การพัฒนาระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ

Development of Automatic Hydroorganic Vegetable Growing System

วรินธร บุญยะโรจน์

ศิริชัย สาระมนัส

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายได้คณะ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง การพัฒนาระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ

ผู้วิจัย วรินธร บุญยะโรจน์
ศิริชัย สาระมนัส

ปีที่ทำวิจัย พ.ศ. 2563

บทคัดย่อ

ระบบปลูกผักมีความจำเป็นต้องการแร่ธาตุและสารอาหาร โดยการนำจุลินทรีย์มาใช้กับพืชจะช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี นอกจากนี้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงนั้นมีธาตุอาหารเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ ซึ่งการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในน้ำหมักชีวภาพนั้นใช้ระยะเวลาในการทดลองสามเดือน โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัส ในน้ำหมักชีวภาพ สำหรับประสิทธิภาพการทำงานของระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัตินั้นได้มีการตรวจติดตามตลอดระยะเวลาการทดลอง (45 วัน) และเก็บข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสได้จากความยาวของใบ ความกว้างของใบ และความยาวของราก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงเวลากลางวัน และผักสลัดกรีนคอสสามารถเจริญเติบโตได้โดยใช้น้ำหมักชีวภาพ ซึ่งความเข้มข้นของจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงและความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำหมักชีวภาพนั้นมีส่วนสำคัญในการช่วยให้ผักสลัดกรีนคอสเจริญเติบโตได้ดี และจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงประกอบไปด้วยโปรตีนและวิตามิน นอกจากนี้ ระบบดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายและประหยัดต้นทุนด้านการเกษตรและต้องมีการบำรุงรักษาระบบอย่างสม่ำเสมอ

คำสำคัญ : ไฮโดรออร์แกนิค, น้ำหมักชีวภาพ, ระบบน้ำหมุนเวียน

Title Development of Automatic Hydroorganic Vegetable Growing System

Researcher Varinthorn Boonyaroj
Sirichai Saramanus

Year 2020

Abstract

Vegetable Growing System has an absolute requirement of nutrients and minerals. The microbial application can facilitate in addressing limited access to chemical fertilizer concerns. Moreover, the photosynthetic microorganism community can contribute together in nutrient availability for plant growth. This research aims to develop an automatic hydro-organic vegetable growing system. Moreover, the analytical of photosynthetic microorganism growth rate in fermented juice was also observed within three months in terms of temperature, pH, electroconductivity, total dissolved solids, mixed liquor suspended solids, and phosphorus. The efficiencies of an automatic hydro-organic vegetable growing system were also monitored along an experimental period (45 days of operation optimization). The vegetable growth rate was observed in terms of leaf length leaf width, and root length. These experimental results showed that the phototrophic growth of photosynthetic microorganisms should the main bacterial activity at daytime operation and vegetables could grow by using fermented juice. The photosynthetic microorganism concentration and nutrients concentration in fermented juice was significant to promote the productivity of vegetable growing which the photosynthetic biomass is rich in proteins and vitamins. Besides, this system can be easily applied and also very cost-effective for agricultural practice, and frequent maintenance every experimental run was necessary.

Keywords: Hydroorganic, Fermented Juice, Water Recirculating System

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี พ.ศ. 2563

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ สถานที่ อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการฯ ในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิชาการและวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงินและพัสดุทุกท่าน

ท้ายสุดนี้ คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องที่จะนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
บัญชีตาราง	(ฉ)
บัญชีภาพประกอบ	(ช)
1. บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	3
1.6 แผนการดำเนินการวิจัยโครงการวิจัย	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 ผัก (Vegetable)	4
2.2 ระบบเกษตรอินทรีย์	4
2.3 น้ำหมักชีวภาพ	14
2.4 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหมัก	16
3. วิธีดำเนินการวิจัย	**19**
3.1 การออกแบบระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิค	19
3.2 การวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพ	21
3.3 การเจริญเติบโตของผักไฮโดรออร์แกนิค	23
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	**24**
4.1 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ	24
4.2 การเพาะกล้า	25
4.3 ผลการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพ	27
4.4 ผลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส	34

5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ **39**

5.1 สรุปผลการวิจัย 39

5.2 ข้อเสนอแนะ 39

บรรณานุกรม **40**

ประวัติผู้วิจัย **42**

บัญชีตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ	24
4.2	ปริมาณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบ	25

บัญชีภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1.1	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
3.1	ระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิค	19
3.2	ถังน้ำหมักชีวภาพ	20
3.3	รางปลูกผักไฮโดรออร์แกนิค	20
3.4	การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง	21
3.5	การวิเคราะห์มวลตะกอนจุลชีพ	22
3.6	เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง	23
3.7	ภาพรวมแสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัย	23
4.1	การเพาะเมล็ด	26
4.2	การทดสอบการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนคอส ระยะเวลา 7 วัน	26
4.3	การทดสอบการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนคอส ระยะเวลา 14 วัน	27
4.4	ผักสลัดที่ปลูกด้วยระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ	27
4.5	น้ำหมักชีวภาพ	28
4.6	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักชีวภาพ	29
4.7	ค่าฟอสฟอรัสของน้ำหมักชีวภาพ	30
4.8	ลักษณะตะกอนจุลชีพในน้ำหมักชีวภาพ	30
4.9	ตะกอนจุลชีพในน้ำหมักชีวภาพ	31
4.10	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพ	32
4.11	ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำหมักชีวภาพ	33
4.12	อุณหภูมิของน้ำหมักชีวภาพ	34
4.13	ความยาวและความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส	35
4.14	ความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส	36
4.15	จำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส	37
4.16	ความสูงของลำต้นผักสลัดกรีนคอส	38

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การบริโภคผักเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ช่วยเสริมสร้างสุขภาพร่างกายให้แข็งแรง ซึ่งการผลิตผักปลอดสารพิษมีอยู่หลายรูปแบบ โดยผักปลอดสารพิษตามลักษณะการใช้สารเคมีและฮอร์โมนเป็นประเภทต่างๆ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ผักปลอดสารเคมี ผักไฮโดรโปนิกส์ ผักเกษตรอินทรีย์ ซึ่งพบว่าผักปลอดสารพิษ ยังคงมีการใช้สารเคมีและฮอร์โมนในกระบวนการเพาะปลูก ผักอนามัยใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีกำจัดวัชพืชและแมลง ผักไฮโดรโปนิกส์ใช้สารเคมีร่วมกับฮอร์โมน และระบบผักเกษตรอินทรีย์ไม่มีการใช้สารเคมีในระบบปลูก ผักเกษตรอินทรีย์จึงเป็นผักที่ปลอดภัยจากสารเคมีมากกว่าผักที่ผลิตจากระบบอื่น แต่ในขณะเดียวกันมีรายงานพบสารเคมีตกค้างในผักที่สูงเกินมาตรฐานซึ่งไม่สามารถล้างออกได้ด้วยน้ำหรือทำลายด้วยความร้อนจากการหุงต้ม

การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponic) เป็นรูปแบบผลิตผักอย่างหนึ่งที่สนับสนุนหลักการปลูกผักโดยลดการพึ่งพาปัจจัยภายนอกในการทำเกษตร เช่น ปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง เป็นระบบที่ใช้สารละลายธาตุอาหารและน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงเป็นแนวทางเกษตรอีกรูปแบบหนึ่งในอนาคต เพื่อลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยและระบบน้ำ ซึ่งตามกระบวนการผลิตผักไฮโดรโปนิกส์ไม่จัดอยู่ในกลุ่มของผักอินทรีย์เพราะใช้ปุ๋ยเคมีเป็นสารละลายธาตุอาหาร หากมีการจัดการไม่ถูกวิธีจะทำให้เกิดการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำสาธารณะ ดังนั้นการผลิตผักจึงมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพของผลผลิต ผระสิทธิภาพในการผลิต และผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งการใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อการปลูกผักอินทรีย์ และสามารถนำมาใช้พัฒนาระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ โดยมีศักยภาพเพียงพอเพื่อใช้เป็นธาตุอาหารทดแทนในการปลูกพืชผักได้ เนื่องจากมีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาการพัฒนาระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพในเรื่องการปลูก ไม่ใช้ฮอร์โมน ปุ๋ยและสารปราบศัตรูพืช แต่จะใช้น้ำหมักชีวภาพเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยและสารเคมี ด้วยระบบการปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบที่ใช้น้ำหมุนเวียน มีกระบวนการจัดการน้ำทิ้งอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้มีการใช้น้ำอย่างประหยัด ไม่มีของเสียที่เกิดขึ้น

จากระบบและมีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยอาศัยองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมเพื่อมุ่งเน้นให้เกษตรกรสามารถนำไปต่อยอดปฏิบัติได้เองโดยยึดหลักเศรษฐกิจพอเพียงและสามารถพึ่งพาตนเองในการผลิตพืชผักอย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้มีระบบเกษตรอินทรีย์ที่มีความยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกพืชไฮโดรออร์แกนิคด้วยน้ำหมักชีวภาพ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 พื้นที่ศึกษา อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี

1.3.2 ดัชนีวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของน้ำหมัก และค่าความเป็นกรดด่าง

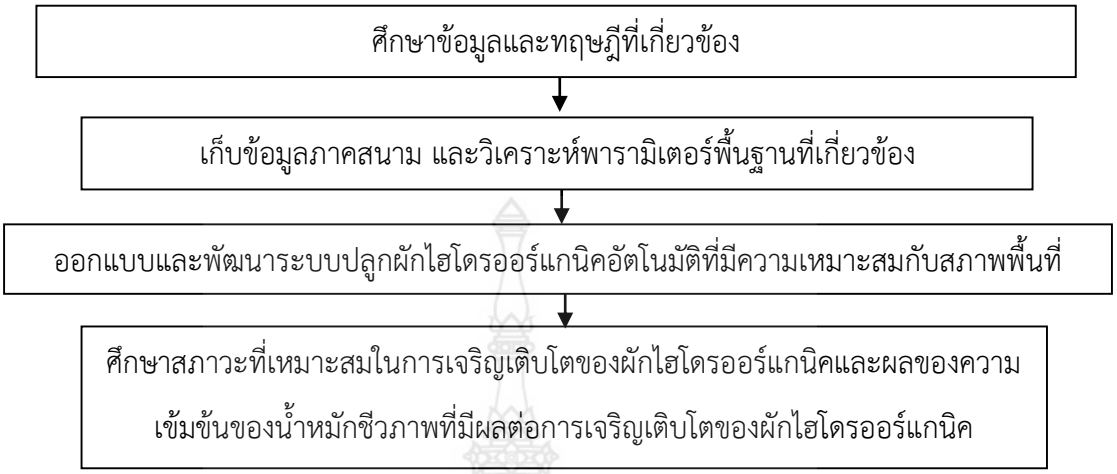
1.3.3 ดัชนีวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ จำนวนใบ ขนาดใบ ความสูงของลำต้น ความยาวของราก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ

14.2 ทราบประสิทธิภาพการปลูกพืชไฮโดรออร์แกนิคด้วยน้ำหมักชีวภาพ

1.5 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

1.6 แผนการดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาดำเนินโครงการวิจัย ตั้งแต่ วันที่ 1 ตุลาคม 2562 ถึง 30 กันยายน 2563

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผัก (Vegetable)

ผักมีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย สามารถปลูกได้ตลอดปี รูปแบบการผลิตพืชผักในประเทศไทยมีความหลากหลายทั้งในลักษณะพื้นที่การผลิต เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต และเป้าหมายของการผลิต เช่น การผลิตเพื่อบริโภคในครัวเรือน การผลิตเพื่อจัดจำหน่าย การผลิตผักหลังฤดูทำนา และการผลิตผักอินทรีย์ โดยแหล่งผลผลิตพืชผักกระจายอยู่ทุกภูมิภาคของประเทศ สำหรับภาคกลางและภาคเหนือมีพื้นที่ในการปลูกพืชผักมากที่สุด และมีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด ผลผลิตส่วนใหญ่ถูกส่งเข้ามาจำหน่ายในกรุงเทพมหานคร ปัจจุบันการบริโภคพืชผักของคนไทยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกระแสความตื่นตัวด้านสุขภาพ ทำให้มีการรณรงค์การบริโภคผักปลอดสารพิษ นอกจากนี้ การนำวิธีการปลูกพืชผักแบบไร้ดินมาใช้เป็นทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพืชผักให้มีปริมาณเพียงพอ และมีคุณภาพสูงสำหรับการผลิตเพื่อบริโภคเองหรือเพื่อพัฒนาการผลิตในเชิงธุรกิจ นอกจากนี้ พืชผักที่ผลิตได้จะมีความสะอาดและสวยงามมากกว่าการปลูกผักแบบใช้ดิน

2.2 ระบบเกษตรอินทรีย์

เป็นเกษตรธรรมชาติที่มีความผูกพันกันในครอบครัว มีรูปแบบการดำรงชีวิตที่มีความพอเพียง โดยเน้นการพึ่งตนเอง แบ่งปันสังคมรอบข้างและการทำประโยชน์เพื่อสังคม แบ่งเป็น 2 แนวทาง ได้แก่ เกษตรอินทรีย์ในเชิงพาณิชย์นิยมปลูกในระบบโรงเรือน ซึ่งช่วยแก้ปัญหาการปลูกผักเมืองหนาว เช่น ผักสลัด ในฤดูฝนได้ดี ผลผลิตมีขนาดและสีเป็นที่ต้องการของตลาด และเกษตรอินทรีย์แบบพึ่งพาตนเอง เน้นการปลูกตามธรรมชาติ ปลูกตามฤดูกาล เช่น ปลูกผักใบแข็งในฤดูฝน และปลูกทุกอย่างที่กิน กินทุกอย่างที่ปลูก โดยเกษตรอินทรีย์นั้นมีข้อดี คือ เกษตรกรมีสุขภาพที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเคมีในการปลูก ดินมีคุณภาพดี มีอินทรีย์วัตถุมากขึ้น สิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศมีความอุดมสมบูรณ์เกิดการพึ่งพากันในธรรมชาติ มีต้นทุนการผลิตต่ำและทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้น เพราะทุกอย่างที่ใช้ ผลิตจากธรรมชาติ เช่น ปุ๋ยหมัก น้ำหมักชีวภาพ สารกำจัดแมลงที่ได้จากสมุนไพร ปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหาย คือ ช่วงฤดูฝนที่มีฝนตกหนักและติดต่อกันยาวนานทำให้ผลผลิตมีความเสียหาย เช่น ปัญหาโรคใบเน่า ใบผักช้ำ ผลผลิตโตไม่เต็มที่ และผลผลิตไม่เพียงต่อความต้องการ

