหลือทิ้งมีไนเตรทและฟอสฟอรัสสูงประมาณ 200-300 mg/L และ 30-100 mg/L ตามลำดับ

สำหรับการทดสอบสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกขุมมะพร้าวที่ปลูกเมล่อนนำมารวมในถังแล้วจากนั้นนำมาจัดการให้กับข้าวโพดหวานสีแดงในดิน โดยค่า EC ที่ใช้ประมาณ 2 mS/cm เนื่องจากสภาพดินที่ปลูกเป็นดินทรายธาตุอาหารค่อนข้างน้อย (ตารางที่ 4.13) เปรียบเทียบกับการปลูกแบบปกติใช้ปุ๋ยเคมีปกติ (15-15-15) ผลการทดสอบพบว่าการเจริญเติบโต และผลผลิตทั้ง 2 กรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของหลายๆ ท่านที่รายงานการนำสารละลายที่เหลือจากระบบไฮโดรโปนิกส์นำไปปลูกพืชในดิน โดยการเจริญเติบโต และผลผลิต ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกับการปลูกแบบปกติ อย่างเช่นการนำไปใช้ปลูกผักกาดขาว (Chinese cabbage) (Choi *et al.*, 2011b; Hong *et al.*, 2009) ยิ่งไปกว่านั้นยังมีรายงานว่า การใช้สารละลายที่ถูกทิ้งนำมาปลูกพืชในดินให้ผลการเจริญเติบโต และผลผลิต สูงกว่าชุดควบคุมที่เป็นการปลูกแบบปกติ อย่างเช่นนำไปปลูกพืชเมล่อน (Zhang *et al.*, 2006) และผักกาดขาว (Choi *et al.*, 2011a)

จากการทดสอบถึงความเป็นไปได้ถึงความสามารถในการนำสารละลายที่เหลือทิ้งนำกลับมาใช้ใหม่ โดยภาพรวมแล้วในแต่ละการทดลองผลการเจริญเติบโตและผลผลิต ของคะน้า เห็ดหอม เมล่อน และข้าวโพด ให้ผลที่ไม่แตกต่างกับการใช้สารละลายหรือปุ๋ยใหม่อย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการจัดการในระบบต่างๆ ค่อนข้างยาก โดยเฉพาะในส่วนของจัดการสารละลายเมล่อนซึ่งต้องมีการเจือจางกับน้ำก่อนและค่อยเติมปุ๋ยที่ปรับสูตรใหม่ ดังนั้นจึงได้เสนอแนวทางที่สามารถปฏิบัติได้ง่ายและปฏิบัติได้จริง โดยเริ่มจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT จากนั้นถ่ายสารละลายแยกออกเป็น 2 ทาง คือนำไปปลูกคะน้าเห็ดหอม และเมล่อน ซึ่งสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณปรับสูตรใหม่และให้กับพืชทั้งสองชนิดและเติมได้โดยไม่ต้องทำการเจือจางกับน้ำก่อน จากนั้นนำสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวค่น้ำเห็ดหอมและสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกมารวมกัน และสุดท้ายนำไปปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในดิน และในการทดสอบนี้ได้มีโมเดลให้กับเกษตรกรที่สามารถนำไปใช้ได้จริงได้ 2 โมเดล คือสำหรับผู้ประกอบรายใหญ่และผู้ประกอบรายย่อย โดยเกษตรกรสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของขนาดฟาร์ม ต้นทุน และความรู้ของเกษตรกร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบการจัดการสารละลายธาตุอาหารแบบซีโรเวสท์ เริ่มจากการปลูกผักสลัดในระบบ NFT ทั้งหมด 6 สายพันธุ์ ได้แก่ cos, green oak, red oak, frillice iceberg, red coral และ butter head ทำการปลูก 8 รอบการผลิต ช่วงเดือนมีนาคม-สิงหาคม 2560 พบว่า ทั้ง 6 สายพันธุ์มีขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 2-14 เซนติเมตร น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 5-60 กรัม น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น 10-80 กรัม และผลผลิตรวมทั้งหมด 15-26 กิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสายพันธุ์ของผักสลัด ส่วนปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ต่อรอบการผลิตโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 700, 2.4 และ 1.95 ลิตร ตามลำดับ และทุกๆ 2 สัปดาห์มีการถ่ายสารละลายไปปลูกคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT ประมาณ 240 ลิตร และมีการนำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารที่เหลืออยู่หลังจากการใช้น้ำผ่านไป 2 สัปดาห์ พบว่าเมื่อผ่านไป 2 สัปดาห์ ปริมาณธาตุอาหารส่วนใหญ่ลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบสารละลายที่เตรียมใหม่ ยกเว้นปริมาณของธาตุโซเดียมที่พบว่าสารละลายเก่ามีปริมาณมากกว่าสารละลายที่เตรียมใหม่จากเริ่มมีค่าเท่า 11.6 ppm เพิ่มขึ้นเป็น 24.1 ppm

จากนั้นได้ทำการทดสอบสารละลายที่ถ่ายจากระบบ NFT นำมาปลูกผักคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT โดยเติม stock solution KMITL2 ให้ค่า EC เริ่มต้น 2.5 mS/cm pH 5.8 ส่วนชุดควบคุมใช้เตรียมสารละลายใหม่โดยใช้ stock solution KMITL2 และปรับ EC และ pH เหมือนกันกับชุดทรีทमें พบว่า ทั้ง 2 รอบการผลิต ให้ผลในทิศทางเดียวกันคือ ทั้ง 2 กรรมวิธีให้ผลการเจริญเติบโตจำนวนใบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต้น และผลผลิต น้ำหนักสดของต้นและใบ น้ำหนักแห้งของต้นและใบ น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งในรอบการผลิตที่ 1 ลดปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริก ได้เท่ากับ 100, 75.61 และ 26.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในรอบการผลิตที่ 2 สามารถลดได้เท่ากับ 84.92, 64.49 และ 55.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และได้นำสารละลายจากระบบไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารช่วงเริ่มก่อนการทดลองและหลังการเก็บเกี่ยว พบว่าเมื่อเริ่มการทดลองธาตุอาหารส่วนใหญ่มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นธาตุโซเดียมในสารละลายเก่ามีปริมาณมากกว่าสารละลายที่เตรียมใหม่ และเมื่อเก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณ โซเดียมเพิ่มขึ้นซึ่งสารละลายเก่ามีปริมาณมากกว่าสารละลายที่เตรียมใหม่เท่ากับ 81.5 และ 59.0 ppm ตามลำดับ

จากการนำสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้าเห็ดหอมในระบบ DRFT นำมาจัดการและใช้ปลูกเมล่อนในระบบ substrate culture เปรียบเทียบกับสารละลายที่สูตรปกติที่เตรียมใหม่ ทำการปลูก 2 รอบการผลิต พบว่าทั้ง 2 รอบการผลิต และแต่ละสายพันธุ์ (green net, pot orange, army

