การปลูกผักไฮโดรโพรนิคโดยใช้พลังงานทดแทนเสริมบนดาดฟ้า

นางประกาย คำภูศิริ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HYDROPONIC VEGETABLES USING ALTERNATIVE ENERGY ON ROOFTOP

Mrs. Prakai Khamphusiri

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Architecture

Department of Architecture

FACULTY OF ARCHITECTURE

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปลูกผักไฮโดรโพรนิคโดยใช้พลังงานทดแทนเสริมบนดาดฟ้า
โดย	นางประกาย คำภูศิริ
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วันชัย มงคลประดิษฐ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประกาย คำภูศิริ : การปลูกผักไฮโดรโพรนิคโดยใช้พลังงานทดแทนเสริมบนดาดฟ้า. (HYDROPONIC VEGETABLES USING ALTERNATIVE ENERGY ON ROOFTOP) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

งานวิจัยนี้เพื่อวัตถุประสงค์ ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาเทคโนโลยีและระบบการปลูกผักไร้สารพิษที่ใช้พลังงานทดแทน 2) เพื่อศึกษาการออกแบบพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษให้เหมาะสมกับพื้นที่ในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์ และ 3) เพื่อศึกษาผลที่ได้จากการปลูกผักไร้สารพิษทั้งจากแปลงที่ใช้พลังงานทดแทนจากแผงโซล่าเซลล์ และแปลงที่ไม่ใช้พลังงานทดแทนจากแผงโซล่าเซลล์ หน่วยวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ต้นผักกรีนโอ้ค จำนวน 60 ต้น แบ่งเป็น 2 แปลง คือ แปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ และแปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ แปลงละ 30 ต้น แปลงผักตั้งอยู่บนอาคารพาณิชย์ ณ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ผู้วิจัยเก็บผลการปลูกเป็นเวลา 45 วัน โดยเก็บสภาพภูมิอากาศทั่วไป ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงแดด และความเร็วลม พบว่า สภาพภูมิอากาศทั่วไปของแปลงทั้งสองแตกต่างกัน จึงนำมาเป็นตัวแปรร่วม (covariate variable) ในการวิเคราะห์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย การวิเคราะห์เนื้อหา และการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบพหุ (MANCOVA) ผลการวิจัยพบว่า แปลงผักถูกออกแบบให้สามารถตั้งอยู่บนพื้นที่จำกัดเช่นกัน คือ บ้านพักอาศัยและสถานที่ทำงานบนอาคารพาณิชย์ แปลงผักทั้งสองแปลงถูกออกแบบให้มีปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชครบถ้วน 4 องค์ประกอบ ได้แก่ อากาศ น้ำ ธาตุอาหาร และที่ค้ำจุนลำต้น นอกจากนี้ แปลงผักทั้งสองยังถูกออกแบบให้เป็นการปลูกพืชในน้ำแบบน้ำไหล โดยใช้ท่อพลาสติกให้เป็นรางน้ำอยู่ด้านบน และมีถังพักน้ำ ซึ่งมีปั๊มน้ำอยู่ด้านในถังน้ำเพื่อให้เกิดการไหลเวียนของน้ำ แปลงทั้งสองแตกต่างกันเพียงแปลงที่ 1 ได้เชื่อมต่อแผงโซล่าเซลล์ ส่วนแปลงที่ 2 ใช้พลังงานไฟฟ้าจากอาคารตามปกติ นอกจากนี้ แปลงผักทั้งสองยังถูกออกแบบให้มีความสวยงามเพื่อเป็นพื้นที่สีเขียวสำหรับนั่งพักผ่อนหย่อนใจได้อีกด้วย ผลที่ได้จากการปลูกผักพบว่า การใช้แผงโซล่าเซลล์ของแปลงที่ 1 มีระยะเวลาคืนทุน 9 เดือน แปลงที่ 1 ได้ผลผลิต 3.2 กิโลกรัม ใช้เวลาในการปลูกและพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าแปลงที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และแปลงที่ 2 ได้ผลผลิต 2.7 กิโลกรัม ส่วนปริมาณปุ๋ยและปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6073351025 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORD: Rooftop vegetable, Solar Cells, Vegetables Hydroponic

Prakai Khamphusiri : HYDROPONIC VEGETABLES USING ALTERNATIVE ENERGY ON ROOFTOP. Advisor: Assoc. Prof. VORASUN BURANAKARN, Ph.D.

The study aimed to 1) investigate the use of alternative energy technology in a toxic-free vegetable hydroponic system 2) to explore designing a space suitable for growing toxic-free vegetables in a shophouse or a townhouse and 3) to examine the results of growing green oak lettuce between the hydroponic system powered by solar cells and the system without the use of alternative energy. The unit of analysis in the study was a total number of 60 green oak lettuce plants. Two hydroponic systems were used: the one powered by solar cells and the other one without the use of solar cells. Each system grew 30 plants. The systems were set up in shophouse located in Sriracha District in Chonburi. The researcher harvested the lettuce after growing the plants for 45 days. By collected data concerning general environmental conditions such as temperature, relative humidity, sunlight exposure and wind speed, it was found out that general climate conditions of the two hydroponic systems differed. The differences were used as covariate variables for data analysis. Statistics for data analysis included content analysis and MANCOVA. The results found that the hydroponic systems were designed to locate in a confined space such as a house or a shophouse. Both of the systems in the study were designed to provide all of the 4 necessities for growing vegetables: air, water, nutrients and the stem supports. Moreover, both systems were designed to grow vegetables using a water circulation in plastic pipe trays on top of a water tank with a water pump inside to generate a water circulation. The only difference was that the first system was powered by solar cells and the second system was powered by electricity of the building. Additionally, both of the systems were beautifully designed to be a green area for resting and pleasure. The results of the produce showed that using solar cells payback in 9 months. the first system yields 3.2 kg. and took less time and energy than the second system with statistically significant difference. The second system yields 2.7 kg. As for the amount of nutrient usage and pesticide, no difference was found.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Architecture	Student's Signature .....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และท่านอาจารย์ทุกท่านที่คอยให้ความรู้ ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการเรียนรู้และการดำเนินการวิจัย ทั้งยังให้ความกรุณาแนะนำและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ประกาย คำภูศิริ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 4

ขอบเขตการศึกษา 4

นิยามศัพท์เฉพาะ 5

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม 7

แนวคิดการใช้พลังงานทดแทนในการเกษตร 7

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการเกษตร 14

ระบบการปลูกผักไร้สารพิษ 22

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

กรอบแนวคิด 33

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 34

หน่วยการวิเคราะห์ (unit of analysis) 34

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเก็บรวบรวมข้อมูล 36
การวิเคราะห์ข้อมูล 36
บทที่ 4 ผลการวิจัย 37
เทคโนโลยีและระบบการปลูกผักไร้สารพิษ 37
การผสมผสานระบบพลังงานทดแทนและระบบควบคุมที่เกี่ยวข้อง กับการปลูกผักไร้สารพิษ 39
การออกแบบพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษให้เหมาะสมกับพื้นที่ในอาคารพาณิชย์ หรือทาวน์เฮาส์ 39
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 54
สรุปผลการวิจัย 55
อภิปรายผล 57
ข้อเสนอแนะ 60
บรรณานุกรม 62
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกข้อมูล 66
ภาคผนวก ข สภาพภูมิอากาศ 72
ภาคผนวก ค พลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผัก 75
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS 78
ภาคผนวก จ การปลูกผักไฮโดรโปรนิกส์ 87
ประวัติผู้เขียน 97

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การใช้พลังงานในกิจกรรมการเกษตร 8

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตข้าว 1 กิโลกรัม 8

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบพลังงานปัจจัยนำเข้าในการผลิตอ้อย 10

ตารางที่ 2.4 การสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ..... 30

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบสภาพภูมิอากาศบริเวณแปลงผัก 35

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือการวิจัย..... 35

ตารางที่ 4.1 วิธีการ ปัจจัยการผลิต และการเจริญเติบโตของผักกรีนโอ้คในแต่ละช่วงเวลา 46

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกรีนโอ้คจากแปลงที่ใช้และไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ 48

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผัก 50

ตารางที่ 4.4 สถิติทดสอบความแตกต่างของพลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผักที่ใช้และไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ 51

ตารางที่ 4.5 ผลผลิต ต้นทุน และจุดคุ้มทุนของการปลูกผักทั้งสองแปลง 52

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีโซล่าเซลล์: การศึกษางานวิจัยตั้งแต่ปี ค.ศ.1976-2013 3
รูปที่ 2.1 แผงโซล่าเซลล์ 11
รูปที่ 2.2 รูปแบบแหล่งน้ำและการทำงานของกังหันลม 12
รูปที่ 2.3 แบบจำลองระบบการกระจายน้ำตามระบบฟัซซี่ 15
รูปที่ 2.4 รูปแบบวงจรพลังงานไฟฟ้าแหล่งจ่ายไฟพลังงานแสงอาทิตย์ (PV) 15
รูปที่ 2.5 เครื่องสูบน้ำระบบปั๊มชัก 17
รูปที่ 2.6 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 18
รูปที่ 2.7 ลักษณะการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในเรือนกระจก 19
รูปที่ 2.8 ระบบการให้ความร้อนในเรือนกระจก 20
รูปที่ 2.9 ระบบการให้ความเย็นในเรือนกระจก 20
รูปที่ 2.10 ระบบการแจกจ่ายน้ำภายในโรงเรือนกระจก 21
รูปที่ 2.11 ระบบปลูกพืชให้รากลอยอยในอากาศ 25
รูปที่ 2.12 เทคนิคน้ำไหลบาง 26
รูปที่ 2.13 เทคนิคน้ำนิ่งแบบต้องเติมอากาศ 28
รูปที่ 2.14 องค์ประกอบของการปลูกพืชแบบในน้ำ 29
รูปที่ 2.15 กรอบแนวคิด 33
รูปที่ 4.1 การนำระบบฟัซซี่มาใช้ในการปลูกผักแบบน้ำไหลในแปลงผักไร้สารพิษ 38
รูปที่ 4.2 แปลงผักกรีนโอ้คบนระเบียงและการเชื่อมต่อไปยังแผงโซล่าเซลล์บนหลังคาอาคารพาณิชย์ 40
รูปที่ 4.3 แปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ 41
รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงผัก 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าแสงในตอน 08:00 (แสงธรรมชาติ) กับ 18:00 (แสงจากหลอดไฟ LED) ของแปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์..... 45

รูปที่ 5.1 แนวทางระบบเกษตรอุตสาหกรรมใหม่..... 57

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันคนไทยหันมารับประทานผักและผลไม้กันเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ผักและผลไม้สดในประเทศไทยกลับไม่ปลอดภัย 100% โดยในปี พ.ศ.2561 กลุ่มอาหารที่คนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไปบริโภคทุกวัน คือ กลุ่มผักและผลไม้ ร้อยละ 41.1 ซึ่งเป็นกลุ่มที่คนไทยบริโภคสูงสุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอาหารอื่น รองลงมาคือ กลุ่มเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ และไข่ คิดเป็นร้อยละ 23.5 และ 14.6 ตามลำดับ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2561) เมื่อพิจารณาแนวโน้มการบริโภคผักและผลไม้ พบว่าอัตราการบริโภครวมในปี พ.ศ.2552-2557 อยู่ที่ร้อยละ 17.70 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 25.90 ในปี พ.ศ. 2561 กระทรวงสาธารณสุขและกระทรวงเกษตรและสหกรณ์เก็บตัวอย่างผักและผลไม้จากห้างสรรพสินค้าที่ได้รับการรับรองมาตรฐานผ่านเกณฑ์ ร้อยละ 86.4 ส่วนตลาดค้าส่งและตลาดสดผ่านเกณฑ์ ร้อยละ 64.9 และการเก็บตัวอย่างผักและผลไม้สดทั้งหมด 41 ชนิดพืช รวม 7,054 ตัวอย่างจากทั่วประเทศ ผ่านมาตรฐานร้อยละ 88.8 โดยไม่ผ่านมาตรฐานร้อยละ 11.2 (คนไทยนิยมกินผัก-ผลไม้เพิ่ม ครัว รพ.ผ่านเกณฑ์ 77.8% ส้มสารพิษตกค้างสูงสุด, 2562) การที่ผักผลไม้ที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 100% นี้ การปลูกผักรับประทานด้วยตัวเองจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ที่ใส่ใจสุขภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

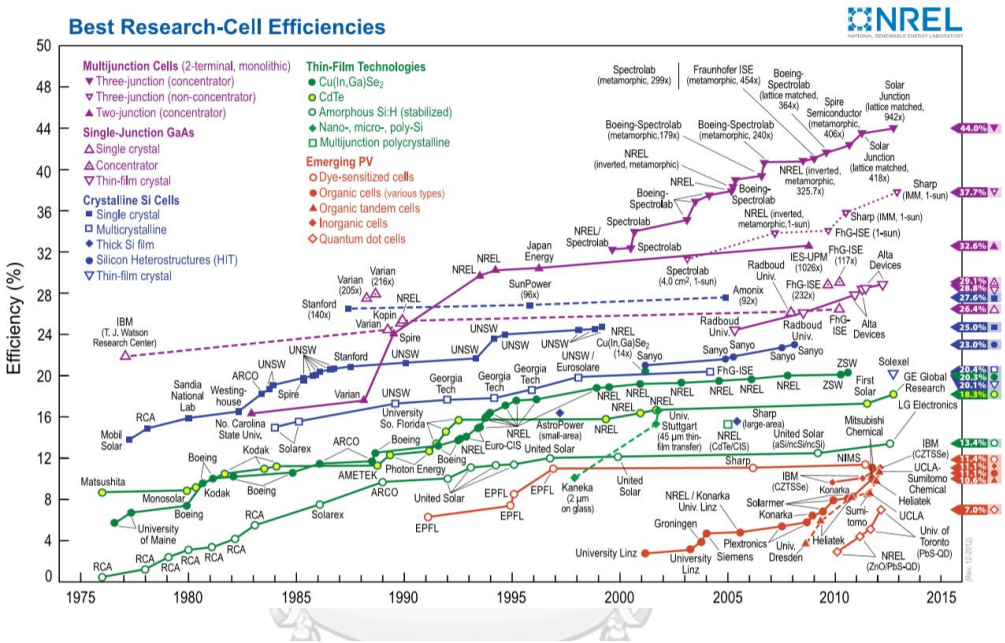
การปลูกผักทานเองที่บ้านเป็นการปฏิบัติที่สอดคล้องกับชีวิตวิถีใหม่ (new normal) ในช่วงยุคการแพร่ระบาดของโควิค 19 (COVID19) ที่สนับสนุนให้คนไทยอยู่บ้าน ลดการสัมผัส และการเจอหน้า ซึ่งจะทำให้โรคโควิด 19 ลดการแพร่กระจายลงได้ และแม้ว่าในอนาคตโรคโควิด 19 จะยุติลงหรือหมดไป แต่การปลูกผักทานเองยังเป็นสิ่งที่จำเป็นด้วยเหตุผล 5 ประการ ได้แก่ 1) อร่อย การกินผักสดจะได้สัมผัสน้ำที่ชุ่มฉ่ำในเนื้อเยื่อของผัก 2) อุดมด้วยสารอาหาร ผักที่เก็บมาไม่นานจะมีแร่ธาตุและวิตามินที่ครบถ้วนกว่า 3) ปลอดภัย ไม่มีสารเคมี และแบคทีเรีย เพราะเป็นผู้ปลูกเอง ทานเอง จึงมั่นใจได้ว่าปลอดภัย 4) ผักแข็งแรง ผู้ปลูกก็แข็งแรง เป็นกิจกรรมที่ทำให้ผู้ปลูกได้ออกแรงและสัมผัสแสงแดด และ 5) มีกินได้เรื่อยๆ เป็นการสร้างความมั่นคงด้านอาหารที่สร้างเองได้ และประหยัดค่าใช้จ่าย (รัตนศิริ กิตติก้องนภางค์, 2563) แต่การปลูกผักทานเองอย่างไรให้ดีหรือเกิดคุณค่าทั้งต่อตนเองและสังคมมากที่สุด เป็นสิ่งที่น่าคิดและควรปฏิบัติเป็นอย่างยิ่ง

นอกจากการปลูกผักไว้ทานเองแล้ว การปลูกผักไร้สารพิษซึ่งเป็นหนึ่งในสินค้าออร์แกนิคก็เป็นธุรกิจกำลังเติบโตในประเทศไทย เนื่องจากผู้บริโภคให้ความสำคัญถึงเรื่องสุขภาพเป็นหลัก จึงให้ความสำคัญมากขึ้นกับการเลือกซื้อสินค้าออร์แกนิค (Organic Product) ประเทศไทยมีพื้นที่เกษตรอินทรีย์มากเป็นอันดับ 8 ของเอเชีย และอันดับ 4 ในภูมิภาคอาเซียน รองจากอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และเวียดนาม โดยมีพื้นที่ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานในปี 2558 จำนวน 284,98 ไร่ มีจำนวนผู้ผลิตเกษตรอินทรีย์จำนวน 13,154 ครอบครัว ขยายตัวมากเป็นอันดับ 3 รองจากจีนและฟิลิปปินส์ ส่วนมูลค่าตลาดเกษตรอินทรีย์ของไทยอยู่ที่ราว 2,332 ล้านบาท แบ่งเป็นตลาดส่งออก ร้อยละ 77.94 ที่มีสินค้าอาหารแปรรูปเป็นอันดับหนึ่ง ตามมาด้วยข้าวออร์แกนิค และจำหน่ายในประเทศร้อยละ 22.06 (ไทยขี่กระแสเกษตรอินทรีย์ สปีดขึ้นแท่นผู้นำเอเชีย, 2561) การปลูกผักไร้สารพิษจึงมีความสำคัญและสามารถพัฒนาเป็นธุรกิจที่สร้างรายได้ให้กับผู้ปลูกได้

ปัจจุบันการพัฒนาด้านเทคโนโลยีและวัฒนธรรมสังคมมีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างมาก แต่การพัฒนาด้านอุตสาหกรรมเศรษฐกิจและสังคมมุ่งเน้นการสร้างผลกำไรมากกว่าด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจจะทำให้เกิดวิกฤติพลังงานขึ้นได้ จากตัวเลขทางสถิติ พบว่า ในปี พ.ศ.2562 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำนวน 85,829 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อน ร้อยละ 2.6 คิดเป็นมูลค่ากว่า 1,214,069 ล้านบาท การใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้น ตามการเติบโตทางเศรษฐกิจโดยที่น้ำมัน สำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 49.1 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย รองลงมาคือ ไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน ถ่านหิน/ลิกไนต์ก๊าซธรรมชาติและพลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม คิดเป็น ร้อยละ 20.2 10.2 8.2 6.5 และ 5.8 ตามลำดับ (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562) ซึ่งพบว่า การใช้พลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานทดแทนมีปริมาณเพียงร้อยละ 16 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ด้วยการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นดังกล่าว การพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกผักปลอดสารพิษที่ใช้พลังงานทดแทน เช่น แสงอาทิตย์ มาเป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงในสังคมปัจจุบัน

การพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกผักไร้สารพิษได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับแหล่งผลิตผักไร้สารพิษที่โดยทั่วไปใช้กระแสไฟฟ้าในเวลากลางคืนมาช่วยเร่งให้พืชผักเจริญเติบโตได้รวดเร็วมากขึ้น และจากการเร่งการเจริญเติบโตของพืชนี้เป็นผลให้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น การใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนจึงควรนำมาพิจารณาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่จะเกิดขึ้น การใช้พลังงานทดแทนในการเกษตรมีทั้งสิ้น 4 รูปแบบ ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ไฮโดร และถ่านไม้ หากพิจารณาการนำมาปลูกผักปลอดสารพิษในพื้นที่จำกัดแล้ว พบว่า การใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีความเป็นไปได้มากที่สุด เนื่องจาก 1) เป็นพลังงานที่สะอาดและยั่งยืน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ เป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่แล้วและใช้ไม่มีวันหมดไป และ 2) สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ภายในพื้นที่จำกัดโดยติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนรูปแบบอื่น

เช่น พลังงานลม และพลังงานไฮโดร จะไม่สามารถติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าภายใต้พื้นที่จำกัดได้ (Ali, Dash & Pradhan, 2012) จากงานวิจัยของ Sarver, Al-Qaraghuli & Kazmerski (2013) ยังพบว่าในบรรดาแนวทางพลังงานทดแทนทั้งหมด พลังงานแสงอาทิตย์ยังคงถูกนำไปใช้ในภาคการเกษตรเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก และจากปี ค.ศ.1976 – 2016 ความสำเร็จของการลงทุนวิจัยเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการแปลงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ามีเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 1.1) เทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการปลูกผักไร้สารพิษจึงควรให้ความสนใจมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.1 ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีโซล่าเซลล์: การศึกษางานวิจัยตั้งแต่ปี ค.ศ.1976-2013

ที่มา: Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., & Kazmerski, L. L. (2013). A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. *Renewable and sustainable energy Reviews*, *22*, 698-733.

เพื่อผสมผสานการใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับการปลูกผักไร้สารพิษกับการใช้เทคโนโลยีในการควบคุมสภาพแวดล้อมให้พืชผักมีอัตราการเจริญเติบโตตามความต้องการและแผนที่กำหนดไว้ ซึ่งสามารถควบคุมโดยเทคโนโลยีดิจิตอลตามนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยในยุคปัจจุบันที่มุ่งสู่ไทยแลนด์ 4.0 การผสมผสานเทคโนโลยีด้านการออกแบบและสิ่งแวดล้อมของสถาปัตยกรรมจึงช่วยในการพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากที่สอดคล้องกับการพัฒนาประเทศกับอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้ในปัจจุบันที่ดินในเขตเมืองโดยเฉพาะจังหวัดกรุงเทพมหานครและจังหวัดสำคัญใกล้เคียง เช่น ชลบุรี ปริมาณพื้นที่ดินค่อนข้างมีจำกัด แต่ประชากรกลับมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น การปลูกผักบนพื้นที่ดินที่มีอย่างจำกัดให้เพียงพอต่อการบริโภคของประชากรที่เพิ่มขึ้นจึงมีความสำคัญ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจ

ศึกษาและออกแบบแปลงผักไร้สารพิษในพื้นที่จำกัดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ผลที่ได้จากการวิจัยจะเป็นแนวทางให้กับผู้สนใจนำไปกับการปลูกผักไร้สารพิษในพื้นที่ของตนเองได้อย่างเหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาเทคโนโลยีและระบบการปลูกผักไร้สารพิษ
2. ศึกษาการผสมผสานระบบพลังงานทดแทนและระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับการปลูกผักไร้สารพิษ
3. เพื่อศึกษาการออกแบบพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษให้เหมาะสมกับพื้นที่ในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์
4. เสนอรูปแบบการผสมผสานระบบและเทคโนโลยีในการปลูกผักไร้สารพิษ เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาสู่เกษตรอุตสาหกรรมใหม่

ขอบเขตการศึกษา

ด้านตัวแปรที่ศึกษา จากการศึกษาเชิงเอกสารและสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานทดแทนในการเกษตรหรือการปลูกผัก ผู้วิจัยพบตัวแปรที่เกี่ยวข้องและกำหนดขอบเขตตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรที่สอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ ดังนี้

1. ตัวแปรต้น คือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในปลูกผักไร้สารพิษ แบ่งเป็น 2 แปลง ได้แก่ 1) การใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์ และ 2) การไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์

2. ตัวแปรตาม ประกอบด้วย 1) พลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผัก ได้แก่ 1.1) พลังงานกลสำหรับการดำเนินงานในการปลูกผัก 1.2) ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ 1.3) ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ และ 1.4) พลังงานไฟฟ้าสำหรับการจ่ายน้ำ และ 2) ผลผลิตการเกษตร ได้แก่ 2.1) ความกว้างต้นผัก 2.2) น้ำหนักผัก และ 2.3) รายได้

ด้านพื้นที่ ผู้วิจัยทดลองและเก็บข้อมูลการปลูกผักไร้สารพิษโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์ในพื้นที่อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

ด้านระยะเวลา งานวิจัยนี้ทดลองและเก็บข้อมูลการปลูกผักไร้สารพิษในเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม พ.ศ.2563 ซึ่งเป็นฤดูฝน

นิยามศัพท์เฉพาะ

ผักไร้สารพิษ หมายถึง ผลผลิตพืชผักที่ไม่มีสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชตกค้างอยู่ หรือมีตกค้างอยู่ไม่เกินระดับมาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 163 พ.ศ.2538 ลงวันที่ 28 เมษายน พ.ศ.2538 เรื่องอาหารที่มีสารพิษตกค้าง

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้ทดแทนพลังงานสิ้นเปลือง (Modern energy) ซึ่งเป็นพลังงานจากฟอสซิลที่ใช้แล้วหมดไปและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอันเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อน ส่วนตัวอย่างพลังงานทดแทนที่สำคัญ เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานคลื่นพลังงานความร้อนใต้พิภพ เชื้อเพลิงชีวภาพ พลังงานนำมันดิบ น้ำมันปาลม์ พลังงานน้ำมันพืช เป็นต้น พลังงานทดแทนเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการปลูกผักไร้สารพิษ หมายถึง การใช้แผงโซล่าเซลล์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ในการปลูกผัก การดำเนินการดังกล่าวมุ่งประเด็นในเรื่องการเพิ่มผลผลิตและลดค่าไฟฟ้าหรือลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันที่เป็นแหล่งในการผลิตไฟฟ้า การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการปลูกผักไร้สารพิษคำนึงถึงประสิทธิภาพในการเกษตร 3 ประการ ได้แก่ 1) การดำเนินการในพื้นที่การเกษตรที่แตกต่างกัน 2) ต้นทุนที่แตกต่างกัน และ 3) การให้ผลผลิตการเกษตรที่แตกต่างกัน

การปลูกผักในพื้นที่จำกัด หมายถึง การดำเนินการจัดสร้างแปลงผักและปลูกผักไร้สารพิษในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์ มีพื้นที่ทั่วไปอยู่ระหว่าง 48 – 72 ตารางเมตร ซึ่งขนาดดังกล่าวมีพื้นที่น้อยกว่าพื้นที่ดินทางการเกษตรทั่วไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผัก หมายถึง ปัจจัยการผลิตที่สูญเสียหรือใช้ไปในการปลูกผักไร้สารพิษ ทั้งที่เป็นพลังงานที่ใช้ซึ่งไม่อยู่ในรูปตัวเงิน และต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ใช้ในรูปตัวเงิน พลังงานและต้นทุนที่ใช้ทั้งหมดที่พิจารณาประกอบด้วย 1) พลังงานกลสำหรับการดำเนินงานในการปลูกผัก 2) ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ 3) ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ และ 4) พลังงานไฟฟ้าสำหรับการจ่ายน้ำ แต่ละประเด็นให้คำนิยามดังนี้

1) พลังงานกลสำหรับการดำเนินงานในการปลูกผัก หมายถึง แรงงานที่ใช้ในการปลูกผักไร้สารพิษในแต่ละวัน โดยมีหน่วยวัดเป็นนาทีต่อวัน

2) ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ หมายถึง สารอาหารที่ใส่ลงในแปลงผักไร้สารพิษเพื่อให้ผักเจริญเติบโต โดยมีหน่วยวัดเป็นกรัมต่อวัน

3) ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ หมายถึง สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันแมลงหรือโรคพืชที่จะหยุดยั้งหรือทำลายการเจริญเติบโตของผักที่ปลูก โดยมีหน่วยวัดเป็นกรัมต่อวัน

4) พลังงานไฟฟ้าสำหรับการจ่ายน้ำ หมายถึง ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เพื่อให้น้ำไหลเวียนในแปลงผักไร้สารพิษ โดยมีหน่วยวัดเป็นวัตต์ต่อวัน

รายได้จากผลผลิตการเกษตร หมายถึง จำนวนเงินที่ได้รับจากแปลงผักไร้สารพิษภายหลังจากการปลูก ผักไร้สารพิษที่ปลูกใช้เวลาทั้งสิ้น 45 วัน จึงจะสามารถเก็บเกี่ยวและนำออกจำหน่ายได้ มีหน่วยวัดเป็นบาทต่อแปลง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีประโยชน์ที่ได้รับดังนี้

1. ได้ข้อมูลและตัวอย่างเทคโนโลยีของระบบการปลูกผักไร้สารพิษในปัจจุบันที่มีประสิทธิภาพ
2. ได้ข้อมูลและตัวอย่างเทคโนโลยีและพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับการปลูกผักไร้สารพิษ
3. รูปแบบสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมกับการผลิตผักไร้สารพิษที่ใช้พลังงานทดแทนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนปริมาณการผลิตที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีการเกษตรปัจจุบัน
4. ต้นแบบการปลูกผักไร้สารพิษที่เหมาะสมกับพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์เพื่อพัฒนาสู่เกษตรอุตสาหกรรมใหม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาการใช้พลังงานทดแทนในการปลูกผักไร้สารพิษในพื้นที่จำกัด ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการศึกษาดังกล่าว ก่อนที่ผู้วิจัยจะนำเป็นองค์ความรู้เพื่อเสนอรูปแบบการผสมผสานระบบและเทคโนโลยีในการปลูกผักไร้สารพิษ และใช้ในการออกแบบพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษในพื้นที่จำกัดต่อไป โดยการทบทวนวรรณกรรมแบ่งเป็น 4 หัวข้อหลัก ได้แก่ 1) การใช้พลังงานทดแทนในการเกษตร 2) การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการเกษตร 3) ระบบการปลูกผักไร้สารพิษ และ 4) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในแต่ละหัวข้อนำเสนอรายละเอียดดังนี้

แนวคิดการใช้พลังงานทดแทนในการเกษตร

พลังงานทดแทน (renewable) หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้ทดแทนพลังงานสิ้นเปลือง (Modern energy) ที่ใช้แล้วหมดไป เช่น ถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ ตัวอย่างพลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ปี พ.ศ. 2555-2564 มีแผนที่จะให้มีการใช้พลังงานทดแทนเป็นสัดส่วน 25% ของพลังงานทั้งหมด (ปัญญาวัฒน์ โกมุทบุตร, 2558)

แนวคิดพื้นฐานในการใช้พลังงานทดแทนในการเกษตร คือ การค้นหาพลังงานใหม่ที่ยั่งยืนที่มีต้นทุนเทียบเท่าหรือน้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิง รวมถึงการใช้พลังงานภายนอกฟาร์มมาช่วยให้การเกษตร โดยมุ่งประเด็นในเรื่องการเพิ่มผลผลิต การกระทำนี้ยังไม่ใช่ในการพัฒนาการเกษตรให้เจริญก้าวหน้าขึ้น การใช้พลังงานทดแทนในการเกษตรจึงควรหาวิธีการดัดแปลงที่เหมาะสมในกระบวนการทางการเกษตรอีกด้วย ดังนั้น พลังงานทดแทนจึงรวมถึงการใช้เทคโนโลยีที่หลากหลายเพื่อผลิตพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาใน 3 ประเด็น ได้แก่ 1) การดำเนินการในพื้นที่การเกษตรที่แตกต่างกัน 2) ต้นทุนที่แตกต่างกัน และ 3) การให้ผลผลิตการเกษตรที่แตกต่างกัน ซึ่งใน 3 ประเด็นนี้ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในแต่ละท้องถิ่นที่มีตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน (Bardi, El Asmar, & Lavacchi, 2013)

การศึกษาของ Bardi, El Asmar, & Lavacchi (2013) พบว่า แนวปฏิบัติที่มีประสิทธิผลมาก คือ การปรับกระบวนการทางการเกษตรให้ใช้ไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด โดยที่ผ่านมากิจกรรมส่วนใหญ่ในการเกษตรล้วนใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันฟอสซิลทั้งสิ้น คิดเป็นร้อยละ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การใช้พลังงานในกิจกรรมการเกษตร

กิจกรรมการเกษตร	ร้อยละของพลังงานที่ใช้
สำหรับการผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร	15%
เชื้อเพลิง	27%
สำหรับการผลิตปุ๋ยไนโตรเจน	36%
สำหรับการผลิตปุ๋ยฟอสฟอรัส	3%
สำหรับการผลิตปุ๋ยโพแทสเซียม	1.7%
เพื่อการชลประทาน	6.2%
สำหรับการผลิตสารกำจัดศัตรูพืช	6%
เบ็ดเตล็ด	3.5%

การพึ่งพาพลังงานในการเกษตรเชิงพาณิชย์ ร้อยละ 70-80 ของการใช้พลังงานจะซ้อนอยู่ในปัจจัยการผลิตสมัยใหม่ เช่น การใช้ปุ๋ยเคมี และสารกำจัดศัตรูพืช (จิรากรณ์ คชเสนี, 2553) และในการผลิตข้าว 1 กิโลกรัม พบว่า ปัจจัยในการผลิตใช้พลังงานเท่ากับ 4,000 กิโลแคลอรี รายละเอียดดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตข้าว 1 กิโลกรัม

ปัจจัยการผลิต (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	นาหว่านแบบดั้งเดิม	นาหว่านสมัยใหม่
แรงงานสัตว์	71.7	0.0
แรงงานคน	22.7	130.4
เครื่องจักรเชื้อเพลิง สารเคมี ปุ๋ยเคมี	96.8	8,035.7
เมล็ดพันธ์	564.6	240.6
ปัจจัยทางธรรมชาติ (ฝน น้ำ)	709.5	3,308.4
รวม	1,465.3	11,715.2
ผลผลิตข้าว 1 กก. เท่ากับพลังงาน 4,00 กิโลแคลอรี		

ที่มา: เดชรัต สุขกำเนิด. (ม.ป.ป.). พลังงานทางเลือกกับภาคการเกษตร: ศักยภาพและคำถามสำหรับพลังงานชีวภาพ. สืบค้นจาก http://tdri.or.th/wp-content/uploads/2012/11/group2-Decharut.pdf.