นอกจากนี้ช่วงฤดูร้อนทำให้ผลผลิตเติบโตช้าแต่เมื่อเลือกปลูกผักตามฤดูกาลก็ช่วยลดความเสียหายของผลผลิตบางส่วนได้ (เอกสารการออกแบบระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน, 2562)

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

ความหมายและประเภทของการปลูกพืชแบบไร้ดิน

การปลูกพืชไร้ดินเป็นคำที่แปลมาจากภาษาอังกฤษ 2 คำคือคำว่า Soilless Culture และ Hydroponics ซึ่งสามารถอธิบายได้ 2 ลักษณะ คือ

Soilless Culture เป็นวิธีการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดินโดยไม่ใช้ดิน เป็นวัสดุในการปลูกแต่เป็นการปลูกพืชลงบนวัสดุปลูกชนิดต่างๆ โดยพืชจะใช้วัสดุปลูกเป็นที่ยึดเกาะของรากและสามารถได้รับธาตุอาหารต่างๆ ผ่านสารละลายธาตุอาหารพืช ที่มีน้ำผสมกับปุ๋ยที่มีธาตุต่างๆ ที่พืชต้องการ (Nutrient Solution) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทตามวัสดุที่ใช้ได้ดังนี้

วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร คือ

1) วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ทราย กรวด หิน เกล็ด หินภูเขาไฟ หินซีลท์

2) วัสดุที่ผ่านขบวนการโดยใช้ความร้อน เช่น ดินเผา เม็ดดินเผา ใยหิน หรือ ร็อคคูลเพลอร์ไลท์

3) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เศษอิฐจากการทาอิฐมอญ เศษดินเผาจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผา

วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร คือ

1) วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฟางข้าว ขุยและเส้นใยมะพร้าว แกลบและขี้เถ้า เปลือกถั่ว

2) วัสดุที่เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย กากตะกอนจากโรงงานน้ำตาล วัสดุเหลือใช้จากโรงงานกระดาษ

3) วัสดุสังเคราะห์ เช่น เมล็ดโฟม แผ่นฟองน้ำ และ สารดูดความชื้น เส้นใยพลาสติก แม้ว่าเราเรียกวัสดุที่ใช้ปลูกพืชนี้ด้วยคำรวมๆ ว่า ซับสเตรท (Substrate)

แต่ถ้ามีการใช้วัสดุปลูกพืชเป็นวัสดุใดวัสดุหนึ่งแบบเจาะจง ก็จะเรียกชื่อตามวัสดุที่ใช้ปลูก เช่น การปลูกโดยการใช้ทรายเป็นวัสดุปลูกหรือ Sand Culture, การปลูกโดยการใช้หิน กรวดเป็นวัสดุปลูก หรือ Gravel Culture, การปลูกโดยการใช้ Rockwool เป็นวัสดุปลูก หรือ Rockwool Culture, การปลูกโดยการใช้ขี้เลื่อยเป็นวัสดุปลูก หรือ Sawdust Culture

Hydroponics เป็นรูปแบบผลิตผักอย่างหนึ่งที่สนับสนุนหลักการปลูกผักโดยลดการพึ่งพาปัจจัยภายนอกในการทำเกษตร เช่น ฮอร์โมน ปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ซึ่งเป็นการที่ใช้สารละลายธาตุอาหารและน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงเป็นแนวทางเกษตรอีกรูปแบบหนึ่งในอนาคต เพื่อลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยและระบบน้ำ ซึ่งตามกระบวนการผลิตผักไฮโดรโปนิกส์ไม่จัดอยู่ในกลุ่มของผักอินทรีย์เพราะใช้ปุ๋ยเคมีเป็นสารละลายธาตุอาหาร หากมีการกำจัดไม่ถูกวิธีจะทำให้เกิดการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำสาธารณะ ดังนั้นจึงต้องมีการผลิตผักที่คำนึงถึงประสิทธิภาพในการผลิตควบคู่ไปกับผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้น้ำหมักชีวภาพซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสร้างและพัฒนาระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ โดยมีศักยภาพเพียงพอเพื่อใช้เป็นธาตุอาหารทดแทนในการปลูกพืช

สำหรับการปลูกผักไร้ดินที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยและมีการทำในเชิงธุรกิจมากที่สุด คือ ระบบ Nutrient Film Technique (NFT) เป็นระบบการปลูกพืชที่ให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหาร โดยสารอาหารจะไหลเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ หนา 1- 3 มล. และสารละลายธาตุอาหารจะไหลหมุนเวียนกลับมาใช้ซ้ำอีกครั้ง ซึ่งชุดปลูกผักไร้ดิน ระบบ NFT ที่มีการวางจำหน่ายในเชิงการค้ามีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สูงและไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายเนื่องจากมีน้ำหนักมากอีกทั้งต้องใช้พื้นที่มากในการติดตั้ง (ภิญญพร, 2562)

เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูก กล่าวคือ จะปลูกพืชลงในสารละลายธาตุอาหารพืช โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง (bare roots) hydroponics มาจากการรวมคำในภาษากรีกสองคำ คือ คาว่า "hydro" หมายถึง "น้ำ" และ "ponos" หมายถึง "งาน" ซึ่งเมื่อรวมคำสองคำเข้าด้วยกัน ความหมายก็คือ "water-working" หรือหมายถึง "การทำงานของน้ำ สารละลายธาตุอาหาร)" ผ่านทางรากพืช ดังนั้น การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน จึงหมายถึงวิธีการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดิน โดยปลูกพืชลงบนวัสดุปลูกหรือสารอาหาร โดยไม่ต้องมีวัสดุปลูกก็ได้ เพื่อให้พืชได้รับสารอาหาร หรือสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีหน้าที่ ผสมกับแร่ธาตุที่ต้องการจากทางรากพืช (ศุภฤกษ์, 2561)

แบบปลูกให้รากลอยอยู่กลางอากาศ (Aeroponics) เป็นระบบที่มีการหมุนเวียน สารละลายธาตุอาหาร ส่วนรากของพืชจะแขวนห้อยกลางอากาศลอยอยู่ภายในกล่องหรือตู้ที่เป็นห้องมืด จากนั้นจึงเติมธาตุอาหารแก่รากพืชด้วยการใช้ปั๊มอัดผ่านหัวฉีดให้พ่นสารละลายให้เป็นฝอยละเอียดเป็นระยะๆ ตามช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อให้รากคงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 95-100 ข้อดีของระบบนี้ คือ รากพืชไม่ขาดออกซิเจนและจะเจริญเติบโตได้เต็มที่ ข้อเสียของระบบนี้คือตู้ปลูกมักมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก และต้องลงทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ค่อนข้างสูง จึงมักใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อ

ศึกษาทางสรีระวิทยาของพืชหรือใช้ระบบขนาดเล็กเพื่อปลูกพืชเป็นงานอดิเรกมากกว่าที่จะใช้ในเชิงพาณิชย์

แบบปลูกในวัสดุปลูก (Substrate Culture) เป็นการปลูกในลักษณะที่คล้ายกับการปลูกพืชบนดินมากที่สุด การดูแลรักษาจึงคล้ายกับการปลูกพืชในกระถาง แต่ใช้วัสดุปลูกอื่นแทนดินเพื่อให้รากพยุงลำต้นอยู่ได้ การปลูกในวัสดุปลูกปริมาณของวัสดุปลูกจะน้อยกว่าดินมาก คือรากพืชจะมีพื้นที่ในการหาน้ำและอาหารไม่เกิน 5 ลิตรต่อต้น ดังนั้นการจัดการเกี่ยวกับน้ำและธาตุอาหารจะต้องดูแลเป็นพิเศษ ต้องควบคุมปริมาณน้ำในวัสดุปลูกให้เหมาะสม โดยนอกจากใช้วัสดุปลูกที่มีการระบายน้ำดี อุ้มน้ำได้น้อย มีอัตราส่วนระหว่างน้ำและอากาศที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องควบคุมการให้สารละลาย ต้องระวังไม่ปล่อยให้วัสดุปลูกแห้งจนไม่มีความชื้นเหลืออยู่ เพราะถ้าแห้งถึงระดับหนึ่งรากอาจไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ ทำให้เกิดความเสียหายได้ วิธีที่เหมาะสมคือ ให้ครั้งละน้อยๆ แต่ให้บ่อยๆ เหตุนี้เองระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติจึงเป็นสิ่งจำเป็น สูตรและความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารจะต้องเหมาะสมกับชนิดพืช ช่วงการเจริญเติบโต และสภาพภูมิอากาศ ก่อนปลูกควรปรับ pH ของวัสดุปลูกให้อยู่ในช่วง 5.5-6.0 โดยใช้สารละลายกรดไนตริกเจือจาง ข้อควรระวังอีกอย่างหนึ่ง คือ ต้องเก็บเศษรากพืชที่เหลือออกจากวัสดุปลูกให้หมดเมื่อต้องเริ่มปลูกพืชครั้งใหม่

แบบปลูกในสารละลายธาตุอาหาร (Liquid Culture) เป็นการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ที่ได้รับความนิยมมากกว่าแบบอื่นๆ และใช้ได้ดีในที่ที่มีแดดจัด วิธีการหลักคือการนารากพืชจุ่มลงในสารละลายโดยตรง รากพืชไม่มีการเกาะยึดกับวัสดุใดๆ ยังสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ ดังนั้นจึงมักใช้การยึดเหนี่ยวในส่วนของลำต้นไว้แทนเป็นการรองรับรากของต้นพืชเพื่อการทรงตัวหลักการนำรากพืชจุ่มในสารละลายและข้อสังเกตในการปลูกพืชในน้ำ คือ ปกติถ้านำต้นพืชที่ขึ้นอยู่บนดินมาวางแช่น้ำในระยะแรกต้นพืชจะยังสามารถเจริญงอกงามต่อไปได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งกลับพบว่า ต้นพืชที่เจริญต่อไปนั้นกลับแสดงอาการเหี่ยวเฉา โดยสาเหตุมาจากเมื่อรากพืชแช่อยู่ในน้ำนานๆ จะเกิดการขาดออกซิเจนจึงทำให้พืชเฉาตาย ดังนั้นการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารจึงต้องมีหลักและเทคนิควิธีการที่แตกต่างจากวิธีอื่นคือต้องพัฒนารากพืชในต้นเดียวกันนั้นให้สามารถทางานได้ 2 หน้าที่พร้อมๆกัน คือ รากดูดออกซิเจน (Oxygen Roots) และ รากดูดน้ำและธาตุอาหาร (Water Nutrient Roots) การจะทำให้รากพืชทางานได้ทั้ง 2 หน้าที่นั้น ต้องพยายามให้ส่วนหนึ่งของรากพืชสัมผัสกับอากาศได้โดยตรงบริเวณโคนราก (ส่วนนี้ต้องให้มีช่องว่างของอากาศไว้สาหรับให้รากหายใจเอาออกซิเจนเข้าไป และอีกส่วนหนึ่งตรงปลายรากจุ่มแช่อยู่ในสารละลาย) ซึ่งหลักการคือ รากส่วนที่มีหน้าที่ดูดน้าและอาหารสามารถพัฒนา เป็นรากดูดอากาศได้ แต่รากดูดอากาศจะไม่สามารถเปลี่ยนเป็นรากดูดน้าและแร่ธาตุได้ ดังนั้นจึงต้องไม่เติมสารละลายท่วมรากส่วนที่ทาหน้าที่ดูดอากาศ

เพราะพืชจะไม่สามารถดูดออกซิเจนและตายได้ในที่สุด ด้วยหลักการดังกล่าวข้างต้น พืชจึงสามารถจุ่มแช่อยู่ในสารละลายได้โดยไม่เน่าตาย และไม่จาเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการเติมอากาศกับพืชบางชนิด ทั้งนี้จะต้องคานึงถึงระดับของสารละลาย ให้มีความเหมาะสมกับความยาวของรากพืชในแต่ละช่วงอายุของพืชด้วย หรืออาจใช้เครื่องปั๊มอากาศช่วยเติมออกซิเจนให้แก่รากพืช และสาหรับระบบการให้สารละลาย ธาตุอาหารแก่พืชนั้นแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

1) แบบสารละลายไม่หมุนเวียน (non-circulating system) สามารถทาได้โดยเตรียมภาชนะปลูกที่ไม่มีรอยรั่วซึม นาสารละลายที่เตรียมไว้เติมลงในระดับที่พอเหมาะ แล้วนาตะแกรงหรือแผ่นโฟมเจาะรูวางทาบที่ปากภาชนะเพื่อช่วยพยุงต้นให้ทรงตัวอยู่ได้ หลังจากนั้นนาต้นกล้าที่เพาะบนฟองน้ามาสอดเข้าในรูโฟม วิธีนี้ยังเป็นการช่วยปกป้องมิให้แสงสว่างสอดส่องลงมาในสารละลายได้ o อกจากนี้สิ่งสาคัญอีกอย่างที่ต้องคำนึงถึงคือ การเว้นช่องว่างระหว่างพื้นผิวสารละลายกับแผ่นโฟมเพื่อเป็นพื้นที่ให้ออกซิเจนแก่รากพืช