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

green และ army orange) ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือการเจริญเติบโตจำนวนข้อ และ SPAD ส่วนผลผลิตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผล น้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ความหวาน และความแน่น เนื้อ ทั้ง 2 กรรมวิธีให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้มีการทำแบบประเมินโดยประเมินส่วนของกลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ+ความหวาน สี ความกรอบ และความชอบโดยรวม พบว่าซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และทั้ง 2 กรรมวิธีให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งทั้ง 2 รอบการผลิตจากการทดสอบสามารถลดปริมาณการใช้น้ำ ปุ๋ย และกรดไนตริกได้เท่ากับ 9.57-21.29, 28.57-42 และ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการนำสารละลายที่ให้กับเมล็ดก่อนมาวิเคราะห์ถึงปริมาณของธาตุอาหารพบว่าธาตุอาหารส่วนใหญ่มีปริมาณใกล้เคียงมีเพียงโซเดียมที่ยังมีแนวโน้มเดียวกันกับระบบ NFT และ DRFT ที่สารละลายเก่าจะมีปริมาณมากกว่าสารละลายที่ปกติที่เตรียมใหม่เท่ากับ 34.7 และ 10.8 ppm ลำดับ และยังพบว่าสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกมีปริมาณของไนเตรท โพแทสเซียม และโซเดียมที่สูง เท่ากับ 482, 692 และ 71.7 ppm ตามลำดับ ในการทดสอบสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกในการปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในดิน เปรียบเทียบกับการปลูกแบบปกติ จากการทดสอบพบว่าการเจริญเติบโตส่วนของความสูง SPAD และ น้ำหนักของต้น ส่วนผลผลิตน้ำหนักฝักรวม น้ำหนักฝักเฉลี่ย น้ำหนักต่อฝัก และน้ำหนักผลผลิตต่อต้น ทั้ง 2 กรรมวิธีให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากการใช้สารละลายจะสามารถลดต้นทุนของการใช้ น้ำ และ ปุ๋ยได้ 68.07 และ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ในส่วนที่ได้ทำการทดสอบระบบการปลูกแบบซีโรเวสต์ที่สามารถนำไปใช้ในเชิงปฏิบัติได้จริง สามารถนำมาปฏิบัติได้ง่ายมากยิ่งขึ้น กล่าวคือเริ่มจากการปลูกฝักสลัดในระบบ NFT เป็นระบบแรกเหมือนเดิม จากนั้นถ่ายสารละลายออกเป็น 2 ทาง ได้แก่ นำมาปลูกคะน้ำเห็ดหอมในระบบ DRFT และปลูกเมล็ดอ่อนในระบบ substrate culture ซึ่งทำให้ในระบบ substrate culture ไม่ต้องนำสารละลายไปเจอกับน้ำให้เกิดความยุ่งยาก จากนั้นนำสารละลายที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวคะน้ำเห็ดหอม และสารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกที่ปลูกเมล็ดอ่อน นำมารวบรวมและจัดการให้กับข้าวโพดหวานสีแดงที่ปลูกในดินเป็นขั้นสุดท้าย และจากการทดสอบสามารถทำให้สร้างระบบต้นแบบออกเป็น 2 โมเดล คือรูปแบบที่สำหรับผู้ประกอบการรายใหญ่ และรูปแบบสำหรับผู้ประกอบการรายย่อย ซึ่งเกษตรกรสามารถเลือกตามความเหมาะสมกับฟาร์ม ต้นทุน และความรู้ของตนเอง และเป็นแนวทางในการผลิตพืชผักแบบซีโรเวสต์สามารถใช้น้ำ ปุ๋ย อย่างคุ้มค่า ใช้สารละลายให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2555. การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 36 หน้า.
- ดิเรก ทองอร่าม. 2547. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน : หลักการจัดการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. สำนักพิมพ์ธรรมรักษ์การพิมพ์. 274 หน้า.
- นภาพร จิตต์ศรีธธา และ วัชรวิทย์ รัศมี. 2559. ผลของชนิดวัสดุปลูกและจำนวนต้นที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าพันธุ์เห็ดหอมในระบบ DRFT. การประชุมวิชาการวิจัยรำไพพรรณี ครั้งที่ 10 วันที่ 19-20 ธันวาคม 2559. หน้า 517-551.
- นิพนธ์ ไชยมงคล. 2528. พีชตระกูลแดง. สาขาพืชผัก ภาควิชาเทคโนโลยีทางพืช สถาบันเทคโนโลยีเกษตรแม่โจ้. 97 หน้า.
- ปิยะภรณ์ จิตรเอก. 2556. ผลของน้ำหมักชีวภาพร่วมกับสมุนไพรต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัด 4 ชนิดในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 62 หน้า.
- พัชรี สฤกษ์ตันศักดิ์ และชมภู วิวัฒน์วิทย์. 2554. โครงการวิจัยเรื่องความพึงพอใจของผู้ซื้อสินค้าในตลาดสด พระราม 5 จังหวัดนนทบุรี. 79 หน้า.
- มนตรี คำชู. 2531. หลักการชลประทานแบบหยด. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 224 หน้า.
- สมศรี บุญเรือง และ อำนาจ จันทร์ครุฑ. 2551. คู่มือวิชาการส่งเสริมการเกษตรข้าวโพด (ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และข้าวโพดหวาน). สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. 45 หน้า.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ จริยา วิสิทธิ์พานิช นงนุช เล้าหะวิสุทธิ พรหมมาศ กุหากาญจน์ เรไร นันทนาวัฒน์ และ เปรม ฌ สงขลา. 2552. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ในเอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินรุ่นที่ 10 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2557. ระบบการปลูกพืชและความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้. ในเอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินรุ่นที่ 16 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Al-Maskri, A., Al-Kharusi, L. and Al-Miqbali, H., 2010. Effects of salinity stress on growth of lettuce (*Lactuca sativa*) under closed-recycle nutrient film technique. *International Journal of Agriculture and Biology* 12: 377–380.
- Baas, R. and Berg, D.V.D. 2000. Sodium accumulation and nutrient discharge in recirculation system: a case study with roses. *Acta Horticulturae* 507: 157-164.
- Benoit, F. 1992. Practical guide for simple soilless culture technique : Ecology Ergonomy Economy. European Vegetable R&D Center, Belgium. 72 p.
- Brechner, M., Both, A. and Staff, CEA. 2015. Hydroponic lettuce handbook. Cornell Controlled Environment Agriculture. 48 p.
- Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F. and Pardossi, A. 2005. Modeling salinity buildup in recirculating nutrient solution culture. *Journal of Plant Nutrition* 28:431–445.
- Choi, B., Lee, S.S. and Ok, Y.S. 2011b. Effects of waste nutrient solution on growth of Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.) in Korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 30(6): 125-131.
- Choi, B., Lee, S.S., Awad, Y.M. and Ok, Y.S. 2011c. Feasibility of reclaimed wastewater and waste nutrient solution for crop production in Korea. *Korean Journal Environmental Agriculture* 30(2):118-124.
- Choi, B., Lim, J.E., Shin, Y.K., Yang, J.E., Lee, S.S., Ok, Y.S. 2011a. Effect of waste nutrient solution and reclaimed wastewater on Chinese cabbage growth and soil properties. *Korean Journal of Soil Science Fertilizer* 44(3):394–399.
- Coastal Environmental Services, 2010, Business plant for NDAKANA zero waste agriculture business cluster, phase 1: pre-feasibility and concept development. 58 p.
- Gent, M. P.N. and Short, M. R. 2012. Effect on yield and quality of a simple system to recycle nutrient solution to greenhouse tomato. *Horticultural Science* 47(11): 1641- 1645.
- Grasselly, D., Merlin, G., Sedilot, C., Vanel, F., Dufour, G. and Rosso, L. 2005. Denitrification of soilless tomato crops run-off water by horizontal subsurface constructed wet lands. *Acta Horticulturae* 691(1):329–332.
- Grattan, S.R and Grieve, C.M. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* 78: 127-157.

- Hong, K.C., Choi, B., Lim, K.J., Won, J.H., Hur, S.O., Ha, S.K., Kim, N.W., Yang, J.E. and Ok, Y.S. 2009. Effects of reclaimed waste water and waste nutrient solution irrigation on seedling growth of Chinese cabbage. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 28: 171- 178.
- Kumar, R. R. and Cho, J. Y. 2014. Reuse of hydroponic waste solution. *Environmental Science and Pollution Research* 21: 9569-9577.
- Lee, G.L., Lee, B.Y. and Lee, J.H. 2006. Accumulation of phytotoxic organic acids in reused nutrient solution during hydroponic cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Horticulturae* 110: 119-128.
- Monnet, F., Vaillant, N., Hitmi, A., Vernay, P., Coudret, A. and Sallanon, H. 2002. Treatment of domestic wastewater using the nutrient film technique (NFT) to produce horticultural roses. *Water Research* 36:3489-3496.
- Pardossi, A., Bagnoli, G., Malorgio, F., Campiotti, C.A. and Tognoni, F. 1999. NaCl effects on celery (*Apium graveolens* L.) grown in NFT. *Scientia Horticulturae* 81:229-242.
- Park JH, Seo DC, Kim SH, Lee CH, Choi JH, Kim HC, Lee SW, Ha YR, Cho JS, Heo JS. 2012. Selection of optimum system in constructed wetlands for treating the hydroponic waste solution containing nitrogen and phosphorus. *Korean Journal of Soil Science Fertilizer* 45(5):764-771.
- Park, C.J., Yang, J.E., Kim, K.H., Yoo, K.Y., Ok, Y.S. 2005. Recycling of hydroponic waste solution for red pepper (*Capsicum annum* L.) growth. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 24(1):24-28.
- Park, J.B.K., Craggs, R.J. and Sukias, J.P.S. 2008a. Treatment of hydroponic wastewater by denitrification filters using plant pruning as the organic carbon source. *Bioresource Technology* 99(8): 2711-2716.
- Park, W.Y., Seo, D.C., Lim, J.S., Lim, S.K., Park, S.K., Cho, J.S., Heo, J.S. and Yoon, HS. 2008b. Optimum configuration, filter media depth and wastewater load of small-scale constructed wetlands for treating the hydroponic waste solution in greenhouses. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 27(3):217-224.
- Prystay, W. and Lo, K.V. 2001. Treatment of greenhouse wastewater using constructed wetlands. *Journal of Environmental Science and Health Part B Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes* 36(3):341-353.