จากตารางที่ 2.2 เมื่อเปรียบเทียบจะพบว่าการทำนาหว่านแบบสมัยใหม่ มีการใช้ปัจจัยการผลิตในภาคอุตสาหกรรมสูง เช่น การใช้เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักร การใช้ปุ๋ยเคมี และการใช้สาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กำจัดศัตรูพืช เป็นต้น และพบว่า ผลผลิตข้าว 1 กก. เท่ากับใช้พลังงานถึง 4,000 กิโลแคลอรี หากภาคการเกษตรนำพลังงานทดแทนมาใช้แทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการผลิต

สอดคล้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในฟาร์มการเกษตรของ Bardi, El Asmar, & Lavacchi (2013) ที่พิจารณาใน 4 ประเด็น ดังนี้

1) พลังงานกลสำหรับการดำเนินงานฟาร์มและการขนส่งผลิตภัณฑ์วัสดุสิ้นเปลืองและของเสีย

2) ปุ๋ยสังเคราะห์ทั้งจากแหล่งแร่ที่ไม่สามารถทดแทนได้ (ฟอสเฟตและอื่น ๆ) หรือผลิตโดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (ไนเตรต)

3) สารกำจัดศัตรูพืชที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล

4) พลังงานสำหรับการชลประทานและการจัดการน้ำ

และสอดคล้อง กับ Karimi, RajabiPour, Tabatabaeefar & Borghei (2008) ที่วิเคราะห์แหล่งพลังงานในการปลูกอ้อย ออกเป็น 7 แหล่ง ได้แก่ เชื้อเพลิง ปุ๋ยเคมี การไถ เครื่องจักรสนาม การขนส่ง และระบบการจ่ายน้ำ แสดงดังตารางที่ 2.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบพลังงานปัจจัยนำเข้าในการผลิตอ้อย

ปัจจัยนำเข้า/นำออก		จำนวนพลังงานที่ใช้
เชื้อเพลิง:	ดีเซล	47.7
	น้ำมันหล่อลื่น	81.1
	พลังงานไฟฟ้า	12.7
ปุ๋ย:	ไนโตรเจน	75.4
	ฟอสฟอรัส	10.9
สารเคมี:	สารเคมีกำจัดวัชพืช	418
	ยาฆ่าแมลง	363.6
เครื่องจักร:	แทรกเตอร์ 100hp	57.8
	แทรกเตอร์ 75hp	42.8
	เครื่องจักในการปลูก	62.7
การขนส่ง (รถบรรทุก)		29.8
ชลประทานไฟฟ้า		12.7
ระบบสูบน้ำ		3787
แรงงานคน		1.96
พันธุ์อ้อยการตัดเป็นท่อน		1.2 (kg)

ที่มา: Karimi, M., RajabiPour, A., Tabatabaeefar, A., & Borghei, A. (2008). Energy analysis of sugarcane production in plant farms a case study in Debel Khazai Agro-industry in Iran. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 4(2), 165-171.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การข้อมูลข้างต้น พบว่า ในการผลิตพืชผลการเกษตร มีการใช้พลังงานในปัจจัยการผลิตเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะพลังงานเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการไถ การปลูก การให้น้ำ ปุ๋ยเคมี ยากำกัดศัตรูพืช การเก็บเกี่ยว รวมไปถึงการขนส่ง ซึ่งหากปัจจัยในการผลิตเหล่านี้ได้นำพลังงานทดแทนมาใช้ จะช่วยให้เกษตรกรลดภาระค่าใช้จ่าย และลดผลกระทบจากมลภาวะสิ่งแวดล้อมได้ด้วย

การใช้พลังงานทดแทนในการเกษตรมีทั้งสิ้น 4 รูปแบบ (Ali, Dash & Pradhan, 2012) ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานไฮโดร และพลังงานถ่านไม้ ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานทดแทนยังขึ้นอยู่กับความเร็วลม ปริมาณแสงอาทิตย์ และกระแสน้ำไหล อีกด้วย (Bardi, El Asmar & Lavacchi, 2013)

1) พลังงานแสงอาทิตย์ (solar energy)

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษพลังงาน, 2557)

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อกิจกรรมในครัวเรือนการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตรเกิดขึ้นมาเป็นเวลาช้านาน ตั้งแต่มีการพัฒนาอารยธรรมของมนุษย์เกิดขึ้น เช่น การใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ตากพืชผลทางการเกษตรต่างๆ ในที่โล่ง จนมาถึงการพัฒนาอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการใช้งานด้านความร้อนและการผลิตไฟฟ้าเช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ในระบบสูบน้ำเพื่อการเกษตร (สำนักนโยบายพลังงาน, 2559) เป็นต้น เนื่องจากพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์นั้นไม่รู้จักหมดสิ้นและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะมีบทบาทสำคัญในอนาคต

รูปที่ 2.1 แผงโซล่าเซลล์

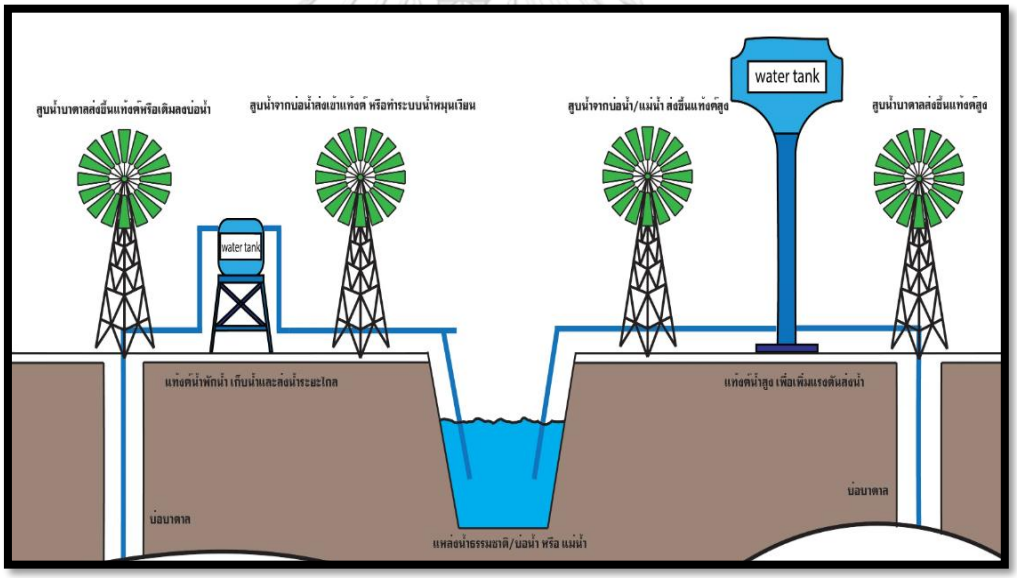
ที่มา: รพีพัฒน์ สุทธิวงศ์. (2560). การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานในพื้นที่เกษตรกรรมที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง. NDC Security Review, 8, 1-15.

2) พลังงานลม

ลมเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศ และแรงจากการหมุนของโลก สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลม ลมป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีอยู่ในตัวมันเอง จะเห็นได้จากในบางครั้ง แรงที่เกิดจากลมอาจทำให้บ้านเรือนเสียหาย ต้นไม้หักโค่น สิ่งของล้มหรือปลิวลอยไปตามลม เป็นต้น ในปัจจุบันมนุษย์ให้ความสำคัญและนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จักหมดสิ้น

ลักษณะการใช้งานกังหันลมในการเกษตรมีดังนี้

1) กังหันลมเพื่อสูบน้ำ (Wind Turbine for Pumping) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล เพื่อใช้ในการชักหรือสูบน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูง เพื่อใช้ในการเกษตร การทำนาเกลือ การอุปโภคและการบริโภค ปัจจุบันมีใช้อยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบระหัด และแบบสูบชัก



รูปที่ 2.2 รูปแบบแหล่งน้ำและการทำงานของกังหันลม

ที่มา: บริษัทอุสาพัฒนาเศรษฐกิจ (2561). กังหันลมสูบน้ำ. สืบค้นจาก https://www.ausawindmill.com/product/19357/กังหันลมสูบน้ำ.

2) กังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine for Electric)

เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล จากนั้นนำพลังงานกลมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.) ปัจจุบันมีการนำมาใช้งานทั้งกังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) และกังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)

ในรัฐเท็กซัส ประเทศสหรัฐอเมริกา เกษตรกรและผู้ผลิตพลังงานลมอยู่คนละพื้นที่ เกษตรกรสามารถเช่าที่ดินสำหรับตั้งกังหันลม เพื่อสร้างพลังงานสำหรับฟาร์มการเกษตร หรือเกษตรกรเป็นผู้ผลิตพลังงานจากลมด้วยตัวเอง โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมมีขนาดตั้งแต่ 400 วัตต์ถึง 40 กิโลวัตต์ขึ้นไป ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการของฟาร์มทั้งหมดหรือบางส่วน ในการใช้งานเฉพาะอย่าง ยกตัวอย่าง ใช้เครื่องกำเนิดลมเพื่อสูบน้ำสำหรับปศุสัตว์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือมาก เมื่อกังหันผลิตพลังงานได้มากกว่าที่ฟาร์มต้องการ พลังงานไฟฟ้าจะไหลกลับเข้าสู่ระบบเพื่อให้ผู้อื่นใช้ต่อไป

3. พลังงานไฮโดร (Hydro)

เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาจากพลังน้ำ น้ำจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ต้องมีการกักเก็บน้ำไว้ เพื่อเป็นการสะสมกำลัง โดยการก่อสร้างเขื่อนหรือฝายปิดลำน้ำที่มีระดับความสูงเป็นพลังงานศักย์ และผันน้ำเข้าท่อไปยังเครื่องกังหันน้ำขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่ไหลผ่านกังหัน (ปริมาณการไหลของน้ำ) และความสูงที่น้ำตกลงมา ยิ่งน้ำมีกระแสการไหลแรงและ/หรือตกด้วยความสูงมากเท่าไหร่ก็ยิ่งผลิตกระแสไฟฟ้ามากขึ้นเท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. พลังงานถ่านไม้

พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านไม้สามารถนำไปใช้ในการเกษตรแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ ในประเทศอินเดียพบว่าพื้นที่ป่าของประเทศลดลงทุกปีด้วยอัตรามากกว่า 1.5 ล้านเฮกตาร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ชนบท เนื้อไม้ส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารและอุตสาหกรรมการเกษตร

การใช้พลังงานทดแทนทั้ง 4 รูปแบบ จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีความเป็นไปได้มากที่สุด ในการนำมาใช้กับแปลงผักปลอดสารพิษในอาคาร งานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเหตุผลสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ 1) เป็นพลังงานที่สะอาดและยั่งยืน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ เป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่แล้วและใช้ไม่มีวันหมดไป และ 2) สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ภายในอาคาร โดยติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานลมและพลังงานไฮโดรที่ไม่สามารถติดตั้งภายในอาคารได้

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการเกษตร

พลังงานแสงอาทิตย์ในภาคเกษตรกรรมมีหลายรูปแบบ ได้แก่

1) พลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ต้องลงทุนทำสิ่งใด (passive) ซึ่งเป็นเพียงการออกแบบอาคารให้แสงอาทิตย์ส่องอย่างทั่วถึง ก็เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการเกษตรโดยธรรมชาติเช่นกัน

2) ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผงไฟฟ้าโซลาร์เซลล์เพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า

3) ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ใช้ในการอบแห้งและการทำน้ำร้อน (Faucher & Bastien, 2006)

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบที่ 2 และ 3 Ali, Dash & Pradhan (2012) ได้อธิบายรายละเอียดไว้ ดังนี้

1) การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในเทคโนโลยีโซลาร์เซลล์ (Solar Photovoltaic Technology: SPV) เป็นการเปลี่ยนการแผ่รังสีจากแสงอาทิตย์ที่ตกบนอุปกรณ์ที่เรียกว่าโซลาร์เซลล์ให้เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง หลังจากนั้น เกษตรกรสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไปใช้ตามความต้องการ เช่น ระบบสูบน้ำโซล่าเซลล์ การปลูกพืชระบบน้ำหยด เครื่องให้อาหารอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

2) ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ใช้ในการอบแห้งและการทำน้ำร้อน (Faucher & Bastien, 2006)

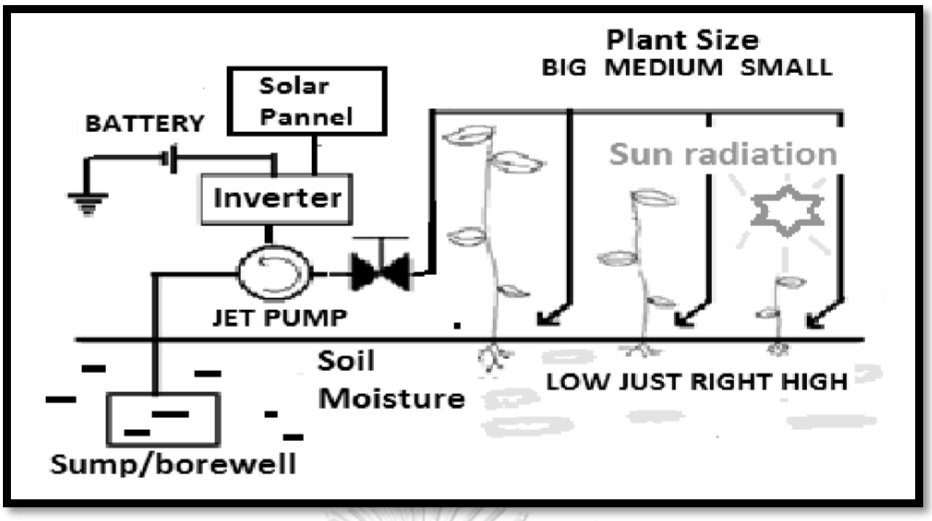
การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการเกษตร มีตัวอย่างดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในระบบชลประทาน

1.1 การควบคุมเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

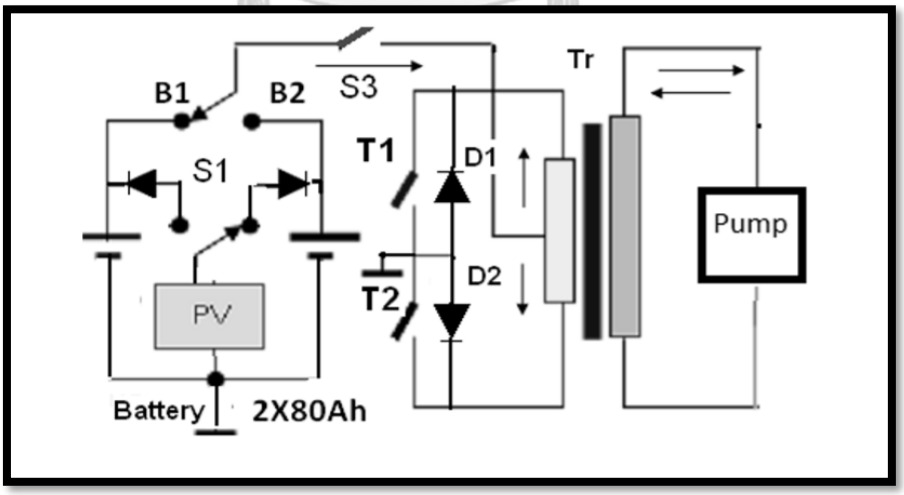
ระบบการจ่ายน้ำฟัซซี่ (fuzzy) โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Singh, Jha, & Nandwana, 2012) มีอุปกรณ์ในการทำงานหลัก 3 ส่วน ประกอบด้วย 1) แผงโซลาร์เซลล์ 2) อุปกรณ์เสริมมอเตอร์ไฟฟ้า และ 3) ปั๊มและระบบจำหน่ายรวมถึงท่อและที่เก็บ องค์ประกอบทั้งหมดเหล่านี้จะต้องได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดของระบบทั้งหมด การเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่เป็นสิ่งสำคัญในการใช้งานเครื่องสูบน้ำ แม้ในเวลาเย็นที่ไม่มีแสงอาทิตย์แล้ว และตอนกลางในบางวันที่มีความผันผวนของรังสีดวงอาทิตย์ที่มีเมฆมากและน้อยต่างกัน ไดอะแกรมของระบบการจ่ายน้ำ ประกอบด้วย 1) โมดูลพลังงาน PV 2) การรวมกับอินเวอร์เตอร์กริด (grid inverter) 3) ปั๊มใต้น้ำและชุดควบคุมการจ่ายน้ำ แสดงในภาพที่ 4



รูปที่ 2.3 แบบจำลองระบบการกระจายน้ำตามระบบฟัซซี่

ที่มา: Singh, S. N., Jha, R., & Nandwana, M. K. (2012). Optimal design of solar powered fuzzy control irrigation system for cultivation of green vegetable plants in Rural India. In *2012 1st International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT)* (pp. 877-882). IEEE.

พลังงานที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ที่ได้รับจากโมดูล PV สามารถป้อนไปยังปั๊มจุ่มน้ำผ่านปั๊มที่ดำเนินการด้วย DC หรือตัวแปลงเป็น AC เพื่อใช้งานปั๊ม AC ควรใช้ปั๊ม AC เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น เทคโนโลยี SPWM ที่ใช้ในระบบพร้อมการควบคุมอัจฉริยะส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการพร้อมค่าที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รูปแบบวงจรพลังงานไฟฟ้าแหล่งจ่ายไฟพลังงานแสงอาทิตย์ (PV)

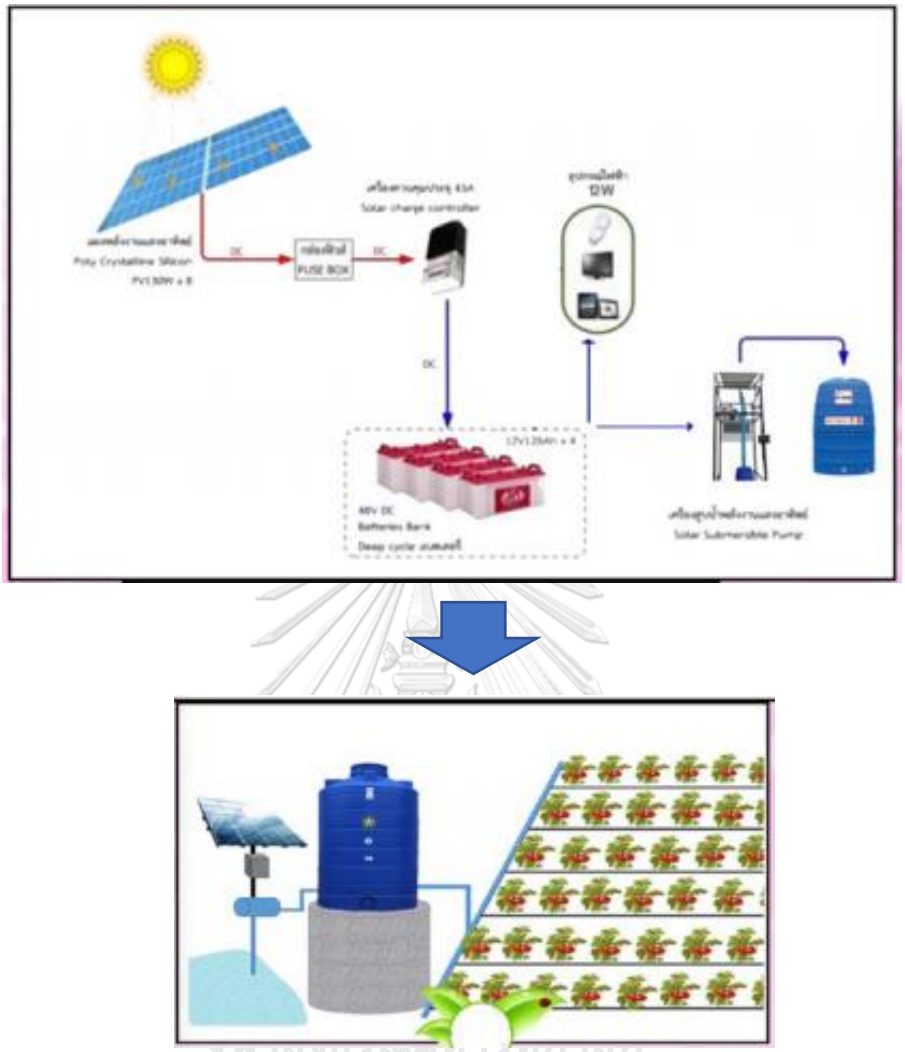
ที่มา: Singh, S. N., Jha, R., & Nandwana, M. K. (2012). Optimal design of solar powered fuzzy control irrigation system for cultivation of green vegetable plants in Rural India. In *2012 1st International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT)* (pp. 877-882). IEEE.

หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้คุณสมบัติของแสงอาทิตย์และอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (semi-conductor) พลังงานที่แผงโซล่าร์จ่ายนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและการฉายรังสีแสงอาทิตย์ พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสัดส่วนกับระดับการฉายรังสี ซึ่งแตกต่างกันไปตามช่วงเวลาของดวงอาทิตย์ ตั้งแต่ 200 วัตต์ที่อุณหภูมิมาตรฐาน (25°C)

1.2 ระบบน้ำหยดพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กับเครื่องสูบน้ำระบบชักสำหรับสูบน้ำจากสระน้ำในพื้นที่การเกษตรขึ้นมาใช้งาน อุปกรณ์ประกอบด้วย แผงโซล่าเซลล์ เครื่องสูบน้ำระบบปั๊มชักมอเตอร์ DC 24V 250 W แบตเตอรี่ และท่อน้ำ โดบแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ชุดท่อน้ำในสระเพื่อดูดน้ำและชุดท่อน้ำลำเลียงน้ำออกไปใช้ ดังรูปที่ 2.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.5 เครื่องสูบน้ำระบบปั๊มชัก

ที่มา: รพีพัฒน์ สุทธิวงศ์. (2560). การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานในพื้นที่เกษตรกรรมที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง. NDC Security Review, 8, 1-15.

การจ่ายน้ำด้วยระบบน้ำหยด ช่วยลดปัญหาการขาดแคลนเพื่อการเกษตร ในช่วงหน้าแล้ง ประโยชน์ของการ นอกจากนี้ ยังช่วยเกษตรกร ลดต้นทุนในการผลิต ประหยัดน้ำและพลังงาน และประหยัดเวลา เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ ให้สามารถควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ด้วยอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ (วีระชาติ จริตงาม, ภิญโญ ชุมมณี และขจร อนุดิตย์, 2561)

นอกจากนี้ ในประเทศยังมีโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริหลายโครงการ ที่มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการเกษตร ได้แก่ โครงการพัฒนาพื้นที่ดินเปรี้ยวบ้านตอหลังและโครงการศึกษาอิทธิพลของหญ้าแฝกที่ปลูกในชุดดินบ้านทอน ด้วย ระบบสูบน้ำด้วยไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อปรับสภาพน้ำเปรี้ยว โดยกรมโยธาธิการ และระบบสูบน้ำเพื่อการเกษตรด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในโครงการเกษตรผสมผสานมูโนะ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยกรมชลประทาน (สนับสนุนโดยกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน) เป็นต้น

2. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การตากผลิตผลทางการเกษตรต่าง ๆ เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการตากและอบแห้งสินค้าการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากจะใช้แสงอาทิตย์แล้ว เกษตรกรยังเพิ่มอัตราการอบแห้งและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเพิ่มการเคลื่อนที่ของอากาศในเครื่องอบแห้งด้วยเครื่องเป่าลมอีกด้วย

รูปที่ 2.6 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

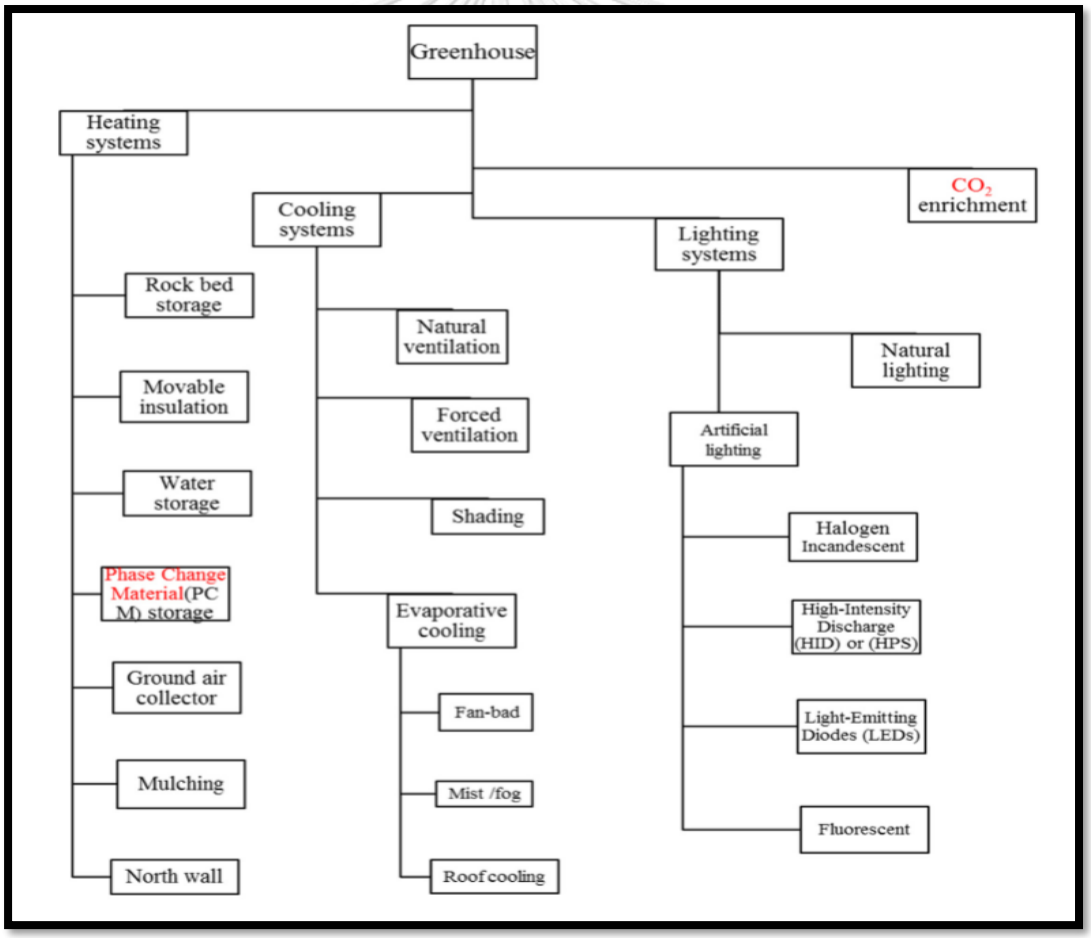
ที่มา: Hassanien, R. H. E., Li, M., & Lin, W. D. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 989-1001.

3. การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการปลูกพืชเรือนกระจก

ปัจจุบัน รัฐบาลในหลายประเทศพยายามหาวิธีเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการปลูกพืชเรือนกระจก และเป็นวิธีหนึ่งที่รัฐบาลจีนได้นำมาใช้กับเกษตรกรชาวจีนให้มีเรือนกระจกพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่า 1000 หมู่บ้านแล้ว ซึ่งในแต่ละปีสามารถสร้างรายได้ประมาณ 1,000 ดอลลาร์ต่อพื้นที่ไม่เกิน 300 ตารางเมตร โดยเป็นการปลูกพืชผักเพื่อการส่งออกไปยังต่างประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี เป็นต้น (Liu, Wang, Zhang & Xue, 2010)

เรือนกระจกเป็นโครงสร้างที่ปกคลุมด้วยวัสดุโปร่งใสเพื่อให้แสงอาทิตย์ส่องมาทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีที่สุด วัสดุคลุมที่ใช้ คือ พลาสติก แก้ว และไฟเบอร์กลาส วัสดุดังกล่าวทำให้คลื่นสั้นจากการฉายรังสีแสงอาทิตย์เข้าสู่เรือนกระจก วัสดุที่อยู่ในเรือนกระจกจะฉายคลื่นเหล่านี้อีกครั้งในรูปของรังสีอินฟราเรด (IR) ซึ่งถูกกักตัวไว้ในเรือนกระจกด้วยวัสดุคลุมโปร่งใส การฉายรังสีอาทิตย์ในเรือนกระจกขึ้นอยู่กับทิศทางของเรือนกระจก เรือนกระจกแบบตะวันออก – ตะวันตกมีประสิทธิภาพในการรวบรวมรังสีดวงอาทิตย์ในฤดูหนาวมากกว่าในฤดูร้อน (Hassanien, Li & Lin, 2016)

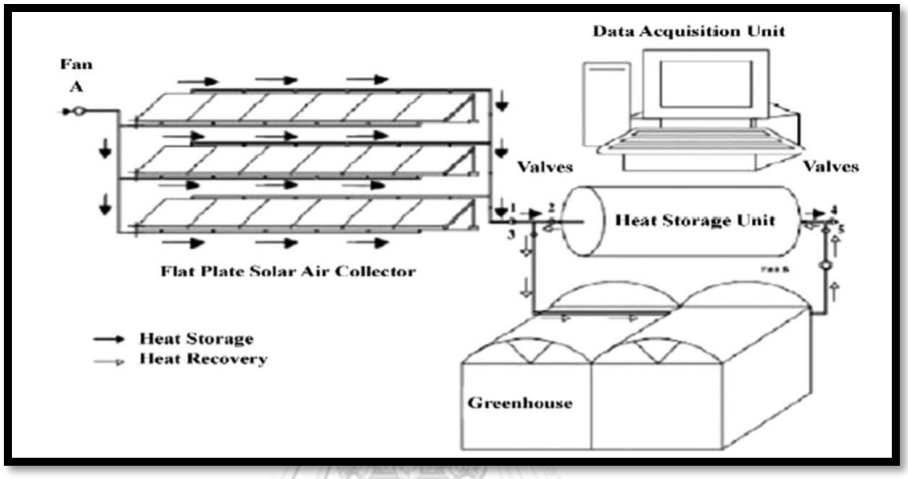
นอกจากการมีโรงเรือนกระจกแล้ว เกษตรกรยังต้องควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน โดยคำนึงถึง 1) อุณหภูมิภายในโรงเรือน 2) ความชื้นสัมพัทธ์ 3) ปริมาณแสง และ 4) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ดังภาพที่ 8) ซึ่งควรใกล้เคียงกับสภาพการเจริญเติบโตที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพืช



รูปที่ 2.7 ลักษณะการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในเรือนกระจก

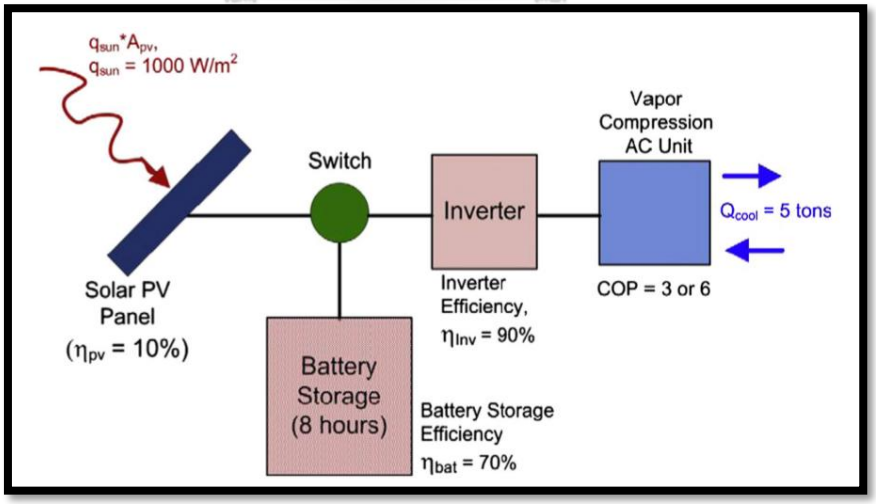
ที่มา: Hassanien, R. H. E., Li, M., & Lin, W. D. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 989-1001.

การอนุรักษ์พลังงานในโรงเรือนสามารถปรับปรุงได้ด้วย "หน้าจอความร้อนสองชั้น" และ "กระจกสองชั้น" ซึ่งลดความต้องการพลังงานลง 60% อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงที่สามารถลดความต้องการพลังงานสูงที่สุด (80%) คือ การใช้โรงเรือนกระจกปิดสนิทโดยไม่มีการระบายอากาศ ส่วนระบบการให้ความร้อน ระบบการให้ความเย็น และระบบการแจกจ่ายน้ำพืชผักภายในโรงเรือนกระจกมีวิธีการดังรูปที่ 2.8 (Hassanien, Li & Lin, 2016)



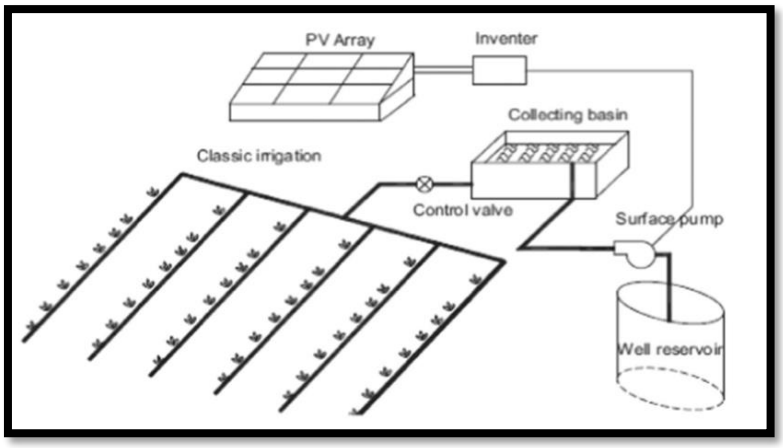
รูปที่ 2.8 ระบบการให้ความร้อนในเรือนกระจก

ที่มา: Hassanien, R. H. E., Li, M., & Lin, W. D. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 989-1001.



รูปที่ 2.9 ระบบการให้ความเย็นในเรือนกระจก

ที่มา: Hassanien, R. H. E., Li, M., & Lin, W. D. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 989-1001.



รูปที่ 2.10 ระบบการแจกจ่ายน้ำภายในโรงเรือนกระจก

ที่มา: Hassanien, R. H. E., Li, M., & Lin, W. D. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 989-1001.

นอกจากนี้ ยังมีวิธีการใช้แผงโซล่าเซลล์เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมในเรือนกระจกยังมีตัวอย่างการออกแบบ จำนวน 3 ตัวอย่าง ดังนี้

Yano, Onoe & Nakata (2014) พัฒนาต้นแบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสแบบไมโครสำหรับการใช้งานหลังคาเรือนกระจกโดยใช้สองโมดูล โมดูลแรก คือ การใช้เซลล์สุริยะทรงกลม 1500 ดวง (เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มม., ผลึกซิลิคอน) ที่มีความหนาแน่น 15.4 เซลล์ซม. ในพื้นที่ (108 มม. x 90 มม.) ร้อยละ 39 ของพื้นที่ของโมดูลนี้ถูกปกคลุมด้วยเซลล์สุริยะขนาดเล็กและส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 61 เป็นพื้นที่โปร่งใสเพื่อให้แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่เข้าสู่เรือนกระจกเพื่อการสังเคราะห์แสงของพืช โมดูลที่สอง คือ เซลล์ 500 เซลล์ที่มีความหนาแน่น 5.1 เซลล์ต่อเซ็นติเมตร ผลการศึกษาพบว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้าประจำปีต่อหน่วยของพื้นที่เรือนกระจก แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งใสเหมาะสำหรับโรงเรือนที่มีระบบควบคุมสิ่งแวดล้อมขั้นพื้นฐาน

Nakoul, Bibi-Triki, Kherrous, Bessenouci & Khelladi (2014) ประสบการณ์ในการบูรณาการ PV และเรือนกระจกดำเนินการในภาคตะวันออกเฉียงใต้ของสเปนได้รับการตรวจสอบในหลังคาเรือนกระจกที่มีพื้นที่ครอบคลุมร้อยละ 9.8 โดยใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางที่มีความยืดหยุ่น 24 ชิ้น ผลการวิจัยพบว่า การผลิตไฟฟ้ารายปีที่ปรับให้เป็นมาตรฐานสู่พื้นผิวเรือนกระจก คือ 8.25 กิโลวัตต์ ผลของแผงโซลาร์เซลล์ที่มีต่อการผลิตไฟฟ้าและผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศ พบว่า ไม่พบความแตกต่างระหว่างการผลิตมะเขือเทศภายใต้แฝงโซล่าเซลล์และเรือนกระจกควบคุมสภาพแวดล้อม แผงโซลาร์เซลล์ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตและราคาของมะเขือเทศ แต่อาจมีผลเสียต่อขนาดและสีของผลไม้ การจำลองพลังงานการผลิตไฟฟ้า พบว่า แผงที่มีสองแกนให้ประสิทธิภาพดีที่สุด และเซ็นเซอร์ทั้งสองให้ผลตอบแทนดีที่สุด

Van Beveren, Bontsema, Van Straten, & Van Henten (2015) เสนอโมดูลลดพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานของเรือนกระจกในการปลูกกุหลาบเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบทำความร้อนและความเย็น Van Bevern และคณะ พบว่า ศักยภาพในการประหยัดพลังงานของเกษตรกรมีความสำคัญมาก เนื่องจาก การระบายอากาศตามธรรมชาติทำได้น้อยลงในวันที่อากาศเย็น ในขณะเดียวกันการผ่อนคลายอุณหภูมิและความชื้นจะลดพลังงานที่ป้อนเข้าสู่เรือนกระจกลง

ระบบการปลูกผักไร้สารพิษ

ระบบการปลูกผักมี 2 ระบบด้วยกัน คือ 1) การปลูกผักโดยใช้ดิน และ 2) การปลูกผักโดยไม่ใช้ดิน หรือที่เรียกว่า การปลูกผักแบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) (รายละเอียดในภาคผนวก จ การปลูกผักแบบไฮโดรโปนิกส์)

1. การปลูกผักแบบใช้ดิน

คนส่วนใหญ่ให้การยอมรับการปลูกพืชบนดินมากกว่าปลูกพืชแบบไร้ดิน เนื่องจากการปลูกพืชบนดินเป็นวิธีดั้งเดิมที่มนุษย์ได้เริ่มต้นปฏิบัติกันมา และไม่มีความซับซ้อนยุ่งยากในการปลูก เพียงแค่นำเมล็ดพันธุ์หรือต้นกล้ามาลงแปลงปลูก ใส่ปุ๋ย รดน้ำ พรวนดินอย่างสม่ำเสมอ พืชผักจะสามารถงอกเงยขึ้นได้ แต่จะให้ผลลัพธ์ที่ดีหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับการบำรุงและการดูแลรักษา การที่พืชจะมีการเจริญเติบโตได้ดีนั้นต้องอาศัยปัจจัยหลายๆ อย่างเข้าด้วยกัน ทั้งสภาพภูมิอากาศ น้ำ ธาตุอาหารจากดิน ดังนั้น การปลูกพืชบนดินจะใช้หลักพื้นฐานง่ายๆ คือ การนำทรัพยากรที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้งานให้มากที่สุด โดยพืชจะใช้ธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินมาใช้เพื่อการเจริญเติบโต แต่ก็มีข้อเสียอยู่ที่ว่าหากดินไม่ดี ทำให้เสียเวลาในการดูแล ปรับปรุงบำรุงดิน และคืนสภาพของดินอย่างมาก ทั้งโครงสร้างของดินที่แตกต่างกัน ปริมาณธาตุอาหาร ค่า pH ของดิน ล้วนแต่เป็นสิ่งที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดินชั้นบน หรือ ชั้นไถพรวนมีความสำคัญต่อการเพาะปลูกพืชมาก เนื่องจากรากของพืชส่วนมากจะชอนไชหาอาหารบริเวณดินชั้นนี้ ดินชั้นบนเป็นชั้นที่มีอินทรียวัตถุสูงกว่าชั้นอื่น ปกติดินชั้นบนจะมีสีเข้มหรือคล้ำกว่าชั้นอื่น ๆ ใช้สำหรับการเพาะปลูกพืชทั่ว ๆ ไป จะต้องมีความหนาตั้งแต่ 0-15 เซนติเมตร ส่วนดินชั้นล่างมีรากชอนไชลงไปเพื่อช่วยในการพยุงลำต้น แต่ดินชั้นนี้จะมีอินทรียวัตถุน้อยกว่าชั้นบนดิน ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก ควรต้องมีหน้าดิน รวมดินชั้นบนและดินชั้นล่างมีความลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร

2. การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (Soilless Culture)

การปลูกพืชโดยไม่ใช่ดินเป็นเทคโนโลยีที่เกิดมานานกว่า 80 ปี ซึ่งนิยมนำมาใช่ปลูกพืชในประเทศเขตกึ่งหนาว และหนาว โดยปลูกในโรงเรือน ต่อมาพบปัญหาของดินที่ใช้สำหรับปลูกพืชในโรงเรือนมีการสะสมโรคและแมลงได้ง่าย เมื่อปลูกไปสักระยะดินก็เริ่มอัดตัวแน่นจนต้องมีการเปลี่ยนถ่ายดินอยู่เสมอ เกิดความยุ่งยาก จึงได้เริ่มมองหาทางเลือกในการปลูกพืช และได้ให้ความสนใจวิธีการปลูกพืชในน้ำ วงการวิจัยการปลูกพืชจึงได้เริ่มตื่นตัวมาทำการทดลองเกี่ยวกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินหรือปลูกพืชในน้ำกันมากยิ่งขึ้น จนในปี ค.ศ.1930 ดร.วิลเลี่ยม เอฟ เกอร์ริค (Dr. William F. Gericke) จากมหาวิทยาลัยแห่ง มลรัฐแคลิฟอร์เนีย เป็นคนแรกที่ได้ทำการสาธิตว่าสามารถปลูกพืชในน้ำสารละลายอาหารจนถึงขั้นได้ผลผลิตในเชิงการค้าได้เป็นผลสำเร็จ และยังเป็นผู้ตั้งชื่อวิธีการปลูกพืชแบบนี้ว่า “ไฮโดรโปนิกส์” (Hydroponics) โดยนำเอาคำจากภาษากรีก 2 คำ คือ “Hydro” ที่แปลว่าน้ำ และ “Ponos” ที่แปลว่างาน มารวมกันได้ความหมายว่า “การทำงานของน้ำ” (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) กลายเป็นชื่อที่เรียกติดปากสำหรับการปลูกพืชในน้ำจนถึงทุกวันนี้

สำหรับในประเทศไทยการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เป็นที่รู้จักกันเมื่อประมาณ 10 ปี ที่ผ่านมา และในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าธุรกิจการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์หรือการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทยกำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว สามารถพบเห็นผลิตภัณฑ์จากไฮโดรโปนิกส์ส่วนหนึ่งวางจำหน่ายอยู่ในห้างสรรพสินค้าทั่วไปในโซนขายผักปลอดสารพิษ และมีราคาที่สูงกว่าผักทั่วไป

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หมายถึง การปลูกพืชโดยใช้วัสดุใดๆ ที่ไม่ใช่ดิน พืชจะได้รับน้ำและอาหารที่ต้องการจากสารละลายธาตุอาหารที่ผู้ปลูกเป็นคนนำมาให้เท่านั้น ซึ่งดินในที่นี้ หมายถึงดินชนิดต่างๆ รวมไปถึงอินทรีย์วัตถุ ที่มีธาตุอาหารแก่พืช เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก กากน้ำตาล ฯลฯ ส่วนวัตถุที่ไม่ใช่ดิน คือ วัตถุที่ไม่มีธาตุอาหารเจือปน มีทั้งวัสดุธรรมชาติ เช่น ทราย กรวด น้ำ ขุยมะพร้าว แกลบ และวัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น แร่ใยหิน พูไมซ์ (pumice) เพอร์ไรท์ (Perilte) เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) และเม็ดดินเผา (Hydrotron)

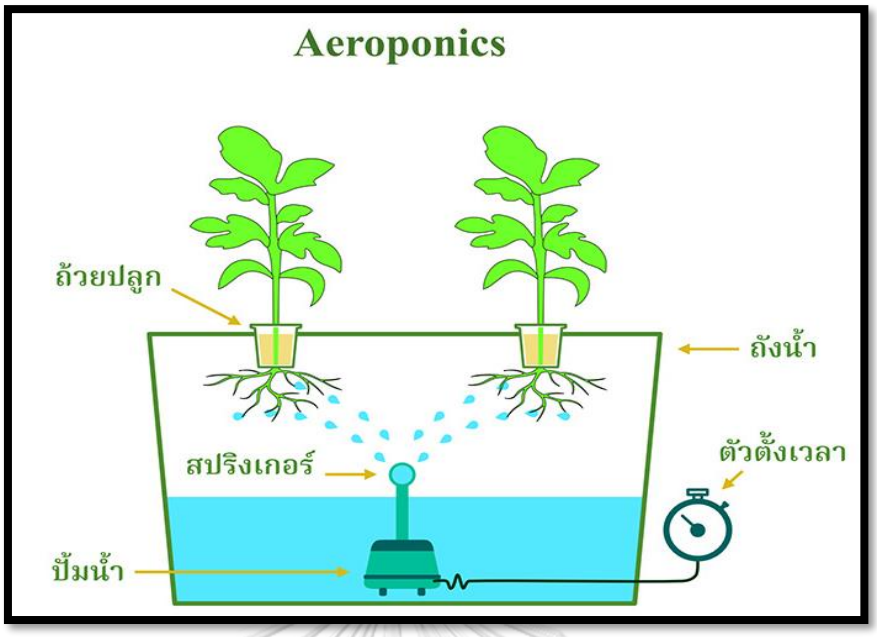
ดังนั้น การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน จึงเป็นการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารโดยให้รากสัมผัสกับอาหารโดยตรง การปลูกพืชลักษณะนี้ผู้ปลูกต้องควบคุม อุณหภูมิของสารละลายอาหาร ปริมาณน้ำ และธาตุอาหารให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

ประเภทของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน จากการที่มนุษย์ค้นพบว่าสามารถปลูกพืชให้เจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องใช้ดิน เพียงแต่จัดการให้พืชได้รับ น้ำ ธาตุอาหาร ออกซิเจน และที่ยึดเกาะพยุงลำต้น จากภายนอกเพื่อทดแทนที่ไม่ได้รับจากดินนั้น ต่อมาจึงได้มีการพัฒนารูปแบบและวิธีการต่างๆ ในการที่จะให้น้ำ ธาตุอาหารแก่รากพืช ในการเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำ และในการให้ที่ยึดเกาะแก่ต้นและรากพืช ทำให้เกิดเป็นวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในรูปแบบต่างๆ ได้มากมาย หากจัดกลุ่ม

ประเภทของการปลูกโดยไม่ใช้ดินโดยพิจารณาจากที่อยู่ของรากพืชแล้ว สามารถแบ่งประเภทของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, ม.ป.ป.).

2.1 ประเภทการปลูกในวัสดุปลูก (Substrate culture) เป็นวิธีการปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกชนิดต่างๆ ทั้งที่เป็นอินทรีย์และอนินทรีย์ต่างๆ ได้แก่ ทราย กรวด ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว ร็อควูลล์ พีท ฯลฯ การปลูกพืชระบบนี้ เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย การปลูกพืชในวัสดุปลูกส่วนใหญ่จะแตกต่างกันทางด้านของเทคนิคการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหารพืช (ความถี่และปริมาณสารละลายที่ให้แต่ละครั้งและองค์ประกอบของสารละลาย) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุปลูกที่ใช้ ซึ่งจะต้องมีการทดลองเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสม (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, ม.ป.ป.).

2.2 ประเภทการปลูกในอากาศ (Aeroponics) เป็นการปลูกพืชระบบรากแขวนอยู่ในอากาศ หลักการของระบบนี้ คือ เป็นการปลูกพืช โดยที่ส่วนของรากนั้นลอยอยู่ในอากาศ แล้วจ่ายสารละลายธาตุอาหาร (nutrient solution) ให้แก่พืชโดยวิธีฉีดพ่นสารละลายเป็นฝอย (mist) หรือหมอก (aerosol) ไปที่รากพืชโดยตรงอย่างต่อเนื่อง หรือฉีดพ่นเป็นระยะๆ และสารละลายที่เหลือก็จะไหลไปรวมกันที่ถังพัก เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (ถิระวรรธน์ สืบธนะวงษ์ และกรวิทย์ กระจ่างพันธ์, 2561) ทำให้มีความชื้นอิ่มตัวอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้รากคงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับ 95-100% เพื่อให้พืชได้อาหารครบถ้วนและพอเพียง รากพืชจะลอยอยู่ในอากาศในระบบปิดที่กันแสง การปลูกด้วยระบบแอโรโพนิคส์ต้องใช้ระบบควบคุมการฉีดพ่นธาตุอาหารแบบอัตโนมัติ วิธีการนี้ใช้น้ำน้อยมาก ประหยัดน้ำถึง 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการปลูกพืชในดิน (Barth, 2561) จากการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารจะไปกระตุ้นให้รากพืชเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ภายใน 10 วัน โดยเฉพาะพืชผักสามารถเจริญเติบโตเก็บเกี่ยวได้ภายใน 30 วันเท่านั้น โดยรูปแบบการปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศนี้ จะนิยมสำหรับพืชหัวที่ไม่สามารถแช่อยู่ในน้ำหรืออยู่ในดินที่จะเสี่ยงต่อโรค เมื่อมีระยะการปลูกนานเกิน 2 เดือน ระบบนี้เหมาะสำหรับการปลูกพืชที่มีพื้นที่จำกัด (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, ม.ป.ป.).

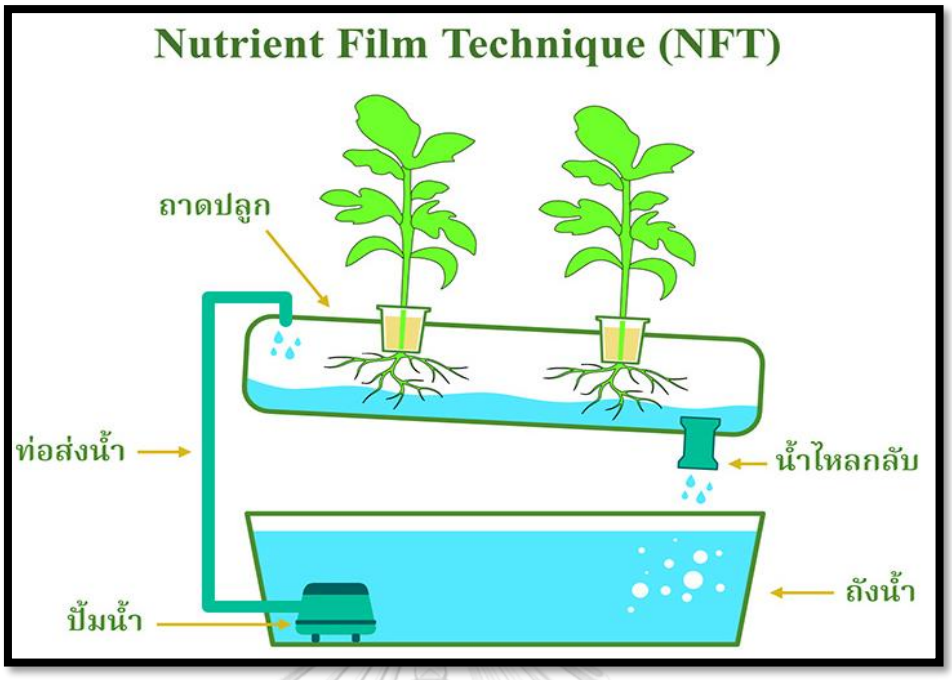


รูปที่ 2.11 ระบบปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศ

ที่มา Hydroponics แต่ละแบบทำงานยังไง. (2562). สืบค้นจาก https://thaismartfarms.com/hydroponics-systems/

2.3 ประเภทการปลูกในน้ำ (Water culture) หมายถึง ลักษณะของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รากพืชจะต้องสัมผัสหรือแช่อยู่ในน้ำสารละลายธาตุอาหาร (nutrient solution) โดยตรงและตลอดเวลา มีอยู่หลายเทคนิค ได้แก่ (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, ม.ป.ป.)

2.3.1 เทคนิคน้ำไหลบาง (Nutrient Film Technique: NFT) เป็นเทคนิคการปลูกพืชในน้ำ โดยปล่อยสารละลายธาตุอาหารเป็นแผ่นบาง หนาเพียง 2-3 มม. ไหลผ่านรากพืชที่ปลูกอยู่บนรางพลาสติก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) เทคนิคนี้ไม่ต้องมีการเติมอากาศให้กับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง แต่อาศัยการที่น้ำสารละลายอาหารจะต้องมีการเคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ระบบ เมื่อไหลกลับมาตกสู่ถังพักจะทำให้เกิดฟองอากาศแทรกเข้าไปในสารละลายโดยอัตโนมัติ (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, ม.ป.ป.) พืชที่ปลูกได้ดีและนิยมปลูก ได้แก่ผักกินใบ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)



รูปที่ 2.12 เทคนิคน้ำไหลบาง

ที่มา Hydroponics แต่ละแบบทำงานยังไง. (2562). สืบค้นจาก https://thaismartfarms.com/hydroponics-systems/

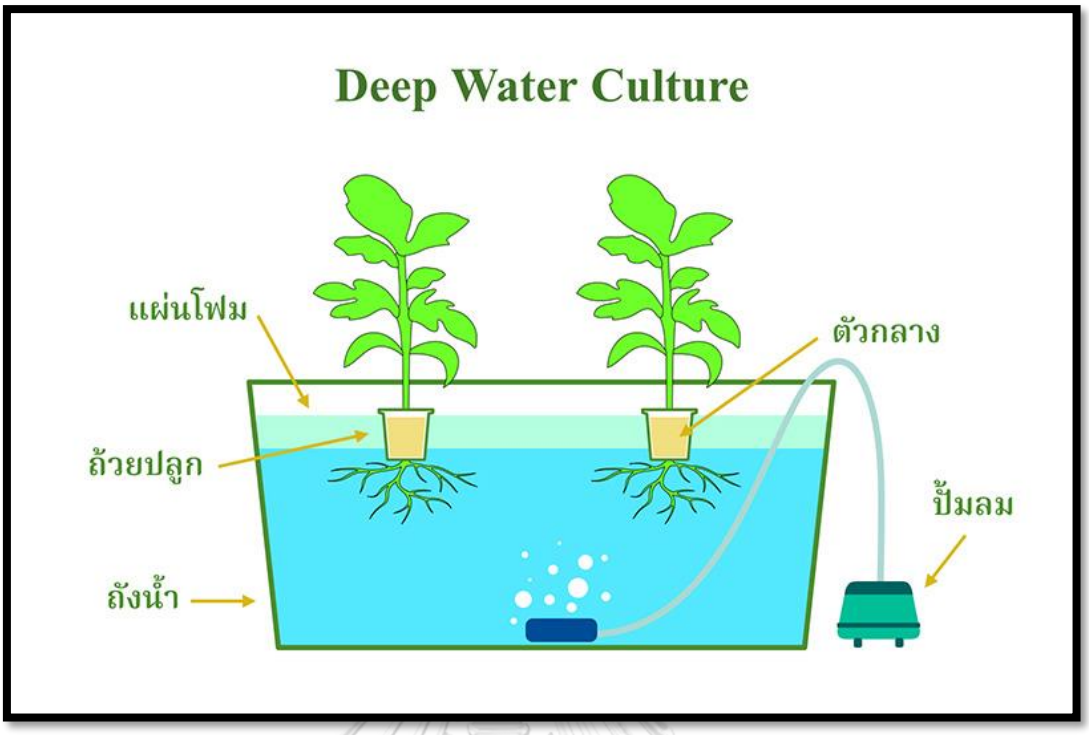
2.3.2 เทคนิคการปลูกพืชในน้ำลึกไหลล้น (Deep Flow Technique: DFT) การปลูกวิธีนี้ เหมือนการปลูกลอยน้ำ ซึ่งสามารถปลูกได้ดีในที่แดดจัด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) เป็นการปลูกพืชลงในภาชนะที่มีความลึก 5–10 ซม. เช่น กะบะ ราง หรือรูปทรงอื่นๆ โดยที่ด้านหนึ่งจะมีท่อน้ำไหลเข้าและที่ปลายอีกด้านหนึ่งมีท่อสำหรับน้ำไหลออก ตำแหน่งหรือความสูงของท่อน้ำออกที่เจาะไว้เป็นตัวกำหนดความลึกหรือความสูงของน้ำที่จะขังอยู่ในราง เมื่อน้ำไหลท่วมภาชนะจนสูงเกินกว่าท่อน้ำออก น้ำก็จะไหลล้นออกไปสู่ท่อน้ำออก และไหลสู่ระบบท่อน้ำไหลกลับเข้าสู่ถังพัก เมื่อตกลงสู่ถังพักจะเกิดฟองอากาศ อากาศจึงถูกเติมลงไปในน้ำอัตโนมัติ และน้ำก็จะถูกสูบวนเวียนกลับเข้ามาในภาชนะ ทำให้เกิดการไหลวนของน้ำผ่านภาชนะที่รากพืชอาศัยอยู่ โดยไม่ต้องมีการเติมอากาศให้น้ำในภาชนะโดยตรง (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, ม.ป.ป.) ผักที่ปลูกได้ดีได้แก่ผักไทย เช่น คะน้า ผักบุ้ง ผักโขม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

2.3.3 เทคนิคการปลูกพืชในน้ำลึก (Dynamic Root Floating Technique: DRFT) โดยให้สารละลายธาตุอาหารและอากาศไหลวนผ่าน รากผักในระดับลึกอย่างต่อเนื่อง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) เป็นเทคนิคที่ดัดแปลงมาจากเทคนิคการปลูกพืชในน้ำลึกไหลล้น และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีรางปลูกที่กว้าง และมีร่องน้ำอยู่บริเวณกลางรางหลายๆ ร่อง เพื่อบังคับให้สารละลายธาตุอาหารไหลอย่างมีทิศทาง คือ ผ่านร่องจากหัวรางไปยังปลายรางก่อนที่จะ

ล้นลงสู่ถังพักใต้โต๊ะก่อนที่จะถูกดูดกลับขึ้นมาไหลวนอย่างต่อเนื่อง ระดับของสารละลายในรางจะสูงไม่เกินสันราง คือ ประมาณ 6 ซม. ด้านบนปิดด้วยแผ่นโฟมที่เจาะเป็นช่องเพื่อสอดต้นกล้าผักที่เพาะอยู่ในก้อนฟองน้ำ รากผักจะเจริญและทอดตัวอยู่ในร่องน้ำ ได้รับแร่ธาตุอาหารและออกซิเจนจากสารละลายที่ไหลผ่านอย่างต่อเนื่อง เมื่อผักมีอายุมากขึ้นและรากเริ่มยาว ปลายรากไปอยู่ในระดับน้ำที่ลึกลงซึ่งมีปริมาณออกซิเจนที่น้อยลง ก็จะมีการลดระดับของน้ำลงโดยการปรับลดความสูงของท่อดักน้ำล้นที่ท้ายราง เมื่อระดับน้ำลดลงจะเกิดช่องว่างระหว่างระดับน้ำกับพื้นโฟม เรียกว่า Air gap ที่ช่วยให้รากได้สัมผัสกับอากาศอีกทางหนึ่ง (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, ม.ป.ป.)