2) แบบสารละลายหมุนเวียน (Circulating System) จุดสาคัญของระบบนี้ คือ การใช้ปั๊มในการผลักดันให้สารละลายมีการไหลเวียนดีขึ้น ข้อดีของระบบนี้คือ นอกจากจะมีการเพิ่มออกซิเจนให้รากพืชโดย ตรงแล้ว ยังเป็นการช่วยให้สารละลายเกิดการเคลื่อนไหวช่วยไม่ให้ธาตุอาหารตกตะกอน ทำให้ต้นพืชได้รับอาหารเต็มที่เป็นระบบที่ใช้แพร่หลายในเชิงพาณิชย์

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชไร้ดิน (เกรียงศักดิ์, 2550)

ปัจจัยทางด้านพันธุกรรม

ยีน (gene) เป็นตัวกำหนดลักษณะการเจริญเติบโตของพืช ไม่ว่าจะเป็นส่วนของราก ลำต้น กิ่ง ก้าน ใบ ตลอดจนดอกและผล การสะสมมวลชีวภาพได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของพืชเอง พันธุ์พืชที่จะใช้กับการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์โดยเฉพาะยังไม่มีหรือมีน้อยมาก

ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม

1) แสง ตามธรรมชาติพืชจะใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน เพื่อทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ใบหรือส่วนที่มีสีเขียว โดยมีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวชนิดหนึ่งที่มีหน้าที่เป็นตัวรับแสงเพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) เป็นกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) และก๊าซออกซิเจน (O_2) พืชที่ปลูกในบ้านหรือเรือนทดลอง อาจใช้แสงสว่างจากไฟฟ้าทดแทนแสงอาทิตย์ได้แต่ก็เป็นการสิ้นเปลืองและไม่สมบูรณเมื่อเปรียบเทียบกับแสงธรรมชาติ

2) อากาศ พืชจำเป็นต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด (CO_2) ที่มีอยู่ประมาณ 0.033 เปอร์เซนต์ ในบรรยากาศ ในการผลิตกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) ซึ่งเปนสารอินทรีย์เริ่มต้น เหตุการณที่พืชจะ

ขาดคาร์บอนไดออกไซด์เป็นไปได้ยาก เนื่องจากมีแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์อย่างเหลือเฟือ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากโรงงานและรถยนต์ ตลอดจนการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น ส่วนก๊าซออกซิเจน (O_2) พืชต้องการเพื่อใช้ในกระบวนการหายใจ (Respiration) เพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตยซึ่งถูกเก็บไว้ในรูปพลังงานเคมี ในรูปของน้ำตาลกลูโคสและสามารถให้เป็นพลังงานเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนกระบวนการเมตาโบลิซึม (Metabolism) ต่างๆ การหายใจของส่วนเหนือดินของพืชมักไม่มีปญหา เพราะในบรรยากาศมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับรากพืชมักจะขาดออกซิเจน โดยเฉพาะการปลูกพืชไร้ดินด้วยเทคนิคการปลูกด้วยสารละลาย (Water Culture หรือ Liquid Culture) จำเป็นต้องให้ออกซิเจนในจำนวนที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช การให้ออกซิเจนแก่รากพืชจะให้ในรูปของฟองอากาศที่แทรกอยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งให้โดยใช้เครื่องสูบลมหรือการใช้ระบบน้ำหมุนเวียน

3) น้ำ คุณภาพน้ำเป็นเรื่องสำคัญมากเรื่องหนึ่งการปลูกพืชเพียงเล็กนอยเพื่อการทดลองจะไม่มีปัญหาแต่การปลูกเป็นการค้า จะต้องพิจารณาเรื่องของน้ำ ก่อนอื่นหากใช้น้ำคุณภาพไม่ดีทั้งองค์ประกอบทางเคมีและความสะอาด จะก่อให้เกิดความล้มเหลว น้ำเป็นตัวประกอบที่สาคัญ โดยจะถูกนำไปใช้ 2 ทาง คือ

- ใช้เป็นองค์ประกอบของพืช พืชมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 90-95 เปอรเซ็นต์ โดยน้ำหนัก พืชใช้น้ำเพื่อก่อให้เกิดกิจกรรมที่มีประโยชน์

- ใช้เป็นตัวทำละลายธาตุอาหารพืชให้อยู่ในรูปไอออนหรือสารละลายธาตุอาหาร พืชโมเลกุลเล็ก เพื่อให้รากดูดกินเขาไป ปกตินำ้ประปาถือว่าใช้ได้ แต่สำหรับการทดลองมักใช้น้ำกลั่นหรือน้ำประปาที่ทิ้งให้คลอรีนหมดไป แหล่งของน้ำที่ดีสุด สำหรับการปลูกพืชไร้ดินเชิงพาณิชย์ คือ น้ำฝนหรือน้ำจากคลองชลประทาน

สารละลายธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารที่พืชต้องการในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตมีทั้งหมด 16 ธาตุซึ่ง 3 ธาตุ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ได้จากน้ำและอากาศ และอีก 13 ธาตุ ได้จากการดูดกินผ่านทางราก ทั้ง 13 ธาตุ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามปริมาณที่พืชต้องการ คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากและธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณน้อย ธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก (Macronutrient Elements) ไนโตรเจน (N) พืชสามารถดูดกินไนโตรเจนได้ทั้งในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) ซึ่งไนโตรเจนส่วนใหญ่ในสารละลายธาตุอาหารพืชจะอยู่ในรูปไนเตรทไอออน เพราะถ้ามีแอมโมเนียมไอออนมากจะเป็นอันตรายต่อพืชได้ สารเคมีที่ให้ไนเตรทไอออน คือ แคลเซียม ไอออน และโปแตสเซียมไนเตรท นอกจากนี้ยังอาจได้จากกรดดินประสิว

(HNO_3^-) ที่ใชในการปรับความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหารพืช ฟอสฟอรัส (P) ในการปลูกพืชไร้ดินพืชตองการธาตุฟอสฟอรัสไม่มากเท่ากับไนโตรเจน และโปแตสเซียม ประกอบกับไม่มีปัญหาในเรื่องความไม่เป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเหมือนในดิน พืชจึงได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอ รูปของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถดูดกินได้ คือ Mono-hydrogen Phosphate Ion (HPO_4^{2-}) สวนจะอยู่ในรูปใดมากกว่ากันขึ้นอยู่กับความเป็นกรดด่างของสารละลายในขณะนั้น โปแตสเซียม (K) รูปของโปแตสเซียมที่พืชดูดกินได้ คือ Potassium Ion (K^s) โปแตสเซียมที่มีมากเกินพอ จะไปรบกวนการดูดกินแคลเซียมและแมกนีเซียม สารเคมีที่ให้โปแตสเซียม คือ Potassuim Nitrate และ Potassium Phosphate แคลเซียม (Ca) รูปของแคลเซียมที่พืชดูดกินได้ คือ Calcium Ion (Ca^{2+}) แหล่ง Ca^{2+} ที่ดีที่สุด คือ Calcium Nitrate เนื่องจากละลายง่าย ราคาไม่แพงและยังให้ธาตุไนโตรเจนด้วยแคลเซียมที่มีมากในสารละลายธาตุอาหารพืช จะไปรบกวนการดูดกินโปแตสเซียมและแมกนีเซียม ในน้ำตามธรรมชาติจะมีแคลเซียมอยู่ปริมาณหนึ่ง การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจึงควรคิดแคลเซียมในน้ำด้วยจะได้ไม่เกิดปัญหาในการมีแคลเซียมมากเกินไป

แมกนีเซียม (Mg) รูปของแมกนีเซียมที่พืชดูดกินได้คือ Magnesium Ion (Mg^{2+}) สารเคมีที่ให้แมกนีเซียมคือ Magnesium Sulfate ($MgSO_4$) ในน้ำธรรมชาติจะมีแมกนีเซียมอยู่ด้วย ฉะนั้นในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจึงควรคำนึงถึงด้วย แมกนีเซียมที่มีมากเกินพอในสารละลายจะไปรบกวนการดูดกินธาตุโปแตสเซียมและแคลเซียม กำมะถัน (S) รูปของกำมะถันที่พืชสามารถดูดกินได้คือ Sulfate Ion (SO_4^{2-}) พบว่า ไม่ค่อยมีปัญหาการขาดกำมะถันในระบบการปลูกพืชไร้ดิน เพราะพืชต้องการกำมะถันในปริมาณน้อย และจะได้รับจากสารเคมีพวกเกลือซัลเฟตของ K, Mg, Fe, Cu, Mn และ Zn เป็นต้น

การควบคุมค่ากรดด่าง (pH) และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลาย การรักษาหรือควบคุมความเป็นกรดด่างและค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายอาหารนี้เพื่อให้พืชสามารถดูดใช้ปุ๋ยหรือสารอาหารพืชได้ดีและเพื่อให้ปริมาณสารอาหารแก่พืชตามที่ตองการ

ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC)

1) ความหมายของค่าการนำไฟฟ้า เป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า ค่าการนำไฟฟ้านี้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายชนิด ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายน้ำอยู่ อุณหภูมิของน้ำขณะทำการตรวจวัด ชนิดของสารที่มีประจุและความเข้มข้นของสารมีประจุแต่ละชนิด ซึ่งส่วนมากจะเกิดจากสารประกอบอนินทรีย์สารมากกว่าสารประกอบอินทรีย์ นอกจากการนี้จำนวนประจุของสารที่มีประจุก็จะมีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำนั้นด้วย

ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ จะหมายถึง ค่าการนำไฟฟ้าของเกลือของธาตุอาหารทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยปกติแล้วน้ำบริสุทธิ์จะมีค่าความนำไฟฟ้าเป็นศูนย์ แต่เมื่อนำธาตุอาหารละลายในน้ำเกลือของธาตุอาหารเหล่านี้จะแตกตัวเป็นประจุบวกและประจุลบ ซึ่งจะเป็นตัวนำไฟฟ้า ทำให้มีค่าความนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเกลือของธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำ (ไพฑูรย์, 2562)

2) เครื่องมือวัดและการเก็บตัวอย่าง หน่วยพื้นฐานที่ใช้วัดการนำไฟฟ้า คือ โมห์ (mho) หรือ ซีเมนส์ (Siemens) ค่าการนำไฟฟ้าวัดเป็น ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร (μmhos/cm) หรือ โมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (μs/cm) การวัดค่าการนำไฟฟ้าทำได้โดยการใช้หัววัด (Probe) และเครื่องวัด (Meter) โดยการใส่แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้วในหัววัดซึ่งจุ่มลงไปในน้าการลดลงของแรงดันไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการต้านของน้ำจะนำไปใช้คำนวณค่าการนำไฟฟ้าต่อเซนติเมตรเครื่องวัดจะแปลงค่าเป็นไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร และแสดงผลให้ผู้ตรวจวัดทราบ เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าบางชนิดสามารถใช้ตรวจวัดปริมาณของแข็งละลายน้ำ (Total dissolved solids; TDS) และความเค็ม (Salinity) ได้ โดย TDS จะวัดได้เป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) และสามารถคำนวณได้จากการนำค่าการนำไฟฟ้าคูณด้วยค่าคงที่ระหว่าง 0.55 ถึง 0.9 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง

3) ความสัมพันธ์ระหว่างสารที่ละลายได้กับสภาพนำไฟฟ้า ในกรณีของสารละลายที่เจือจางสภาพการนำไฟฟาจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งหรือสารที่ละลายน้ำได้ ดังนี้

$$K = TDS/COND$$

หรือ

$$TDS = K (COND)$$

เมื่อ K = คาคงที่ที่แสดงความสัมพันธระหว่าง COND และ TDS

COND = สภาพนำไฟฟา มีหน่วยเป็นไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร

TDS = ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solid) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

4) การควบคุมค่านำไฟฟ้าในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ เนื่องจากปุ๋ยที่ละลายในน้ำที่ค่าของอิออน (ion) ที่สามารถให้กระแสไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นโมท์ (Mho) แต่ค่าของการนำกระแสไฟฟ้านี้ค่อนข้างน้อยมาก จึงมีการวัดเป็นค่าที่มีหน่วยเป็น มิลลิโมท์/เซนติเมตร (milliMhos/cm) อันเป็นค่าที่ได้จากการวัดการนำกระแสไฟฟ้าจากพื้นที่หนึ่งคิวบิกเซนติเมตรของสารอาหาร การวัดค่าการนำไฟฟ้าจะทำให้เราทราบเพียงค่ารวมของการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารพืช(คือน้ำกับปุ๋ยที่เป็นธาตุอาหารพืชทั้งหมดในถังที่ใส่สารอาหารทั้งหมด) เท่านั้น แต่ไม่ทราบค่าของสัดส่วนของธาตุอาหาร

ใดธาตุอาหารหนึ่งที่อยู่ในถัง ที่อาจเปลี่ยนไปตามเวลาเนื่องจากพืชนำไปใช้หรือตกตะกอน ดังนั้น หลังจากมีการปรับค่าการนาไฟฟ้าไปได้ระยะหนึ่งแล้วจึงควรเปลี่ยนสารละลายในถังใหม่เป็นระยะๆ โดยเฉพาะประเทศที่มีอากาศร้อนอย่างประเทศไทย ควรเปลี่ยนสารละลายใหม่เป็นระยะๆ เช่น ทุก 3 สัปดาห์ ซึ่งการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารพืชแต่ละครั้งก็หมายถึงการเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ปกติแล้ว ควรรักษาค่าการนำไฟฟ้าของสารอาหารระหว่าง 2.0-4.0 มิลลิโมห์/เซนติเมตร (milliMhos/cm)

1 (mMho/cm) = 1 Millisiemen/cm (mS/cm)

1 Millisiemen/cm (mS/cm) = 650 ppm ของความเข้มข้นของสารละลาย (salt)

ดังนั้น ปกติแล้วความเข้มข้นของสารอาหารควรอยู่ในช่วง 1,000-1,500 ppm เพื่อให้แรงดันออสโมติกของกระบวนการดูดซึมธาตุอาหารของรากพืชได้สะดวก ค่าการนาไฟฟ้าจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชและระยะการเจริญเติบโตและความแข็งแรงของต้นพืช เพราะค่าการนำไฟฟ้าที่สูงจะยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ค่าการนำไฟฟ้าที่ต่างจะเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นก่อนการให้ผล (Vegetative growth) และสูงขึ้นเมื่อพืชให้ผลผลิต (Reproductive growth)