- Qin, L., Guo, S., Ai, W., Tang, Y., Cheng, Q. and Chen, G. 2013. Effect of salt stress on growth and physiology in amaranth and lettuce: Implications for bioregenerative life support system. *Advances in Space Research* 51: 476-482.
- Resh MH. 2013. Hydroponic food production. A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. 7th edition CRC Press, Taylor and Francis. 1–511 p.
- Roberto, K. 2003. How-to hydroponics. Fourth edition completely revised. The futuregarden pressa division of futuregarden, Inc. 97 Rome Street Farmingdale, New York 11735. 102p.
- Rome. 2013. Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops. FAO Plant Production and Protection Paper 217-611.
- Salgot, M., Folch, M., Huertas, E., Tapias, J., Avellaneda, D., Girós, G., Brissaud, F., Vergés, C., Molina, J. and Pigem, J. 2002. Comparison of different advanced disinfection systems for wastewater reclamation. *Water Science and Technology* 2:213–218.
- Sato, S., Sakaguchi, S., Furukawa, H. and Ikeda, H. 2006. Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae* 109: 248-253.
- Savvas, D. and Gizas, G. 2002. Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. *Scientia Horticulturae* 96: 267– 280.
- Singandhupe, R.B., Rao, G.G.S.N., Patil, P.S. and Brahmanand, P.S. 2003. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.). *European Journal Agronomy* 19:327-340.
- Uchida, R. 2000. Essential nutrients for plant growth: Nutrient functions and deficiency Symptoms. *plant nutrient management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*. University of Hawaii at Manoa. 31-55.
- Zhang, C.H., Kang, H.M., Kim, I.S. 2006. Effect of using waste nutrient solution fertigation on the musk melon and cucumber growth. *Journal Biology Environment Control* 15: 400-405.

ภาคผนวก ก

รายละเอียดสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลอง

1.1 สูตรสารละลายที่ใช้ในการปลูกผักสลัดในระบบ NFT เป็นสารละลายธาตุอาหารตามสูตร KMITL2 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สารละลายเข้มข้น A (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Fe-EDDHA	0.080 kg
Calcium nitrate	3.80 kg

สารละลายเข้มข้น B (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Potassium nitrate	1.80 kg
Mono-potassium phosphate	0.65 kg
Magnesium sulphate	1.00 kg
Microelement ถึง B	
Zinc sulphate	4.756 g
Copper sulphate	1.016 g
Manganese sulphate	14.194 g
Boric acid	8.894 g
Ammonium molybdate	0.343 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 สูตรสารละลายที่ใช้ในการปลูกผักสลัดในระบบ NFT เป็นสารละลายธาตุอาหารปรับสูตรจากน้ำบาดาล โดยโปรแกรม Nutrical V1.7 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สารละลายเข้มข้น A (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Fe-EDDHA 0.164 kg

Calcium nitrate 1.866 kg

สารละลายเข้มข้น B (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 20 เท่า

Nitric acid 1.493 L

Potassium nitrate 1.303 kg

Mono-potassium phosphate 0.653 kg

Potassium sulphate 1.103 kg

Magnesium sulphate 0 kg

Microelement ถึง B

Zinc sulphate 2.616 g

Copper sulphate 0.635 g

Manganese sulphate 18.330 g

Boric acid 13.745 g

Ammonium molybdate 0.92 g

1.3 สูตรสารละลายปกติที่ใช้ในการปลูกเมล่อน เป็นสารละลายธาตุอาหารปรับสูตรโดยโปรแกรม Nutrical V1.7 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สารละลายเข้มข้น A (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Fe-EDDHA	0.017 kg
Calcium nitrate	5.151 kg

สารละลายเข้มข้น B (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Potassium nitrate	2.370 kg
Mono-potassium phosphate	0.871 kg
Potassium sulphate	0.136 kg
Magnesium sulphate	1.292 kg
Microelement ถัง B	
Zinc sulphate	2.616 g
Copper sulphate	0.318 g
Manganese sulphate	9.167 g
Boric acid	7.855 g
Ammonium molybdate	0.392 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1.4 สูตรสารละลายปรับสูตรจากสารละลายที่เหลือจากคาน้ำ ที่เจือจางกับน้ำ 1:5 ใช้ในการปลูก
เมล็ดอ่อน คำนวณโดยใช้โปรแกรม Nutrical V1.7 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้**

สารละลายเข้มข้น A (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Fe-EDDHA	0.017 kg
Calcium nitrate	1.012 kg

สารละลายเข้มข้น B (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Potassium nitrate	0.961 kg
Mono-potassium phosphate	0.850 kg
Potassium sulphate	0.708 kg
Magnesium sulphate	0.134 kg
Microelement ถึง B	
Zinc sulphate	2.616 g
Copper sulphate	0.318 g
Manganese sulphate	9.167 g
Boric acid	7.855 g
Ammonium molybdate	0.392 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 สูตรสารละลายปรับสูตรจากสารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT ต่อเนื่อง (น้ำบาดาล) ใช้ในการปลูกเมล่อน กำหนดโดยใช้โปรแกรม Nutrical V1.7 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สารละลายเข้มข้น A (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Fe-EDDHA	0.060 kg
Calcium nitrate	4.154 kg

สารละลายเข้มข้น B (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Potassium nitrate	1.774 kg
Mono-potassium phosphate	0.581 kg
Potassium sulphate	0.626 kg
Magnesium sulphate	0.368 kg
Microelement ถึง B	
Zinc sulphate	2.616 g
Copper sulphate	0.318 g
Manganese sulphate	9.167 g
Boric acid	7.855 g
Ammonium molybdate	0.392 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 สูตรสารละลายปรับสูตรจากสารละลายที่ใช้ในการปลูกเมล็ดอ่อนโดยใช้น้ำบาดาล กำหนดโดยใช้โปรแกรม Nutrical V1.7 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สารละลายเข้มข้น A (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Fe-EDDHA	0.021 kg
Calcium nitrate	3.271 kg

สารละลายเข้มข้น B (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Nitric acid	1.866 L
Potassium nitrate	2.826 kg
Mono-potassium phosphate	0.850 kg
Potassium sulphate	0.589 kg
Magnesium sulphate	0.306 kg
Microelement ถัง B	
Zinc sulphate	2.616 g
Copper sulphate	0.318 g
Manganese sulphate	9.167 g
Boric acid	7.855 g
Ammonium molybdate	0.392 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 สูตรสารละลายปรับสูตรจากสารละลายที่ถ่ายออกจากระบบ NFT ต่อเนื่อง (น้ำบาดาล) ใช้ในการปลูกเมล่อน กำหนดโดยใช้โปรแกรม Nutrical V1.7 ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

สารละลายเข้มข้น A (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Fe-EDDHA	0.030 kg
Calcium nitrate	1.782 kg

สารละลายเข้มข้น B (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 200 เท่า

Potassium nitrate	0.555 kg
Mono-potassium phosphate	0.218 kg
Potassium sulphate	0.163 kg
Magnesium sulphate	0.263 kg
Microelement ถึง B	
Zinc sulphate	2.616 g
Copper sulphate	0.318 g
Manganese sulphate	9.167 g
Boric acid	7.855 g
Ammonium molybdate	0.392 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

**แบบสำรวจความพึงพอใจของเมล็ดพันธุ์ที่ปลูกในสารละลายปกติ
และสารละลายที่นำกลับมาใช้ซ้ำ**

รายการทดสอบ	สายพันธุ์สีเขียว							
	ผลที่ 1	ผลที่ 2	ผลที่ 3	ผลที่ 4	ผลที่ 5	ผลที่ 6	ผลที่ 7	ผลที่ 8
1. กลิ่น								
2. เนื้อสัมผัส								
3. รสชาติ+ความหวาน								
4. สี								
5. ความกรอบ								
6. ความชอบ โดยรวม								

รายการทดสอบ	สายพันธุ์สีส้ม							
	ผลที่ 1	ผลที่ 2	ผลที่ 3	ผลที่ 4	ผลที่ 5	ผลที่ 6	ผลที่ 7	ผลที่ 8
1. กลิ่น								
2. เนื้อสัมผัส								
3. รสชาติ+ความหวาน								
4. สี								
5. ความกรอบ								
6. ความชอบ โดยรวม								