2.3.4 เทคนิคการปลูกพืชในน้ำนิ่งแบบต้องเติมอากาศ (Deep Water Technique: DWT) เป็นการปลูกพืชในภาชนะที่บรรจุน้ำที่มีความลึกตั้งแต่ 15 ซม. ขึ้นไป (สำหรับผักกินใบ) ขึ้นอยู่กับขนาดของต้นพืชและรากที่ปลูก รากพืชต้องแช่ตลอดเวลาอยู่ในน้ำสารละลายที่ไม่มีการหมุนเวียน วิธีการปลูกแบบนี้จึงต้องมีการเติมอากาศให้กับน้ำตลอดเวลาโดยใช้ปั๊มลม ขนาดของปั๊มอากาศขึ้นอยู่กับขนาดของภาชนะและปริมาณน้ำ โดยทั่วไปแล้วควรต้องเติมอากาศให้น้ำสารละลายมีปริมาณออกซิเจนไม่น้อยกว่า 6 – 8 มก./ลิตร จึงจะเหมาะสมกับความต้องการของรากพืช ปั๊มอากาศขนาด 45 w 220 v ความถี่ 50 Hz แรงดันอากาศประมาณ 0.06 Mpa สำหรับให้ออกซิเจนแก่โต๊ะปลูกขนาด 2.50 x 1.75 เมตร ความสูงของน้ำประมาณ 15 ซม. ซึ่งบรรจุน้ำปริมาตร 650 ลิตร/โต๊ะ (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, ม.ป.ป.)

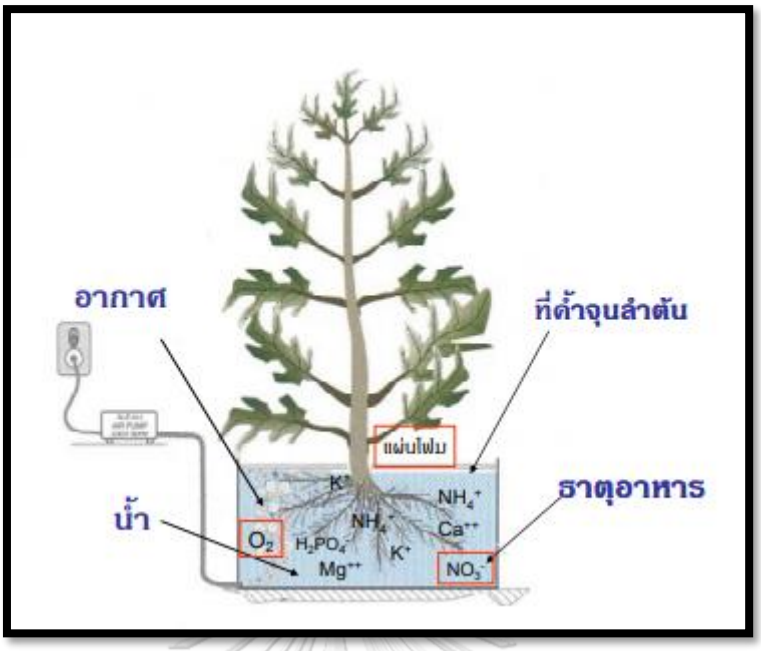
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.13 เทคนิคน้ำนิ่งแบบต้องเติมอากาศ

ที่มา: Hydroponics แต่ละแบบทำงานยังไง. (2562). สืบค้นจาก https://thaismartfarms.com/hydroponics-systems/

ในบรรดาวัสดุที่นำมาปลูกพืชแทนดิน น้ำกลายเป็นวัตถุที่เหมาะสมที่สุด (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, ม.ป.ป.) เนื่องจากพืชมีความต้องการน้ำอยู่แล้ว และสารอาหารที่พืชต้องการก็อยู่ในรูปของสารละลายในน้ำเท่านั้น ออกซิเจนที่รากพืชต้องใช้ในการหายใจก็สามารถแทรกตัวอยู่ในน้ำได้ และอันดับสุดท้าย เรื่องของการยึดเกาะพะยุงตัว พืชขนาดเล็กสามารถลอยตัวเหนือน้ำได้ นอกจากนี้ผู้ปลูกสามารถจัดหาวัสดุสำหรับยึดพะยุงพืชได้



รูปที่ 2.14 องค์ประกอบของการปลูกพืชแบบในน้ำ

ที่มา: ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. (ม.ป.ป.). การปลูกพืชไม่ใช้ดิน. สืบค้นจาก http://eto.ku.ac.th/neweto/e-book/other/soliess%20plants.pdf.

จากภาพ สิ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช มีดังนี้ ที่ให้รากยึดเกาะเพื่อการทรงตัว น้ำ แร่ธาตุอาหาร และอากาศที่ใช้หายใจของราก

ดังนั้น หากมีปัจจัยครบ 4 ประการ ก็ไม่จำเป็นต้องพึ่งดินอีกต่อไป การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หากผู้ปลูกควบคุมและจัดการปริมาณน้ำและธาตุอาหารได้อย่างเหมาะสม จะส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ให้ผลผลิตสูงมีคุณภาพ ในเวลาที่รวดเร็ว และประหยัดกว่าการปลูกพืชโดยใช้ดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานทดแทนในการเกษตร จำนวน 10 เรื่อง แบ่งเป็นงานวิจัยในประเทศไทย จำนวน 3 เรื่อง และงานวิจัยต่างประเทศจำนวน 7 เรื่อง แต่ละเรื่องสังเคราะห์เพื่อแสดงวิธีการศึกษาและผลการวิจัยดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ

ผู้แต่ง (ปี)	ชื่อเรื่อง/ประเด็นที่ศึกษา	ผลการวิจัย
วีระชาติ จริตงาม, ภญญโญ ชุมมณี, และขจรอนุดิตย์ (2561)	ศึกษาการพัฒนาระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านระบบโทรศัพท์มือถือ มาใช้ในการเกษตรให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยมีการจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ให้แก่แปลงพืช	ระบบติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับค่าความชื้นของดิน และควบคุมการทำงานผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอย (Andriod) ทำให้ระบบจ่ายน้ำพืชได้อย่างเหมาะสมตามระยะเวลาที่ต้องการ ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน
สุรชัย ณรัฐจันทร์ศรี (2550)	ศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล ประกอบด้วย ตู้อบแห้ง แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ และชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนภายใต้การอบแห้งด้วยความเร็วลม 7.27 m/s	แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ออกแบบได้ร้อยละ 16.65 และสามารถรักษาอุณหภูมิของลมร้อนที่ผลิตได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยมากกว่า 50°C ที่นานถึง 6 ชั่วโมง และด้วยความเร็วลม 7.63 m/s สามารถทำให้อุณหภูมิของตู้อบแห้งสูงกว่า 50°C ภายใน 2 ชั่วโมงเมื่อใช้ความร้อนที่ได้ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน และเมื่อทดสอบอบพริกจำนวน 2 kg เป็นเวลา 15 ชั่วโมง พบว่า เครื่องอบแห้งมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 1.25 MJ/kgwater และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ที่ 1.44 kg/kgwater พริกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งนี้มีความชื้นต่ำกว่ามาตรฐานพริกแห้งอยู่ประมาณร้อยละ 57.90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ผู้แต่ง (ปี)	ชื่อเรื่อง/ประเด็นที่ศึกษา	ผลการวิจัย
ดนิตา พัฒนวนิชชากร (2551)	เปรียบเทียบเทคนิคการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน ต่อการผลิตผักกาดฮ่องเต้ ประกอบด้วย การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชอย่างต่อเนื่อง (NFT) ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชในระดับลึก (DFT) ระบบรากลอยในอากาศ โดยใช้วัสดุปลูกที่มี เพอร์ไลท์ และเวอร์มิคูไลท์	ผลการทดลองพบว่าการเจริญเติบโตของผักกาดฮ่องเต้มีความแตกต่างกันในแต่ละระบบ โดยปลูกในระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชในระดับลึกมีผลผลิตสูงสุดรองลงมา คือ การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชอย่างต่อเนื่อง
Bardi, El Asmar, & Lavacchi (2013)	วิธีปรับโครงสร้างการเกษตรให้ใช้พลังงานทดแทน	การใช้พลังงานทดแทนถูกนำไปใช้ในฟาร์มการเกษตรที่ใช้เชื้อเพลิงในราคาที่ไม่เหมาะสม พลังงานลมและ/หรือพลังงานไฟฟ้าโซลาร์เซลล์จึงถูกนำมาใช้ โดยงานวิจัยนี้พบว่า พลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนควรถูกนำมาใช้บางส่วนในฟาร์มการเกษตร เพื่อการเปลี่ยนแปลงไปสู่การพัฒนาการเกษตรที่ยั่งยืนอย่างแท้จริง
Ali, Dash & Pradhan (2012)	การใช้พลังงานทดแทนในการเกษตรในพื้นที่ชนบทของประเทศอินเดีย	การใช้พลังงานทดแทนสามารถเพิ่มแหล่งพลังงานที่ใช้ในการเกษตร และช่วยทำให้รายได้จากผลผลิตเพิ่มมากขึ้น
Faucher & Bastien (2006)	การเลือกใช้พลังงานทดแทนที่ประหยัดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาใช้ในฟาร์มการเกษตรประเทศแคนาดา กรณีศึกษาการเกษตรที่มีฟาร์มการปลูกพืชและเลี้ยงสุกร	ภายในฟาร์มสามารถนำปุ๋ยมาใช้เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้สำหรับเครื่องยนต์สัปดาปภายในได้ ซึ่งให้ความร้อนและไฟฟ้า ระบบดังกล่าวเป็นการช่วยให้การจัดการปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

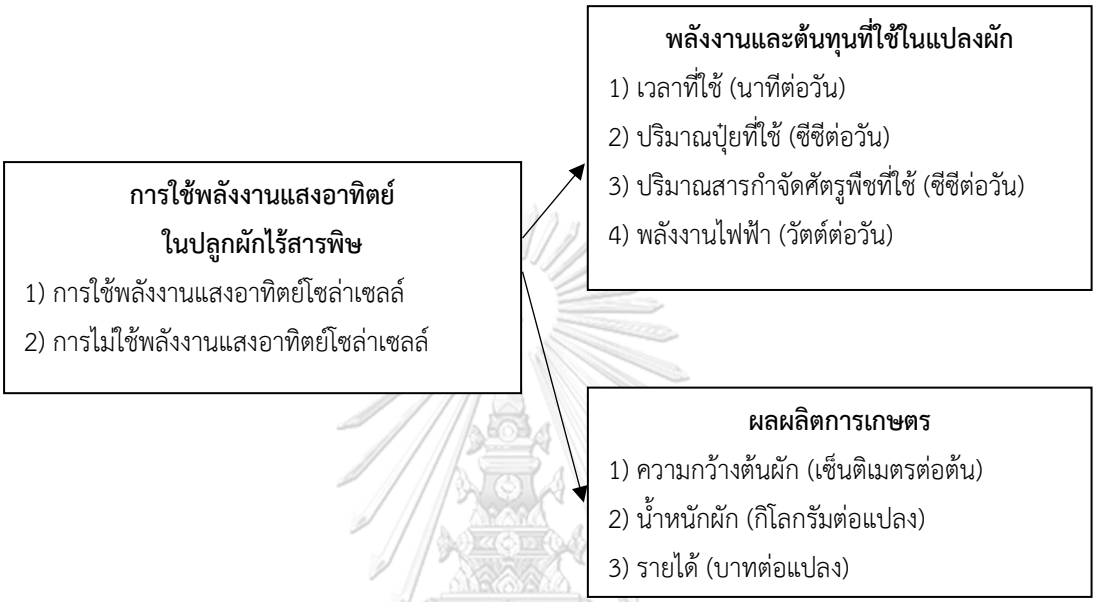
ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ผู้แต่ง (ปี)	ชื่อเรื่อง/ประเด็นที่ศึกษา	ผลการวิจัย
Chel & Kaushik (2011)	การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้แผงโซล่าเซลล์สำหรับการปลูกพืชและผักเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน	โครงการสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์ได้ในราคาที่ถูกที่สุด โดยใช้แผงโซล่าเซลล์แทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง
Singh, Jha, & Nandwana (2012)	วิธีแก้ปัญหาตัวควบคุมการชลประทานเพื่อการปลูกพืชผักโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยพัฒนาตัวควบคุมเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ฟัซซี (fuzzy) และทดสอบการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ	ตัวควบคุมเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ฟัซซี (fuzzy) สามารถประหยัดน้ำและต้นทุนการผลิตพลังงานได้ถึงร้อยละ 50-60
Hassanien, Li & Lin (2016)	ศึกษาเทคโนโลยีการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในระบบควบคุมสิ่งแวดล้อมในเรือนจกของการปลูกพืชผัก ได้แก่ 1) การระบายความร้อน 2) การให้ความร้อน และ 3) การให้แสง	พลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่สร้างขึ้นจากแผงโซลาร์เซลล์ (PV) และตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์
Fabrizio (2012)	งานวิจัยศึกษาใน 3 ประเด็น ได้แก่ 1) การใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตกลวงเพื่อลดการส่งผ่านความร้อนของกระจก 2) การประยุกต์ใช้แผ่นโพรพิลีนเป็นระบบทำความร้อนพื้นฐาน และ 3) การจับพลังงานแสงอาทิตย์โดยการสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาเรือนกระจกอุโมงค์ที่มีความยาว 40 ม. และกว้าง 10 ม.สำหรับการผลิตใบโหระพาด้วยสภาพภูมิอากาศทางตะวันตกเฉียงเหนือในประเทศอิตาลี	โรงเรือนกระจกสามารถประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 30 โดยใช้วัสดุโปร่งใสที่หุ้มฉนวนมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามการใช้แผงโซล่าเซลยังคงเป็นปัญหาอยู่เนื่องจากการใช้ที่ดินขนาดใหญ่และประสิทธิภาพแสงแดดของโลกที่ต่ำลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรอบแนวคิด

จากการทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานทดแทนในการปลูกผักไร้สารพิษ ผู้วิจัยสังเคราะห์ตัวแปรและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังภาพกรอบแนวคิด



รูปที่ 2.15 กรอบแนวคิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้แบบแผนการวิจัยเชิงทดลองแบบการทดลองระยะยาวสองกลุ่ม (Control Group time series design) โดยศึกษาการปลูกแปลงผักไร้สารพิษในพื้นที่จำกัด จำนวน 2 แปลง แปลงแรกใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์ และแปลงที่สองไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์ ผู้วิจัยติดตามผลการปลูกผักของทั้งสองแปลงเป็นระยะเวลา 45 วัน โดยเก็บผลการทดลองทุกวัน รายละเอียดการดำเนินการวิจัยในแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังนี้

หน่วยการวิเคราะห์ (unit of analysis)

หน่วยการวิเคราะห์ของการวิจัยครั้งนี้ คือ แปลงผักไร้สารพิษในพื้นที่จำกัดบนระเบียงอาคารพาณิชย์ ซึ่งมีจำนวน 2 แปลง ประชากร คือ ต้นผักกรีนโอ้ค ปลูกแปลงละจำนวน 30 ต้น รวมเป็นแปลงผักปลูกบนอาคารพาณิชย์ 2 หลังที่ติดกันโดยมีเพียงผนังทับกันระหว่างระเบียง ตั้งอยู่ตำบลศรีราชา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปของบริเวณแปลงผักไร้สารพิษทั้ง 2 แปลง การเก็บค่าต่างๆ ของแปลงผักทั้งสองเก็บ ณ เวลา 8.00 น. ของทุกวันเป็นเวลา 45 วัน ซึ่งปลูกในช่วงฤดูฝน (1 กรกฎาคม - 14 สิงหาคม พ.ศ.2563) แปลงผักทั้งสองมีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์มีอุณหภูมิสูงกว่า ปริมาณแสงแดด และความเร็วลมสูงกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ และแปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ (ตารางที่ 3.1) ทั้งนี้ เนื่องจากผู้วิจัยคำนึงถึงความเพียงพอของการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อมาใช้ในแปลงผัก ดังนั้น แม้ว่าแปลงผักทั้งสองจะตั้งอยู่พื้นที่ใกล้เคียงกัน แต่แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์จะถูกติดตั้งให้อยู่ในบริเวณที่โดนแสงแดดมากกว่า ดังนั้นสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างเหล่านี้ ผู้วิจัยจะนำไปพิจารณาเป็นตัวแปรร่วม (Covariate Variable) ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบสภาพภูมิอากาศบริเวณแปลงผัก

สภาพภูมิอากาศ	แปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์		แปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์		t (P-value)
	X	S.D.	X	S.D.	
อุณหภูมิ (°C)	31.367	0.483	30.346	0.627	8.646**(0.000)
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	84.733	7.715	89.422	5.168	-3.387**(0.001)
ปริมาณแสงแดด (cd)	36,642	321	30,819	2,615	14.825**(0.000)
ความเร็วลม (Knot)	31.304	2.103	27.293	0.341	12.629**(0.000)

หมายเหตุ: รายละเอียดสภาพภูมิอากาศในแต่ละวันแสดงในภาคผนวก

**P < 0.01

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ในการวัดสภาพภูมิอากาศทั่วไป ได้แก่ 1) เทอร์โมมิเตอร์ 2) เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ 3) เครื่องวัดปริมาณแสงแดด และ 4) เครื่องวัดความเร็วลม นอกจากการวัดค่าสภาพภูมิอากาศทั่วไปที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักที่เป็นตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้แล้ว ผู้วิจัยยังเก็บค่าตัวแปรตามกรอบแนวความคิด โดยมีหน่วยการวัดและเครื่องมือการวิจัยแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือการวิจัย

ตัวแปรตามกรอบแนวคิด	หน่วยการวัด	เครื่องมือที่ใช้วัด
1) พลังงานกลสำหรับการดำเนินงานในการปลูกผัก	เวลาที่ใช้นาทีต่อวัน	นาฬิกา
2) ปริมาณปุ๋ยที่ใช้	ซีซีต่อวัน	ตาชั่ง
3) ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้	ซีซีต่อวัน	ตาชั่ง
4) พลังงานไฟฟ้า	วัตต์ต่อวัน	เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า
5) ความกว้างลำต้นผัก	เซ็นติเมตรต่อต้น	ตลับเมตร
6) น้ำหนักผัก	กิโลกรัมต่อแปลง	ตาชั่ง
7) รายได้จากผลผลิตการเกษตร	บาทต่อแปลง	การนับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยวัดค่าตัวแปรตามและค่าสภาพภูมิอากาศทั่วไปของแปลงผักทั้งสอง ณ เวลา 8.00 น. ของทุกวันเป็นเวลา 45 วัน

การวิเคราะห์ข้อมูล

วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 1-2 ได้แก่ 1) ศึกษาเทคโนโลยีและระบบการปลูกผักไร้สารพิษ และ 2) ศึกษาการผสมผสานระบบพลังงานทดแทน และระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับการปลูกผักไร้สารพิษ ผู้วิจัยสรุปสาระสำคัญและนำเสนอไว้ในบทที่ 2 และสรุปโดยย่ออีกครั้งในบทที่ 4 เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบพื้นที่แปลงสำหรับปลูกผักไร้สารพิษให้เหมาะสมกับพื้นที่ในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮ้าส์ต่อไป

วัตถุประสงค์ข้อที่ 3 เพื่อศึกษาการออกแบบพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษให้เหมาะสมกับพื้นที่ในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์ นำเสนอการออกแบบดังกล่าวในบทที่ 4 ในลักษณะภาพและการบรรยายความ นอกจากนี้ เพื่อยืนยันผลการออกแบบดังกล่าวว่า การใช้พลังงานทดแทนโดยใช้แผงโซล่าเซลล์ในแปลงผักไร้สารพิษมีประสิทธิภาพทั้งในด้านพลังงานและต้นทุนที่น้อยกว่า และผลผลิตจากการเกษตรที่สูงกว่าแปลงผักที่ไม่ได้ใช้แผงโซล่าเซลล์ ภายหลังการทดลอง ผู้วิจัยจึงรวบรวมข้อมูลจากแปลงผักไร้สารพิษ จำนวน 2 แปลง โดยนำค่าตัวแปรตาม คือ พลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผัก ประกอบด้วย 1) พลังงานกลสำหรับการดำเนินงานในการปลูกผัก 2) ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ 3) ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ และ 4) พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบการจ่ายน้ำมาเปรียบเทียบระหว่างแปลงผักไร้สารพิษ 2 ลักษณะ เพื่อพิจารณาว่าพัฒนาการของตัวแปรตามใน 45 วันระหว่างแปลงผัก 2 แปลงมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (MANCOVA) โดยมีตัวแปรร่วม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงแดด และความเร็วลม ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะนำเสนอในบทที่ 4 ในรูปแบบตาราง ค่าสถิติ และกราฟ ส่วนการเปรียบเทียบตัวแปรตามในเรื่องผลผลิตจากการเกษตรผู้วิจัยเก็บผลต่อแปลงในครั้งเดียวเมื่อเก็บเกี่ยวจึงนำเสนอผลการเปรียบเทียบในลักษณะตารางเปรียบเทียบ

วัตถุประสงค์ข้อที่ 4 เพื่อศึกษารูปแบบการผสมผสานระบบและเทคโนโลยีในการปลูกผักไร้สารพิษ เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาสู่เกษตรอุตสาหกรรมใหม่ หลังจากการออกแบบแปลงผักและนำไปทดลองใช้แล้ว ผู้วิจัยพิจารณาข้อค้นพบที่ได้จากผลการวิจัยทั้งหมด แล้วเสนอรูปแบบการผสมผสานระบบและเทคโนโลยีในการปลูกผักไร้สารพิษเพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาสู่เกษตรอุตสาหกรรมใหม่ เพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 4 โดยนำเสนอในบทที่ 5 ด้วยรูปภาพและการบรรยายความประกอบ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยนำเสนอใน 3 หัวข้อตามวัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 1-3 ได้แก่ 1) เทคโนโลยีและระบบการปลูกผักไร้สารพิษ 2) การผสมผสานระบบพลังงานทดแทนและระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับการปลูกผักไร้สารพิษ 3) การออกแบบพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษให้เหมาะสมกับพื้นที่ในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์ ส่วนวัตถุประสงค์ข้อที่ 4 รูปแบบการผสมผสานระบบและเทคโนโลยีในการปลูกผักไร้สารพิษ เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาสู่เกษตรอุตสาหกรรมใหม่ จะนำเสนอในบทที่ 5 ต่อไป

เทคโนโลยีและระบบการปลูกผักไร้สารพิษ

การปลูกผักโดยไม่ใช้ดินดำเนินไปได้ต้องมีครบตามองค์ประกอบ 4 ปัจจัย ได้แก่ อากาศ น้ำ ธาตุอาหาร และที่ค้ำจุนลำต้น โดยพิจารณาระบบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการชลประทาน เนื่องจากการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินจะต้องมีระบบน้ำไหลหรือการเติมอากาศเพื่อให้ธาตุอาหารไหลเวียนในระบบและพืชดูดซึมธาตุอาหารเหล่านั้นได้ เทคนิคการปลูกพืชในน้ำมีด้วยกัน 4 เทคนิค ดังนี้

1) น้ำไหลบาง ปล่อยสารละลายธาตุอาหารเป็นแผ่นบางไหลผ่านรากพืชที่ปลูกอยู่บนรางพลาสติก

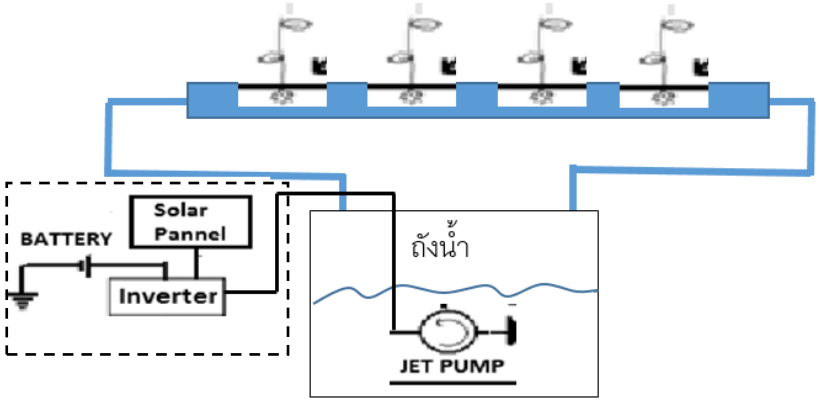
2) น้ำลึกไหลล้น ปลูกพืชลงในภาชนะที่มีความลึก ด้านหนึ่งจะมีท่อน้ำไหลเข้าและด้านหนึ่งมีท่อน้ำไหลออก 2 เทคนิคนี้น้ำไหลบางและน้ำไหลล้นเมื่อน้ำสารละลายอาหารตกสู่ถังพักจะเกิดฟองอากาศโดยอัตโนมัติ

3) น้ำลึก มีรางปลูกที่กว้าง และมีร่องน้ำอยู่บริเวณกลางรางหลายๆ ร่อง เพื่อบังคับให้สารละลายธาตุอาหารไหลอย่างมีทิศทาง เมื่อระดับน้ำลดลงจะเกิดช่องว่างระหว่างระดับน้ำกับพื้นโฟม ช่วยให้รากได้สัมผัสกับอากาศ

4) น้ำนิ่งแบบต้องเติมอากาศ รากพืชต้องแช่ตลอดเวลาอยู่ในน้ำสารละลายที่ไม่มีการหมุนเวียน จึงต้องมีการเติมอากาศให้กับน้ำตลอดเวลา ผู้ปลูกสามารถเลือกและทดลองใช้เทคนิคการปลูกผักในน้ำเหล่านี้ให้สอดคล้องกับชนิดของผักที่ปลูก

ระบบฟัซซี่เป็นระบบที่ใช้ควบคุมเครื่องสูบน้ำโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผงโซล่าเซลล์มาเชื่อมต่อกับเครื่องสูบน้ำหรือปั้มน้ำเพื่อให้เกิดการไหลเวียนของน้ำในระบบ ระบบฟัซซี่นี้มีอุปกรณ์ในการทำงานหลัก 3 ส่วน ประกอบด้วย 1) แผงโซลาร์เซลล์ 2) อุปกรณ์เสริมมอเตอร์ไฟฟ้า และ 3) ปั๊มและระบบจำหน่ายรวมถึงท่อและที่เก็บ องค์ประกอบทั้งหมดเหล่านี้จะต้องได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดของระบบทั้งหมด การเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่เป็นสิ่งสำคัญในการใช้งานเครื่องสูบน้ำ แม้ในเวลาเย็นที่ไม่มีแสงอาทิตย์แล้ว และตอนกลางในบางวันที่มีความผันผวนของรังสีดวงอาทิตย์ที่มีเมฆมากและน้อยต่างกัน

ผู้วิจัยประยุกต์แบบจำลองระบบการกระจายน้ำตามระบบฟัซซี่ในบทที่ 2 เพื่อนำมาออกแบบแปลงผักไร้สารพิษ ผู้วิจัยเลือกเทคนิคการปลูกพืชในน้ำแบบน้ำไหล เนื่องจากเป็นเทคนิคที่เหมาะกับพืชใบ เช่น ผักกรีนโอ้ค เป็นต้น เทคโนโลยีการจ่ายน้ำและระบบการปลูกผักกรีนโอ้คด้วยเทคนิคน้ำไหล งานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบแปลงผัก 2 แปลง 1) แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์การเชื่อมต่อแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 2.1) แปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์การเชื่อมต่อในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นประจะเปลี่ยนไปใช้ไฟฟ้าจากที่พักอาศัยแทน ความแตกต่างทั้งในเรื่องต้นทุน วิธีการปลูกและผลผลิตจะอธิบายไว้ในหัวข้อผลที่ได้จากการปลูกผักไร้สารพิษต่อไป



รูปที่ 4.1 การนำระบบฟัซซี่มาใช้ในการปลูกผักแบบน้ำไหลในแปลงผักไร้สารพิษ

การผสมผสานระบบพลังงานทดแทนและระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับการปลูกผักไร้สารพิษ

การใช้พลังงานทดแทนในการเกษตรมีทั้งสิ้น 4 รูปแบบ ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ไฮโดร (น้ำ) และถ่านไม้ ซึ่งพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยเมื่อเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดและวิธีการผลิตไฟฟ้า พบว่า พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง (Ali, Dash & Pradhan, 2012)