นอกจากนี้ค่าการนาไฟฟ้านี้ จะแตกต่างกันไปตามความเข้มข้นของแสง เช่น กล่าวคือ ถ้าแสงมีความเข้มข้นมาก พืช ต้องการสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยลง คือ พืชจะดูดน้ามากกว่าธาตุอาหาร โดยการเปลี่ยนสารละลายใหม่เนื่องจากการวัดค่าการนำไฟฟ้า จะทำให้เราทราบเพียงค่ารวมของการนำไฟฟ้าของสารอาหาร คือ น้ำกับธาตุอาหารทั้งหมดในถังที่ใส่สารละลายธาตุอาหารพืชเท่านั้น แต่ไม่ทราบค่าของสัดส่วนของธาตุอาหารแต่ละชนิดที่เปลี่ยนไปตามเวลาที่ให้ เนื่องจากธาตุอาหารบางธาตุพืชนาไปใช้น้อยจึงเหลือสะสมในสารอาหาร เช่น โซเดียมและคลอรีนซึ่งจะมีผลทาให้ความเป็นประโยชน์หรือองค์ประกอบของสารละลายตัวอื่นๆ เปลี่ยนแปลงไป

5) ค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการปลูกพืช ไฮโดรโปนิกส์ โดยส่วนมากค่าที่ใช้วัดสำหรับการปลูกพืชจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.5-5.0 mS/cm โดยพืชแต่ละชนิดก็จะใช้ค่า EC ที่แตกต่างกันออกไป เครื่อง EC Meter เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากและควรมีไว้ใช้ เพื่อตรวจสอบคุณภาพของน้ำ และตรวจสอบความถูกต้องของการละลายธาตุอาหารในระบบน้ำที่ใช้ในการปลูก

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสารละลาย

1) ความหมายของค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ย่อมาจากคาว่า positive potential of the hydrogen ions คือ ค่าที่แสดงถึงปริมาณหรือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (Hydrogen ion: H+) หรือ ไฮโดรเนียมไอออน (Hydronium ion : H3O+) ซึ่งเกิดจากสารที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลกรด (H+) หรือ ด่าง (OH-) เพื่อใช้บอกความเป็นกรดหรือเบสของสารละลาย ซึ่งสามารถแบ่งค่าได้ตั้งแต่ 0 - 14 ดังนี้ สภาพความเป็นกรด (Acid) หมายถึง ค่าที่เป็นกรดด่าง (pH) ต่ากว่า 7 สภาพ

ความเป็นด่างหรือเบส (Base) หมายถึง ค่าที่เป็นกรดด่าง (pH) มากกว่า 7 สภาพความเป็นกลาง (Neutral) หมายถึง ค่าที่เป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 7 ค่า pH ของสารละลายเป็นค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ตามสูตร pH = -log $[H_3O^+]$

โดยที่ $[H_3O^+]$ คือ ความเข้มข้นของ H_3O^+ หรือ H^+ เป็นโมล/ลิตร

เนื่องจาก น้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมี $[H_3O+] = 1 \times 10^{-7}$ โมล/ลิตร ดังนั้น pH = -log $[1 \times 10^{-7}] = 7$ นั่นคือ pH ของน้ำบริสุทธิ์จะเท่ากับ 7 ถือว่ามีสภาพเป็นกลาง คือ ไม่มีความเป็นกรดหรือเบส

2) วิธีวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารลละลาย สามารถวัดได้ 2 วิธี คือ

วิธีเปรียบเทียบสี วิธีนี้เป็นการวัดค่า pH โดยประมาณ มีความถูกต้องประมาณ 0.5 pH ซึ่งทาได้โดยเติมอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมลงไปในสารละลายที่ต้องการวัด pH แล้วเปรียบเทียบสีกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่ทราบค่า pH แน่นอน ซึ่งได้เติมอินดิเคเตอร์ชนิดเดียวกันไปแล้ว หรือใช้กระดาษชุบอินดิเคเตอร์ (กระดาษ pH) จุ่มลงไปแล้วเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน

วิธีวัดความต่างศักย์ วิธีนี้วัด pH ได้อย่างละเอียด (มีความถูกต้อง 0.01 หน่วย pH) โดยการใช้เครื่องมือที่ เรียกว่า พีเอชมิเตอร์ ซึ่งวัด pH ของสารละลายได้โดยการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว

3) การควบคุมค่าความเป็นกรดด่างในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์

ความสำคัญของค่า pH ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่สาคัญอย่างหนึ่งในการปลูกเลี้ยงพืชในแบบไฮโดรโปนิกส์ พืชจำเป็นต้องดูดซึมธาตุอาหารต่างๆ เข้าไปในต้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตทั้งในการปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์และการปลูกในดิน ไม่ว่าสารละลาย ธาตุอาหารจะดีมากเพียงใดพืชอาจเจริญเติบโตไม่ดีเท่าที่ควร และอาจมีปัญหาได้ถ้า pH สูงเกินไปหรือต่ำเกินไป พืชจะดูดซึมธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองได้เป็นปกติก็ต่อเมื่อ pH ของสารละลายธาตุอาหารอยู่ในช่วงที่เหมาะสม พืชส่วนใหญ่ชอบสารละลายที่เป็นกรดเล็กน้อยค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ 5.5 และการรักษาระดับให้ค่า pH อยู่ในช่วง 5.2 ถึง 5.8 ได้อย่างสม่าเสมอจะทำให้พืชผักเจริญเติบโต แต่มีความเสี่ยงในการเกิดโรคเน่าสูง เนื่องจาก pH ของสารละลายธาตุอาหารที่ปลูกเลี้ยงมักจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นจึงมีการปรับ pH ของสารละลายธาตุอาหารให้อยู่ในช่วง 6.0 ถึง 6.5 เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดโรครากเน่าและไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก

ค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ค่า pH ของสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากในการดูดซึมธาตุอาหารที่อยู่ในรูปอนุมูลลบ (ธาตุหรือหมู่ธาตุอาหารที่ถือประจุลบ เช่น ไนเตรท หรือฟอสเฟตเป็นต้น) พืชจะปล่อยด่าง (OH^-) ออกมาแลกเปลี่ยน ส่วนการดูดซึมธาตุอาหารที่

อยู่ในรูปอนุมูลบวก (ธาตุหรือหมู่ธาตุอาหารที่ถือประจุบวก เช่น โพแทสเซียม แอมโมเนียม แมกนีเซียม เป็นต้น) พืชจะปล่อยกรด (H^+) ออกมาแลกเปลี่ยน ดังนั้นผลต่างระหว่างการดูดซึมอนุมูลบวกกับอนุมูลลบจะทำให้มีผลต่างระหว่างกรดกับด่าง (เบส) ซึ่งจะทาให้มีกรดหรือด่างเพิ่มขึ้นจนทำให้ pH เปลี่ยนแปลง โดยทั่วไป pH ของสารละลายธาตุอาหารจะมี pH สูงขึ้นตามลาดับ เมื่อมีจานวนต้นของผักต่อสารละลายธาตุอาหารหนึ่งลิตรมาก pH อาจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนต้องปรับ pH วันละหลายครั้ง ถ้าไม่ทำเช่นนั้น pH จะเพิ่มขึ้นสูงมากจนทาให้ธาตุอาหารบางอย่างตกตะกอน ทาให้รากพืชไม่สามารถดูดซึมธาตุอาหารจากสารละลายธาตุอาหารได้ เนื่องจากรากพืชสามารถดูดซึมสารละลายธาตุอาหารเมื่อธาตุอาหารอยู่ในรูปสารละลายที่แท้จริงเท่านั้น

การปรับค่า pH โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายาตุอาหาร ที่ใช้ปลูกเลี้ยงจะไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้น คือ เป็นด่างเพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นสารหลักที่ใช้ในการปรับ pH ของสารละลายธาตุอาหารจึงเป็นกรด (H^+) เพื่อลด pH ให้พอเหมาะและอนุมูลไนเตรท (NO_3^-) เพื่อชดเชยไนเตรทที่พร่องไปจากสารละลายธาตุอาหารและทำให้ส่วนประกอบของสารละลายธาตุอาหารที่คล้ายคลึงกับเดิมมากที่สุดโดยใช้กรดไนตริกในภาพที่เจือจางมาก

2.3 น้ำหมักชีวภาพ

จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง หรือ PSB (Photosynthesis Bacteria) หรือในอีกชื่อหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์ใช้เรียกตามสิ่งที่มันทำคือ “จุลินทรีย์ลดซัลเฟอร์” (Sulfur-reducing bacteria--SRB) เป็นจุลินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่มของจุลินทรีย์สีม่วง (Purple Sulfur Bacteria) มักจะพบบ่อยในบริเวณน้ำพุร้อน หรือในบ่อปิดที่น้ำไม่มีการเคลื่อนไหว ในทะเลสาปหรือในแหล่งที่มีก๊าซซัลเฟอร์อยู่เยอะ เช่น ในบ่อน้ำพุร้อน นอกจากนี้ยังพบตามแหล่งน้ำเสีย บ่อบำบัดน้ำเสีย อีกด้วย

บทบาทของจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง มีความสำคัญในกระบวนการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ (CO_2 - assimilation) และการตรึงไนไตรเจน (Nitrogen Fixation) นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในห่วงโซ่อาหารซึ่งสัตว์ขนาดเล็ก ปลา กุ้ง หอย และปูสามารถนำจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมาใช้เป็น

อาหารได้นอกจากนี้ ในน้ำเสียจากบ้านเรือนและน้ำเสียจากการทำปศุสัตว์สามารถบำบัดด้วยจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจาก PSB ไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มพืช จึงไม่ได้ใช้น้ำเป็นส่วนประกอบในการสร้างอาหารและมันก็ไม่ได้ผลิตอ๊อกซิเจนด้วยแต่ในทางกลับกัน PSB กลับใช้ซัลเฟอร์เป็น Reducing Agent ของไฮโดเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide-H_2S) (ก๊าซไข่เน่า) ในการดำรงชีวิตและขยายพันธุ์

แบคทีเรียกำมะถันสีม่วงมักพบในบริเวณที่ไม่ได้รับการส่องสว่างของทะเลสาบและแหล่งที่อยู่อาศัยอื่นๆ ที่เป็นแหล่งไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สะสมอยู่ ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากธรณีวิทยาหรือชีวภาพสามารถก่อให้เกิดบุปผาของแบคทีเรียกำมะถันสีม่วง สภาวะที่ไม่เป็นพิษ เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสังเคราะห์แสง แบคทีเรียเหล่านี้ไม่สามารถเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อม ที่มีออกซิเจน ทะเลสาบที่เหมาะสำหรับการพัฒนาของแบคทีเรียกำมะถันสีม่วงเป็นทะเลสาบที่มีการย่อยสลายอย่างถ าวร Meromictic ทะเลสาบแบ่งเป็นชั้นเพราะพวกเขามีน้ำทึบ (ปกติน้ำเกลือ) อยู่ด้านล่างและมีความหนาแน่นน้อย (น้ำมักจะสด) ใกล้พื้นผิว การเจริญเติบโตของแบคทีเรียกำมะถันสีม่วงยังได้รับการสนับสนุนโดยการแบ่งชั้นในทะเลสาบholomictic ทะเลสาบเหล่านี้มีชั้นความร้อน ในช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อนน้ำที่พื้นผิวอุ่นขึ้นทำให้น้ำมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำเย็นที่อยู่ใต้พื้นดิน ซึ่งมีความเสถียรมากพอสำหรับการเติบโตของแบคทีเรียกำมะถันสีม่วง ซึ่งหากมีปริมาณซัลเฟตเพียงพอที่จะช่วยลดการปล่อยซัลเฟตออกไซด์ที่เกิดขึ้นในตะกอนจะแพร่กระจายขึ้นไปในน้ำด้านล่างที่เป็นพิษโดยที่แบคทีเรียกำมะถันสีม่วงจะสร้างมวลเซลล์หนาแน่น ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับแบคทีเรีย phototrophic สีเขียว

ประโยชน์ของน้ำหมัก

ช่วยย่อยสลายของเสียในแปลงนา โดยเฉพาะกลุ่มก๊าซไข่เน่า โดยที่จุลินทรีย์จะเข้าไปทำลายพันธะทางเคมี โดยการกำจัด ก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเป็นพันธะทางเคมีหลักของก๊าซไข่เน่า (H_2S) โดยนำของเสียนั้นมาเป็นพลังงานใช้ในการเจริญเติบโตและแบ่งเซลล์ และระหว่างกระบวนการที่กล่าวมานั้นจุลินทรีย์ได้ ขับของเสียออกมาให้อยู่ในรูปกลุ่ม โกสฮอร์โมน ที่มีรายละเอียดเบื้องต้น

ช่วยลดสภาวะโลกร้อนได้อย่างมาก โดยเข้าไปทำลายพันธะเคมีของกลุ่มก๊าซมีเทน (CH_4) โดยการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจน จึงทำให้โครงสร้างเสียไป เหลือแต่คาร์บอนซึ่งสามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ ซึ่งแปลงนาโดยทั่วไปย่อมมีกลุ่มก๊าซของเสียอยู่แล้ว

ช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันโรคพืชได้ดี ทำให้เปลือกหรือลำต้นแข็งแรง ทนต่อการกัดกินของแมลง

ช่วยกระตุ้นเซลล์เจริญบริเวณปลายรากพืชให้ขยายตัวและแตกแขนงได้ดีทำให้มีรากฝอยที่หากินเก่งจำนวนมาก จึงทำให้พืชสามารถเพิ่มผลผลิตได้ดีเนื่องจากการสะสมอาหารได้มาก