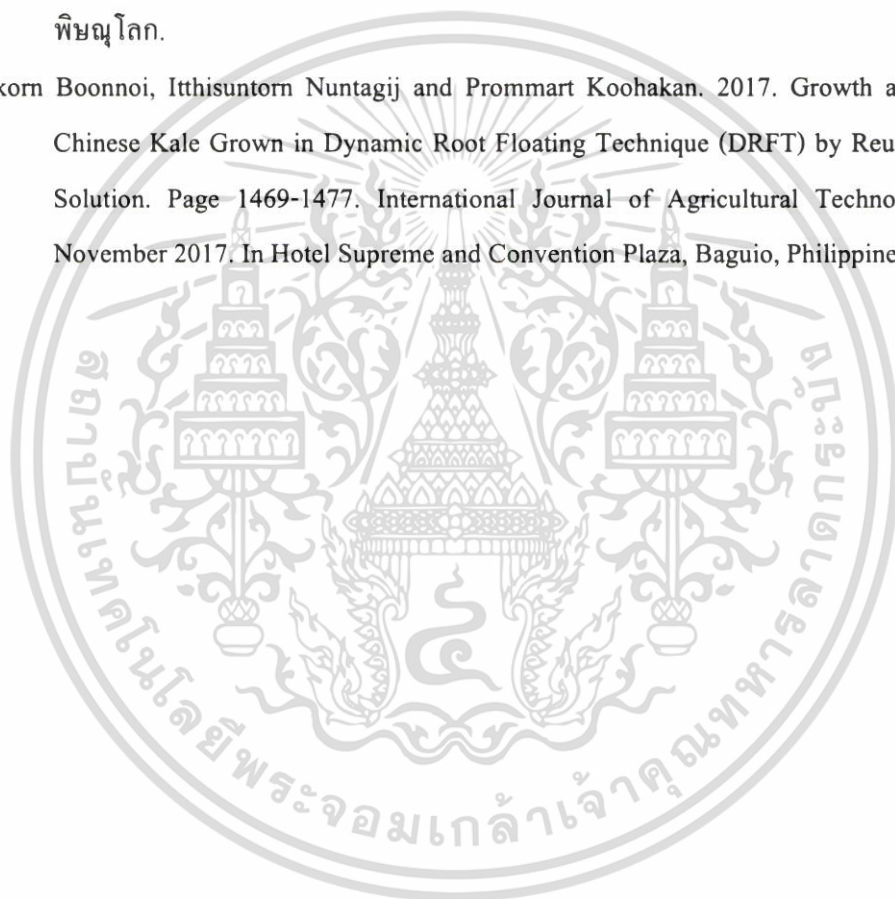
ให้คะแนน 1-5 ตามความชอบ โดยที่ 1 = ชอบน้อยที่สุด, 2= ชอบน้อย, 3= ชอบปานกลาง, 4=ชอบมาก, 5= ชอบมากที่สุด

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

นคร บุญน้อย และพรหมมาศ คูหากาญจน์. 2559. ผลของวัสดุเพาะเพอร์ไลท์และฟองน้ำต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดในฤดูร้อน. การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 14. 1-3 พฤศจิกายน คณะเกษตรทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.

Nakorn Boonnoi, Itthisuntorn Nuntagij and Prommart Koohakan. 2017. Growth and Yield of Chinese Kale Grown in Dynamic Root Floating Technique (DRFT) by Reused Nutrient Solution. Page 1469-1477. International Journal of Agricultural Technology. 24-26 November 2017. In Hotel Supreme and Convention Plaza, Baguio, Philippines.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายนคร บุญน้อย
วัน เดือน ปีเกิด	11 กันยายน 2536
ที่อยู่	171 หมู่ 13 ต. มะขามล้ม อ. บางปลาหมอ จ. สุพรรณบุรี 72150
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2559 วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สาขาเกษตรศาสตร์ วิชาเอกโรค พืช สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2561 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
ประสบการณ์และผลงานวิจัย	
2559	ผลงานวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบใบมะกรูด (<i>Citrus hystrix</i> DC.) ด้วยเอทานอลในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุ โรคเมล็ดด่างของข้าวในสภาพห้องปฏิบัติการ
2559	ผลงานวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจาก มะกรูด (<i>Citrus hystrix</i>) ในการยับยั้งเชื้อราที่ติดมากับเมล็ด ข้าวในสภาพห้องปฏิบัติการ
2559	ผลงานวิจัยเรื่อง ผลของวัสดุเพาะเพอร์ไลต์ และฟองน้ำ ต่อ การเจริญเติบโตของผักสลัดในฤดูร้อน
2560	ผลงานวิจัยเรื่อง Growth and Yield of Chinese Kale Grown in Dynamic Root Floating Technique (DRFT) by Reused Nutrient Solution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของวัสดุเพาะเพอร์ไลท์ และฟองน้ำ ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดในฤดูร้อน
Evaluation of perlite and polyethylene foam on the growth of lettuce grown in nutrient film technique during hot season

นคร บุญน้อย¹ และ พรหมมาศ คูหากาญจน์^{1*}
Nakorn Boonnoi¹ and Prommart Koohakan^{1*}

Abstract

Effects of perlite and polyethylene foam (PE foam) on growth of lettuce grown in nutrient film technique was investigated. Five varieties of lettuce such as, cos, green oak, red oak, red coral and butter head were grown in nutrient film technique (NFT) during April-May 2016 (crop1) and June-July 2016 (crop2). The results reveal that growth of lettuce varieties were difference depended on their varieties. Comparison on the same variety of lettuce grown in different substrates were evaluated on weight increasing. It was found that the growth of lettuces were not difference except for green oak variety. Green oak grown in PE foam obtained significantly weight increasing higher than that grown in perlite at 20.8 and 16.6 grams, respectively. Similarly to crop 2, the weight increasing of that grown in PE foam and perlite was 58.8 and 26.3 grams, respectively.

Keywords: lettuce, perlite, polyethylene foam

บทคัดย่อ

การประเมินผลของวัสดุเพาะเพอร์ไลท์ และฟองน้ำ ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด (Lettuce) 5 สายพันธุ์ คือ คอส (cos) กรีนโอ๊ค (green oak) เรดโอ๊ค (red oak) เรดคอรอล (red coral) และบัตเตอร์เฮด (butter head) ต่อสภาพอากาศในฤดูร้อน ดำเนินการทดสอบในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ nutrient film technique (NFT) จำนวน 2 รอบการผลิต โดย รอบการผลิตที่ 1 ปลูกในช่วงเดือน เมษายน- พฤษภาคม 2559 และ รอบการผลิตที่ 2 ปลูกในช่วงเดือนพฤษภาคม - กรกฎาคม 2559 พบว่าการเจริญเติบโตของผักสลัดแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของสายพันธุ์ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในแต่ละสายพันธุ์ที่ปลูกในวัสดุต่างกัน จากขนาดทรงพุ่มและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นทั้งสองรอบการผลิต พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในผักสลัดสายพันธุ์ กรีนโอ๊ค ที่ปลูกในรอบการผลิตที่ 1 พบว่าการใช้วัสดุปลูกฟองน้ำให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อต้นสูงกว่าการใช้วัสดุปลูกเพอร์ไลท์อย่างมีนัยสำคัญ เท่ากับ 20.8 และ 16.6 กรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกับการปลูกในรอบการผลิตที่ 2 ที่ให้น้ำหนักต่อต้นที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 58.8 และ 26.3 กรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ: ผักสลัด เพอร์ไลท์ ฟองน้ำ

คำนำ

ปัจจุบันคนไทยมีความเอาใจใส่ในเรื่องของสุขภาพมากขึ้น เพราะปัญหาทางด้านโรคร้ายต่างๆ อันเกิดจากสารเคมีที่ปนเปื้อนมากับอาหาร คนจึงหันมาบริโภคผัก โดยเฉพาผักสลัด (Lettuce) ที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน หรือผักไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) เป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้รากพืชสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรงตามความต้องการของพืช (ดิเรก, 2553) ทำให้ได้ผักที่มีความปลอดภัย และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เกษตรกรจึงหันมาสนใจการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์มากยิ่งขึ้น โดยชนิดของผักสลัดที่นิยมปลูกเพื่อการบริโภคในเชิงการค้า ได้แก่ สลัดคอส (cos) กรีนโอ๊ค (green oak) เรดโอ๊ค (red oak) เรดคอรอล (red coral) ฟินเลย์ (Frillice iceberg) และบัตเตอร์เฮด (butter head) ซึ่งผักกินใบจำพวกผักสลัดจะปลูกได้ดีและนิยมปลูกในระบบ Nutrient Film Technique (NFT) เป็นการปลูกโดยใช้สารละลายธาตุอาหารแผ่นฟิล์มบางๆ ประมาณ 1-3 มิลลิเมตรไหลผ่านรากผักที่ปลูกบนรางตามความลาดชันเป็นอย่างต่อเนื่อง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) ในการเพาะปลูกมีการใช้วัสดุปลูก

¹ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

* Corresponding author: E-mail: prommart.ko@kmitl.ac.th

หลากหลาย เช่น ฟองน้ำ เพอร์ไลท์ เวอร์มิคูไลท์ พีทมอส เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วผักสลัดต้องการอากาศที่อบอุ่น อุณหภูมิและช่วงแสง ที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตทั้งในด้านของใบ ต้น ราก ในการปลูกผักสลัดต่อสภาพอากาศในฤดูร้อนของเกษตรกรจึงประสบปัญหา ผักแคะแกรนไมโต รากเน่า ต้นเหี่ยวตาย ซึ่งทำให้เสียมูลค่าทางด้านเศรษฐกิจ และผลผลิตลดลง เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุเพาะที่เหมาะสมต่อสภาพอากาศ ดังนั้นจึงได้ศึกษาเปรียบเทียบ ผลของวัสดุเพาะเพอร์ไลท์และฟองน้ำ ซึ่งเป็นวัสดุเพาะที่นิยมใช้ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดที่ปลูกในฤดูร้อน