งานวิจัยนี้จึงเลือกพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทนในการปลูกผักไร้สารพิษ โดยเป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแผงโซล่าเซลล์ กระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์จะเป็นพลังงานที่ถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ก่อนถูกนำไปใช้ เพื่อป้องกันความไม่แน่นอนของแสงอาทิตย์ในแต่ละวัน หลักการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์จะผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้คุณสมบัติของแสงอาทิตย์และอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (semi-conductor) พลังงานที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและการฉายรังสีของแสงอาทิตย์ ซึ่งแตกต่างกันไปตามช่วงเวลาของดวงอาทิตย์ ตั้งแต่ 200 วัตต์ที่อุณหภูมิมาตรฐาน (25°C)

การออกแบบพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษให้เหมาะสมกับพื้นที่ในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์

การออกแบบพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษให้เหมาะสมกับพื้นที่จำกัด เช่น พื้นที่ในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์ นำเสนอทั้ง 3 หัวข้อ ได้แก่ 1) แนวคิดและตัวอย่างการออกแบบ 2) วิธีการติดตั้งชุดแปลงผักกรีนโอ๊ค และ 3) ผลที่ได้จากการปลูกผักกรีนโอ๊ค มีรายละเอียดดังนี้

1. แนวคิดและตัวอย่างการออกแบบพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษให้เหมาะสมกับพื้นที่ในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์

การออกแบบแปลงผักได้ใช้ข้อค้นพบจากการทบทวนวรรณกรรม โดยมีแนวคิดพื้นฐานในการออกแบบ 5 ประการ ได้แก่ 1) การปลูกผักไร้สารพิษเพื่อรับประทานเองได้ที่บ้าน 2) แปลงผักตั้งอยู่บนพื้นที่จำกัด 3) ผักเติบโตได้ต้องมีปัจจัยครบ 4 องค์ประกอบ ได้แก่ อากาศ น้ำ ธาตุอาหาร และที่ค้ำจุนลำต้น 4) เทคนิคการปลูกพืชในน้ำแบบน้ำไหลที่เหมาะกับผักกินใบ โดยมีระบบน้ำที่ปล่อยสารละลายธาตุอาหารเป็นแผ่นบางไหลผ่านรากพืชที่ปลูกอยู่บนรางพลาสติก 5) ระบบการจ่ายน้ำฟัซซี่ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 5.1) แผงโซลาร์เซลล์ 5.2) อุปกรณ์เสริมมอเตอร์ไฟฟ้า และ 5.3) ปั๊มและ

ระบบจำหน่าย ท่อ และที่เก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ แปลงผักปลูกบนอาคารพาณิชย์ 2 หลังที่ติดกันโดยมีเพียงผนังทับกันระหว่างระเบียง

ผู้วิจัยเลือกปลูกผักกรีนโอ้คเนื่องจากเป็นผักสลัดที่ปลูกง่ายและผู้วิจัยรับประทานเองที่บ้าน แปลงผักทั้งสองแปลงตั้งอยู่พื้นที่จำกัดบนอาคารพาณิชย์ 2 หลังที่ติดกันโดยมีเพียงผนังทับกันระหว่างระเบียง แปลงผักทั้งสองแปลงถูกออกแบบให้มีปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชครบถ้วน 4 องค์ประกอบในลักษณะเดียวกัน โดยใช้ท่อพลาสติกให้เป็นรางน้ำอยู่ด้านบน และมีถังพักน้ำ (สีดำ) ซึ่งมีปั๊มน้ำอยู่ด้านในเพื่อให้เกิดการไหลเวียนของน้ำตามเทคนิคการปลูกพืชในน้ำแบบน้ำไหล กล่าวได้ว่าแปลงผักทั้งสองแปลงถูกออกแบบให้มีลักษณะเดียวกันแต่แตกต่างกันเพียงแปลงที่ 1 ได้เชื่อมต่อแผงโซล่าเซลล์ซึ่งติดตั้งไว้บนหลังคาอาคารพาณิชย์ เพื่อเป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าแก่ปั๊มน้ำ (ดังรูปที่ 4.2) ส่วนแปลงที่ 2 ปั๊มน้ำใช้พลังงานไฟฟ้าจากอาคารตามปกติ นอกจากนี้ แปลงผักทั้งสองยังถูกออกแบบให้มีความสวยงามเพื่อเป็นพื้นที่สีเขียวสำหรับนั่งพักผ่อนหย่อนใจได้อีกด้วย (ดังรูปที่ 4.3)

รูปที่ 4.2 แปลงผักกรีนโอ้คบนระเบียงและการเชื่อมต่อไปยังแผงโซล่าเซลล์บนหลังคาอาคารพาณิชย์

รูปที่ 4.3 แปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์

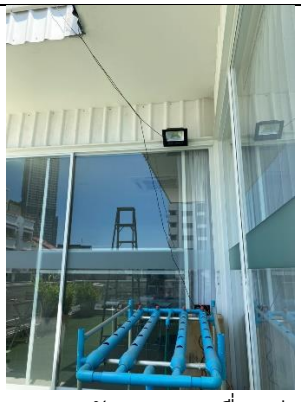
2. วิธีการติดตั้งชุดแปลงผักกรีนโอ๊ค

วิธีการปลูกผักกรีนโอ๊คแบ่งเป็น 2 แปลง ดังนี้ 1) แปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ และไม่แปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ แสดงวัสดุอุปกรณ์และวิธีการปลูกดังนี้

อุปกรณ์

1. แผงโซล่าเซลล์ขนาด 50 วัตต์ จำนวน 2 แผง
2. หลอด LED ความสว่าง 65 วัตต์ จำนวน 2 หลอด
3. แบตเตอรี่ RR Rechargeable sealed lead calcium battery ขนาด 7.5V – 12 V. 7.5 Am
4. ปั๊มน้ำ DC ขนาด 12 V 7.8 A
5. ปั๊มน้ำที่ใช้กับไฟที่แปลงจากแผงโซล่าเซลล์ AP 2500 AC 220-240V 30-32 วัตต์
6. ตัวควบคุม Solar Charge 1 ตัว
7. ถังบรรจุสารละลาย 1 ถัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<table>
<tr>
<td>
แผงโซล่าเซลล์บนหลังคา</td>
<td> 
รางแปลงผักและการเชื่อมต่อพลังงานแสงอาทิตย์มาสู่แบตเตอรี่</td>
<td>
การเชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุมไฟและแบตเตอรี่</td>
</tr>
<tr>
<td>
ปั๊มน้ำที่ใช้ไฟ 12 v จากโซล่าเซลล์</td>
<td>
ปั๊มน้ำที่ใช้ไฟ 220 v จากบ้าน</td>
<td>
เครื่องมือวัดค่าปุ๋ย</td>
</tr>
</table>

รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงผัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัสดุและอุปกรณ์ในการเพาะเมล็ด

1. เมล็ดผักกรีนโอ๊ค 100 เมล็ด
2. ถ้วยปลูก 100 ถ้วย
3. เฟอร์ไลค์
4. เวอร์มิคูลไลค์
5. ฟองน้ำ
6. กระบะพลาสติกสำหรับเพาะ

รายละเอียดการให้ปุ๋ย

ให้ปุ๋ยเมื่อต้นกล้ามีใบเลี้ยงที่ 3 เกิดขึ้น จึงผสมสารละลายปุ๋ย ดังนี้

1. ปุ๋ย A ในอัตราส่วนน้ำ 1 ลิตรต่อปุ๋ย 5 มิลลิกรัม
2. ปุ๋ย B ในอัตราส่วนน้ำ 1 ลิตรต่อปุ๋ย 5 มิลลิกรัม

เทสารละลายปุ๋ยลงกระบะที่วางต้นกล้าไว้แล้ว โดยไม่ให้สารละลายปุ๋ยท่วมฟองน้ำ ฟองน้ำที่บรรจุต้นกล้าไว้ลอยบนสารละลายปุ๋ยเล็กน้อย เพื่อให้รากของต้นกล้าสามารถงอกและได้รับสารอาหารในสารละลายปุ๋ย

การติดตั้งชุดปลูกผัก

แปลงผักทั้งสองแปลง ใช้พื้นที่ปลูก ขนาด 1.054 ตารางเมตร โดยกว้าง 60 เซนติเมตร และยาว 170 เซนติเมตร การรับแสงแดดจากธรรมชาติบนระเบียงอาคาร โดยตั้งแปลงผักหันหน้าไปทางทิศเหนือและทิศตะวันตก ออกแบบสร้างชุดปลูกผักจำนวน 2 แปลง แตกต่างกันดังนี้

1. แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ ใช้ท่อส่งน้ำ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ยาว 1.70 เมตร จำนวน 4 เส้น เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว จำนวน 5 รู แล้วนำไปวางบนโต๊ะปลูก ขนาดกว้าง 62 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตร และสูง 80 เซนติเมตร

ใช้แผงโซล่าเซลล์ ขนาด 50 วัตต์ จำนวน 2 แผง เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า และใช้หลอดไฟ LED ขนาด 65 วัตต์ จำนวน 2 หลอด และปั๊มน้ำขนาดแรงดัน 12 โวลต์ กระแส 7.8 แอมแปร์ กำลังไฟ 7.5 วัตต์ จำนวน 1 เครื่อง เป็นตัวดูดสารละลายปุ๋ย

2. แปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ ออกแบบเหมือนกันกับแปลงแรก แต่ต่างกันในเรื่องการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่อาคารต่อเข้าปั๊มน้ำกระแสตรง AP 2500 Ac 220-240 วัตต์ แรงดัน 12 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 30-32 วัตต์ จำนวน 1 เครื่องเป็นตัวดูดสารละลายปุ๋ย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ผลที่ได้จากการปลูกผักไร้สารพิษ

การปลูกผักไร้สารพิษ แบ่งเป็น 2 แปลง ได้แก่ 1) แปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ และ 2) แปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ ทั้งสองแปลงปลูกผักกรีนโอ้คเป็นเวลา 45 วันให้ผลที่แตกต่างกันทั้ง 1) วิธีการและรายละเอียดในแต่ละช่วงเวลาการเติบโตของผัก 2) การเปรียบเทียบปัจจัยการผลิตในด้านพลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผัก และ 3) การเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้ แต่ละหัวข้อแสดงรายละเอียดดังนี้

2.1 วิธีการและรายละเอียดในแต่ละช่วงเวลาการเติบโตของผัก ผักกรีนโอ้คมีวิธีการปลูกในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ปัจจัยการผลิต ได้แก่ เวลาทำงานที่ใช้ในแปลงผัก ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช พลังงานไฟฟ้า และแสงธรรมชาติและแสงไฟ LED โดย 14 วันแรกต้นอ่อนปลูกด้วยวิธีเดียวกัน และ

เมื่อย้ายลงกระเปาะจึงเริ่มวิธีการให้แสงที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.1 การดูแลแปลงผักทำ 2 ช่วงเวลาในแต่ละวัน คือ 8:00 น. และ 20:00 น. วิธีการดูแลแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ดังนี้

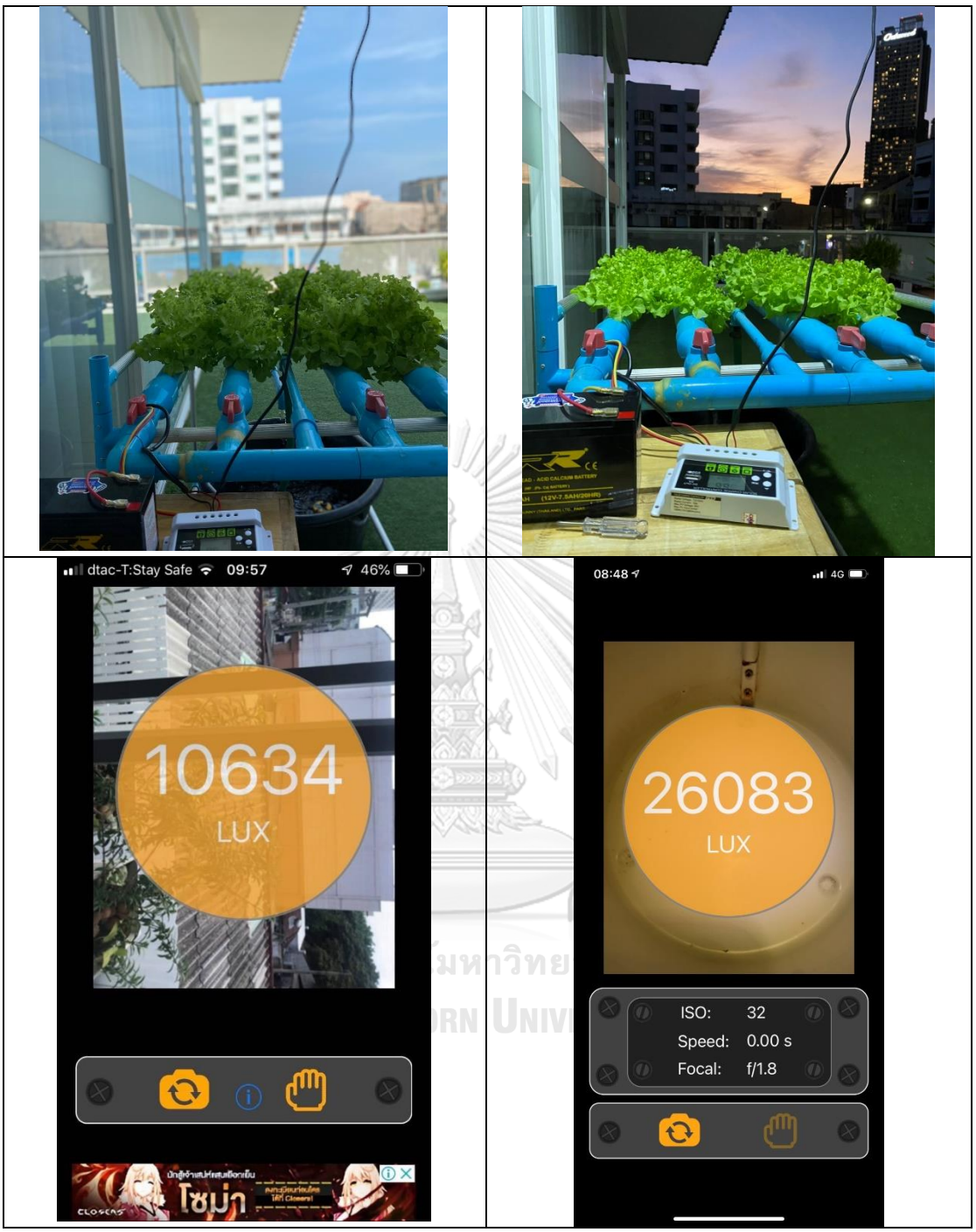
1) วันที่ 1-4 รากจะงอกออกจากเมล็ด การดูแลต้นอ่อนทั้งสองแปลงที่ใช้เวลาในแต่ละวันประมาณ 22 นาที คือ การเติมน้ำให้ชุ่มฟองน้ำอยู่เสมอและกำจัดแมลงและสิ่งแปลกปลอมอื่นที่จะเกิดขึ้นในแปลงผักทั้งสอง

2) วันที่ 5-7 ต้นอ่อนมีใบเกิดขึ้น 3 ใบ เริ่มใส่สารละลายปุ๋ยในน้ำ ย้ายแปลงผักไปที่แสงแดดอ่อนส่องถึง แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ยังคงใช้เวลาประมาณ 22 นาทีต่อวัน ส่วนแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้เวลามากกว่าประมาณ 27 นาทีต่อวัน เนื่องจากต้องคอยระวังว่าแสงแดดจะส่องถึงหรือไม่ เพราะแปลงนี้จะได้รับแสงในขั้นตอนต่อไปที่น้อยกว่า

3) วันที่ 8-21 ต้นอนุบาลมีใบขึ้น 4-7 ใบ ย้ายทั้งสองแปลงไปวางที่แสงแดดแรงส่องถึง เมื่อครบ 14 วัน แปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์จะใช้ไฟส่องสว่างในตอนกลางคืนด้วย ส่วนแปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์มีเพียงแสงแดดส่องถึงในตอนกลางวัน แปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ยังคงใช้เวลาต่อวันสูงกว่าแปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ โดยประมาณ 5 นาทีต่อวัน เนื่องจากต้องคอยตรวจสอบเชื้อราบนใบผักของแปลงดังกล่าว ค่าแสงในช่วงกลางวันและเย็นแสดงได้ดังรูปที่ 4.5

4) วันที่ 22-45 ต้นผักกรีนโอ้คเติบโตอย่างสมบูรณ์พร้อมออกจำหน่าย ย้ายกระเปาะต้นอ่อนของทั้งสองแปลงลงใส่ในรางท่อพีวีซี การส่องไฟของทั้งสองยังคงแตกต่างกันเหมือนเดิม แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ยังคงใช้เวลาประมาณ 22 นาทีต่อวัน ส่วนแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้เวลามากกว่าเพิ่มเป็นประมาณ 30 นาทีต่อวัน เนื่องจากต้องคอยตรวจสอบเชื้อราบนใบผักของแปลงดังกล่าว ซึ่งใบมีจำนวนมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าแสงในตอน 08:00 (แสงธรรมชาติ) กับ 18:00 (แสงจากหลอดไฟ LED) ของแปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์

ตารางที่ 4.1 วิธีการ ปัจจัยการผลิต และการเจริญเติบโตของผักกรีนโอ้คในแต่ละช่วงเวลา

วันที่	วิธีการปลูก	เวลาฯ ที่ใช้ (นาที)	ปุ๋ย (ซีซี)	สารกำจัดศัตรูพืช (ซีซี)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์)	แสงต่อวัน (ลักซ์)	การเจริญเติบโตของผัก*
1-2	S+NS: ใส่เมล็ดผักกรีนโอ้คในฟองน้ำชุ่มน้ำ แล้ววางไว้ในที่มืด	S: 43 NS: 44	S: 0 NS: 0	S: 0 NS: 0	S: 0 NS: 534	S+NS: ไม่มี	รากงอกออกจากเมล็ด
3-4	S+NS: นำเมล็ดที่มีรากงอกวางที่มีแสงแดดอ่อนส่องถึง	S: 45 NS: 49	S: 0 NS: 0	S: 0 NS: 0	S: 0 NS: 458	S+NS: แสงธรรมชาติประมาณ 10,000 ลักซ์	ต้นอ่อนมีใบเลี้ยง 2 ใบ
5-7	S + NS: ผสมปุ๋ยอัตราส่วนน้ำ 1 ลิตรกับปุ๋ยสูตร A และ Bๆ ละ 5 มก. - นำสารละลายปุ๋ยมาเทลงในฟองน้ำที่มีต้นอ่อนอยู่ โดยยังคงวางที่แสงแดดอ่อนส่องถึง	S: 67 NS: 81	S: 1330 NS: 1282	S: 51 NS: 62	S: 0 NS: 764	S+NS: แสงธรรมชาติประมาณ 10,000 ลักซ์	ต้นอ่อนมีใบเลี้ยงใบที่ 3
8-14	S + NS: - นำสารละลายปุ๋ยมาเทลงในฟองน้ำที่มีต้นอ่อนอยู่ โดยนำออกวางบนระเบียงที่มีแสงแดดแรงถึง	S: 153 NS: 187	S: 3155 NS: 2785	S: 104 NS: 127	S: 0 NS: 1760	S+NS: แสงธรรมชาติประมาณ 15,000 ลักซ์	ต้นอ่อนอายุครบ 2 สัปดาห์และมีลำต้นยาวขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

วันที่	วิธีการปลูก	เวลาฯ ที่ใช้ (นาที)	ปุ๋ย (ซีซี)	สารกำจัดศัตรูพืช (ซีซี)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์)	แสงต่อวัน (ลักซ์)	การเจริญเติบโตของผัก*
15-21	S + NS:ย้ายต้นอ่อนลงกระเปาะเล็กวางบนน้ำนิ่งเทสารละลายปุ๋ยเพื่อให้ต้นอ่อนดูดซึม S: ให้แสงแดดตอนกลาง + แสง LED ตอนกลางคืน NS: ให้แสงแดดตอนกลางวัน	S: 159 NS: 185	S: 2900 NS: 2969	S: 116 NS: 136	S: 0 NS: 1651	S: แสงธรรมชาติประมาณ 15,000 ลักซ์ + แสงจากหลอด LED 27,774 ลักซ์ NS: แสงธรรมชาติประมาณ 15,000 ลักซ์	ต้นอนุบาลมีใบที่ 4-7 และมีรากยาว
22-45	S + NS:ย้ายกระเปาะต้นอนุบาลลงรางท่อพีวีซีน้ำไหล S: ให้แสงแดดตอนกลาง + แสง LED ตอนกลางคืน NS: ให้แสงแดดตอนกลางวัน	S: 537 NS: 718	S: 10678 NS: 9935	S: 366 NS: 472	S: 0 NS: 6003	S: แสงธรรมชาติประมาณ 15,000 ลักซ์ + แสงจากหลอด LED 27,774 ลักซ์ NS: แสงธรรมชาติประมาณ 15,000 ลักซ์	ต้นผักที่พร้อมออกจำหน่าย

S = แปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับหลอด LED และปั๊มน้ำ

NS = แปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ แต่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากบ้านสำหรับปั๊มน้ำ

*ดูภาพประกอบการเจริญเติบโตของผักทั้งสองแปลงในแต่ละช่วงเวลาได้ในตารางที่ 4.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

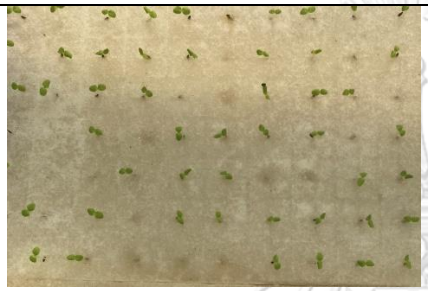
จากตารางที่ 4.1 พบประเด็นที่น่าสังเกต เพื่ออธิบายคุณภาพของกระบวนการปลูกผักทั้งสองวิธีได้ดังนี้

1) แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้เวลาทำงานน้อยกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซลล่าเซลล์ เนื่องจากไม่ต้องจัดการเชื้อราบนต้นผักกรีนโอ้ค

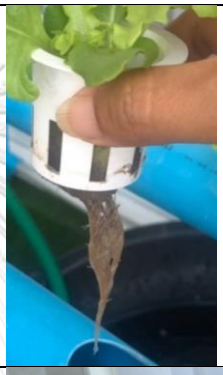
2) แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้ปุ๋ยมากกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซลล่าเซลล์ เนื่องจากผักในแปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ได้รับแสงอยู่ตลอดเวลา จึงใช้ปุ๋ยเพื่อการเจริญเติบโต และผู้วิจัยต้องเติมปุ๋ยในปริมาณที่มากกว่า

3) แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้สารกำจัดศัตรูพืชน้อยกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ เนื่องจากแปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์มีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า (ดังตารางที่ 5 บทที่ 3) จึงเกิดเชื้อราและใช้สารกำจัดเชื้อราซึ่งเป็นศัตรูพืชในปริมาณที่น้อยกว่า

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกรีนโอ้คจากแปลงที่ใช้และไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์

วันที่	ผักจากแปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์	ผักจากแปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์
4		
7		
14		

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

วันที่	ผักจากแปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์	ผักจากแปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์
21		
21		
45		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 การเปรียบเทียบปัจจัยการผลิตในด้านพลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผัก พบว่า แปลงผักทั้งสองแปลงใช้เวลาในการปลูกโดยเฉลี่ย 25.200 นาที/วัน โดยแปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้เวลาน้อยกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.778 นาที/วัน แปลงผักทั้งสองใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชโดยเฉลี่ยเท่ากับ 389.267 และ 15.933 ซีซี/วัน ตามลำดับ โดยแปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้ปุ๋ยเยอะกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 24.267 ซีซี/วัน แต่แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์กลับใช้สารกำจัดศัตรูพืชน้อยกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.555 ซีซี/วัน นอกจากนี้ แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเลย ในขณะที่แปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 248.222 วัตต์/วัน (ดังตารางที่ 4.1) หรือการปลูกทั้ง 45 วันใช้พลังงานไฟฟ้าไปทั้งสิ้น 11,170 วัตต์/แปลง หรือคิดเป็นค่าไฟฟ้าโดยประมาณเท่ากับ 89.36 บาท/แปลง (คำนวณค่าไฟฟ้าจากกิโลวัตต์ละ 8 บาท)

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผัก

พลังงานและต้นทุนที่ใช้	แปลงใช้แผงโซล่าเซลล์		แปลงไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์		รวม	
	M	SD.	M	SD.	M	SD.
เวลาทำงานที่ใช้ (นาทีต่อวัน)	22.311	1.550	28.089	2.695	25.200	3.636
ปริมาณปุ๋ย (ซีซีต่อวัน)	401.400	143.287	377.133	137.278	389.267	140.056
ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช (ซีซีต่อวัน)	14.156	5.576	17.711	6.133	15.933	6.096
พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ต่อวัน)	0.000	0.000	248.222	26.970	124.111	126.239

หมายเหตุ: M หมายถึงค่าเฉลี่ย SD. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นในการใช้สถิติ MANCOVA Bartlett's Test = 1,188.997, P = 0.000

เมื่อทดสอบความแตกต่างของพลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผักภายหลังจากขจัดความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสภาพภูมิอากาศทั่วไป โดยใช้การวิเคราะห์ MANCOVA พบว่า เวลาที่ใช้และพลังงานไฟฟ้าของแปลงผักทั้งสองแปลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F = 31.366, 517.892; P < 0.05) แต่ปริมาณปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ของแปลงทั้งสองแปลงกลับแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (F = 0.089, 0.657; P > 0.05) (ดังตารางที่ 4.4)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.4 สถิติทดสอบความแตกต่างของพลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผักที่ใช้และไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์

Multivariate Test							
	ผลกระทบ	Value	F	df	Error df	P	Eta
แปลงผัก	Pillai's Trace	0.866	130.388	4.000	81.000	0.000	0.866
	Wilks' Lambda	0.134	130.388	4.000	81.000	0.000	0.866
	Hotelling's Trace	6.439	130.388	4.000	81.000	0.000	0.866
	Roy's Largest Root	6.439	130.388	4.000	81.000	0.000	0.866

Test of between-Subject effects							
แหล่งความแปรปรวน	ตัวแปรตาม	SS	df	MS	F	P	Eta
แปลงผัก	เวลาที่ใช้	136.929	1	136.929	31.366	0.000	0.272
	ปริมาณปุ๋ย	1,834.428	1	1,834.428	0.089	0.766	0.001
	ปริมาณสารกำจัดฯ	22.860	1	22.860	0.657	0.420	0.008
	พลังงานไฟฟ้า	190,625	1	190,625	517.892	0.000	0.860

2.3 การเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้ พบคุณภาพผลผลิตของแปลงผักทั้งสองแปลง แบ่งเป็น 3 ประเด็น ดังนี้

1) ขนาดของต้นผักกรีนโอ้ค ต้นผักกรีนโอ้คจากแปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ส่วนใหญ่มีการเจริญเติบโตทั้งความกว้างและความสูงของลำต้นที่มากกว่าต้นผักกรีนโอ้คจากแปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสังเกตเห็นได้ตั้งแต่การปลูกวันที่ 7 เป็นต้นไป ความแตกต่างดังกล่าวยิ่งสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนและสามารถวัดค่าได้ด้วยตลับเมตรภายหลังการปลูกในวันที่ 20 โดยผักจากแปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์กว้าง 11 เซนติเมตร ในขณะที่ผักจากแปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์

กว้าง 9 เซนติเมตร และเมื่อการปลูกผักผ่านไป 45 วัน (ก่อนเก็บเกี่ยว) พบว่า ผักจากแปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์มีความสูงและปริมาณใบที่มากกว่าผักจากแปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ (ดังตารางที่ 4.2)

2) รายได้จากผลผลิตการเกษตร พบว่า ภายหลังปลูกผักไร้สารพิษ 2 แปลงๆ ละ 30 ต้น เป็นเวลา 45 วัน แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ให้ปริมาณผักที่มีน้ำหนักรวม 3.2 กิโลกรัม สร้างรายได้ 448 บาท ส่วนแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ให้ปริมาณผักที่น้ำหนักรวม 2.7 กิโลกรัม สร้างรายได้ 378 บาท (ตารางที่ 4.5) จากการตรวจสอบราคาผักกรีนโอ้คจากเว็บไซต์ตลาดไท ณ วันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ.2563 พบว่า ราคาเท่ากับ 140 บาทต่อกิโลกรัม (ตลาดไท, 2563) ซึ่งเท่ากับราคาของผักกรีนโอ้คที่ตลาดอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

ตารางที่ 4.5 ผลผลิต ต้นทุน และจุดคุ้มทุนของการปลูกผักทั้งสองแปลง

		แปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์	แปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์
ผลผลิต	น้ำหนักผัก (กิโลกรัม/แปลง)	3.2	2.7
	รายได้ (บาท/แปลง)	448	378
ต้นทุน	ค่าแผงโซล่าเซลล์ (บาท/แปลง)	1,078	-
	ค่าไฟฟ้าสำหรับปั๊มน้ำ (บาท/แปลง)	-	50
	ค่าแปลงผัก (บาท/แปลง)	1950	1950
	ค่าปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช และเมล็ดพันธ์ (บาท/แปลง)	280	280
จุดคุ้มทุน (แปลง/วัน)		**8 / 360**	**6 / 270**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) จุดคุ้มทุน เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างรายได้กับต้นทุน (ตารางที่ 4.5) พบว่า แปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์แม้ว่าจะมีรายได้สูงกว่า แต่ก็มีการลงทุนที่สูงกว่า คือ ค่าแผงโซล่าเซลล์จำนวน 1,078 บาท ดังนั้น แปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 8 แปลง หรือ 360 วัน (ประมาณ 1 ปี) ในขณะที่แปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ เมื่อไม่มีต้นทุนแผงโซล่าเซลล์ แม้ว่ามีรายได้ต่อแปลงต่ำกว่าก็มีจุดคุ้มทุนที่ดีกว่าแปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ คือ มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 6 แปลง หรือ 270 วัน (ประมาณ 9 เดือน) แต่อย่างไรก็ตาม อายุการใช้งานของแปลงผักและแผงโซล่าเซลล์สามารถใช้งานได้มากกว่า 30 ปี ดังนั้น เมื่อปลูกผักกรีนโอ้คผ่านไป 1 ปี หรือปลูกเป็นจำนวนมากกว่า 8 แปลงขึ้นไป การใช้แผงโซล่าเซลล์ย่อมมีผลกำไรในระยะยาวที่ดีกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้เรื่อง “การศึกษาการใช้พลังงานทดแทนในการปลูกผักไร้สารพิษในพื้นที่จำกัด” มีวัตถุประสงค์การวิจัย 4 ข้อ ได้แก่ 1) ศึกษาเทคโนโลยีและระบบการปลูกผักไร้สารพิษ 2) ศึกษาการผสมผสานระบบพลังงานทดแทนและระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับการปลูกผักไร้สารพิษ 3) เพื่อศึกษาการออกแบบพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษให้เหมาะสมกับพื้นที่ในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์ และ 4) เสนอรูปแบบการผสมผสานระบบและเทคโนโลยีในการปลูกผักไร้สารพิษ เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาสู่เกษตรอุตสาหกรรมใหม่