สามารถใช้แทนปุ๋ยยูเรีย หรือแอมโมเนียมซัลเฟตได้ โดยใช้หลักการย่อยสลายกลุ่มก๊าซของเสียให้เป็นธาตุอาหารหลักของพืชได้

เมื่อใช้เป็นประจำและต่อเนื่อง สามารถลดการใช้อาหารเสริม หรือปุ๋ยสูตรต่างๆ ลงได้สูงสุด 50 % ทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงกำไรเพิ่มมากขึ้น

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหมัก

น้ำหมักชีวภาพ เป็นปุ๋ยทางเลือกหนึ่งที่ทำมาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิต และลดการใช้ปุ๋ยเคมี จึงการใช้น้ำหมักชีวภาพทั้งแบบฉีด พ่นให้พืช หรือราดลงดิน ตลอดจนการรักษาอินทรียวัตถุไว้ในแปลงโดยไม่เผาทำลาย จะเกิดความสมดุลในระบบนิเวศ ซึ่งนอกจากจะลดต้นทุนการผลิต ลดความเสี่ยงต่างๆ แล้ว ผลผลิตที่ได้ยังมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ตลอดจนเป็นแนวทางมุ่งสู่เกษตรอินทรีย์ที่เป็นทางเลือกสำคัญในการผลิตสินค้าเพื่อตอบสนองตลาดในประเทศที่พัฒนาแล้วในอนาคต การใช้น้ำหมักชีวภาพทำให้มีปริมาณไส้เดือนและจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น จุลินทรีย์ที่อยู่บริเวณรากพืชบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้และมีความสามารถในการสร้างสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชได้หรือฮอร์โมนแก่ต้นพืชอย่างช้าๆ และต่อเนื่อง โดยไม่จำเป็นต้องซื้อสารสังเคราะห์ที่มีราคาแพง อีกทั้งน้ำหมักชีวภาพยังมีธาตุอาหารสำคัญ และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ รวมถึงกลุ่มธาตุอาหารเสริม เช่น เหล็ก คลอไรด์ สังกะสี โบรอน เป็นต้น แต่พบในปริมาณที่น้อยกว่าปุ๋ยเคมี

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (Potential of Hydrogen ion)

มีความสำคัญมากและมีความสัมพันธ์กับระบบต่าง ๆ มากมาย การวิเคราะห์มักจะวัดความเป็นกรด-ด่าง ด้วยทุกครั้งเนื่องจากสามารถวัดได้ง่าย วิศวกรสิ่งแวดล้อมใช้ความเป็นกรด-ด่างเป็นตัวควบคุมของกระบวนการต่าง ๆ ทั้งในด้านน้ำดีและน้ำเสีย เช่น ระบบการปลิตน้ำประปา ระบบบำบัดน้ำเสีย การตกตะกอน สามารถใช้หาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ การวัดค่าความกรด-ด่าง อื่น ๆ ได้ตลอดจนแสดงค่าความเข้มของการเป็นกรด-ด่าง ทำได้ 2 วิธี

วิธีการเทียบสี (Colorimetric Method)

การวัดความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างน้ำหมักโดยวิธีเทียบสีเป็นการวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยการเทียบสีของตัวอย่างน้ำหมักกับสารละลายมาตรฐานซึ่งทราบค่าความเป็นกรด-ด่าง ในทางปฏิบัติที่นิยมกันคือ ใช้กระดาษวัดความเป็นกรด-ด่าง สีที่เกิดขึ้นจะนำมาเปรียบเทียบกับแถบสี ต่าง ๆ ที่รู้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าที่วัดโดยการใช้กระดาษวัดความเป็นกรด-ด่าง มักไม่ถูกต้องและไม่ละเอียดเหมือนวิธีที่ใช้ไฟฟ้า แต่สะดวกในการใช้ จึงเป็นวิธีที่ใช้ในภาคสนาม

วิธีทางไฟฟ้า (Electrometric Method)

โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง คือการวัดสภาพความเป็นกรดหรือเป็นด่างของสารละลาย ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย โดยวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิงกับอิเล็กโทรดตรวจวัด ความต่างศักย์ที่เกิดจสกจำนวนของไฮโดรเจนไอออน อิเล็กโทรดจะเปลี่ยนความต่างศักย์ที่เกิดจากไอออนให้เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า แล้วขยายให้มีความต่างศักย์สูงขึ้นด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ถ้าวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ได้น้อยกว่า 7 แสดงว่าเป็นกรด ค่าความเป็นกรด-ด่าง มากกว่า 7 แสดงว่าสารละลายเป็นด่าง

ตะกอนจุลชีพ (Mix liquor suspended solids : MLSS)

เอ็มแอลเอสเอสหมายถึงปริมาณหรือความเข้มข้นของจุลชีพในถังเติมอากาศในระบบแอ็กติเวเต็ดสลัดจ์ วิเคราะห์เหมือนปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำในถังเติมอากาศซึ่งเป็นของผสมระหว่างน้ำทิ้งกับตะกอนจุลชีพในถังเติมอากาศ

การออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ ผลการศึกษาพบว่า ปัจจุบันระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์เป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากได้ ผลผลิตที่ดีและทีผลกระทบเนื่องจากสภาวะแวดล้อมน้อยกว่าการปลูกพืชในดินแบบธรรมดาและผลผลิตที่ได้มีระยะเวลาในการเจริญเติบโตที่รวดเร็วกว่าแต่ในปัจจุบันการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ ยังเป็นลักษณะที่มนุษย์เป็นผู้ควบคุมปัจจัยต่างๆ จึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ยากที่จะเป็นไปตามที่กำหนดไว้ และเกิดความยุ่งยากในการดูแล ด้วยเหตุนี้จึงออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการควบคุมค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายที่นำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช เพื่อควบคุมสภาวะให้เหมาะสมตามที่พืชต้องการ ในการทดลองนี้จะเก็บผลการเจริญเติบโตของพืชเปรียบเทียบระหว่างการใช้และไม่ใช้ระบบอัตโนมัติ ซึ่งพบว่าการใช้ระบบอัตโนมัตินั้นทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่เร็วกว่า อีกทั้งในส่วนของการเก็บข้อมูลการลงทุนนั้นยังให้ผลของระยะเวลาการคืนทุนที่สั้นกว่าอีกด้วย (วีระชาติ และคณะ, 2561)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิค

ระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคมีการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานมีการติดตั้งหลอดไฟ LED และแผงโซลาร์เซลล์ โดยติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 50 วัตต์ จำนวน 1 แผง แบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 1 ก้อน และหลอดไฟ LED (3 วัตต์) จำนวน 12 หลอด และปั๊มน้ำขนาดเล็กแบบจุ่ม ขนาด 4.2 วัตต์ จำนวน 1 ตัว โดยมีการใช้ไฟฟ้าทั้งระบบเท่ากับ 149.76 โวลต์

ภาพที่ 3.1 ระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิค

ภาพที่ 3.2 ถังน้ำหมักชีวภาพ

ภาพที่ 3.3 รางปลูกผักไฮโดรออร์แกนิค

3.2 การวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพ

3.2.1 การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Potential of Hydrogen ion)

การวัดค่าด้วย pH indicator paper และการวัดค่าด้วยเครื่อง pH meter นำกระดาษ pH indicator paper (ช่วงค่า pH 0-14) จุ่มลงในน้ำตัวอย่างน้ำหมักชีวภาพ แล้วเทียบกับแถบสี ส่วนการวัดค่าด้วยเครื่อง pH meter นำเครื่องวัด pH meter จุ่มลงในน้ำตัวอย่าง แล้วจดบันทึกค่า

ภาพที่ 3.4 การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

3.2.2 การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ (Temperature)

นำเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำตัวอย่างประมาณ 10-15 นาที จดบันทึกค่าที่ได้

3.2.3 การวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)

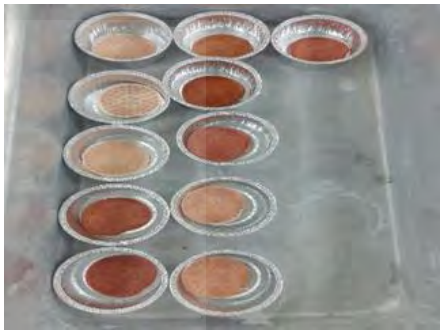
3.2.3.1 อบกระดาษกรองพร้อมถ้วยอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจากนั้นนำกระดาษกรองอบเข้าตู้ดูดความชื้น 1 ชั่วโมงและนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อให้ทราบน้ำหนักของกระดาษกรองก่อนนำไปกรองน้ำตัวอย่าง ดังภาพ 3.9 ก) และ ข)

3.2.3.2 ติดตั้งชุดกรองสุญญากาศบุชเนอร์และปั๊มดูดอากาศโดยวางกระดาษกรองบนบูชเนอร์และล้างด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อยจนกระดาษกรองเปียก

3.2.3.3 ตวงน้ำตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิลิตร (ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำตัวอย่าง โดยทั่วไปใช้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร) เทลงบนกระดาษกรองและเปิดปั๊มดูดอากาศ, จนไม่มีน้ำหยดจากกระดาษกรอง ดังภาพ 3.9 ค)

3.2.3.4 นำกระดาษกรองออกจากบุชเนอร์ใส่ลงบนถ้วยอลูมิเนียมนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจากนั้นนำกระดาษกรองอบเพื่อไล่ความชื้น 1 ชั่วโมงและชั่งน้ำหนักเพื่อให้ทราบน้ำหนักของกระดาษกรองหลังนำไปกรองน้ำตัวอย่าง

3.2.3.5 นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย



ภาพ 3.5 การวิเคราะห์มวลตะกอนจุลชีพ

3.2.4 การวิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัส (Phosphorus)

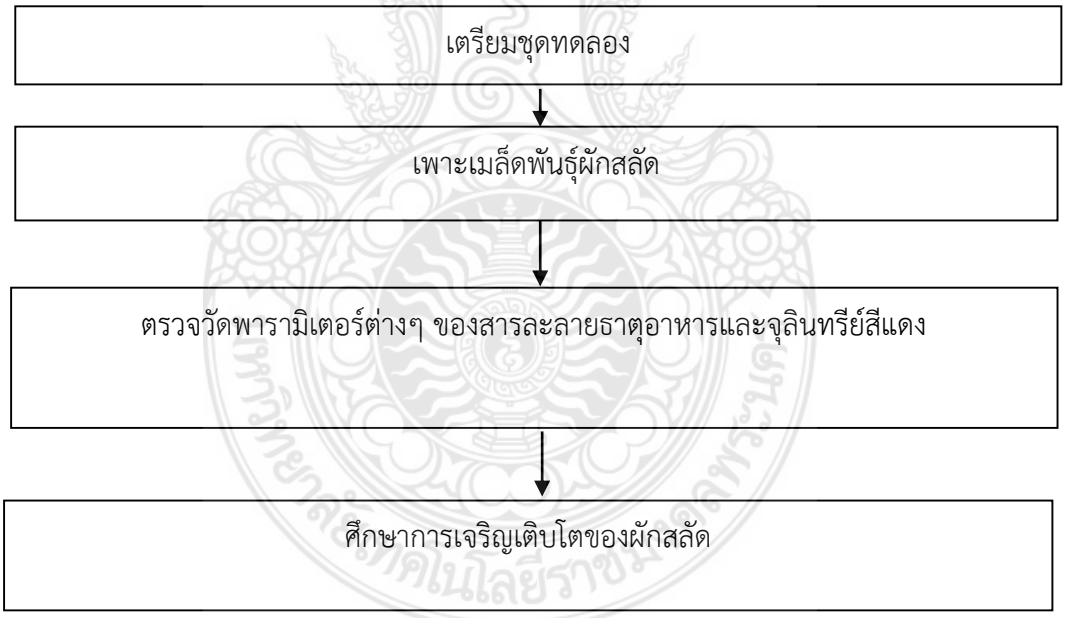
3.2.4.1 การทำให้เกิดสีของน้ำตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างน้ำมา 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเจลดาห์ล
2. เติมกรดซัลฟิวริก 1 มิลลิลิตร และกรดไนตริก 5 มิลลิลิตร
3. ทำการย่อยสลายโดยให้ความร้อนต่ำ ๆ ขณะทำการย่อยจะเกิดควันสีเหลืองของกรดไนตริก ต้องย่อยสลายต่อไปจนกระทั่งสารละลายใสไม่มีสี (ควรทำในตู้ดูดควัน)
4. ทิ้งให้เย็น เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 หยด
5. ค่อย ๆ รินสารละลายโซเดียวไฮดรอกไซด์ 6 นอมอร์ ลงไปจนเกิดสีชมพูอ่อน
6. นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าดูดกลืนแสงความยาวคลื่นที่ 880 นาโนเมตร

ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

3.3 การเจริญเติบโตของผักไฮโดรออร์แกนิค

วิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ จำนวนใบ ขนาดความยาวและความกว้างของใบ ความสูงของลำต้น ความยาวของราก



ภาพที่ 3.7 ภาพรวมแสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ พบว่า ระบบสามารถทำงานได้ตามเกณฑ์ในการทดสอบประสิทธิภาพที่ได้กำหนดไว้ โดยมีอัตราการไหลของน้ำ (n= 5) ของชุดการทดลองมีอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 40.25±0.25 มิลลิลิตรต่อวินาที โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพ ได้กำหนดไว้อัตราการไหลของน้ำ เท่ากับ 40 mL/sec และมีการทำงานของปั๊มน้ำ เท่ากับ 40 mL/sec

4.1.1 เปรียบเทียบการทำงานของระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ

ศึกษาปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการเดินระบบของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน โดยเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของชุดทดลองที่มีการติดตั้งชุดควบคุมแบบใช้พลังงานไฟฟ้าจากบ้านเรือน ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ

อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าในชุดควบคุม	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์)		
	24 ชั่วโมง	30 วัน	180 วัน
บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์	0.03	0.90	5.40
ปั๊มน้ำ	0.10	3.00	18.00
หลอดไฟ LED	0.65	19.50	117.00