อุปกรณ์และวิธีการ

การเพาะกล้าในวัสดุปลูกเพอร์ไลท์และฟองน้ำ

การเพาะกล้าในวัสดุปลูกเพอร์ไลท์โดยเทเพอร์ไลท์ลงในถาดปลูกขนาด 5 × 5 เซนติเมตร โดยประมาณ 2/3 ของถาด จากนั้นนำเมล็ดผักสลัด 5 สายพันธุ์ (lettuce) ได้แก่ สลัดคอส (cos) กรีนโอ๊ค (green oak) เรดโอ๊ค (red oak) เรดคอรัล (red coral) และบัตเตอร์เฮด (butter head) ใส่ลงในเพอร์ไลท์พอประมาณไม่ลึกจนเกินไป รดน้ำทุกวันเมื่อครบ 7-10 วัน นำถาดปลูกที่มีต้นกล้าย้ายลงวางอนุบาลต่อไป

การเพาะกล้าในวัสดุปลูกฟองน้ำ นำแผ่นฟองน้ำขนาด 12 × 8 นิ้ว สูง 1 นิ้ว มาแช่น้ำให้เปียกชุ่ม โดยที่มีขนาดช่องปลูกขนาด 1×1 นิ้ว จากนั้นนำเมล็ดผักสลัดทั้ง 5 สายพันธุ์ ใส่ลงในตรงกลางช่องฟองน้ำช่องละ 1 เมล็ด แล้วรดน้ำทุกวัน เมื่อครบ 7-10 วัน นำกล้าใส่ลงในถาดปลูกเพื่อย้ายลงวางอนุบาลต่อไป

การทดสอบผลของวัสดุปลูกเพอร์ไลท์และฟองน้ำ ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดในฤดูร้อน

การศึกษาผลของวัสดุปลูกเพอร์ไลท์และฟองน้ำต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด (lettuce) 5 สายพันธุ์ ต่อสภาพอากาศในฤดูร้อน ดำเนินการทดลองในระบบปลูกพืชโดยไฮโดรโปนิคส์แบบ nutrient film technique (NFT) ในสภาพโรงเรือนของเกษตรกร (Figure 1) โดยใช้สูตรสารละลายเข้มข้นสูตร KMITL2 จากนั้นปรับให้สารละลายมีความเจือจางลงที่ EC 1.6-1.8 ms/cm แล้วปรับค่า pH ให้เท่ากับ 5.8-6.0 ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการผลิตโดยรอบการผลิตที่ 1 ปลูกในช่วงเดือน เมษายน-พฤษภาคม 2559 และ รอบการผลิตที่ 2 ปลูกในช่วงเดือนพฤษภาคม - กรกฎาคม 2559 วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) ทำการเก็บข้อมูลจากรางปลูกจำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น

วิธีการเริ่มจากนำกล้าผักสลัดทั้ง 5 สายพันธุ์ อายุ 1 สัปดาห์ ย้ายมาบนรางปลูกอนุบาล 1 และเมื่ออายุครบ 2 สัปดาห์ ย้ายผักสลัดไปที่รางปลูกอนุบาล 2 จากนั้นเมื่ออายุครบ 4 สัปดาห์ให้นำผักสลัดทั้ง 5 สายพันธุ์ ทั้งที่ใช้วัสดุปลูกแบบเพอร์ไลท์ และฟองน้ำย้ายวางบนรางปลูกและจะทำการเก็บเกี่ยวเมื่ออายุครบ 6 สัปดาห์ ซึ่งทำการบันทึกผลการทดลองโดยการวัดขนาดทรงพุ่มทุกๆ 4, 5 และ 6 สัปดาห์และชั่งน้ำหนักสด สัปดาห์ที่ 4 และ 6

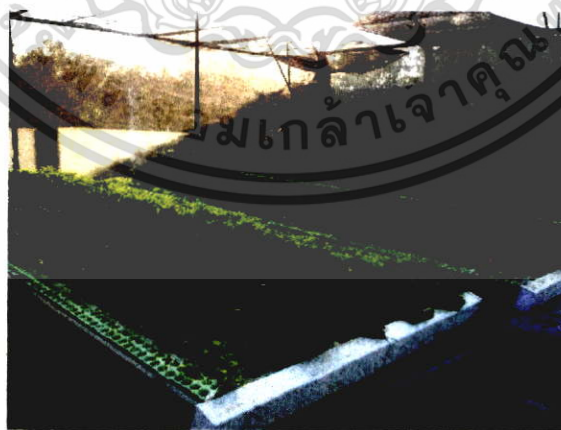


Figure 1 Lettuce grown in nutrient film technique (NFT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบของวัสดุเพาะเปอร์ไลต์และฟองน้ำต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด 5 สายพันธุ์ ในฤดูร้อน

โดยทดสอบกับสลัด cos, green oak, red oak, red coral และ butter head โดยการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ระบบ Nutrient Film Technique (NFT) จำนวน 2 รอบการผลิต ได้แก่ รอบการผลิตที่ 1 ปลูกในช่วงเดือน เมษายน- พฤษภาคม 2559 ซึ่งจากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในโรงเรือนพบว่าอยู่ที่ 25-46 องศาเซลเซียส ส่วนรอบการผลิตที่ 2 ปลูกในช่วงเดือน พฤษภาคม - กรกฎาคม 2559 พบว่า มีอุณหภูมิภายในโรงเรือนอยู่ที่ 25-43 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าผลการเจริญเติบโตตั้งแต่ช่วง 4-6 สัปดาห์ การเจริญเติบโตของผักสลัดแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของสายพันธุ์ เมื่อพิจารณาในสายพันธุ์เดียวกันที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกต่างกัน พบว่า ขนาดของทรงพุ่มในสัปดาห์ที่ 4-6 ของทั้ง 2 รอบการผลิต มีขนาดทรงพุ่มที่เพิ่มต่อดัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือในสลัด cos, green oak, red oak, red coral และ butter head มีขนาดทรงพุ่มอยู่ในช่วง 5.7-10.2, 8.4-10, 5.1-6.1, 5.6-7.5 และ 5.3-8.3 เซนติเมตร ตามลำดับ (Figure 2, 4)

ในส่วนของการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นต่อดัน พบว่า ผักสลัดที่นำมาทดลองส่วนใหญ่ มีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นต่อดัน ไม่ค่อยแตกต่างกันทางสถิติ คือในสลัด cos, red oak, red coral และ butter head มีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นต่อดันอยู่ในช่วง 13.1-15.4, 9.1-11.5, 7.9-16.8 และ 15.6-46.4 กรัม ตามลำดับ ยกเว้นผักสลัด green oak ที่พบว่าในรอบการผลิตที่ 1 และ 2 ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ การใช้วัสดุฟองน้ำให้ผลดีกว่าการใช้วัสดุปลูกเปอร์ไลต์อย่างมีนัยสำคัญ คือ 20.8 และ 16.6 กรัม และ 58.8 และ 26.3 กรัม ตามลำดับ (Figure 3)

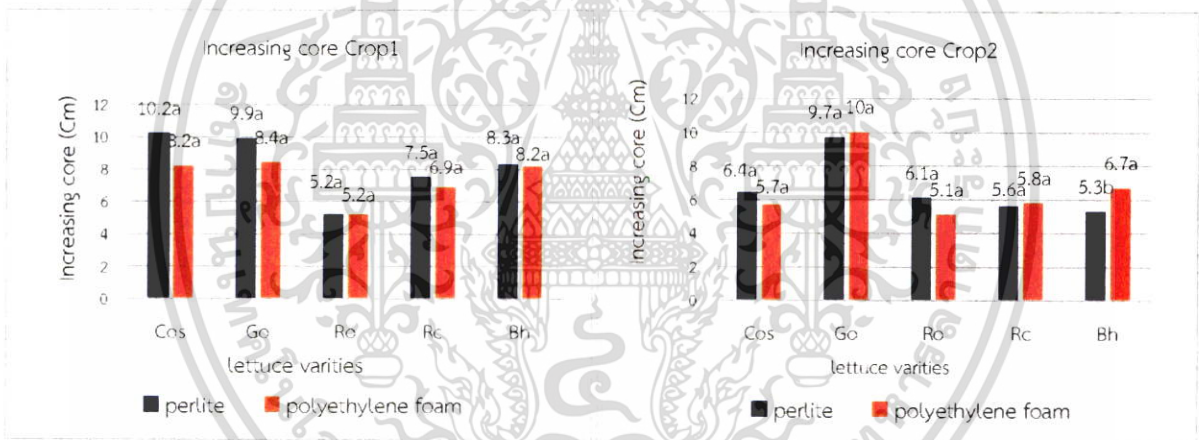


Figure 2 Increasing core diameter of five varieties of lettuce grown in NFT using perlite and polyethylene foam as seedling substrate in crop 1 and 2 during hot season.