การทบทวนวรรณกรรมได้ศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับ 1) พลังงานทดแทน 2) แนวคิดการใช้พลังงานทดแทนในการเกษตร 3) การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการเกษตร 4) ระบบการปลูกผักไร้สารพิษ และ 5) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สรุปเป็นกรอบแนวคิด ซึ่งมีตัวแปรที่สอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้แบ่งเป็น

1. ตัวแปรต้น คือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในปลูกผักไร้สารพิษ แบ่งเป็น 2 แปลง ได้แก่ 1) การใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์ และ 2) การไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์
2. ตัวแปรตาม ประกอบด้วย 1) พลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผัก ได้แก่ 1.1) พลังงานกลสำหรับการดำเนินงานในการปลูกผัก 1.2) ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ 1.3) ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ และ 1.4) พลังงานไฟฟ้าสำหรับการจ่ายน้ำ และ 2) ผลผลิตการเกษตร ได้แก่ 2.1) ความกว้างต้นผัก 2.2) น้ำหนักผัก และ 2.3) รายได้

วิธีดำเนินการวิจัยดำเนินการภายใต้แบบแผนการวิจัยเชิงทดลองแบบการทดลองระยะยาวสองกลุ่ม(Control Group time series design) หน่วยวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ต้นผักกรีนโอ้ค จำนวน 60 ต้นแบ่งเป็น 2 แปลง คือ แปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ และแปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ แปลงละ 30 ต้น แปลงผักตั้งอยู่บนอาคารพาณิชย์ 2 หลัง ณ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ผู้วิจัยเก็บผลการปลูกเป็นเวลา 45 วัน ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม ถึง 14 สิงหาคม พ.ศ.2563 โดยเก็บสภาพภูมิอากาศทั่วไป ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงแดด และความเร็วลม พบว่า สภาพภูมิอากาศทั่วไปของแปลงทั้งสองแตกต่างกัน จึงนำมาเป็นตัวแปรร่วม(covariate variable) ในการวิเคราะห์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย การวิเคราะห์เนื้อหา และการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA)

ผลการวิจัยกล่าวโดยสรุปในหัวข้อถัดไป

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยได้ข้อสรุปและข้อค้นพบ แบ่งเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

1. แนวทางการใช้เทคโนโลยีและระบบการปลูกผักไร้สารพิษที่ใช้พลังงานทดแทน

แนวทางการปลูกผักปลอดสารพิษโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่เหมาะสมมากที่สุดสำหรับการปลูกในพื้นที่จำกัด การใช้แผงโซล่าเซลล์เปลี่ยนแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วผู้ปลูกสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไปใช้ตามความต้องการ เช่น ระบบสูบน้ำ ระบบน้ำหยด หรือเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ เป็นต้น พลังงานไฟฟ้ายังสามารถช่วยให้การปลูกผักโดยไม่ใช้ดินดำเนินไปได้ครบตามองค์ประกอบ 4 ปัจจัย ได้แก่ อากาศ น้ำ ธาตุอาหาร และที่ค้ำจุนลำต้น ระบบการจ่ายน้ำฟัซซี่ (fuzzy) สามารถนำมาใช้ในการปลูกผักปลอดสารพิษในน้ำให้ครบองค์ประกอบทั้ง 4 ได้ โดยระบบฟัซซี่นี้มีอุปกรณ์ในการทำงานหลัก 3 ส่วน ประกอบด้วย 1) แผงโซลาร์เซลล์ 2) อุปกรณ์เสริมมอเตอร์ไฟฟ้า และ 3) ปั๊มและระบบจำหน่าย ท่อ และที่เก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ ผู้ปลูกสามารถเชื่อมต่อระบบฟัซซี่กับระบบการปลูกผักในน้ำ โดยเลือกเทคนิคการปลูกผักในน้ำเทคนิคใดเทคนิคหนึ่งดังนี้ 1) น้ำไหลบาง ปล่อยสารละลายธาตุอาหารเป็นแผ่นบางไหลผ่านรากพืชที่ปลูกอยู่บนรางพลาสติก 2) น้ำลึกไหลล้น ปลูกพืชลงในภาชนะที่มีความลึก ด้านหนึ่งจะมีท่อน้ำไหลเข้าและด้านหนึ่งมีท่อน้ำไหลออก 2 เทคนิคนี้น้ำไหลบางและน้ำไหลล้นเมื่อน้ำสารละลายอาหารตกสู่ถังพักจะเกิดฟองอากาศโดยอัตโนมัติ 3) น้ำลึก มีรางปลูกที่กว้าง และมีร่องน้ำอยู่บริเวณกลางรางหลายๆ ร่อง เพื่อบังคับให้สารละลายธาตุอาหารไหลอย่างมีทิศทาง เมื่อระดับน้ำลดลงจะเกิดช่องว่างระหว่างระดับน้ำกับพื้นโฟม ช่วยให้รากได้สัมผัสกับอากาศ และ 4) น้ำนิ่งแบบต้องเติมอากาศ รากพืชต้องแช่ตลอดเวลาอยู่ในน้ำสารละลายที่ไม่มีการหมุนเวียน จึงต้องมีการเติมอากาศให้กับน้ำตลอดเวลา ผู้ปลูกสามารถเลือกและทดลองใช้เทคนิคการปลูกผักในน้ำเหล่านี้ให้สอดคล้องกับชนิดของผักที่ปลูก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. การออกแบบพื้นที่สำหรับปลูกผักไร้สารพิษให้เหมาะสมกับพื้นที่ในอาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์

การออกแบบแปลงผักได้ใช้ข้อค้นพบจากการทบทวนวรรณกรรม โดยมีแนวคิดพื้นฐานในการออกแบบ 5 ประการ ได้แก่ 1) การปลูกผักไร้สารพิษเพื่อรับประทานเองได้ที่บ้าน 2) แปลงผักตั้งอยู่บนพื้นที่จำกัด 3) ผักเติบโตได้ต้องมีปัจจัยครบ 4 องค์ประกอบ ได้แก่ อากาศ น้ำ ธาตุอาหาร และที่ค้ำจุนลำต้น 4) เทคนิคการปลูกพืชในน้ำแบบน้ำไหลที่เหมาะกับผักกินใบ โดยมีระบบน้ำที่ปล่อยสารละลายธาตุอาหารเป็นแผ่นบางไหลผ่านรากพืชที่ปลูกอยู่บนรางพลาสติก 5) ระบบการจ่ายน้ำฟัซซี่

ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 5.1) แผงโซลาร์เซลล์ 5.2) อุปกรณ์เสริมมอเตอร์ไฟฟ้า และ 5.3) ปั๊มและระบบจำหน่าย ท่อ และที่เก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่

ผู้วิจัยเลือกปลูกผักกรีนโอ้คเนื่องจากเป็นผักที่ผู้วิจัยรับประทานเองที่บ้าน แปลงทั้งสองแปลงถูกออกแบบให้สามารถตั้งอยู่บนพื้นที่จำกัด และออกแบบให้มีปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชครบถ้วน 4 องค์ประกอบในลักษณะเดียวกัน โดยใช้ท่อพลาสติกให้เป็นรางน้ำอยู่ด้านบน และมีถังพักน้ำ (สีดำ) ซึ่งมีปั๊มน้ำอยู่ด้านในเพื่อให้เกิดการไหลเวียนของน้ำตามเทคนิคการปลูกพืชในน้ำแบบน้ำไหล กล่าวได้ว่า แปลงผักทั้งสองแปลงถูกออกแบบให้มีลักษณะเดียวกันแต่แตกต่างกันเพียงแปลงที่ 1 ได้เชื่อมต่อแผงโซล่าเซลล์ซึ่งติดตั้งไว้บนหลังคาอาคารพาณิชย์ เพื่อเป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าแก่ปั๊มน้ำ ส่วนแปลงที่ 2 ปั๊มน้ำใช้พลังงานไฟฟ้าจากอาคารตามปกติ นอกจากนี้ แปลงผักทั้งสองยังถูกออกแบบให้มีความสวยงามเพื่อเป็นพื้นที่สีเขียวสำหรับนั่งพักผ่อนหย่อนใจได้อีกด้วย

ผลที่ได้จากการปลูกผักไร้สารพิษพิจารณาใน 3 ด้าน ดังนี้

1. วิธีการปลูก พบว่า แปลงผักทั้งสองมีวิธีการปลูกในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ใน 14 วันแรกเพาะต้นอ่อนด้วยวิธีเดียวกัน และเมื่อย้ายลงกระเปาะจึงเริ่มวิธีการให้แสงที่แตกต่างกัน แปลงผักทั้งสองได้รับแสงแดดในตอนกลางวันเหมือนกัน แต่แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้ไฟส่องสว่างในตอนกลางคืนร่วมด้วย

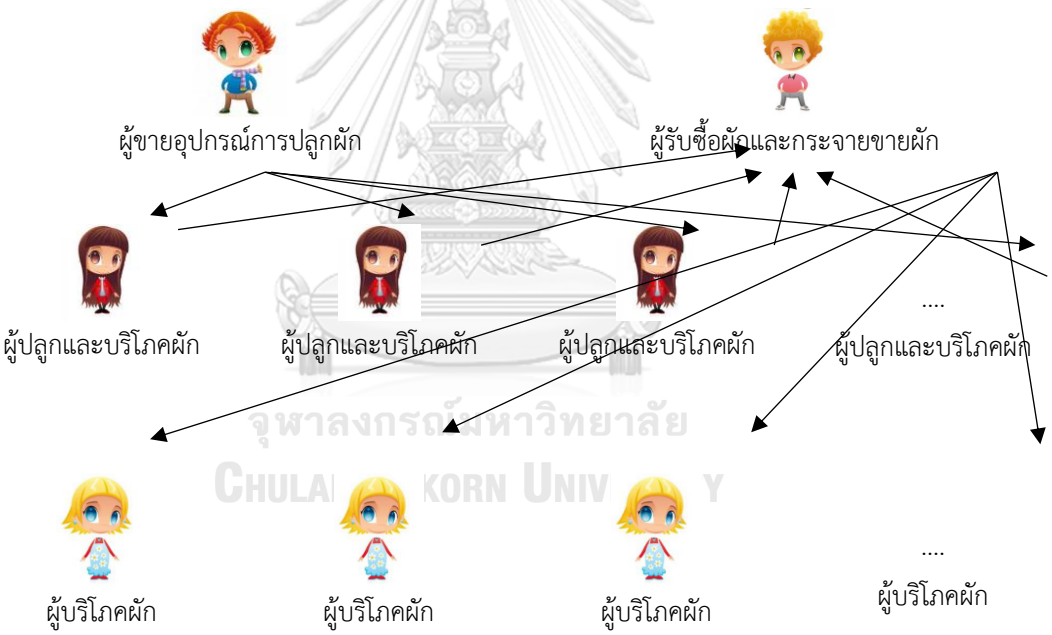
2. พลังงานและต้นทุนที่ใช้ พบว่า แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้เวลาในการปลูกโดยเฉลี่ย 22.311 นาที/วัน น้อยกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ซึ่งใช้เวลาปลูกโดยเฉลี่ย 28.089 นาที/วัน เพราะไม่ต้องจัดการเชื้อราบนต้นผัก แปลงผักทั้งสองใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชโดยเฉลี่ยเท่ากับ 389.267 และ 15.933 ซีซี/วัน ตามลำดับ โดยแปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้ปุ๋ยเยอะกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 24.267 ซีซี/วัน เพราะแปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้ไฟส่องสว่างในตอนกลางคืนร่วมด้วย ผักจึงดูดซึมปุ๋ยได้เยอะกว่า แต่แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์กลับใช้สารกำจัดศัตรูพืชน้อยกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.555 ซีซี/วัน เพราะจากการได้รับแสงทั้งกลางวันและกลางคืน แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์จึงเกิดเชื้อราบนใบผักน้อยกว่า นอกจากนี้ แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเลย ในขณะที่แปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 248.222 วัตต์/วัน หรือการปลูกทั้ง 45 วันใช้พลังงานไฟฟ้าไปทั้งสิ้น 11,170 วัตต์/แปลง หรือคิดเป็นค่าไฟฟ้าโดยประมาณเท่ากับ 89.36 บาท/แปลง

3. ผลผลิตที่ได้ พบว่า ต้นผักกรีนโอ้คจากแปลงที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ส่วนใหญ่มีการเจริญเติบโตทั้งความกว้างและความสูงของลำต้นที่มากกว่าต้นผักกรีนโอ้คจากแปลงที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ให้ปริมาณผักที่มีน้ำหนักรวม 3.2 กิโลกรัม สร้างรายได้ 448 บาท ส่วนแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ให้ปริมาณผักที่น้ำหนักรวม 2.7 กิโลกรัม สร้างรายได้ 378 บาท นอกจากนี้ แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ซึ่งต้องลงทุนซื้อแผงฯ ในครั้งแรกมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 8 แปลงหรือประมาณ 1

ปี นานกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ที่มีจุดคุ้มอยู่ที่ 6 แปลงหรือประมาณ 9 เดือน แต่อย่างไรก็ตาม แผงโซล่าเซลล์มีอายุการใช้งานมากกว่า 30 ปี

3. แนวทางการพัฒนาสู่เกษตรอุตสาหกรรมใหม่

การเกษตรแบบใหม่ไม่ถูกจำกัดไว้เพียงเฉพาะการปลูกพืชบนดินที่ใช้พื้นที่มาก แต่จะเป็นการปลูกพืชบนพื้นที่ขนาดเล็กภายในอาคาร ซึ่งผู้ปลูกไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญด้านการเพาะปลูกอย่างแท้จริง แต่เป็นผู้ใส่ใจในพืชผักที่ตนเองปลูกเพียง 1-2 ชนิดที่ตนเองชอบทาน เกษตรอุตสาหกรรมใหม่จึงเป็นการขายอุปกรณ์การปลูกผักสำเร็จรูปให้กับเกษตรกรมือสมัครเล่นที่อยากปลูกผักทานเองที่บ้าน นอกจากนี้ เพื่อให้เกิดความครบถ้วนภายในระบบ ผู้ประกอบการในการเกษตรอุตสาหกรรมใหม่ควรรับซื้อผักที่เหลือจากการบริโภคเองที่บ้าน โดยมีระบบการจัดส่งและกระจายสินค้าไปถึงผู้บริโภคคนอื่นในพื้นที่ใกล้เคียงด้วย ทั้งหมดที่กล่าวมาแสดงได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แนวทางระบบเกษตรอุตสาหกรรมใหม่

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ข้อค้นพบที่นำไปสู่การอภิปรายผลใน 3 ประเด็น ดังนี้

1. ต้นแบบสำหรับการปลูกผักไร้สารพิษไว้ทานเองในพื้นที่จำกัด

การปลูกผักไว้เพื่อทานเอง ในพื้นที่ใช้สอยค่อนข้างจำกัด เช่น ในบริเวณบ้าน ทาวน์เฮ้าส์ อพาร์ทเม้นท์หรือคอนโดมิเนียม นอกจากได้บริโภคผักที่ปลอดภัยแล้ว ยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย และเพิ่มรายได้ในอนาคตอีกด้วย ผู้ปลูกจะเลือกผักที่ตนเองบริโภคและชื่นชอบ จึงทำให้เกิดความสุข และความใส่ใจในขณะปลูก พืชผักสวนครัวส่วนใหญ่ที่แนะนำให้ปลูก จะเป็นพืชที่มีอายุสั้น เก็บผลผลิตเร็ว และดูแลรักษาไม่ยุ่งยาก และที่สำคัญสามารถปลูกในพื้นที่จำกัดได้ เช่น ผักชี ต้นหอม คะน้า ผักบุ้งจีน กะเพรา โหระพา แมงลัก พริก มะเขือ ถั่วฝักยาว มะเขือเทศ เป็นต้น ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีระยะเวลาในการปลูกต่างกัน ดังนั้นก่อนปลูกควรศึกษาข้อมูลก่อน

ข้อดีของการปลูกผักไว้ทานเองนั้น คือ ประหยัดค่าใช้จ่ายในการไปจ่ายตลาดในแต่ละครั้ง - ประหยัดพื้นที่ในการปลูก และสามารถเคลื่อนย้ายได้ สะดวกต่อการดูแลรักษา และเก็บเกี่ยว สามารถนำผักที่ปลูก ไปวางตกแต่งในบ้านหรือระเบียงได้อีกด้วย นอกจากนี้ ผู้ปลูกเป็นผู้ผลิตอาหารที่บริโภคด้วยตนเองจึงเกิดความมั่นใจและมีความปลอดภัยสูง สอดคล้องกับเหตุผล 5 ประการของการปลูกผักทนเอง 1) อร่อย 2) อุดมด้วยสารอาหาร 3) ปลอดภัยไม่มีสารเคมี 4) ผักแข็งแรง ผู้ปลูกก็แข็งแรง และ 5) มีกินได้เรื่อยๆ ประหยัดค่าใช้จ่าย (รัตนศิริ กิตติก้องนภางค์, 2563) ประกอบกับ ผลสำรวจผักและผลไม้จากห้างสรรพสินค้า ตลาดค้าส่ง และตลาดส่ง ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 100% (คนไทยนิยมกินผัก-ผลไม้เพิ่ม ครัว รพ.ผ่านเกณฑ์ 77.8% ส้มสารพิษตกค้างสูงสุด, 2562) จึงทำให้ผู้บริโภคในสังคมเมืองที่ใส่ใจสุขภาพจึงหันมาสนใจที่จะปลูกผักไร้สารพิษไว้ทานเอง

การออกแบบแปลงผักต้องให้ครบองค์ประกอบและสอดคล้องลงตัวกับพื้นที่ของอาคาร เนื่องจากแปลงผักจะต้องเป็นส่วนหนึ่งของอาคารพักอาศัยหรืออาคารพาณิชย์ ดังนั้น ทั้งสี ขนาด รูปร่าง และการจัดวางจะต้องเข้ากับพื้นที่ของอาคาร ไม่ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกผิดแผกแตกต่าง เพราะถือว่าแปลงผักจะถูกใช้เป็นของตกแต่งบ้าน ซึ่งเป็นพื้นที่สีเขียวที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยได้มีพื้นที่ในการพักผ่อนหย่อนใจ นอกจากนี้ แปลงผักจะต้องมีองค์ประกอบครบถ้วน 4 ประการ ได้แก่ อากาศ น้ำ ธาตุอาหาร และที่ค้ำจุนลำต้น ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, ม.ป.ป.) ส่วนเทคนิคการปลูกพืชในน้ำจะใช้เทคนิคใดขึ้นอยู่กับลักษณะพืชที่ปลูก เช่น พืชกินใบควรใช้แบบน้ำไหล เป็นต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) ข้อดีของการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ที่ไม่ใช้ดิน คือ “ดิน” มีสารเจือปนและเป็นแหล่งอยู่อาศัยของสัตว์เล็กๆ หรือตัวหนอน ปลูกง่าย ไม่ต้องขนย้ายดินขึ้นมาปลูกบนคอนโดมิเนียม ซึ่งการขนย้ายและปลูกด้วยดินจะสกปรก เสียเวลาทำความสะอาด การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะมีศัตรูพืชน้อย แต่ก็ไม่ใช่ว่าจะไม่มีเลย ส่วนมากจะเป็นแมลงเพลี้ยตัวเล็กๆ ที่จะคอยมาระรานเท่านั้น การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ สามารถคาดเดา ระยะเวลาผลิดอกออกผล ได้ง่าย เนื่องจากเวลาค่อนข้างจะแน่นอน

2. การใช้แผงโซล่าเซลล์และการจ่ายน้ำแบบฟัซซี่เป็นเทคโนโลยีหนึ่งสำหรับปลูกผักที่มีประสิทธิภาพ

การศึกษาเทคโนโลยีและระบบการปลูกผักไร้สารพิษที่ใช้พลังงานทดแทน พบว่า พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง (Ali, Dash & Pradhan, 2012) และระบบการจ่ายน้ำแบบฟัซซี่เป็นระบบที่ใช้แผงโซล่าเซลล์มาเป็นแหล่งพลังงานในการหมุนเวียนน้ำในการปลูกพืช สามารถใช้กับการปลูกพืชในน้ำอย่างแปลงผักไร้สารพิษได้ ระบบฟัซซี่นี้มีอุปกรณ์ในการทำงานหลัก 3 ส่วน ประกอบด้วย 1) แผงโซลาร์เซลล์ 2) อุปกรณ์เสริมมอเตอร์ไฟฟ้า และ 3) ปั๊มและระบบจำหน่าย ท่อ และที่เก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ (Singh, Jha, & Nandwana, 2012) กล่าวได้ว่า ระบบการจ่ายน้ำแบบฟัซซี่และแผงโซล่าเซลล์เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการปลูกผักไร้สารพิษที่ใช้พลังงานทดแทน

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการใช้ระบบดังกล่าว ผลจากการวิจัยนี้พบว่า รายได้ของแปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์สร้างรายได้ที่สูงกว่าแปลงผักที่ไม่ใช้แผงโซล่าเซลล์ แม้ว่ารายได้ต่างกันเพียง 70 บาท แต่รายได้มีสัดส่วนประมาณ 4:5 หรือกล่าวได้ว่า ใช้แผงโซล่าเซลล์สร้างรายได้ได้มากกว่าประมาณ 20% ซึ่งหากปลูกแปลงขนาดใหญ่มากกว่า 30 ต้น ก็จะสามารถสร้างรายได้ที่มากกว่าได้ นอกจากนี้ แปลงผักที่ใช้แผงโซล่าเซลล์ยังมีต้นทุนทั้งในแง่เวลาที่ใช้ในการปลูกและพลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่าอีกด้วย

3. แนวทางการพัฒนาสู่เกษตรอุตสาหกรรมใหม่

การเกษตรอุตสาหกรรมใหม่จะเป็นการเกษตรที่อาศัยเทคโนโลยีเข้าช่วยขับเคลื่อนการเพาะปลูก ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และมีประสิทธิภาพสูง การเกษตรแบบใหม่ไม่ถูกจำกัดไว้เพียงเฉพาะการปลูกพืชบนดินที่ใช้พื้นที่มาก แต่จะเป็นการปลูกพืชบนพื้นที่ขนาดเล็กภายในอาคาร ที่ทำให้การปลูกพืชสามารถแทรกและเข้าได้กับทุกพื้นที่ว่างของผู้ใช้อาคารหากมีการออกแบบที่ดี จะมีสวนเล็กๆ ไว้สำหรับปลูกผักกินเองแบบง่ายๆ ให้เหมาะสำหรับบ้านที่มีพื้นที่จำกัด ไม่ว่าจะมีพื้นที่สวนหลังบ้านเล็กๆ ไปจนถึงระเบียงคอนโดที่คับแคบ หรือแม้กระทั่งผนัง กำแพง วัตถุประสงค์ในการปลูกจะยึดหลักปรัชญาแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง คือ การมุ่งหวังปลูกเพื่อบริโภคเองก่อน หากเหลือแล้วจึงนำพืชออกขาย (กรมที่ดิน, 2563) เกษตรกรจะเป็นใครก็ได้ในสังคมเมือง ซึ่งผู้ปลูกเป็นผู้ประกอบอาชีพทุกอาชีพซึ่งไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญด้านการเพาะปลูกอย่างแท้จริง แต่เป็นผู้รักสุขภาพและใส่ใจในพืชผักที่ตนเองปลูกเพียง 1-2 ชนิดที่ตนเองชอบทาน เพราะฉะนั้นเกษตรอุตสาหกรรมใหม่จึงเป็นการขายอุปกรณ์การปลูกผักสำเร็จรูป รวมถึงเมล็ดพันธุ์ และสารละลายต่างๆ ให้กับเกษตรกรมือสมัครเล่น ที่อยากปลูกผักทานเองที่บ้าน นอกจากนี้ เพื่อให้เกิด

ความครบถ้วนภายในระบบ ผู้ประกอบการในการเกษตรอุตสาหกรรมใหม่ควรรับซื้อผักที่เหลือจากการบริโภคเองที่บ้าน โดยมีระบบการจัดส่งและกระจายสินค้าไปถึงผู้บริโภคคนอื่นในพื้นที่ใกล้เคียงด้วย (ดังรูปที่ 24)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ปลูกผักไว้บริโภคเอง

1. ผู้ปลูกผักไร้สารพิษจึงควรพิจารณาใช้แผงโซล่าเซลล์และระบบการจ่ายน้ำฟัซซี่ในแปลงผัก โดยเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในระบบให้ครบถ้วนตามองค์ประกอบของระบบฟัซซี่ 3 ส่วน ได้แก่ 1) แผงโซล่าเซลล์ 2) อุปกรณ์เสริมมอเตอร์ไฟฟ้า และ 3) ปั๊มและระบบจำหน่าย ท่อ และที่เก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ ผู้ปลูกควรใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ทั้งสำหรับปั้มน้ำและไฟส่องสว่างแปลงผักในตอนกลางคืน ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้พบแล้วว่า ผักกรีนโอ้คที่ได้รับแสงทั้งกลางวันกลางคืนตั้งแต่ผักมีอายุ 14 วันขึ้นไป จะมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าและมีเชื้อราเกิดขึ้นน้อยกว่าผักที่ได้รับแสงแดดในตอนกลางวันเพียงอย่างเดียว

2. ผู้ปลูกผักไร้สารพิษที่จะนำแผงโซล่าเซลล์มาใช้ในแปลงผักของตนเอง ควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ครั้งแรก ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1,078 บาท ดังนั้น การใช้แผงโซล่าเซลล์ในแปลงผักจึงเหมาะกับผู้ปลูกผักในระยะยาวมากกว่า 1 ปีขึ้นไป หรือผู้ปลูกผักจำนวนมากกว่า 8 แปลง เพราะการใช้แผงโซล่าเซลล์จะสร้างผลกำไรได้ในระยะยาว นอกจากนี้ ผู้ปลูกยังสามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นภายในบ้านได้อีกด้วย แต่สำหรับผู้ทดลองปลูกผักไร้สารพิษในระยะแรกอาจจะใช้พลังงานไฟฟ้าเชื่อมต่อกับปั้มน้ำตามปกติก่อนการตัดสินใจใช้แผงโซล่าเซลล์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ผู้สนใจปลูกผักไว้ทานเองที่บ้านควรคำนึงถึงสิ่งสำคัญในการปลูกผักเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

1) เลือกผักที่ตนเองชอบและสามารถทานได้บ่อยๆ ไม่รู้สึกเบื่อ

2) สี ขนาด และรูปร่างของพื้นที่ว่างสำหรับวางแปลงผักในอาคาร โดยผู้ปลูกควรสังเกตและวัดขนาดและตัดสินใจเลือกพื้นที่ภายในอาคารก่อน

3) สี ขนาด และรูปร่างของแปลงผักและอุปกรณ์ทั้งหมดให้สอดคล้องกับพื้นที่ภายในอาคารที่ถูกจัดเตรียมไว้

สิ่งที่คำนึงถึง ข้อ 2 และ 3 เพื่อแปลงผักเป็นพื้นที่สีเขียวสำหรับให้ผู้พักอาศัยได้นั่งพักผ่อน ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารได้ถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้จำหน่ายอุปกรณ์การปลูกผัก

ผู้จำหน่ายอุปกรณ์การปลูกผักควรรับซื้อผักที่เหลือจากการบริโภคของผู้ปลูกด้วย ซึ่งจะทำให้ผู้สนใจปลูกผักไว้บริโภคเองตัดสินใจซื้ออุปกรณ์การปลูกผักได้ง่ายขึ้น เนื่องจากเมื่อครบเวลาปลูกผัก 30-45 วันแล้ว ภายหลังการเก็บเกี่ยวผัก ผู้ปลูกสามารถเก็บผักไว้บริโภคเองที่บ้านได้เพียงประมาณ 7 วันเท่านั้น ผักที่เหลือจากการบริโภคจึงเป็นภาระของผู้ปลูกที่จะต้องแจกจ่ายหรือจำหน่ายให้กับผู้อื่นด้วยตนเอง

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป

การออกแบบแปลงผักไร้สารพิษในพื้นที่จำกัดในครั้งนี้ได้ทดลองบนพื้นที่อาคารพาณิชย์หรือทาวน์เฮาส์ในอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี แม้ว่าจะสามารถนำการออกแบบไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่จำกัดอื่นได้ เช่น ระเบียงคอนโดมิเนียมในจังหวัดกรุงเทพมหานคร เป็นต้น แต่การวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาการออกแบบแปลงผักไร้สารพิษบนระเบียงคอนโดมิเนียม ซึ่งมีพื้นที่ ข้อจำกัด และเงื่อนไขมากกว่าการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งออกแบบแปลงผักบนอาคารพาณิชย์ โดยการออกแบบยังคงต้องให้องค์ประกอบการปลูกพืชในน้ำอย่างครบถ้วนและการทำแปลงผักเป็นพื้นที่พักผ่อนหย่อนใจในบ้านพักอาศัย อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งต่อไปสามารถนำข้อค้นพบจากการศึกษาครั้งนี้ไปพัฒนาต่อยอดได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

Hydroponics แต่ละแบบทำงานยังไง. (2562). แหล่งที่มา: https://thaismartfarms.com/hydroponics-systems/

กรมที่ดิน. (2563). องค์ประกอบปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง. แหล่งที่มา: https://www.dol.go.th/ethics/Pages [12 พฤศจิกายน 2563]

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2562). สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม-ธันวาคม 2562. แหล่งที่มา: https://www.dede.go.th/download/stat62/frontpage_jan_dec_62.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). สถานภาพปัจจุบันของพลังงาน ด้านอุตสาหกรรมและการเกษตร. แหล่งที่มา: https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=257&filename=index

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2558). การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์. แหล่งที่มา: http://www.servicelink.doae.go.th/corner%20book/book%2005/Hydropronic.pdf.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (ม.ป.ป.). เทคโนโลยีกังหันลม. แหล่งที่มา: http://www4.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm

คนไทยนิยมกินผัก-ผลไม้เพิ่ม ครัว รพ.ผ่านเกณฑ์ 77.8% ส้มสารพิษตกค้างสูงสุด. (2562). TCIJ. แหล่งที่มา: https://www.tcijthai.com/news/2019/03/scoop/8729 [วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2562]

จิรากรณ์ คชเสนี. (2553). นิเวศวิทยาพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 4 ฉบับปรับปรุงใหม่. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไชยรัตน์ ส้มฉุน. (2562). ปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ให้ปลอดภัยไร้สารก่อมะเร็ง. ไทยรัฐออนไลน์, 13 พฤษภาคม พ.ศ.2562.