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของชุดเพาะปลูกในน้ำที่มีการติดตั้งชุดการสั่งการแบบใช้พลังงานไฟฟ้าจากบ้านเรือน พบว่า ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 0.03 กิโลวัตต์ ปั๊มน้ำใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 0.10 กิโลวัตต์ หลอดไฟ LED ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 0.65 กิโลวัตต์ และในระยะเวลา 30 วัน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 1.04 กิโลวัตต์ ปั๊มน้ำใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 3 กิโลวัตต์ หลอดไฟ LED ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 19.44 กิโลวัตต์

4.1.2 ปริมาณค่าไฟฟ้าขอระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ

ปริมาณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบของชุดการสั่งการ เปรียบเทียบจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการเดินระบบ สามารถสรุปได้ว่าในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ชุดควบคุมมีการใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 0.78 กิโลวัตต์ และในระยะเวลา 30 เดือน ชุดควบคุมมีการใช้ปริมาณไฟฟ้าฟ้าเท่ากับ 23.40 กิโลวัตต์ มีอัตราการใช้ค่าไฟเท่ากับ 0.118 บาทต่อชั่วโมง และในระยะเวลา 6 เดือน (180 วัน) ชุดสั่งการมีอัตราการใช้ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 509.40 บาท ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ปริมาณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบ

ระยะเวลา	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
1 ชั่วโมง	0.03	0.118
24 ชั่วโมง	0.78	2.830
30 วัน	23.40	84.790
180 วัน	140.40	509.40

4.2 การเพาะกล้า

เริ่มต้นจากการนำเมล็ดเพาะในถาดหลุมที่มีฟองน้ำรองอยู่ ซึ่งฟองน้ำจะช่วยให้มีการระบายอากาศได้ดี ทำให้เมล็ดพันธุ์มีความชุ่มชื่น แสงแดดส่องไม่ถึง เมื่อต้นกล้าโตขึ้นให้ทำการวัดค่าความสูง ความยาวใบ ความยาวราก ความกว้างใบ และจำนวนใบ หลังจากอายุกล้าประมาณ 21-28 วัน ให้นำต้นกล้าเข้าสู่ระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ

ภาพที่ 4.1 การเพาะเมล็ด

ภาพที่ 4.2 การทดสอบการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนคอส ระยะเวลา 7 วัน

ภาพที่ 4.3 การทดสอบการงอกของเมล็ดผักสลัดกรีนคอส ระยะเวลา 14 วัน

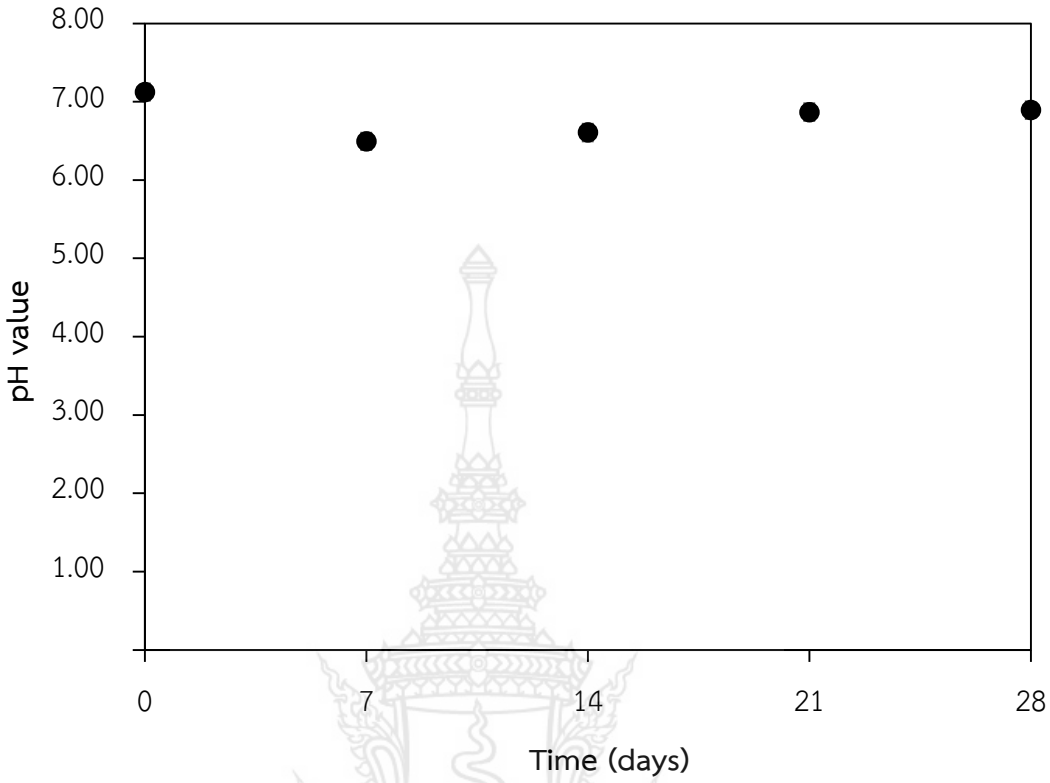
ภาพที่ 4.4 ผักสลัดที่ปลูกด้วยระบบปลูกผักไฮโดรออร์แกนิคแบบอัตโนมัติ

4.3 ผลการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพ

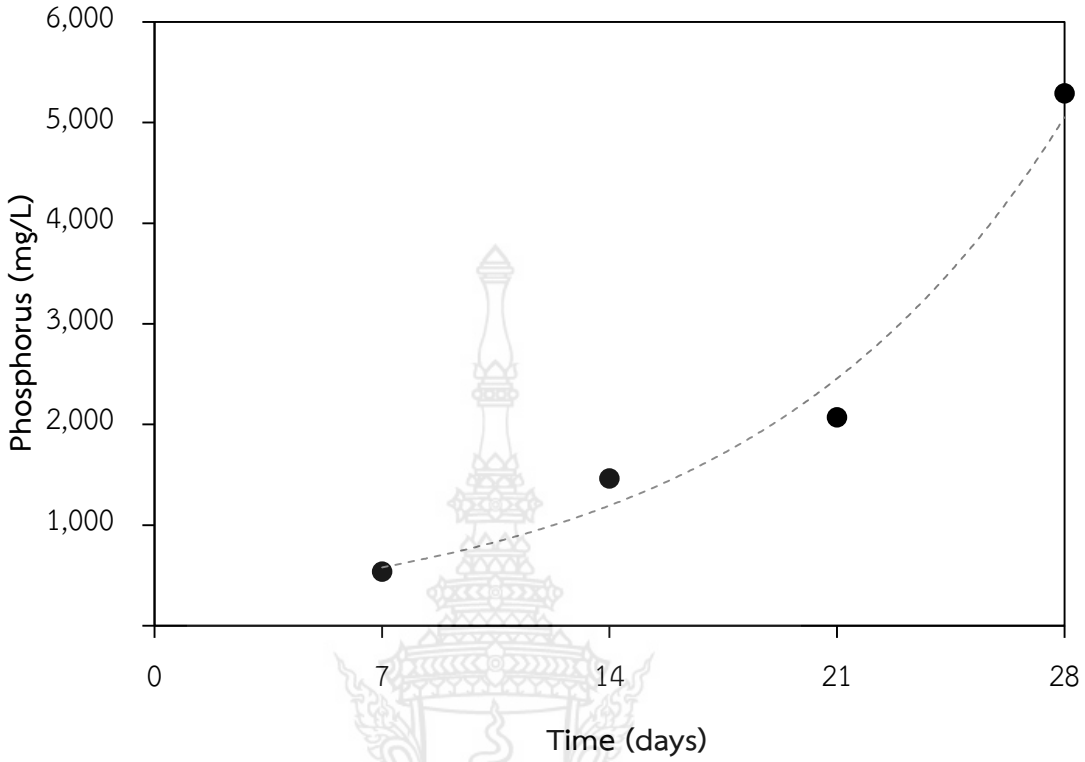
ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นค่าที่บอกปริมาณของกรดที่ปนอยู่ในน้ำ ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในน้ำ จะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความเป็นกลางอยู่ในช่วง 6-8 และช่วงเวลาที่ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีมากที่สุด ก็คือช่วงเวลาที่มีแสงแดดทั้งวัน เพราะจุลินทรีย์

สังเคราะห์แสงมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ทนทานต่อสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง มีอากาศ และไม่มีอากาศได้ ส่วนจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ทนต่อแสงจึงมีข้อจำกัดในการใช้งานซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง ดังนั้น จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถใช้ได้ทุกช่วงเวลาของวัน ซึ่งค่าอุณหภูมิที่ได้มีค่าไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ตลอดช่วงเวลาการเดินระบบ เมื่อวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพ พบว่า ค่าการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ผักสลัดกรีนคอสมีการเจริญเติบโตมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำหมักชีวภาพ โดยค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด จะเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของน้ำหมักและธาตุอาหารในปุ๋ย ตะกอนจุลชีพ (MLSS) มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อหมักเป็นระยะเวลาที่นานตะกอนก็เพิ่มขึ้นด้วยจะส่งผลให้น้ำหมักมีประสิทธิภาพดีด้วยเช่นกันและค่าฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอีกด้วย