: mean followed by the same letter was not significantly difference by DMRT at p = 0.05 (n=10)

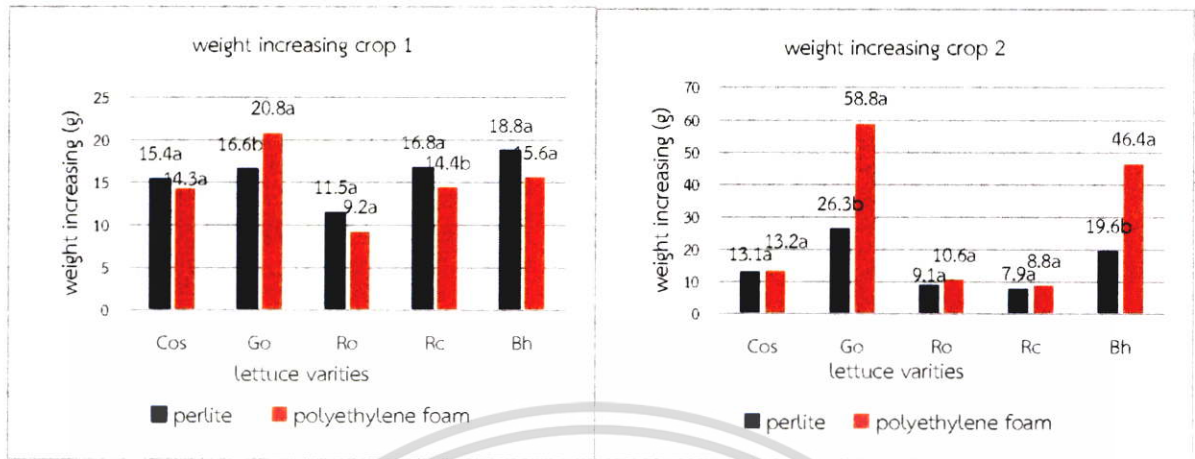


Figure 3 Increasing weight of five varieties of lettuce grown in NFT using perlite and polyethylene foam as seedling substrate in crop 1 and 2 during hot season.

: mean followed by the same letter was not significantly difference by DMRT at $p = 0.05$ ($n=10$)



Figure 4 Comparison in size of lettuce variety between using perlite and polyethylene foam as seedling substrate. : P=perlite; F=polyethelene foam

วิจารณ์ผลการทดลอง

ผักสลัดแต่ละชนิดมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน เป็นผลมาจากสายพันธุ์ความทนทานต่ออุณหภูมิและการตอบสนองต่อวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน จากการทดลองผลของวัสดุปลูกเพอร์ไลต์และฟองน้ำต่อการการเจริญเติบโตของผักสลัด 5 สายพันธุ์ ได้แก่ คอส (cos) กรีนโอ๊ค (green oak) เรดโอ๊ค (red oak) เรดคอรอล (red corral) และบัตเตอร์เฮด (butter head) ในฤดูร้อนพบว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 4-6 ผักที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกเพอร์ไลต์และฟองน้ำมีขนาดทรงพุ่มและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นให้ผลไม่คอยแตกต่างกัน ทั้ง 2 รอบการผลิต ยกเว้น สายพันธุ์กรีนโอ๊ค ที่พบว่าการปลูกด้วยวัสดุปลูกฟองน้ำทำให้ผักมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นดีกว่าวัสดุปลูกเพอร์ไลต์ทั้ง 2 รอบการผลิต ซึ่งผลการทดลองได้สอดคล้องกับรายงานของ ปิยะภรณ์ (2556) ที่ระบุการใช้วัสดุปลูกฟองน้ำในการผลิตผักสลัดกรีนโอ๊คด้วยระบบ NFT โดยใช้สารละลายมาตรฐานสามารถให้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงสุด โดยชนิดกรีนโอ๊คอาจสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงได้ เนื่องจากทำการทดลองในระหว่างเดือน เมษายน-กรกฎาคม 2559 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-46 องศาเซลเซียส พบว่ากรีนโอ๊คที่ใช้วัสดุปลูกฟองน้ำเจริญเติบโตได้ดีกว่าเพอร์ไลต์โดยวัดจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณรากที่เจริญออกมาก่อนฟองน้ำสามารถดูดซึมสารละลายธาตุอาหารได้ดีกว่าเพอร์ไลต์ ซึ่งรากเจริญอยู่แต่ในวัสดุปลูกจึงสามารถดูดซึมสารละลายธาตุอาหารได้น้อยกว่า ดังรายงานของ ดิเรก (2550) ได้กล่าวไว้ว่า การปลูกพืชไร่นาในระบบไฮโดรโปนิคส์แบบ Nutrient Film Technique (NFT) ในโรงเรือนเพาะปลูก ระบบปิด จะต้องควบคุมให้มีความชื้นสัมพัทธ์ 25-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60-80 % อุณหภูมิภายในรางปลูก 18-30 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของต้นกล้าและความแตกต่างของอุณหภูมิในรางอนุบาลกับรางปลูก

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองครั้งนี้ สรุปได้ว่าการปลูกผักสลัดในสภาพอากาศร้อน วัสดุเพาะกล้าเพอร์ไลท์และฟองน้ำ ไม่ค่อยมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด cos, red oak, red coral และ butter head แต่อย่างใด โดยมีขนาดทรงพุ่มและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ทั้ง 2 รอบการผลิต ไม่ค่อยมีความแตกต่างกัน ยกเว้นในสลัด green oak ที่พบว่าการใช้ฟองน้ำเป็นวัสดุเพาะ จะให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ดีกว่าการใช้เพอร์ไลท์เป็นวัสดุเพาะ ข้อมูลที่ได้จึงเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุปลูกที่เหมาะสมกับผักสลัดแต่ละสายพันธุ์ ในสภาพอากาศฤดูร้อน อย่างไรก็ตาม อาจมีศึกษาในวัสดุเพาะอื่น หรือกรรมวิธีต่าง ๆ ที่สามารถช่วยให้การปลูกผักสลัดในสภาพอากาศร้อนได้ผลผลิตที่ไม่ลดลงมากนักต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2558). การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1.
- ดิเรก ทองอร่าม. (2550). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน: หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจ ในประเทศไทย (ฉบับปรับปรุงใหม่พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: พิมพ์ดีการพิมพ์
- ดิเรก ทองอร่าม.(2553). นวัตกรรมและเทคโนโลยีเพื่อการปลูกพืชผักโดยไม่ใช้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์ ปีที่ 10 (2).
- ปิยะภรณ์ จิตรเอก. (2556). ผลของน้ำหมักชีวภาพร่วมกับสมุนไพรต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัด 4 ชนิดในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์. วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 62 หน้า.



Growth and Yield of Chinese Kale Grown in Dynamic Root Floating Technique (DRFT) by Reused Nutrient Solution

Nakorn Boonnoi, Itthisuntorn Nuntagij and Prommart Koohakan*

Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

Nakorn Boonnoi, Itthisuntorn Nuntagij and Prommart Koohakan (2017). Growth and Yield of Chinese Kale Grown in Dynamic Root Floating Technique (DRFT) by Reused Nutrient Solution. International Journal of Agricultural Technology 13(7.1): 1469-1477.

In re-circulated nutrient solution of hydroponics may lead to the accumulation of NaCl and an imbalance of essential minerals when using for long-run. This phenomenon affects on a NaCl sensitive plant such as lettuce. Commonly, the nutrient solution should be periodically changed and refilled. However, the waste or used nutrient solution (UNS) still contains essential minerals. For that reason, we focused on using of the UNS from grown lettuce in nutrient film technique (NFT) to other growing system. In this experiment, UNS was recharged by adding with the stock nutrient solution of leafy vegetable (KMITL2) and adjusted the concentration to 2.5 mS/cm and pH 5.8 for growing Chinese kale by dynamic root floating technique (DRFT). Comparison with control, that was new nutrient solution (NNS) prepared by the same stock (KMITL2) and adjusted the concentration and pH to the same level of UNS. The result from 2 crops was found that Na accumulation was increased in both NFT and DRFT. The UNS showed higher Na content than that in NNS. Other growth parameters such as; number of leaf, stem diameter, average weight per plant, fresh weight, dry weight and total yield were not significantly different. Furthermore, using UNS was shown to reduce the water, fertilizer, and acid consumption for Chinese kale production around 84-100, 65-76, and 26-55%, respectively. This experiment is the first step to improve the efficiency use of water and fertilizer by using the UNS to the second growing system. Our further research will focus on utilizing the UNS to the other growing system in continuously which leading to reduce cost and be friendly to the environment with zero waste production system.