ดนิตา พัฒนวนิชชากร. (2551). เปรียบเทียบเทคนิคการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินชนิดต่างๆ ต่อการผลิตผักกาดฮ่องเต้. ปัญญหาพิเศษปริญญาบัณฑิตศึกษา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ.

ดิเรก ทองอร่าม. (2550). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมธิราช.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

เดชรัต สุขกำเนิด. (ม.ป.ป.). พลังงานทางเลือกกับภาคการเกษตร: ศักยภาพและคำถามสำหรับพลังงานชีวภาพ. แหล่งที่มา: http://tdri.or.th/wp-content/uploads/2012/11/group2-Decharut.pdf.

ตลาดไท. (2563). ข้อมูลตลาดผัก. แหล่งที่มา: https://talaadthai.com/product/8-13-01-green-oak?date=2020-10-15 [15 สิงหาคม พ.ศ.2563]

ถิระวรรธน์ สืบธนะวงษ์ และ กรวิทย์ กระจ่างพันธ์. (2561). ระบบควบคุมสำหรับการปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร\, 49(พิเศษ), 494-497.

ไทยขี่กระแสเกษตรอินทรีย์ สปีดขึ้นแท่นผู้นำเอเชีย. (2561). ฐานเศรษฐกิจ. แหล่งที่มา: https://www.thansettakij.com/content/261314 [23 กุมภาพันธ์ 2561]

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. (ม.ป.ป.). การปลูกพืชไม่ใช้ดิน. แหล่งที่มา: http://eto.ku.ac.th/neweto/e-book/other/soliess%20plants.pdf.

บริษัทอุสาพัฒนาเศรษฐกิจ. (2561). กังหันลมสูบน้ำ. แหล่งที่มา: https://www.ausawindmill.com/product/19357/กังหันลมสูบน้ำ

ปัญญาวัฒน์ โกมุทบุตร. (2558). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564). แหล่งที่มา: https://lib.ku.ac.th/kugreenlibrary/images/download/d12.pdf

รพีพัฒน์ สุทธิวงศ์. (2560). การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานในพื้นที่เกษตรกรรมที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง. NDC Security Review, 8, 1-15.

รัตนศิริ กิตติก้องนภางค์. (2563). ปลูกผักกินเอง ปลูกความมั่นคงทางอาหารในรั้ว. แหล่งที่มา: https://www.greenpeace.org/thailand/story/12223/food-agriculture-growing-veggie/

วีทิต วรรณเลิศลักษณ์. (2560). พลังงานจากน้ำพุร้อน. แหล่งที่มา: https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7271-2017-06-13-14-23-15

วีระชาติ จริตงาม, ภญญโญ ชุมมณี และ ขจร อนุดิตย์. (2561). พัฒนาระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านระบบโทรศัพท์มือถือ. ในการประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11 (หน้า 562-569). ชัยภูมิ: มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ.

ศูนย์วิจัยเอแบคนวัตกรรมทางสังคมและการจัดการธุรกิจ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ. (2556). ออร์แกนิคไลฟ์ในสไตล์ของคนกรุง. แหล่งที่มา: http://www.thaifruitassociation.com/Default.aspx?pageid=1&QuestionID=162

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2561). การสำรวจพฤติกรรมการบริโภคอาหารของประชากร พ.ศ.2560. กรุงเทพฯ: สำนักงานสถิติแห่งชาติ.

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2559). การนำพลังงานทดแทนไปใช้ในโครงการเกษตรผสมผสานมูโนะ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดนราธิวาส. แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/10857

สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี. (2550). ศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 12(1), 1-10.

ภาษาอังกฤษ

Ali, S.M., Dash, N. and Pradhan, A. (2012). Role of renewable energy on agriculture. International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, 4(1), 51-57.

Bardi, U., Asmar, T. and Lavacchi, A. (2013). Turning electricity into food: the role of renewable energy in the future of agriculture. Journal of Cleaner Production, 53, 224-231.

Barth, B. (2018). How does aeroponics work? Available from: https://modernfarmer.com/2018/07/how-does-aeroponics-work/

Chel, A. and Kaushik, G. (2011). Renewable energy for sustainable agriculture. Agronomy for Sustainable Development, 31(1), 91-118.

Fabrizio, E. (2012). Energy reduction measures in agricultural greenhouses heating: Envelope, systems and solar energy collection. ENERGY AND BUILDINGS, 53, 57-63.

Faucher, C. and Bastien, J. Renewable Energy and Agriculture: GHG Mitigation and Waste Management Strategy. in 2006 IEEE EIC Climate Change Conference, pp. 1-6, 2006.

Hassanien, R.H.E., Li, M. and Dong Lin, W. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, 989-1001.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Karimi, M., Pour, A., Tabatabaeefar, A. and Borghei, A. (2008). Energy Analysis of Sugarcane Production in Plant Farms A Case Study in Debel Khazai Agro-industry in Iran. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science, 4.

Liu, L.-q., Wang, Z.-x., Zhang, H.-q. and Xue, Y.-c. (2010). Solar energy development in China—A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(1), 301-311.

Nakoul, Z., Bibi-Triki, N., Kherrous, A., Bessenouci, M.Z. and Khelladi, S. (2014). Optimization of a Solar Photovoltaic Applied to Greenhouses. Physics Procedia, 55, 383-389.

Sarver, T., Al-Qaraghuli, A. and Kazmerski, L.L. (2013). A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, 698-733.

Singh, S.N., Jha, R. and Nandwana, M.K. Optimal design of solar powered fuzzy control irrigation system for cultivation of green vegetable plants in Rural India. in 2012 1st International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT), pp. 877-882, 2012.

Van Beveren, P.J.M., Bontsema, J., Van Straten, G. and Van Henten, E.J. (2015). Minimal heating and cooling in a modern rose greenhouse. Applied Energy, 137, 97-109.

Yano, A., Onoe, M. and Nakata, J. (2014). Prototype semi-transparent photovoltaic modules for greenhouse roof applications. Biosystems Engineering, 122, 62-73.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ตารางบันทึกข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ1 สภาพภูมิอากาศของแปลงผักไร้สารพิษทั้งสองแปลง

วันที่	แปลงผักที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์				แปลงผักที่ไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์			
	อุณหภูมิ	ความชื้น	แสงแดด	ความเร็วลม	อุณหภูมิ	ความชื้น	แสงแดด	ความเร็วลม
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ1 (ต่อ)

วันที่	แปลงผักที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์				แปลงผักที่ไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์			
	อุณหภูมิ	ความชื้น	แสงแดด	ความเร็วลม	อุณหภูมิ	ความชื้น	แสงแดด	ความเร็วลม
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ2 พลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผัก

วันที่	แปลงผักที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์				แปลงผักที่ไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์			
	เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณปุ๋ย (ซีซี)	สารกำจัดศัตรูพืช (ซีซี)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์)	เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณปุ๋ย (ซีซี)	สารกำจัดศัตรูพืช (ซีซี)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ2 (ต่อ)

วันที่	แปลงผักที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์				แปลงผักที่ไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์			
	เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณปุ๋ย (ซีซี)	สารกำจัดศัตรูพืช (ซีซี)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์)	เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณปุ๋ย (ซีซี)	สารกำจัดศัตรูพืช (ซีซี)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์)
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ3 รายได้เมื่อครบ 45 วัน

	ผักที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์	ผักที่ไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์
น้ำหนัก (กก.)		
จำนวนเงินที่ขายได้		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

สภาพภูมิอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ4 สภาพภูมิอากาศของแปลงผักไร้สารพิษ

วันที่	แปลงผักที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์				แปลงผักที่ไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์			
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	แสงแดด (cd)	ความเร็วลม(Knot)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	แสงแดด (cd)	ความเร็วลม(Knot)
1	31.20	80.00	37057.00	27.80	32.20	70.00	37098.00	28.00
2	30.40	95.00	37000.00	27.80	31.40	80.00	28840.00	27.90
3	30.00	96.00	36900.00	27.70	30.50	95.00	27774.00	35.20
4	30.20	90.00	36000.00	26.90	31.00	76.00	29870.00	29.20
5	31.00	80.00	37150.00	27.00	31.80	80.00	30657.00	29.70
6	29.50	96.00	36100.00	27.70	30.50	86.00	26634.00	29.70
7	31.10	90.00	37124.00	27.80	31.70	93.00	28255.00	33.80
8	29.80	90.00	36858.00	27.50	30.50	91.00	27963.00	30.30
9	30.80	84.00	36723.00	26.90	31.50	88.00	31608.00	30.90
10	30.40	92.00	36564.00	27.00	31.60	72.00	33657.00	34.20
11	31.10	91.00	37079.00	27.10	31.20	70.00	33417.00	33.20
12	29.90	91.00	36855.00	27.40	31.90	77.00	32702.00	30.00
13	31.08	96.00	37038.00	27.30	31.30	84.00	31361.00	30.80
14	29.80	82.00	36778.00	26.90	32.10	71.00	32377.00	28.30
15	30.40	80.00	36393.00	27.30	31.50	91.00	28982.00	31.30
16	30.60	91.00	36495.00	26.90	31.30	89.00	28290.00	33.20
17	31.20	94.00	36287.00	27.00	31.30	85.00	27089.00	30.00
18	29.90	94.00	36182.00	26.80	30.70	80.00	31519.00	33.00
19	29.30	89.00	36927.00	27.10	31.90	74.00	33878.00	28.30
20	30.00	87.00	36690.00	27.50	31.90	93.00	30807.00	30.30
21	31.50	94.00	36801.00	27.30	31.70	94.00	27100.00	29.80
22	29.40	82.00	36956.00	27.80	30.50	90.00	27217.00	34.00
23	30.00	85.00	36439.00	27.70	32.10	91.00	32513.00	30.40
24	31.20	82.00	36211.00	27.50	31.40	82.00	32916.00	28.60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ผ4 (ต่อ)

วันที่	แปลงผักที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์				แปลงผักที่ไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์			
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	แสงแดด (cd)	ความเร็วลม(Knot)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	แสงแดด (cd)	ความเร็วลม(Knot)
25	29.60	96.00	36833.00	27.70	30.90	95.00	34747.00	30.10
26	29.70	94.00	36513.00	27.10	31.30	85.00	30243.00	31.20
27	30.50	86.00	36191.00	27.00	30.70	93.00	32342.00	29.90
28	30.10	90.00	36487.00	27.40	30.80	85.00	33509.00	30.90
29	30.40	94.00	36582.00	27.30	31.20	91.00	31214.00	33.00
30	30.60	95.00	36922.00	27.10	31.90	80.00	32527.00	29.80
31	29.90	80.00	36136.00	26.90	32.00	91.00	27449.00	33.30
32	30.90	85.00	36557.00	26.90	31.60	82.00	33343.00	30.40
33	29.20	90.00	36378.00	26.80	31.90	91.00	29446.00	28.50
34	30.60	96.00	36456.00	26.90	30.60	76.00	33171.00	34.70
35	30.30	91.00	36899.00	27.20	31.50	92.00	28421.00	32.20
36	30.20	90.00	36835.00	27.80	31.60	85.00	27051.00	32.40
37	31.40	92.00	36931.00	27.10	31.90	95.00	27608.00	32.40
38	29.60	96.00	36452.00	27.30	31.40	73.00	28933.00	30.10
39	30.60	86.00	37084.00	27.10	31.70	87.00	32882.00	35.00
40	30.60	96.00	36331.00	27.70	31.40	83.00	29026.00	33.60
41	30.40	89.00	36886.00	27.40	31.10	91.00	33490.00	28.80
42	31.30	85.00	36115.00	27.80	31.40	87.00	34658.00	31.90
43	30.50	90.00	36751.00	27.70	30.90	93.00	30928.00	33.60
44	29.10	83.00	36470.00	26.80	31.10	71.00	33639.00	32.00
45	30.30	89.00	36475.00	27.50	31.10	85.00	29715.00	34.80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

พลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ5 พลังงานและต้นทุนที่ใช้ในแปลงผักไร้สารพิษ

วันที่	แปลงผักที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์				แปลงผักที่ไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์			
	เวลาที่ใช้ (นาทีต่อวัน)	ปริมาณปุ๋ย (ซีซีต่อวัน)	สารกำจัดศัตรูพืช (ซีซีต่อวัน)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ต่อวัน)	เวลาที่ใช้ (นาทีต่อวัน)	ปริมาณปุ๋ย (ซีซีต่อวัน)	สารกำจัดศัตรูพืช (ซีซีต่อวัน)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ต่อวัน)
1	21.00	.00	.00	.00	21.00	.00	.00	278.00
2	22.00	.00	.00	.00	23.00	.00	.00	256.00
3	24.00	.00	.00	.00	24.00	.00	.00	243.00
4	21.00	.00	.00	.00	25.00	.00	.00	215.00
5	20.00	548.00	15.00	.00	26.00	508.00	22.00	234.00
6	24.00	333.00	20.00	.00	27.00	356.00	22.00	298.00
7	23.00	449.00	16.00	.00	28.00	418.00	18.00	232.00
8	22.00	526.00	10.00	.00	29.00	504.00	16.00	218.00
9	24.00	358.00	20.00	.00	25.00	371.00	21.00	236.00
10	21.00	506.00	19.00	.00	26.00	334.00	16.00	283.00
11	25.00	419.00	14.00	.00	25.00	502.00	25.00	224.00
12	21.00	475.00	15.00	.00	28.00	437.00	15.00	280.00
13	20.00	492.00	14.00	.00	29.00	309.00	18.00	249.00
14	20.00	379.00	12.00	.00	25.00	328.00	16.00	270.00
15	23.00	429.00	14.00	.00	27.00	444.00	20.00	216.00
16	24.00	478.00	11.00	.00	25.00	301.00	21.00	223.00
17	25.00	426.00	18.00	.00	29.00	461.00	18.00	215.00
18	21.00	405.00	16.00	.00	26.00	323.00	24.00	292.00
19	22.00	393.00	18.00	.00	27.00	469.00	16.00	250.00
20	23.00	431.00	20.00	.00	28.00	482.00	17.00	215.00
21	21.00	338.00	19.00	.00	23.00	489.00	20.00	240.00
22	21.00	431.00	19.00	.00	28.00	452.00	19.00	221.00
23	20.00	316.00	11.00	.00	29.00	400.00	18.00	232.00
24	20.00	517.00	11.00	.00	31.00	467.00	20.00	212.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ5 (ต่อ)

วันที่	แปลงผักที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์				แปลงผักที่ไม่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โซล่าเซลล์			
	เวลาที่ใช้ (นาทีต่อวัน)	ปริมาณปุ๋ย (ซีซีต่อวัน)	สารกำจัดศัตรูพืช (ซีซีต่อวัน)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ต่อวัน)	เวลาที่ใช้ (นาทีต่อวัน)	ปริมาณปุ๋ย (ซีซีต่อวัน)	สารกำจัดศัตรูพืช (ซีซีต่อวัน)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ต่อวัน)
25	22.00	488.00	19.00	.00	30.00	314.00	18.00	258.00
26	24.00	548.00	12.00	.00	29.00	308.00	19.00	247.00
27	21.00	473.00	11.00	.00	29.00	445.00	21.00	250.00
28	22.00	397.00	20.00	.00	28.00	498.00	16.00	249.00
29	23.00	525.00	16.00	.00	31.00	465.00	17.00	274.00
30	21.00	366.00	14.00	.00	30.00	306.00	20.00	218.00
31	21.00	544.00	18.00	.00	28.00	346.00	16.00	286.00
32	20.00	441.00	16.00	.00	27.00	359.00	19.00	244.00
33	25.00	533.00	17.00	.00	31.00	303.00	21.00	287.00
34	24.00	460.00	20.00	.00	30.00	486.00	17.00	230.00
35	22.00	458.00	19.00	.00	32.00	473.00	25.00	299.00
36	23.00	393.00	12.00	.00	32.00	434.00	18.00	235.00
37	24.00	362.00	10.00	.00	29.00	343.00	19.00	232.00
38	23.00	402.00	15.00	.00	28.00	452.00	19.00	287.00
39	24.00	535.00	11.00	.00	29.00	366.00	20.00	204.00
40	22.00	392.00	13.00	.00	30.00	423.00	21.00	264.00
41	23.00	300.00	10.00	.00	32.00	493.00	19.00	264.00
42	24.00	545.00	20.00	.00	32.00	435.00	21.00	237.00
43	21.00	473.00	20.00	.00	31.00	460.00	21.00	265.00
44	23.00	417.00	19.00	.00	30.00	538.00	24.00	286.00
45	24.00	362.00	13.00	.00	32.00	369.00	24.00	222.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการเปรียบเทียบสภาพอากาศทั่วไปของแปลงผักทั้งสองแปลงด้วยสถิติ independent t-test

Group Statistics

	group	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
temp	1.00	45	30.3462	.62708	.09348
	2.00	45	31.3667	.48336	.07205
humidity	1.00	45	89.4222	5.16760	.77034
	2.00	45	84.7333	7.71480	1.15005
sunlight	1.00	45	36642.0222	321.27427	47.89274
	2.00	45	30819.2444	2615.33479	389.87109
Wind	1.00	45	27.2933	.34139	.05089
	2.00	45	31.3044	2.10302	.31350

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
temp	Equal variances assumed	3.039	.085	-8.646	88	.000	-1.02044	.11803	-1.25500	-.78589
	Equal variances not assumed			-8.646	82.643	.000	-1.02044	.11803	-1.25521	-.78568
humidity	Equal variances assumed	8.153	.005	3.387	88	.001	4.68889	1.38421	1.93805	7.43972
	Equal variances not assumed			3.387	76.867	.001	4.68889	1.38421	1.93249	7.44529

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
sunlight	Equal variances assumed	104.075	.000	14.824	88	.000	5822.77778	392.80171	5042.16692	6603.38863
	Equal variances not assumed			14.824	45.328	.000	5822.77778	392.80171	5031.79233	6613.76322
Wind	Equal variances assumed	93.665	.000	-12.629	88	.000	-4.01111	.31760	-4.64228	-3.37994
	Equal variances not assumed			-12.629	46.317	.000	-4.01111	.31760	-4.65030	-3.37193

ผลการเปรียบเทียบพลังงานและต้นทุนที่ใช้ ด้วยสถิติ MANCOVA

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Between-Subjects Factors

		N
group	1.00	45
	2.00	45

Descriptive Statistics

	group	Mean	Std. Deviation	N
time	1.00	22.3111	1.54952	45
	2.00	28.0889	2.69530	45
	Total	25.2000	3.63565	90
fert	1.00	401.4000	143.28681	45
	2.00	377.1333	137.27752	45
	Total	389.2667	140.05631	90
chem	1.00	14.1556	5.57574	45
	2.00	17.7111	6.13345	45
	Total	15.9333	6.09623	90
elec	1.00	.0000	.00000	45
	2.00	248.2222	26.97043	45
	Total	124.1111	126.23889	90

Bartlett's Test of Sphericity[a]

Likelihood Ratio	.000
Approx. Chi-Square	1188.997
df	9
Sig.	.000

Tests the null hypothesis that the residual covariance matrix is proportional to an identity matrix.

a. Design: Intercept + temp + humidity + sunlight + Wind + group

กรณ์มหาวิทยาลัย
NGKORN UNIVERSITY

Multivariate Tests[a]

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power[c]
Intercept	Pillai's Trace	.029	.608[b]	4.000	81.000	.658	.029	2.432	.192
	Wilks' Lambda	.971	.608[b]	4.000	81.000	.658	.029	2.432	.192
	Hotelling's Trace	.030	.608[b]	4.000	81.000	.658	.029	2.432	.192
	Roy's Largest Root	.030	.608[b]	4.000	81.000	.658	.029	2.432	.192
temp	Pillai's Trace	.004	.081[b]	4.000	81.000	.988	.004	.326	.066
	Wilks' Lambda	.996	.081[b]	4.000	81.000	.988	.004	.326	.066
	Hotelling's Trace	.004	.081[b]	4.000	81.000	.988	.004	.326	.066
	Roy's Largest Root	.004	.081[b]	4.000	81.000	.988	.004	.326	.066
humidity	Pillai's Trace	.135	3.165[b]	4.000	81.000	.018	.135	12.662	.800
	Wilks' Lambda	.865	3.165[b]	4.000	81.000	.018	.135	12.662	.800
	Hotelling's Trace	.156	3.165[b]	4.000	81.000	.018	.135	12.662	.800
	Roy's Largest Root	.156	3.165[b]	4.000	81.000	.018	.135	12.662	.800
sunlight	Pillai's Trace	.026	.540[b]	4.000	81.000	.706	.026	2.162	.174
	Wilks' Lambda	.974	.540[b]	4.000	81.000	.706	.026	2.162	.174
	Hotelling's Trace	.027	.540[b]	4.000	81.000	.706	.026	2.162	.174
	Roy's Largest Root	.027	.540[b]	4.000	81.000	.706	.026	2.162	.174
Wind	Pillai's Trace	.048	1.018[b]	4.000	81.000	.403	.048	4.072	.308
	Wilks' Lambda	.952	1.018[b]	4.000	81.000	.403	.048	4.072	.308
	Hotelling's Trace	.050	1.018[b]	4.000	81.000	.403	.048	4.072	.308
	Roy's Largest Root	.050	1.018[b]	4.000	81.000	.403	.048	4.072	.308

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power[c]
group	Pillai's Trace	.866	130.388[b]	4.000	81.000	.000	.866	521.551	1.000
	Wilks' Lambda	.134	130.388[b]	4.000	81.000	.000	.866	521.551	1.000
	Hotelling's Trace	6.439	130.388[b]	4.000	81.000	.000	.866	521.551	1.000
	Roy's Largest Root	6.439	130.388[b]	4.000	81.000	.000	.866	521.551	1.000

a. Design: Intercept + temp + humidity + sunlight + Wind + group

b. Exact statistic

c. Computed using alpha = .05

Levene's Test of Equality of Error Variances[a]

	F	df1	df2	Sig.
time	6.895	1	88	.010
fert	.006	1	88	.940
chem	.207	1	88	.650
elec	86.725	1	88	.000

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + temp + humidity + sunlight + Wind + group

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power[e]
Corrected Model	time	809.693[a]	5	161.939	37.095	.000	.688	185.473	1.000
	fert	22904.741[b]	5	4580.948	.223	.952	.013	1.117	.101
	chem	385.458[c]	5	77.092	2.216	.060	.117	11.080	.696
	elec	1387408.308[d]	5	277481.662	753.866	.000	.978	3769.329	1.000
Intercept	time	1.077	1	1.077	.247	.621	.003	.247	.078
	fert	2865.778	1	2865.778	.140	.710	.002	.140	.066
	chem	1.470	1	1.470	.042	.838	.001	.042	.055
	elec	785.946	1	785.946	2.135	.148	.025	2.135	.303

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power[e]
temp	time	.708	1	.708	.162	.688	.002	.162	.068
	fert	1849.315	1	1849.315	.090	.765	.001	.090	.060
	chem	8.599	1	8.599	.247	.620	.003	.247	.078
	elec	8.324	1	8.324	.023	.881	.000	.023	.053
humidity	time	43.014	1	43.014	9.853	.002	.105	9.853	.873
	fert	688.606	1	688.606	.034	.855	.000	.034	.054
	chem	15.673	1	15.673	.451	.504	.005	.451	.102
	elec	538.365	1	538.365	1.463	.230	.017	1.463	.223
sunlight	time	9.253	1	9.253	2.119	.149	.025	2.119	.302
	fert	768.794	1	768.794	.037	.847	.000	.037	.054
	chem	1.635	1	1.635	.047	.829	.001	.047	.055
	elec	5.175	1	5.175	.014	.906	.000	.014	.052
Wind	time	8.025	1	8.025	1.838	.179	.021	1.838	.268
	fert	5204.682	1	5204.682	.254	.616	.003	.254	.079
	chem	53.962	1	53.962	1.551	.216	.018	1.551	.234
	elec	239.577	1	239.577	.651	.422	.008	.651	.125
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power[e]
group	time	136.929	1	136.929	31.366	.000	.272	31.366	1.000
	fert	1834.428	1	1834.428	.089	.766	.001	.089	.060
	chem	22.860	1	22.860	.657	.420	.008	.657	.126
	elec	190624.653	1	190624.653	517.892	.000	.860	517.892	1.000
Error	time	366.707	84	4.366					
	fert	1722898.859	84	20510.701					
	chem	2922.142	84	34.787					
	elec	30918.581	84	368.078					
Total	time	58330.000	90						
	fert	15383372.000	90						
	chem	26156.000	90						
	elec	2804648.000	90						

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power[e]
Corrected Total	time	1176.400	89						
	fert	1745803.600	89						
	chem	3307.600	89						
	elec	1418326.889	89						

a. R Squared = .688 (Adjusted R Squared = .670)

b. R Squared = .013 (Adjusted R Squared = -.046)

c. R Squared = .117 (Adjusted R Squared = .064)

d. R Squared = .978 (Adjusted R Squared = .977)

e. Computed using alpha = .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Parameter Estimates

Dependent Variable	Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval		Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power[b]
						Lower Bound	Upper Bound			
time	Intercept	10.997	15.498	.710	.480	-19.822	41.816	.006	.710	.108
	temp	-.164	.407	-.403	.688	-.973	.645	.002	.403	.068
	humidity	.116	.037	3.139	.002	.042	.189	.105	3.139	.873
	sunlight	.000	.000	1.456	.149	-6.974E-5	.000	.025	1.456	.302
	Wind	.209	.154	1.356	.179	-.097	.515	.021	1.356	.268
	[group=1.00]	-6.761	1.207	-5.601	.000	-9.162	-4.361	.272	5.601	1.000
	[group=2.00]	0[a]	.	.	.	.	.	.	.	.
fert	Intercept	380.512	1062.278	.358	.721	-1731.945	2492.969	.002	.358	.064
	temp	-8.370	27.876	-.300	.765	-63.805	47.064	.001	.300	.060
	humidity	.464	2.532	.183	.855	-4.571	5.499	.000	.183	.054
	sunlight	.002	.009	.194	.847	-.016	.020	.000	.194	.054
	Wind	5.313	10.548	.504	.616	-15.662	26.288	.003	.504	.079
	[group=1.00]	24.748	82.751	.299	.766	-139.812	189.307	.001	.299	.060
	[group=2.00]	0[a]	.	.	.	.	.	.	.	.

Dependent Variable	Parameter	B	Std. Error	t	Sig.	95% Confidence Interval		Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power[b]
						Lower Bound	Upper Bound			
chem	Intercept	10.279	43.748	.235	.815	-76.719	97.277	.001	.235	.056
	temp	-.571	1.148	-.497	.620	-2.854	1.712	.003	.497	.078
	humidity	.070	.104	.671	.504	-.137	.277	.005	.671	.102
	sunlight	8.011E-5	.000	.217	.829	-.001	.001	.001	.217	.055
	Wind	.541	.434	1.245	.216	-.323	1.405	.018	1.245	.234
	[group=1.00]	-2.763	3.408	-.811	.420	-9.540	4.014	.008	.811	.126
	[group=2.00]	0[a]	.	.	.	.	.	.	.	.
elec	Intercept	331.888	142.304	2.332	.022	48.900	614.876	.061	2.332	.635
	temp	-.562	3.734	-.150	.881	-7.988	6.865	.000	.150	.053
	humidity	-.410	.339	-1.209	.230	-1.085	.264	.017	1.209	.223
	sunlight	.000	.001	.119	.906	-.002	.003	.000	.119	.052
	Wind	-1.140	1.413	-.807	.422	-3.950	1.670	.008	.807	.125
	[group=1.00]	-252.274	11.085	-22.757	.000	-274.319	-230.229	.860	22.757	1.000
	[group=2.00]	0[a]	.	.	.	.	.	.	.	.