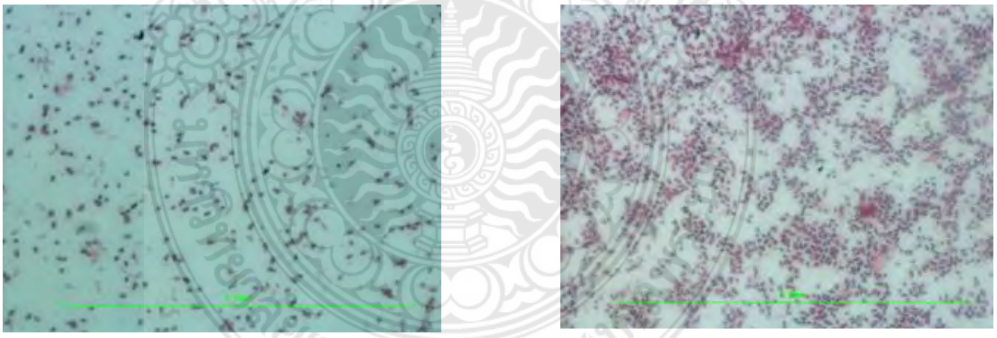
ภาพที่ 4.5 น้ำหมักชีวภาพ



ภาพที่ 4.6 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักชีวภาพ

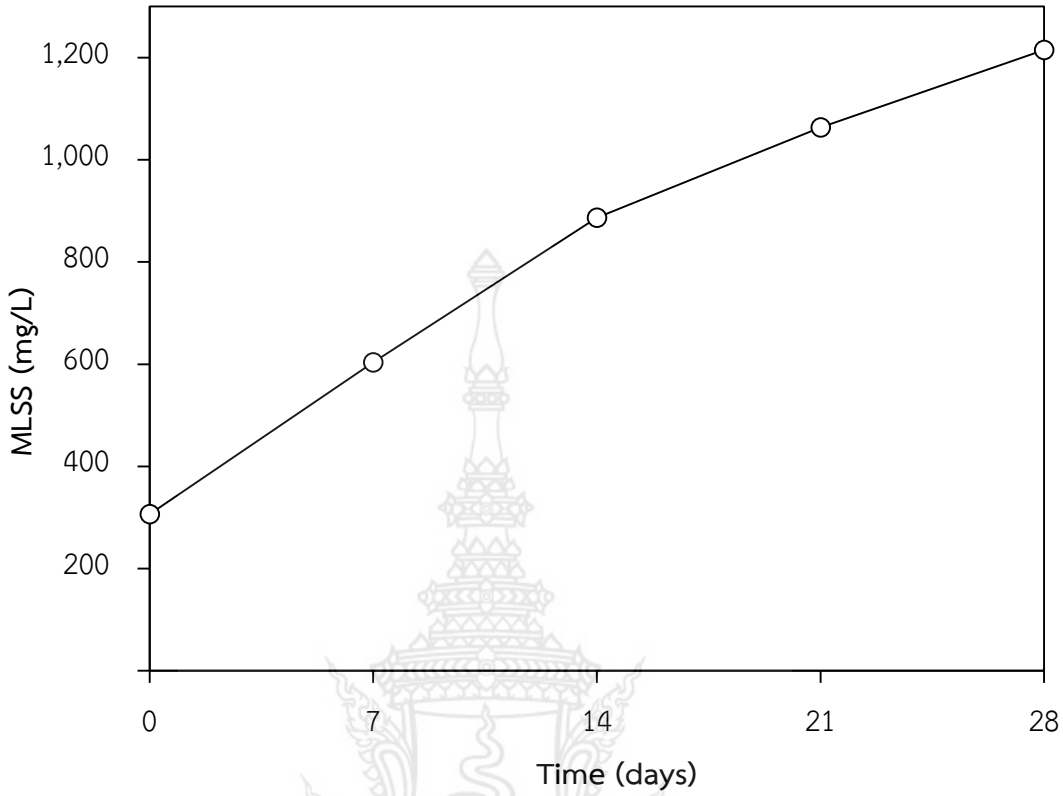


ภาพที่ 4.7 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำหมักชีวภาพ

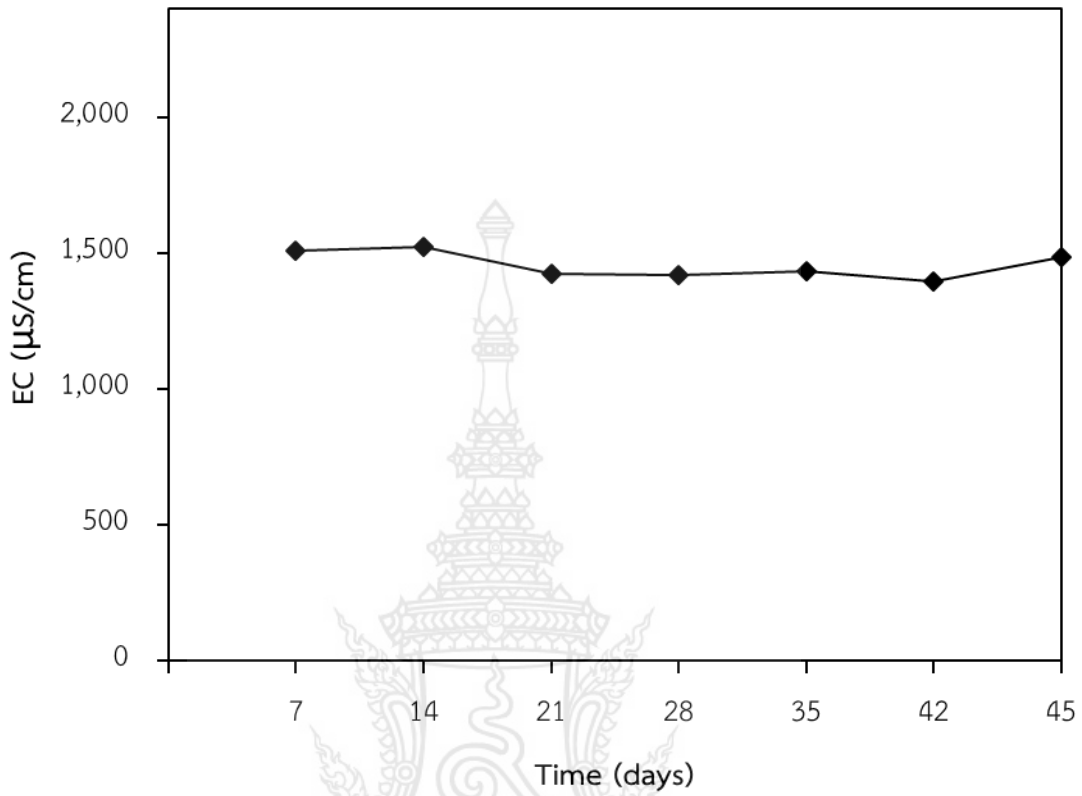


a) Start-up period b) At 35 days of reactor operation

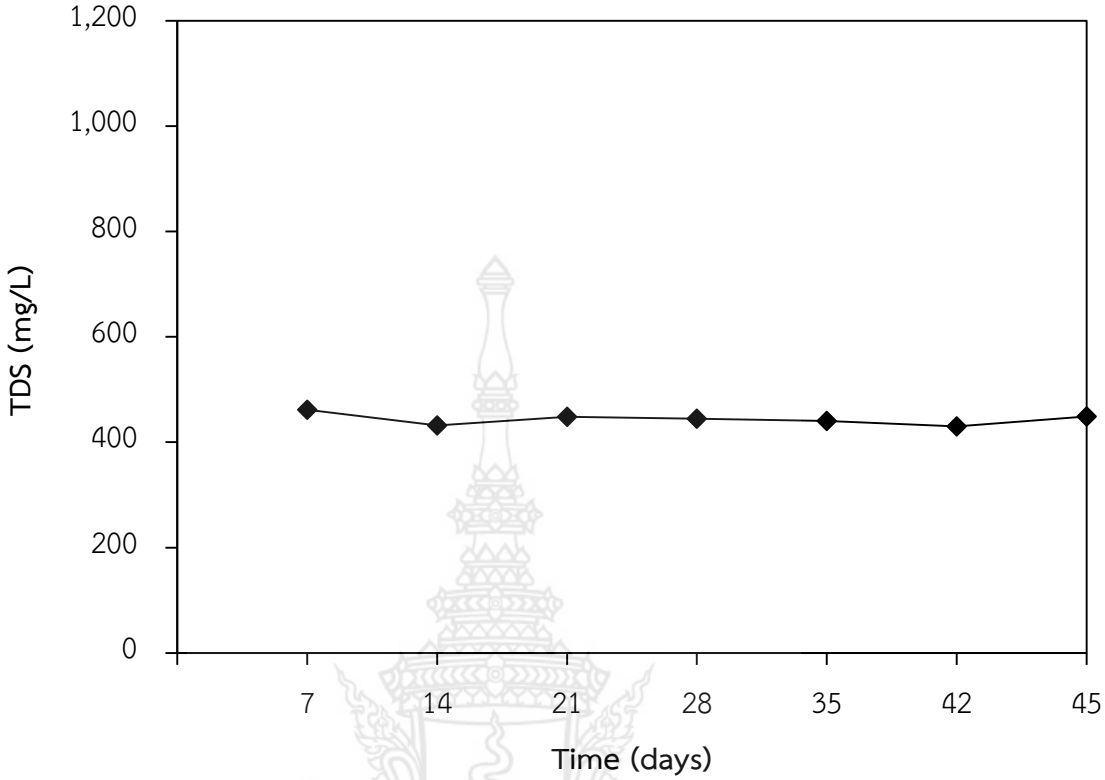
ภาพที่ 4.8 ลักษณะตะกอนจุลชีพในน้ำหมักชีวภาพ



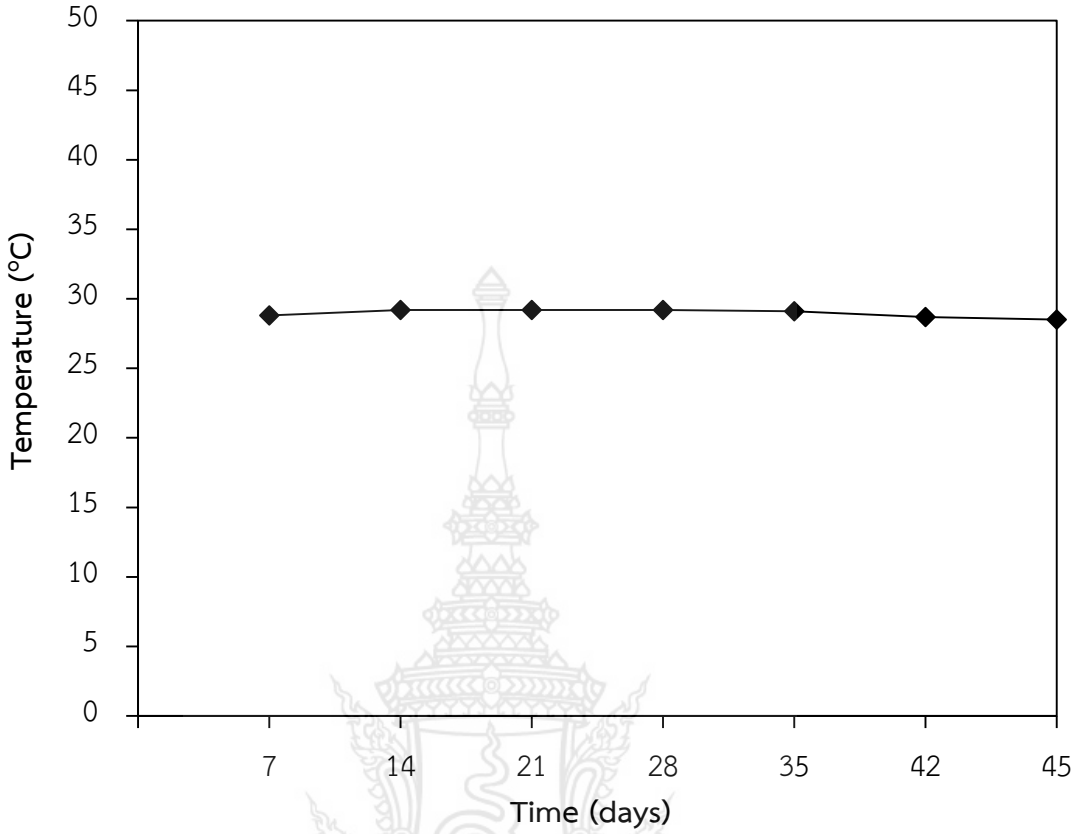
ภาพที่ 4.9 ตะกอนจุลชีพในน้ำหมักชีวภาพ



ภาพ 4.10 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพ



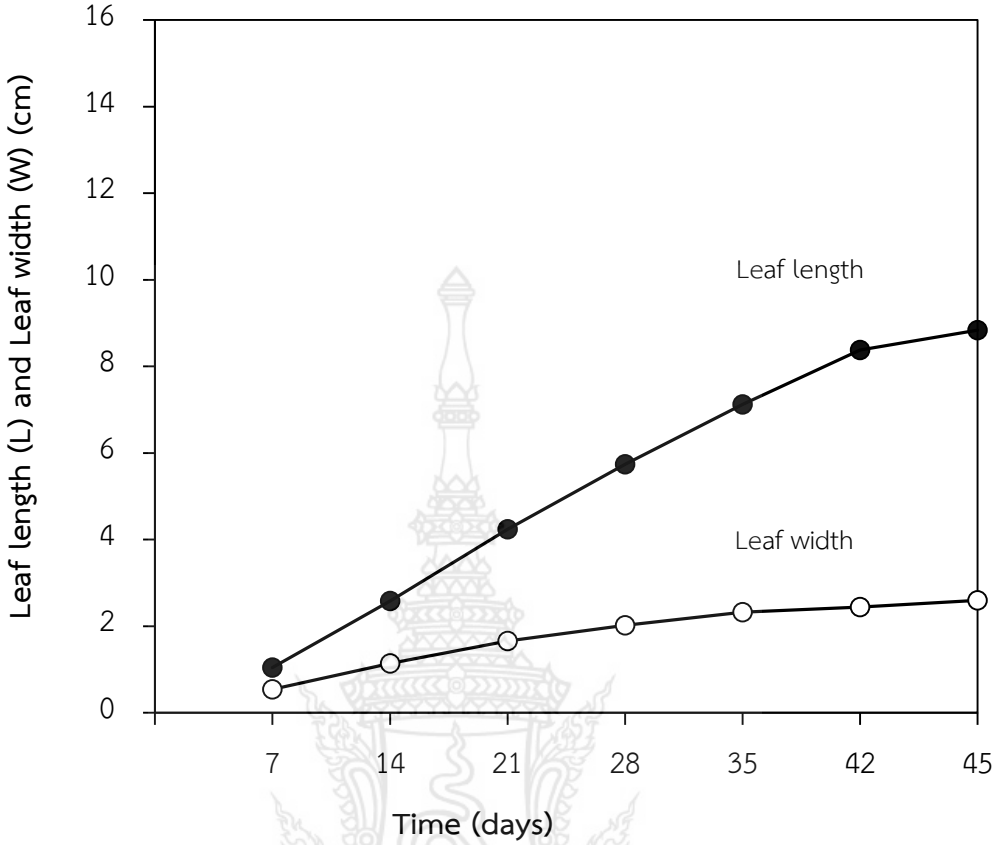
ภาพ 4.11 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำหมักชีวภาพ



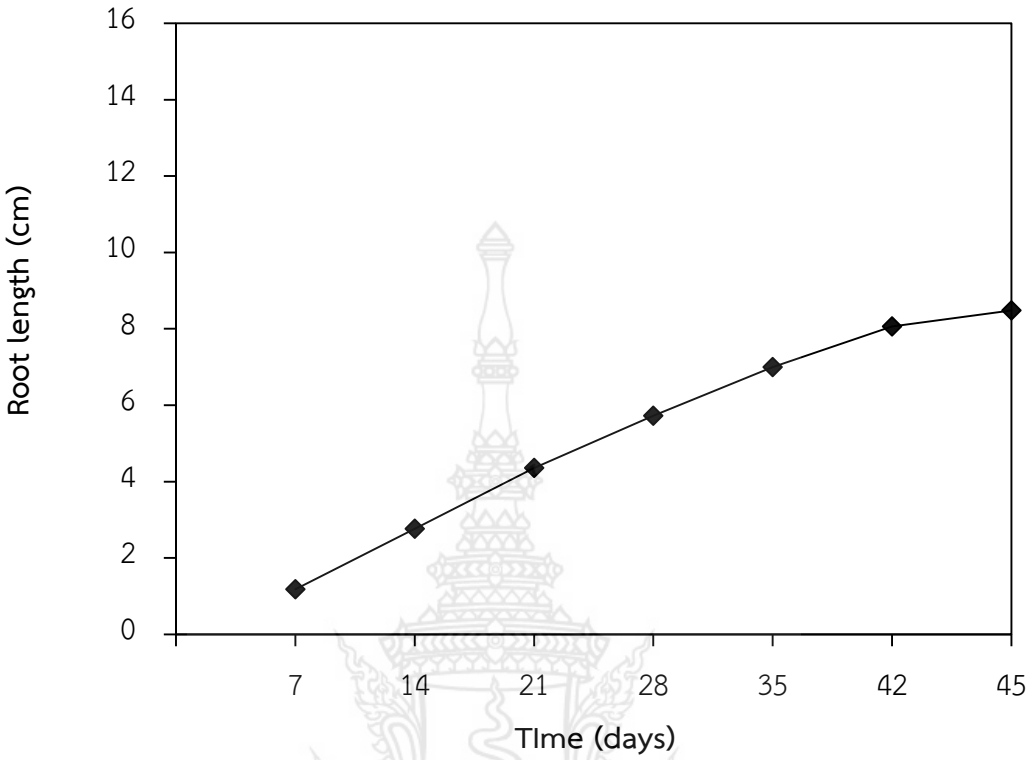
ภาพ 4.12 อุณหภูมิของน้ำหมักชีวภาพ

4.4 ผลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส

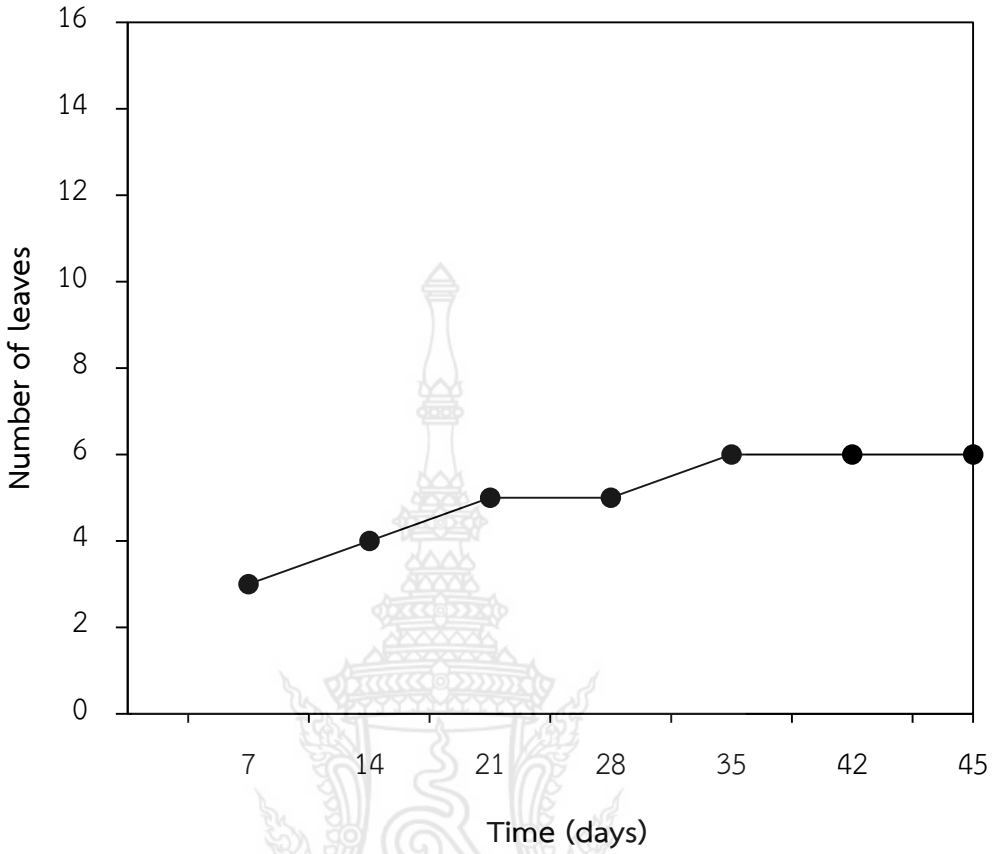
จากการศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสเป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่า ความกว้างและความยาวของใบ ความยาวราก จำนวนใบ และความสูงของต้นผักสลัดกรีนคอสที่มีการรดด้วยน้ำหมักชีวภาพนั้นมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง



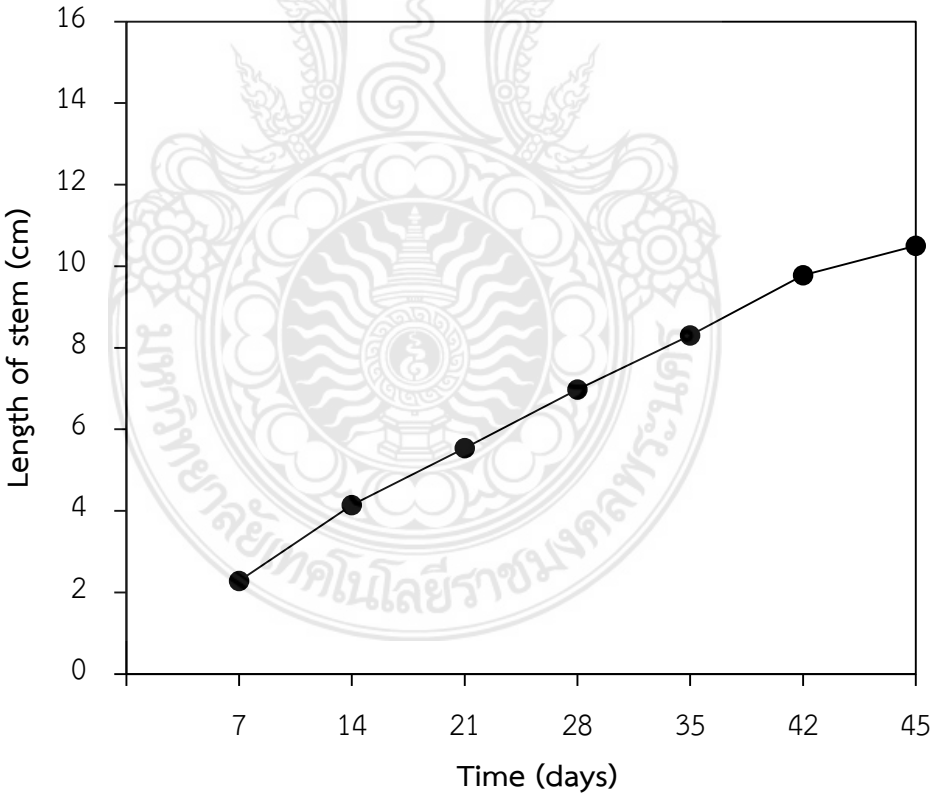
ภาพ 4.13 ความยาวและความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส



ภาพ 4.14 ความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส



ภาพ 4.15 จำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส



ภาพ 4.16 ความสูงของลำต้นผักสลัดกรีนคอส

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสเป็นระยะเวลา 45 วัน เจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสโดยใช้น้ำหมักชีวภาพนั้นผักสลัดกรีนคอสสามารถเจริญเติบได้ดี โดยน้ำหมักชีวภาพซึ่งมีสารละลายธาตุอาหารของพืชโดยมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสซึ่งมีปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง มวลตะกอนจุลชีพ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และอุณหภูมิของน้ำหมัก พบว่า น้ำหมักชีวภาพมีค่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 6-8 และมีมวลตะกอนจุลชีพและธาตุอาหารที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส ทำให้ผักสลัดกรีนคอสสามารถเจริญเติบโตได้ดี

5.1.3 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน โดยมีการเปรียบเทียบจาก ค่าไฟฟ้า ค่าการลงทุน ค่าปุ๋ย และค่าแรงงาน พบว่า มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การใช้น้ำหมักชีวภาพอาจทำให้เกิดเมือกในระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณรางปลูกสายยาง จึงควรหมั่นทำความสะอาดระบบเป็นประจำสม่ำเสมอ

5.2.2 ควรปลูกผักสลัดในฤดูหนาวจะให้ผลผลิตที่ดีกว่าฤดูร้อน

บรรณานุกรม

กรมวุฒิ นงนุช. 2561. **“ระบบสั่งงานด้วยเสียงบนเทคโนโลยีสรรพสิ่งเพื่อประยุกต์ควบคุมมอเตอร์ในงานด้านเกษตรกรรม”**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2558. **การปลูกผักไฮโดรโพนิกส์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ

เกรียงศักดิ์ หนูชู. 2550. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบประหยัด**.สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2563 จาก http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=258&pageid=22&read=true&count=true

ชัยรัตน์ บูรณะ. 2562. **LED นวัตกรรมแสงเทียมเพื่อการผลิตพืชยุค 4.0**. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2563 จาก https://talad.co/blog/led-artificial-light/.

เดลินิวส์. 2558. **ผักสลัด กรีนคอส – เรื่องน่ารู้**. สืบค้นเมื่อ 22 พ.ย. 2562 จาก https://www.dailynews.co.th/agriculture/368846.

นวัตกรรมการเกษตร. 2563. เทคโนโลยีบัณฑิต. สาขานวัตกรรมการเกษตร. มหาวิทยาลัยรังสิต

ธรรมศักดิ์ ทองเกต. 7 ธันวาคม 2562. **การปลูกพืชโดยไมใชดิน (Soilless Culture)**. สืบค้นเมื่อ 22 พ.ย. 2562 จาก http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/other/soliess%20plants.pdf

นิรันดร์ นูเพ็ง. 2555 . **การปลูกพืชแบบไร้ดิน**. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2562 จาก https://bezza001.wordpress.com/2012/09/17/การปลูกพืชไร้ดิน/.

ปิยะดา บำรุงเขตต์ คมสัน แสงอรุณ และชลกานต์ มาตรมณีวงศ์. 2554. **ระบบเฝ้าระวังแปลงผักไฮโดรโพนิกส์ด้วยเซ็นเซอร์ไร้สายผ่านระบบ GSM**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. วิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. (2562). **สภาพนำไฟฟา (Conductivity) และความเค็ม (Salinity)**. สืบค้นเมื่อ 13 ธันวาคม 2562 จาก http://www2.diw.go.th/Research/เอกสารเผยแพร่/5-Conductivity-w.pdf

บรรณานุกรม (ต่อ)

ภิญญพร นิยมโชค. 2562. **การปลูกผักไฮโดรโพนิกส์**. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2562 จาก https://sites.google.com/site/karplukphak7862/home.

เมธา โล่กันไฟ. 2556. **ระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการผลิตผักในระบบไฮโดรโพนิกส์**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วรพจน์ ไพธาเจริญ และอานนท์ ผัดแฝง. (2561). “**การพัฒนาระบบไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับระบบปั๊มสารละลายและระบบควบคุมอุณหภูมิของพืชไฮโดรโพนิกส์**.” วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

วีระชาติ จริตงาม, ภิญโญ ชุมมณี และขจร อนุดิตย์. 2561 “**การพัฒนาระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ.**” การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 28 – 30 พฤศจิกายน 2561.

ศณุตฆ์ แซ่ม้า และสุรชัย แซ่จ๋าว. 2561. “**ระบบรดน้ำแปลงผักอัตโนมัติ**.” อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

ศุภฤกษ์ เชาวลิตตระกูล. 2561. **ระบบปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

สำราญ สาราบรรณ์. 2563. **การส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่เพื่อเกษตร 4.0**. กรมส่งเสริมการเกษตร

อมรรัตน์ ลิ้มมณี. 2558. “**เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์**.” การดำเนินการด้านธุรกิจพลังงานทดแทน. หน้า 10

เอกสารการออกแบบระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน. 2562. สาขาวิศวกรรมชลประทานและการจัดการน้ำ คณะวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ

ประวัติผู้ทำวิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล

(ภาษาไทย) ดร. วรินธร บุญยะโรจน์

(ภาษาอังกฤษ) Dr. VARINTHORN BOONYAROJ

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและที่อยู่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 0 2836 3000 ต่อ 4189

E-mail : varinthorn.b@rmutp.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วท.บ.(อนามัยสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยบูรพา	พ.ศ. 2546
วศ.ม.(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	พ.ศ. 2549
วท.ด.(สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	พ.ศ. 2555

5. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

Waste Utilization

Land application of solid waste landfill leachate

Landfill leachate treatment

Membrane bioreactor

Wastewater treatment system

Micro-pollutants removal

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 งานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่/ตีพิมพ์

<u>โครงการวิจัย</u>

1) โครงการ การประเมินปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

แหล่งทุน: งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

2) โครงการ การผลิตน้ำมันหอมระเหยไล่แมลงจากใบยาสูบ

แหล่งทุน: งบประมาณกลางมหาวิทยาลัยฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

3) โครงการ การผลิตกระดาษทำมือจากหญ้าชันกาด

แหล่งทุน: งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

4) โครงการ การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เศษใบยางพาราเพื่อผลิตต้นแบบแผ่นมวลเบา

แหล่งทุน: งบประมาณรายจ่าย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. **Boonyaroj V.**, Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theepharaksapan S., and Yamamoto, K. (2012) “Toxic organic micro-pollutants removal mechanisms in long-term operated membrane bioreactor treating municipal solid waste leachate”, Bioresource technology 113, 174-180.
2. **Boonyaroj, V.**, Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., and Yamamoto, K. (2012) “Removal of organic micro-pollutants from solid waste landfill leachate in membrane bioreactor operated without excess sludge discharge”, Water science and technology 66(8), 1774-80.
3. **Varinthorn Boonyaroj**, Pattanasorn Peansawang, Nonthavorn Sonchan, Atcharaporn Sukrasorn (2015) “Environmental survey on physicochemical parameters in surface water: a case of Klong Prem Prachakorn, Thailand”, Applied Mechanics and Materials 804, 231-234.
4. **Varinthorn Boonyaroj**, Jiraporn Jinasam, Warangkana Nachailan (2015) “The removal mechanisms of organic compounds in household wastewater by soil sediment”, Applied Mechanics and Materials 804, 263-266.
5. **Varinthorn Boonyaroj, Chart Chiemchaisri, Wilai Chiemchaisri, Kazuo Yamamoto** (2018) “Enhanced biodegradation of phenolic compounds in landfill leachate by enriched nitrifying membrane bioreactor sludge”, Journal of Hazardous Material. (http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.06.064)

<u>การนำเสนอผลงานวิชาการ</u>

1. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theepharaksapan S., and Yamamoto, K. (2011) Removal of organic micro-pollutants and bio-toxicity from municipal solid waste landfill leachate in two-stage membrane bioreactor. Proceedings of the 9th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 1-3 December, 2011, Bangkok, Thailand. **(Received Asian Young Professional on Water Research Award).**

2. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theepharaksapan and Yamamoto, K. (2012) Removal of organic micro-pollutants and bio-toxicity from municipal solid waste landfill leachate in two-stage membrane bioreactor. Proceedings of the 10th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 8-10 November, 2012, Hanoi, Vietnam. **(Received Best Poster Award)**

3. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W. and Yamamoto, K. (2012) Evaluation of bio-toxicity removal in two-stage membrane bioreactor for landfill leachate treatment. Proceedings of the 10th International Conference on Membrane Science and Technology 2012: Membrane for Sustainable Energy, August 22-24, 2012, Bangkok, Thailand.

4. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W. and Yamamoto, K. (2011) Removal of phenolic and phthalic acid esters in two-stage membrane bioreactor treating municipal solid waste landfill leachate. Proceedings of the 1st EnvironmentAsia International Conference on “Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opportunity”, 22-25 March, 2011, Bangkok, Thailand.

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล

(ภาษาไทย) นาย ศิริชัย สาระมนัส

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Sirichai Saramanus

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและที่อยู่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 0 2836 3000

E-mail : sirichai.s@rmutp.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

คอ.บ.(วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2540
วท.ม.(เทคโนโลยีสารสนเทศ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2549

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- Cluster Analysis
- Computer System
- Computer Network
- Data Communication
- Computer Organization and Architecture
- Microcomputer System and Interfacing
- Internet and Intranet System