Keywords: Hydroponics, reused nutrient solution, waste nutrient solution

Introduction

Soilless culture or hydroponics is a very popular growing system for consumption in household up to large scale industry. This cultural system can make income very well, because of the consumers prefer pesticide-free vegetables with high nutritional value. Therefore, hydroponics for vegetable production tends to increase in many area. Soilless culture is divided into two

*Corresponding Author: Prommart Koohakan. E-mail address: prommart.ko@kmitl.ac.th

groups: 1) aggregate hydroponics or substrate culture (usually the nutrient solution is non-recirculated), 2) solution culture or hydroponics (mostly nutrient solution is recirculated in the system). Regarding solution culture, there are many cultural techniques such as nutrient film technique (NFT), deep flow technique (DFT) and dynamic root floating technique (DRFT). The most popular technique for leafy vegetable production is NFT because it provides the highest yield per unit area and can be produced 20 cycles year round (Nuntagij, 2014). However, management of nutrient solution has to be focused and well-organized. In circulating system, the nutrient solution passes through plant root, an exchange is taken place. As a result, as time goes by, the nutrient solution changes in concentration. Therefore, its EC and pH has to be monitored regularly. The EC measures referred to total fertilizer that dissolve as minerals in the nutrient solution, while plants uptake each essential minerals differently, therefore the high uptake mineral that plants need so much, will be inadequate and tends to decrease. Whereas low intake mineral that plants slightly need, will accumulate and causes an imbalance of nutrient solution (Grattan and Grieve, 1999). Such as, sodium chloride (NaCl) if accumulates in the nutrient solution, it may cause phytotoxic to plants (Qin *et al.*, 2013). In generally, farmers have to change nutrient solution every 2-3 weeks which is the best insurance against crop damage (Roberto, 2003). The UNS from hydroponics releases to environment can induce eutrophication, causing algal boom and the loss of oxygen in the water. Besides, UNS may be toxic to animals and people (Park *et al.*, 2008). Developed countries greatly concern about waste in agriculture. The waste from the agricultural production system was restricted to the release to environment (Kumar and Cho, 2014). There have been many researches in many countries regarding the utilization of UNS such as in growing tomato (Gent and Short, 2012), chinese cabbage (Choi *et al.*, 2011a), red pepper (Park *et al.*, 2005), musk melon (Zhang *et al.*, 2006). Therefore, we intended to utilize the UNS for growing Chinese kale in DRFT in Thailand in order to increase the value of waste nutrient solution as well as to reduce its production cost and waste from agricultural release to environment.

Materials and methods

Lettuces were grown in Nutrient film technique (NFT)

Experiments were conducted in greenhouse at farmers farm in Nakorn Ratchasima province. Lettuces were grown in the nutrient film technique (NFT) system (figure 1A). Growing lettuces were used nutrient solution of leafy vegetable, KMITL2 solution (Nuntagij, 2014) that prepared to stock A solution (80 g FeEDDHA, 3800 g CaNO₃) and stock B solution (1800 g KNO₃, 650 g

KH_2PO_4 , 1000 g MgSO_4 and micro element: 4.756 g ZnSO_4 , 1.016 g CuSO_4 , 14.194 g MnSO_4 , 8.894 g Boric acid and 0.343 g Ammonium molybdate). Stock A and B of KMITL2 solution were diluted with tap water to the concentration of 1.6-1.8 mS/cm and adjust pH to 5.8 by nitric acid. Six cultivars of lettuce seeds (*Lactuca sativa* var. Cos, green oak, red oak, frillice iceberg, red coral and butter head) were sow in growing cup $5 \times 5 \times 5.2$ cm. fully with perlite as sowing media and daily watering until germination. Lettuce seedlings 7-10 day of aged were transferred to nursery 1, nursery 2 and planting gully at the age of 1, 2 and 4 weeks, respectively (Fig 1A). Harvesting was done at the age of 6 wk; therefore lettuce would be harvested in every 2 weeks. Then the nutrient solution was regularly changed to the new one and UNS from NFT was also collected to be reused for growing Chinese kale in DRFT system.

UNS management for growing the Chinese kale in DRFT

Managing the UNS before applying to DRFT grown Chinese kale was recharged by adding with stock of KMITL2 solution and adjust the concentration to 2.5 mS/cm, pH 5.8. Comparison with control, that was new nutrient solution (NNS) prepared by the same stock of KMITL2 solution and adjusted the concentration and pH to the same level of UNS. The two treatments were arranged in a randomized complete block design with three replications. Each block comprised 2 plots, of size 1×3.2 m per plot. The experiment was repeated twice with difference in growing space. Crop 1 and 2 were determinate at inter and intra-row spacing of 19×12 and 38×24 cm respectively. Seedlings were prepared in polyethylene foam size $1 \times 1 \times 1$ inch. Then, seedlings were transplanted on the DRFT system at 1 week of age and harvested at 6 weeks after sowing (fig 1B).

Growth and yield parameters such as number of leaf (4, 5 and 6 weeks after sowing), stem diameter, fresh and dry weight of stem and leaf, average weight per plant and total yield (at the harvesting age) were determined. Meanwhile, the data regarding UNS management such as water consumption, fertilizer and nitric acid were also recorded. Besides, concentration of all elements in the nutrient solution of NNS and UNS were also analyzed either the beginning or the end of experiment. Regarding analysis of nutrient solution, all samples were analyzed for nutrient EC and pH determined using the Consort C831 (multi-parameter analyzer). NH_4^+ and NO_3^- were determined using stem-distillation method. P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn and Na were determined using ICPOES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry)

Data analysis: The results were subjected to the analysis of variance and means were separated according to the Duncan's multiple range (DMRT) test at $P = 0.05$ probability level.

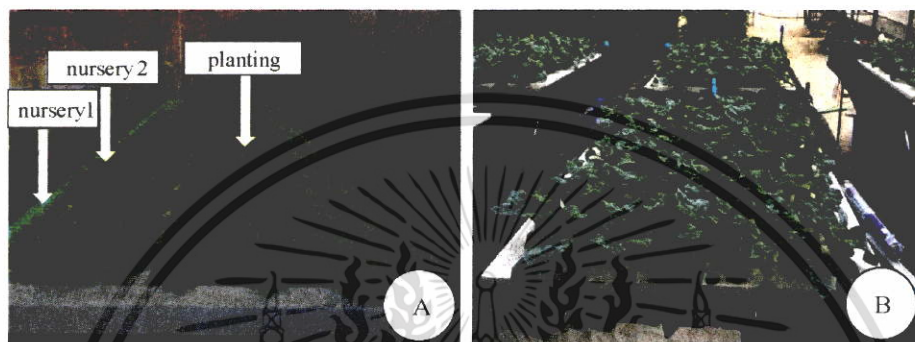


Figure 1: A= Lettuce grown in nutrient film technique (NFT) B= Chinese kale grown in Dynamic root floating technique (DRFT)

Results

Using NNS and UNS on growth and yield of Chinese kale in DRFT system

The UNS used for growing-Chinese kale in DRFT revealed that growth parameters at 4, 5 and 6 weeks of age including number of leaf and stem diameter was not significant difference compared with NNS (table 1). In addition, yield parameters of Chinese kale including, average weight per plant, edible fresh weight, dry weight and total yield grown in UNS was also not significant difference compared with that grown in NNS (table 2). Moreover, using UNS both in crop 1 and 2 could reduced water consumption, fertilizer and nitric acid for this production upto 92.84-100, 49.64-61.75 and 25.65-27.55 % respectively (table 3). Therefore using UNS, which was already recharge, for growing Chinese kale in DRFT could be possible without effect on plant growth and could be saved cost as mentioned above.

Table 1. Growth parameters of Chinese kale grown in DRFT with new and used nutrient solution over two croppings.

	Number of leaf			diameter of stem (cm)
	4 week	5 week	6 week	
Crop1				
NNS	5.3a	7.0a	8.6a	1.43a
UNS	5.6a	6.8a	8.8a	1.3a
Crop2				
NNS	7.4a	9.56a	12.1a	3.0a
UNS	7.5a	9.43a	12.16a	2.8a

NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

*The same letter belong with each mean value is not significantly different at a 0.05 significance level

Table 2. Yield parameters of Chinese kale grown in DRFT with new and used nutrient solution over two croppings.

	Number plant	Average weight per plant(g)	Edible fresh weight (g)			Dry weight(g)			Total yield (kg)
			stem	leaf	total	stem	leaf	total	
Crop 1									
NNS	293	39.30a	20.39 a	12.20 a	32.59a	1.40 a	1.27 a	2.67a	11.510 a
UNS	302	37.80a	21.48 a	14.12 a	35.60a	1.44 a	1.24 a	2.68a	11.420 a
Crop 2									
NNS	138	195.40a	110.9 a	86.50 a	197.40 a	6.56 a	7.38 a	13.95 a	26.960 a
UNS	139	178.80a	126.4 a	82.10 a	208.50 a	8.16 a	6.63 a	14.80 a	24.860 a

NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

*The same letter belong with each mean value is not significantly different at a 0.05 significance level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3 Total water, fertilizer and nitric acid consumption for growing Chinese kale in DRFT with new and used nutrient solution over two croppings.

	Total water (L)	Total fertilizer (L)	Total nitric acid (L)
Crop1			
NNS	960.0	8.490	0.688
UNS	0	2.070	0.504
% save	100	61.75	25.26
Crop2			
NNS	793.2	5.070	2.750
UNS	119.6	1.800	1.230
% save	92.84	49.64	27.55

NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

Component of the nutrient solution from new and reused nutrient solution by NFT and DRFT systems

UNS used in this experiment was obtained from the previous nutrient solution used in lettuce grown in NFT. Two weeks after growing lettuce in NFT sample of UNS was collected and analyzed the elements compared with NNS. It was showed that the concentration of all elements in UNS was decrease but many of them still remained in the nutrient solution, except for Na that trended to increase. Therefor, the UNS still useful and could be easily recharged by refilled with stock of KMITL2 solution and adjusted the concentration by EC measures equal to new one that plant needs. However, for exactly recharged the fertilizer should be add only inadequate element by calculated to modify stock of KMITL2 solution, which a further experiment of us. In this report the practically recharged revealed that the components of UNS and NNS of Chinese kale growing in DRFT was similar in concentration upto 6 weeks of cultivation. Except for Na that found high amount after used for long run. Regard to Na, it's concentration in UNS at 1 week and 6 weeks were 26.3 and 81.9 ppm respectively which were much higher than that in NNS (10.8 and 59.0 ppm respectively) (table 4).

Table 4 Component of nutrient solution from NFT system and used and new nutrient solution in DRFT system supplied to the plant.

Description	pH	EC	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na
	-	mS/cm	(ppm)										
NFT-lettuce													
NNS	5.80	1.60	20.1	267	25.0	186	232	34.0	1.42	0.54	0.045	0.039	11.6
UNS	6.84	1.59	10.6	210	0.42	2.52	236	33.2	0.32	0.00	0.02	0.04	24.1
DRFT- Chinese kale													
NNS 1 wk	6.13	2.51	6.15	349	27.9	318	199	39.2	0.93	0.42	0.09	0.10	10.8
UNS 1 wk	5.90	2.70	6.15	377	29.7	208	255	46.2	0.64	0.82	0.08	0.18	26.3
NNS6 wk	6.67	8.90	13.2	150	0.00	733	708	176	1.00	0.16	0.42	0.24	59.0
UNS6 wk	5.96	7.89	17.1	50.9	0.05	1.29	882	155	1.99	0.16	0.22	0.11	81.9

NNS = new nutrient solution; UNS=used nutrient solution

Discussion

In re-circulated nutrient solution of hydroponics may lead to the accumulation of NaCl and imbalance of essential minerals when using for long run (Grattan and Grieve, 1999). From our results, Na accumulate was increased in both NFT and DRFT. This result in line with the research of Baas and Berg (2000) with reported that Na was 0.6 mM at the beginning and continued to increased to 6 and 30 mM at 16 and 30 week of rose-growing in NFT. In the same way, Carmassi *et al.* (2005) reported that NaCl was 10 and 20 mM at the beginning and continued to increased to 16 and 35 mM respectively at 9 day of tomato-growing in recirculated system. Therefore, growing-lettuce in recirculated system for long run without drain out might be reduce the growth and yield. There are many reports show that, Na concentration 50 mM (Al-Maskri *et al.*, 2010) and 17 mM (Qin *et al.* 2013) were affected to growth and yield of lettuce. Farmers have to change nutrient solution every 2 weeks were the best insurance against crop damage, as frequent changes will provide your crop with all the nutrients it needs (Roberto, 2003). This experiment, the UNS from NFT was managed to be used again for growing-Chinese kale. Although, the UNS showed higher Na content than that in NNS. That in line with the other research of Gent and Short (2012) and Choi *et al.* (2011b) with report about Na content in recycle system higher than control of growing-tomato and Chinese cabbage in hydroponics, but we can used the UNS without adverse effect on plant growth.

This study showed that number of leaf, diameter of stem, average weight per plant, fresh weight and dry weight of stem and leaf, total yield of plant using UNS and NNS was not significant difference. Because, family Craciterae

can tolerance to imbalance essential minerals and high accumulation of NaCl (Qin *et al.*, 2013). In addition, it's was needed nutrient higher than lettuce. Therefore, we can additional refill stock nutrient solution. Famers were applied simple in the fields. Our experiment were in line with the serveral research, report that using UNS no significant differences was observed compared with control on the growth and yield of Chinese cabbage (Choi *et al.*, 2011b; Hong *et al.*, 2009), tomato (Gent and Short, 2012), gerbera (Savvas *et al.*, 2002). Moreover, some reported that using UNS was significantly higher growth and yield than control in red pepper (Park *et al.*, 2005), musk melon (Zhang *et al.*, 2006) and Chinese cabbage (Choi *et al.*, 2011a).

In addition, this study found that using UNS could be reduce the water, fertilizer, and acid consumption for Chinese kale production around 84-100, 65-76, and 26-55% respectively. With the same results of Gent and Short (2012) showed that the recycle nutrient solution could be save water everaged 14-17 %. In Conclusion, we conducted to evaluated the possibility of used nutrient solution for alternative water resource consistent to save water shortage in agriculture, and environmental pollution by decreasing the amount of chemical fertilizers during crop cultivation. In this study, UNS was practiclly recharged by refilled with stock of KMITL2 solution. Furthermore, using UNS was shown to reduce the water, fertilizer, and acid consumption for Chinese kale production leading to cost reduction to farmer.

Acknowledgement

Authors would like to Thanks Assoc.Prof.Dr. Thanimmun Jeanaksorn for kidly proves the manuscript. This research was supported by the Thailand Research Fund (TRF)

References

- Nuntagij, I. (2014). Growing system and apply to appropriability. Handbook soilless culture 16th. Faculty of Agricultued Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok.
- Al-Maskri, A., Al-Kharusi, I., and Al-Miqbali, H., (2010). Effects of salinity stress on growth of lettuce (*Lactuca sativa*) under closed-recycle nutrient film technique. International Journal of Agriculture and Biology 12: 377-380.
- Baas, R. and Berg, D.V.D. (2000). Sodium accumulation and nutrient discharge in recirculation system: a case study with roses. Acta Horticulturae 507: 157-164.
- Carnassi, G., Inerocei, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F. and Pardossi, A. (2005). Modelingsalinity buildup in recirculating nutrientsolution culture. Journal of Plant Nutrition 28:431-445.
- Choi, B., Lee, S.S. and Ok, Y.S. (2011b). Effects of Waste Nutrient Solution on Growth of Chinese Cabbage (*Brassica campestris* L.) in Korea. Korean Journal of Environmental Agriculture 30(6): 125-131.

- Choi, B., Lim, J.E., Shin, Y.K., Yang, J.E., Lee, S.S. and Ok, Y.S. (2011a). Effect of Waste Nutrient Solution and Reclaimed Wastewater on Chinese Cabbage Growth and Soil Properties. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 44(3): 394-399.
- Gent, M. P.N. and Short, M. R. (2012). Effect on yield and quality of a simple system to recycle nutrient solution to greenhouse tomato. *Horticultural Science* 47(11): 1641-1645.
- Grattan, S.R and Grieve, C.M. (1999). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* 78: 127-157.
- Hong, K.C., Choi, B., Lim, K.J., Won, J.H., Hur, S.O., Ha, S.K., Kim, N.W., Yang, J.E. and Ok, Y.S. (2009). Effects of reclaimed waste water and waste nutrient solution irrigation on seedling growth of Chinese cabbage. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 28: 171-178.
- Kumar, R. R. and Cho, J. Y. (2014). Reuse of hydroponic waste solution. *Environmental Science and Pollution Research* 21: 9569-9577.
- Park, C.J., Yang, J.E., Kim, K.H., Yoo K.Y. and Ok, Y.S. (2005). Recycling of hydroponic waste solution for red pepper (*Capsicum annum* L.) growth. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 24(1): 24-28.
- Park, J.B.K., Craggs, R.J. and Sukias, J.P.S. (2008). Treatment of hydroponic wastewater by denitrification filters using plant pruning as the organic carbon source. *Bioresource Technology* 99(8): 2711-2716.
- Qin, L., Guo, S., Ai, W., Tang, Y., Cheng, Q. and Chen, G. (2013). Effect of salt stress on growth and physiology in amaranth and lettuce: Implications for bioregenerative life support system. *Advances in Space Research* 51: 476-482.
- Roberto, K. (2003). *How-to hydroponics*. Fourth edition completely revised. The future garden pressa division of future garden, Inc. 97 Rome Street Farmingdale, New York 11735. 102 p.
- Savvas, D. and Gizas, G. (2002). Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. *Scientia Horticulturae* 96: 267-280.
- Zhang, C.H., Kang, H.M., Kim, I.S.. (2006). Effect of using waste nutrient solution fertigation on the musk melon and cucumber growth. *Journal Biology Environment Control* 15: 400-405.

(Received: 26 October 2017; accepted: 25 November 2017)