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

b. Computed using alpha = .05

ภาคผนวก จ

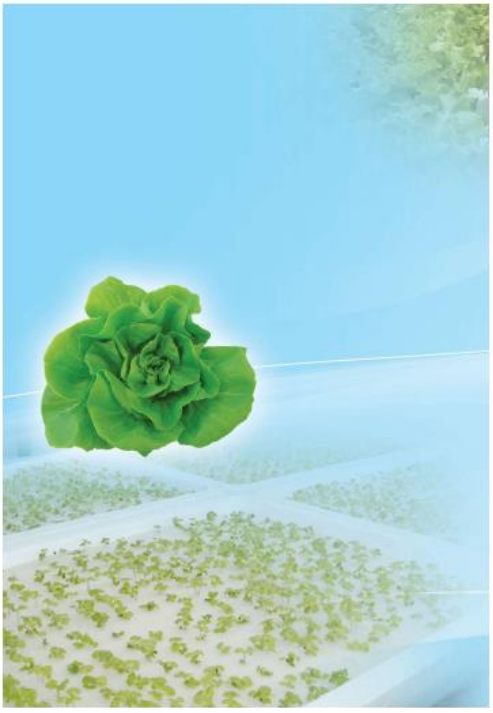
การปลูกผักไฮโดรโปรนิกส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอกสารคำแนะนำที่ 5
/2558
การปลูก
ผักไฮโดรโปนิกส์
กรมส่งเสริมการเกษตร

เอกสารคำแนะนำที่ 5/2558
การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์
พิมพ์ครั้งที่ 1 : จำนวน 10,000 เล่ม พฤษภาคม พ.ศ.2558
จัดพิมพ์ : กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
พิมพ์ที่ : ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด

เอกสารคำแนะนำที่ 5
/2558
การปลูก
ผักไฮโดรโปนิกส์
กรมส่งเสริมการเกษตร



คำนำ

การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ เป็นการปลูกผักที่สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ สามารถลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร ส่งผลให้ได้ผลผลิตผักที่มีคุณภาพ และยังเป็นการผลิตผักที่สามารถทำได้ในสภาพพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม สำหรับการทำการเกษตร การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ สามารถปลูกเพื่อบริโภคภายในครัวเรือน และปลูกเพื่อเป็นการค้า

กรมส่งเสริมการเกษตร จึงได้จัดทำเอกสารคำแนะนำ เรื่อง **"การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์"** โดยเนื้อหาในเอกสารจะอธิบายเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานสำหรับเกษตรกรที่จะปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ ระบบของการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ ขั้นตอนและวิธีการปลูก และความรู้ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเรื่องการตลาดของการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เอกสารคำแนะนำฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่เกษตรกร หรือบุคคลที่สนใจ ทำให้ผู้อ่านเกิดความรู้และความเข้าใจในเรื่องการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์เพิ่มขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ต่อไปได้

กรมส่งเสริมการเกษตร

2558

สารบัญ

- ระบบของการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ 2
- วัสดุ อุปกรณ์สำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ 4
- ข้อควรคำนึงสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ในเชิงการค้า 8
- ขั้นตอนและวิธีการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ 9
  - การจัดการพืช 9
  - การจัดการด้านสารละลาย 12
- ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต 18
- ความรู้เกี่ยวกับสารละลายธาตุอาหารพืช 20
- ศัตรูพืช 23
- วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว 24
- การปฏิบัติเพื่อลดความเสียหายของผักหลังการเก็บเกี่ยว 26
- การตลาดของการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ 27
- เอกสารอ้างอิง 28

การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

ไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) มาจากภาษากรีก คำว่า "Hydro" แปลว่า น้ำ รวมกับคำว่า "Ponos" ที่แปลว่า งาน เมื่อรวมกันจึงหมายถึง การทำงานของน้ำ (สารละลายธาตุอาหาร) ผ่านรากพืช โดยปกติแล้วการที่พืชจะเจริญเติบโตได้ดีนั้น ต้องอาศัยปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมหลายอย่าง เช่น แสงแดด อุณหภูมิ น้ำ และธาตุอาหารพืช การที่พืชจะนำธาตุอาหารพืชไปใช้ประโยชน์ได้นั้นจะต้องคำนึงถึงเรื่องความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินหรือสารละลายธาตุอาหารใช้ปลูกพืช การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ พืชจะได้รับธาตุอาหารในรูปสารละลาย เรียกว่า **"สารละลายธาตุอาหารพืช"** ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันทีเพราะมีการปรับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) และ pH ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ตลอดเวลา

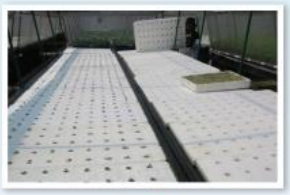
ข้อดีของการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ คือ สามารถทำการปลูกผักในบริเวณที่พื้นดินไม่เหมาะสมหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกผัก ใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกน้อยและสามารถทำการผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ ควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตได้ เช่น การควบคุมปริมาณธาตุอาหาร pH เป็นการปลูกผักที่ใช้น้ำและธาตุอาหารพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดทั้งประหยัดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินและกำจัดวัชพืช แต่การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ เป็นระบบที่มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาแพง และการควบคุมดูแลต้องใช้ผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์

ระบบของการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

ระบบการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์สามารถจำแนกได้เป็นหลายระบบขึ้นอยู่กับวิธีการต่าง ๆ แต่ที่ใช้มากในประเทศไทย มีดังนี้

ระบบ NFT

ระบบ DFT โดยใช้ท่อ PVC



ระบบ DRFT

1. การปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากผักเป็นแผ่นบาง ๆ อย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique : NFT) เป็นการให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชที่ปลูกบนรางตามความลาดชันของรางปลูกอย่างช้า ๆ เป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ประมาณ 1-3 มิลลิเมตร พืชที่ปลูกได้ดีและนิยมปลูกในระบบนี้ ได้แก่ ผักกินใบจำพวกผักสลัด มีอายุยาวประมาณ 45-50 วัน

2. การปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากผักในระดับลึก (Deep Flow Technique : DFT) การปลูกผักโดยวิธีนี้เหมือนการปลูกแบบลอยน้ำ ซึ่งสามารถปลูกได้ดีในที่ที่มีแคดจัด โดยวิธีนี้จะมีช่องว่างระหว่างแผ่นปลูกกับสารละลายธาตุอาหารพืชประมาณ 3-5 เซนติเมตร เพื่อให้รากผักบางส่วนลูกอากาศ และบางส่วนอยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืช ผักที่ปลูกได้ดีและนิยมปลูกในระบบนี้ ได้แก่ ผักไทย (ผักกินใบที่มีอายุสั้น ประมาณ 20-30 วัน) เช่น ผักคะน้า ผักบุ้ง ผักโขม เป็นต้น

3. การปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารและอากาศไหลวนผ่านรากผักในระดับลึกอย่างต่อเนื่องในการปลูก (Dynamic Root Floating Technique : DRFT) ระบบนี้พัฒนามาจากระบบ DFT โดยเพิ่มการไหลเวียนของอากาศและสารละลายธาตุอาหารพืช ผักที่ปลูกได้ดีและนิยมปลูก ได้แก่ ผักไทย

วัสดุ อุปกรณ์สำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

วัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของการปลูก ซึ่งสิ่งที่ควรคำนึงถึงคือ ควรมีราคาไม่สูงมากนัก แต่มีคุณภาพดี และหาซื้อได้สะดวก นอกจากนี้ ยังสามารถนำวัสดุสิ่งของเหลือใช้ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ได้อีกด้วย

โรงเรือนขนาดเล็ก

โรงเรือนขนาดใหญ่

ปกติแล้ววัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ประกอบด้วย

1. โรงเรือน

ในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ในเชิงการค้าจำเป็นต้องใช้โรงเรือนสำหรับเพาะกล้า อนุบาลต้นกล้า และปลูก ซึ่งรูปแบบของโรงเรือนต้องเหมาะสม มีความแข็งแรง สามารถควบคุมภูมิอากาศภายในโรงเรือนให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักที่ปลูก นอกจากนี้ โรงเรือนยังสามารถป้องกันศัตรูพืชได้ พื้นที่ตั้งโรงเรือนต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คือมีการถ่ายเทอากาศดี อยู่ในที่โล่งแจ้ง มีการคมนาคมที่สะดวก มีแหล่งน้ำอย่างเพียงพอและมีไฟฟ้า แต่สำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ในบริเวณบ้านนั้น ไม่จำเป็นต้องสร้างโรงเรือนขนาดใหญ่ เนื่องจาก

เป็นการปลูกเพื่อไว้รับประทานกันเองภายในครอบครัว หรือเพื่อเป็นงานอดิเรกเท่านั้น เพียงแต่สร้างโครงมุ้งเพื่อป้องกันแมลงและการกระแทกของน้ำฝน

2. ภาชนะและวัสดุที่ใช้ในการปลูก

2.1 *ภาชนะที่ใช้ในการปลูก* ควรเป็นภาชนะที่เหมาะสมต่อระบบปลูก มีความแข็งแรง สะอาด และทำความสะอาดได้ง่าย ไม่ผุกร่อน หรือไม่เป็นอันตรายต่อรากผักและสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ ควรมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย สะดวกต่อการติดตั้งและการใช้งาน

2.2 *วัสดุปลูก (Growing media)* ต้องเป็นวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการให้ออกซิเจน ธาตุอาหารและช่วยในการเจริญเติบโตของรากผัก คลอดจนเป็นที่เกาะยึดค้ำยันต้นพืช ลักษณะของวัสดุปลูกที่ดี คือ เป็นที่เกาะยึดค้ำยันต้นผัก เป็นแหล่งสะสมน้ำและอาหาร และเป็นแหล่งที่ให้อากาศแก่ผัก

3. ปุ๋ยหรือธาตุอาหารพืช

จัดว่าเป็นหัวใจสำคัญสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ เนื่องจากเป็นการจัดการในการให้ปุ๋ยเคมีต่าง ๆ เพื่อทดแทนธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน เพราะการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์เป็นการให้ผักที่ปลูกได้รับสารอาหารพืช หรือสารละลายธาตุอาหารพืช (nutrient solution) ที่ได้จากการนำธาตุอาหาร (แม่ปุ๋ย) ผสมกับน้ำ

4. น้ำ

น้ำที่ใช้ต้องมาจากแหล่งน้ำที่ดี มีคุณภาพดีและมีปริมาณเพียงพอต่อการปลูก ก่อนที่นำมาใช้ในการปลูกผัก ควรมีการนำตัวอย่างน้ำไปตรวจคุณภาพเสียก่อน

5. ระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าใช้เพื่อเป็นต้นกำลังของพลังงานที่ขาดไม่ได้ ควรมีระบบไฟสำรองสำหรับบางช่วงที่มีปัญหาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า

6. ปั๊ม

ใช้สำหรับส่งและก่อให้เกิดการไหลเวียนของสารละลายธาตุอาหารพืชและให้ออกซิเจนแก่รากพืช

7. เมล็ดพันธุ์ผัก หรือกล้าผักที่จะใช้ปลูก

ควรเลือกพันธุ์ที่ตลาดต้องการ ต้นกล้ามีความสำคัญต่อการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์มาก เนื่องจากทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตและตั้งตัวได้เร็ว เมล็ดพันธุ์ที่ดีต้องมีลักษณะตรงตามพันธุ์ มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูง

8. วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

8.1 *ถังใส่สารละลายธาตุอาหารพืช* ขนาดของถังขึ้นอยู่กับระบบของการปลูกเพื่อกักเก็บสารละลายธาตุอาหารให้เพียงพอ โดยทั่วไปจะมีถังใส่สารละลายธาตุอาหารพืชไว้ใต้ดิน เพื่อลดอุณหภูมิของสารละลายและช่วยลดการระเหยของสารละลายได้อีกด้วย

8.2 *อุปกรณ์* เพื่อใช้ในการเตรียม รักษาหรือควบคุมค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เนื่องจากการปรับค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายบางครั้งต้องใช้กรดเป็นตัวปรับเมื่อสารละลายมีความเป็นด่างมากเกิน

8.3 *เครื่องชั่ง วัด ตวง* ใช้ตวงปริมาณปุ๋ยหรือสารอาหารที่ใช้ในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

9. วัสดุอุปกรณ์ยึดหรือรองรับต้นผัก

กรณีที่ผักมีความสูง เช่น มะเขือเทศ แคนตาลูป รากไม่สามารถยึดติดกับวัสดุปลูกได้ จำเป็นต้องมีวัสดุรองรับต้นผัก เพื่อช่วยให้พืชที่มีลำต้นสูง และมีผลผลิตที่มีน้ำหนัก สามารถทรงตัวอยู่ได้ ซึ่งวัสดุอุปกรณ์ ได้แก่ เชือก ลวด ไม้ค้ำ และอาจมีสิ่งอุปกรณ์ยึดกับต้นผักซึ่งส่วนมากทำจากพลาสติก

10. วัสดุ อุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิโรงเรือน สารละลายธาตุอาหารและวัสดุปลูก

เนื่องจากประเทศไทยมีอุณหภูมิสูงจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน

11. อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดและควบคุมสารละลายธาตุอาหารพืช

เครื่องมือตรวจวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายธาตุอาหารพืช (pH meter) เครื่องมือตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารพืช (Electrical Conductivity meter)

12. วัสดุอุปกรณ์และโรงเรือนบรรจุหีบห่อผลผลิต

สำหรับการปลูกในเชิงการค้าจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับการทำความสะอาด คัดขนาด บรรจุหีบห่อภายในโรงเรือนที่ดีก่อนขนส่งไปตลาด

13. ห้องเย็นและระบบขนส่งที่สามารถควบคุมอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์

การผลิตในเชิงการค้าที่มีพื้นที่ตั้งแต่ 1 ไร่ขึ้นไป จะมีอัตรากำลังในการผลิตที่สูง ควรมีห้องเย็น บรรจุภัณฑ์ และระบบขนส่งที่สามารถควบคุมอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ได้ เพื่อรักษาคุณภาพของผลผลิต โดยเฉพาะในกรณีที่แหล่งผลิตอยู่ไกลจากตลาดมาก

ข้อควรคำนึงสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ในเชิงการค้า

การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์นั้นสามารถปลูกผักได้ทุกชนิด หากปลูกในเชิงการค้าจะต้องคำนึงถึง

- **อายุการเก็บเกี่ยว** เนื่องจากการปลูกด้วยวิธีนี้จะมีการลงทุนสูง ดังนั้นจึงควรเลือกผักที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น มีรอบการผลิตหลายรอบต่อปีจะช่วยลดต้นทุนได้ เช่น ผักสลัด หรือผักไทยที่มีอายุสั้น เช่น ผักบุ้ง ผักคะน้า ผักโขม
- **ราคาผลผลิต** ควรเลือกผักที่มีราคาสูง ขายได้ราคาดี เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูง จึงจำเป็นต้องเลือกผักที่มีราคาดีและตลาดมีความต้องการ แต่ในปัจจุบันได้มีการนำผักที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด เช่น ผักบุ้ง ผักคะน้า ผักกาดเขียวกวางตุ้ง มาปลูกระบบไฮโดรโปนิกส์มากขึ้น และนำมาขายภายใต้ผลิตภัณฑ์ผักปลอดภัยจากสารพิษ ซึ่งกำลังเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ก็สามารถทำรายได้ดีอีกทางหนึ่ง
- **ฤดูปลูก** ช่วงฤดูฝนผักทั่วไปจะมีออกสู่ตลาดน้อย แต่สำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์สามารถผลิตได้ทุกฤดูกาล

ขั้นตอนและวิธีการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์นั้นต้องมีการจัดการในส่วนของผัก และส่วนของสารละลายธาตุอาหาร

การจัดการพืช

ความสำเร็จของการผลิตอยู่ที่ความแข็งแรงและความสมบูรณ์ของต้นกล้า เพราะจะทำให้พักสามารถเจริญเติบโตและตั้งตัวได้เร็ว

เมล็ดพันธุ์ผัก

การเพาะกล้าในถ้วยเพาะ

การเพาะกล้าในแผ่นฟองน้ำ

การเพาะกล้าในวัสดุปลูก

วิธีการเพาะกล้า

1. การเพาะกล้าในถ้วยเพาะแบบสำเร็จรูป

วัสดุที่ใช้เพาะในบ้านเราส่วนใหญ่นิยมใช้ เพอร์ไลท์ เวอร์มิคูไลท์ หรืออาจใช้เพอร์ไลท์ผสมกับเวอร์มิคูไลท์ (อัตรา 1 : 4) หรือกรวด ซึ่งนิยมใช้ปลูกในระบบ NFT ดังนี้

1.1 ใส่วัสดุเพาะลงในถ้วยเพาะสำเร็จรูปต่ำกว่าขอบบนของถ้วยประมาณ 1 เซนติเมตร

1.2 ใส่เมล็ดลงในวัสดุเพาะที่อยู่ในถ้วยเพาะ ถ้วยละ 1 เมล็ด โดยให้เมล็ดลึกประมาณ 0.5 เซนติเมตร

1.3 นำถ้วยเพาะเมล็ดไปวางในกระบะเพาะ ใส่น้ำสูงประมาณ 2 เซนติเมตร วางในที่มีแสงแดดรำไร มีการระบายอากาศดี มีวัสดุกันส่นและแรงลม

1.4 เมื่อเมล็ดงอกเป็นต้นกล้า ควรเริ่มให้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบเจือจางผ่านรากผักในถาดเพาะก่อน เพื่อช่วยให้รากแข็งแรง และควรทำการเปลี่ยนสารอาหารสัปดาห์ละครั้ง ควรให้กล้าได้รับแสงแดดรำไร ไม่ร้อนจัด

1.5 เมื่อกล้าแข็งแรง หรือมีอายุประมาณ 2-3 สัปดาห์ ย้ายกล้าไปยังแปลงปลูก

1.6 สามารถเก็บผลผลิตได้เมื่อพืชมีอายุ 35-45 วัน (5-6 สัปดาห์) หลังเพาะเมล็ด

การหยอดเมล็ดในฟองน้ำ

2. การเพาะกล้าในแผ่นฟองน้ำ

การเพาะเมล็ดลงในแผ่นฟองน้ำส่วนมากนิยมปลูกในรูปของแผ่นโฟม โดย

2.1 เจาะรูแผ่นโฟมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เพื่อใส่ต้นกล้า แต่ละรูห่างกันตามแต่ชนิดของพืชที่ปลูก โดยทั่วไปใช้ระยะห่าง 15-25 เซนติเมตร

2.2 เพาะกล้าในแผ่นฟองน้ำโดยใช้มีดกรีดแผ่นฟองน้ำให้เป็นสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่กว่ารูของแผ่นโฟมที่เจาะรูไว้ เพื่อให้ฟองน้ำที่มีต้นกล้าสามารถอยู่ในรูของแผ่นโฟมได้หลังจากย้ายปลูก

2.3 ใช้มีดกรีดตรงกลางของฟองน้ำในข้อ 2.2 เป็นรูปกากบาทลึกประมาณ 1 เซนติเมตร เพื่อไว้สำหรับหยอดเมล็ด

2.4 หลังหยอดเมล็ดแล้วให้น้ำโดยการสเปรยให้ชุ่มทุกเช้า เย็น

2.5 วางฟองน้ำในถาดเพาะที่มีน้ำขังเล็กน้อย

2.6 เมื่อต้นกล้าเริ่มงอกควรเริ่มให้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบเจือจางผ่านรากผักในถาดเพาะก่อน เพื่อช่วยให้รากแข็งแรง และควรทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารพืชสัปดาห์ละครั้ง ควรให้กล้าได้รับแสงแดดรำไร ไม่ร้อนจัด

2.7 เมื่อกล้าแข็งแรงหรือมีอายุ 2-3 สัปดาห์ ย้ายกล้าลงแปลงปลูก (ในการเพาะกล้าด้วยฟองน้ำจะไม่มีการย้ายกล้าไปยังแปลงอนุบาล)

3. การเพาะกล้าในวัสดุปลูก

การเพาะกล้าในวัสดุปลูกนั้นสามารถใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น หรือนำมาผสมกันเป็นวัสดุเพื่อใช้ในการเพาะกล้า แต่ควรมีการทดสอบความเป็นพิษของวัสดุปลูกเสียก่อน โดยเพาะเมล็ดจำนวนหนึ่งลงในแต่ละวัสดุปลูกที่จะใช้ ให้สารละลายธาตุอาหารและน้ำอย่างเพียงพอต่อเนื่องกัน 2-3 สัปดาห์ ถ้าพืชไม่มีอาการผิดปกติ เช่น รากฤต รากเน่า หรือ ใบเหลืองซีด แสดงว่าวัสดุปลูกนั้นสามารถนำมาใช้ได้ วัสดุปลูกที่นำมาใช้มีทั้งที่ได้มาจากต่างประเทศและในประเทศ เช่น เวอร์มิคูไลท์ หินฟอสเฟต เพอร์ไลท์ ขุยมะพร้าว แกลบ ซี่เถ้าแกลบ หินกรวด ทราย เป็นต้น ซึ่งมีวิธีการปลูก ดังนี้

3.1 เพาะเมล็ดลงในภาชนะที่บรรจุวัสดุปลูกไว้แล้ว

3.2 รดน้ำจนกระทั่งเมล็ดงอก ได้ต้นกล้าที่มีใบจริง 2-3 ใบ

3.3 ย้ายกล้าลงในกระถางหรือ ย้ายลงแปลงที่เตรียมไว้

3.4 รดน้ำด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชทุกเช้า เย็น

การจัดการด้านสารละลาย

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารเพื่อใช้ปลูกพืชมี 2 แบบ คือ การเตรียมสารละลายแบบเจือจาง และการเตรียมสารละลายแบบเข้มข้น (Stock Solution)

ถังสารละลายธาตุอาหารพืช

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

1. วิธีการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

1.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเจือจาง

เป็นการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชเพื่อใช้ในถังที่ใช้ปลูกพืชโดยตรง การเตรียมแบบนี้สะดวก แต่ต้องเตรียมบ่อย ๆ เริ่มจากเมื่อทราบปริมาณของธาตุอาหาร คำนวณน้ำหนักและจัดหาปุ๋ยเคมี ผสมปุ๋ยเคมีทั้งหมดในน้ำสะอาดแล้วเติมน้ำจนครบ

1.2 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้น

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น (Stock Solution) จะเริ่มจากการเตรียมสารละลายธาตุอาหารแบบเข้มข้นไว้ 2 ถัง เรียกว่า Stock Solution A และ Stock Solution B และเมื่อต้องการใช้ก็จะเอา Stock Solution มาผสมให้เจือจางตามอัตราส่วนที่กำหนดตามความต้องการ

สาเหตุที่ต้องแยกออกเป็น Stock Solution A และ Stock Solution B เพื่อเป็นการป้องกันการทำปฏิกิริยาทางเคมีของสาร โดยจะแยกแคลเซียมและเหล็กไว้ด้วยกัน ส่วนอีกถังจะผสมธาตุอื่น ๆ ทั้งหมด ส่วนโพแทสเซียมไนเตรตจะไม่ทำปฏิกิริยาก็จะเฉลี่ยใส่ทั้ง 2 ถัง

2. การคำนวณหาปริมาณสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้นและแบบเจือจาง

สำหรับการหาปริมาณสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้นถังที่ 1 (Stock Solution A) และ 2 (Stock Solution B) เพื่อนำไปใช้ผสมเป็นสารละลายธาตุอาหารเจือจาง เพื่อนำไปใช้ปลูกพืชมีหลักการดังนี้

ปริมาณสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้นที่ต้องการ = อัตราส่วนในการเจือจาง x ความจุของถังที่บรรจุสาร

ตัวอย่าง

ถ้าต้องการใช้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบที่มีความเข้มข้นต่อความเจือจาง 1 : 100 เท่า โดยถังใส่สารละลายธาตุอาหารแบบเจือจาง บรรจุได้ 5 ลูกบาศก์เมตร (5,000 ลิตร) อยากทราบว่าจะต้องใช้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้นจากถังที่ 1 และถังที่ 2 ถังละกี่ลิตร

แสดงว่าถ้าต้องการสารละลายธาตุอาหารแบบเจือจาง 5,000 ลิตร จะต้องเทียบบัญญัติไตรยางค์ คือ สารละลายเจือจาง 100 ลิตร ต้องใช้สารละลายเข้มข้น 1 ลิตร ถ้าต้องการสารละลายธาตุอาหารแบบเจือจาง 5,000 ลิตร จะต้องใช้สารละลายเข้มข้นคือ

$$\text{ปริมาณสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้นที่ต้องการ} = \left(\frac{1}{100}\right) \times 5{,}000 = 50 \text{ ลิตร}$$

เพราะฉะนั้น จะต้องใช้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้นจากถังที่ 1 และถังที่ 2 ถังละ 50 ลิตร ไปใส่ในถังสารละลายธาตุอาหารแบบเจือจาง แล้วเติมน้ำจนครบ 5,000 ลิตร

3. การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืช

ผักจะเจริญเติบโตได้ดีนั้น จะต้องได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอและเหมาะสมต่อความต้องการและมีปริมาณออกซิเจนในสารละลายอย่างเพียงพอ ในสารละลายธาตุอาหารพืชจำเป็นต้องมีการควบคุมค่า pH และ EC ของสารละลาย เพื่อให้พืชสามารถดูดปุ๋ยหรือสารละลายธาตุอาหารพืชได้ดี ตลอดจนต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารพืช

การรักษาหรือควบคุมค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารพืช โดย pH = 7 หมายถึง สารละลายมีความเป็นกลาง pH ต่ำกว่า 7 หมายถึง สารละลายมีความเป็นกรด และ pH สูงกว่า 7 หมายถึง สารละลายมีความเป็นด่าง ต้องมีการควบคุม pH เนื่องจากจะมีผลให้พืชสามารถดูดใช้ปุ๋ยหรือสารอาหารได้ดี เพราะค่า pH หรือความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายจะเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงสถานะของธาตุอาหารที่จะอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ ถ้าค่า pH สูงหรือต่ำเกินไป ธาตุอาหารพืชบางชนิดอาจอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์หรืออาจทำให้เกิดการตกตะกอน

สาเหตุที่ทำให้ค่าของ pH ในสารละลายเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการที่รากพืชดูดธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารพืชแล้วปล่อยไฮโดรเจน (H^+) และ

ไฮดรอกไซด์ (OH^-) สู่สารละลายธาตุอาหารพืช ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงไปโดยทั่วไปควรรักษาค่า pH ของสารละลายให้มีค่า pH = 6 แต่ในคำแนะนำของบางประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่นจะควบคุมให้สารละลายมีค่า pH = 5.5 และ 6.5 ประเทศเบลเยี่ยมจะควบคุมให้สารละลายมีค่า pH = 5.0 และ 5.5

การปรับเพิ่มค่าของ pH ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารพืชมีความเป็นกรดมากเกินเราสามารถปรับขึ้นได้โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) หรือ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) สารใดสารหนึ่งลงไปในสารละลายธาตุอาหารพืช

การปรับลดค่าของ pH ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารพืชมีความเป็นด่างมากเกินเราสามารถปรับขึ้นได้โดยการเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) หรือกรดอะซิติก (CH_3COOH) สารใดสารหนึ่งลงไปในสารละลายธาตุอาหารพืช

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง คือ pH meter ก่อนใช้ควรปรับเครื่องมือให้มีความเที่ยงตรงก่อน โดยใช้น้ำยามาตรฐานหรือที่เรียกว่า **"สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน"** (Buffer Solution)

4. การควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) ของสารละลายธาตุอาหารพืช

การที่ต้องควบคุมค่า EC เนื่องจากต้องการให้มีปริมาณสารอาหารครบตามที่พืชต้องการ แต่เป็นการควบคุมค่ารวมของการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารทั้งหมดที่อยู่ในถัง ไม่ใช่ปริมาณที่แท้จริงของธาตุใดธาตุหนึ่ง ซึ่งธาตุที่ถูกใช้ไปอย่างจะตกตะกอนหรือก่อให้เกิดปัญหา ดังนั้น จึงควรมีการเปลี่ยนสารอาหารเป็นระยะ ๆ เช่น ทุก 2-3 สัปดาห์

4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า EC

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า EC มีหลายอย่าง เช่น ชนิดของพืช ระยะการเติบโต ความเข้มของแสง และขนาดของถังที่บรรจุสารอาหารพืช สภาพภูมิอากาศก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า EC เนื่องจากเมื่อมีสภาพอากาศที่ร้อนจะทำให้พืชต้องการความเข้มข้นของสารละลายที่น้อยลง เนื่องจากพืชจะดูดน้ำมากกว่าธาตุอาหาร ในขณะที่ถ้าอากาศมีความชื้นพืชก็มีแนวโน้มที่จะดูดธาตุอาหารมากกว่าน้ำ ดังนั้น พืชจึงต้องการสารละลายที่มีความเข้มข้นมากขึ้น

4.2 การควบคุม EC ของสารละลายธาตุอาหารพืช

โดยทั่วไปเมื่อพืชยังเล็กจะมีความต้องการ EC ที่ต่ำ และจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อพืชมีความเจริญเติบโตที่มากขึ้น และพืชแต่ละชนิดมีความต้องการค่า EC แตกต่างกัน เช่น

ผักสลัด	มีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 0.5 – 2.0 mS/cm
แตงกวา	มีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 1.5 – 2.0 mS/cm
ผักและไม้ดอก	มีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 1.8 – 2.0 mS/cm
มะเขือเทศ	มีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 2.5 – 3.5 mS/cm
แตงสายพันธุ์	มีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 4.0 – 6.0 mS/cm

ค่า EC ที่สูงจะทำให้ปริมาณน้ำตาลในผลสูง เนื่องจากทำให้พืชเกิดความเครียด (stress)

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity meter) เรียกว่า EC meter ก่อนใช้ควรปรับความเที่ยงตรงเสียก่อน โดยปรับที่ปุ่มของเครื่องในสารละลายมาตรฐาน ซึ่งค่าที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสารละลาย กล่าวคือ ยิ่งสารละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่า EC ก็จะสูงขึ้นตามด้วย

5. การจัดการน้ำในระบบสารละลายธาตุอาหารพืช

ควรรักษาปริมาณน้ำในระบบปลูกให้คงที่ตลอดเวลา เพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี พืชจะใช้น้ำในอัตราที่สูงกว่าธาตุอาหารพืช ถ้าปริมาณน้ำลดลงจะทำให้ความเข้มข้นและปริมาณธาตุอาหารพืชแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น

ปริมาณน้ำจะลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของแปลงที่ปลูก ปริมาณและชนิดของพืช และสภาพภูมิอากาศภายนอก

6. การเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารพืช

พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารพืชในแต่ละชนิดแตกต่างกัน บางชนิดดูดไปใช้มาก บางชนิดดูดไปใช้น้อย จึงทำให้เหลือธาตุอาหารพืชที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืชแตกต่างกัน เป็นผลทำให้องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารพืชตัวขึ้น ๆ เปลี่ยนแปลงไปหรือตกตะกอน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารใหม่สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

6.1 การเปลี่ยนสารละลายเป็นระยะ ๆ ทุก 2-3 สัปดาห์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติกัน ปริมาณของการถ่ายเปลี่ยนสารละลายใหม่เข้าไปทดแทนส่วนที่ถูกถ่ายออกจะแบ่งเป็นส่วน ๆ เช่น 1 ใน 5 หรือ 2 ใน 3 ของความจุของถังใส่สารละลาย

6.2 การถ่ายเปลี่ยนสารละลายแบบช้า ๆ อย่างสม่ำเสมอ

6.3 เปลี่ยนสารละลายเก่าออกทั้งหมด จะทำเมื่อสิ้นสุดการปลูกในแต่ละรุ่น

หากต้องการทราบแน่นอนว่า เมื่อใดควรเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารพืช หรือควรเพิ่มธาตุอาหารพืชใดเข้าไปในสารละลาย สามารถทำได้โดยเอาตัวอย่างสารละลายนั้นไปวิเคราะห์

ส่วนสารละลายที่ถูกถ่ายออกจากระบบปลูกจะยังมีธาตุอาหารพืชที่สมบูรณ์อยู่ ถ้าไม่มีเชื้อโรคปะปนก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชในระบบปลูกที่ใช้วัสดุปลูกได้ เนื่องจากวัสดุปลูกสามารถดูดซับโซเดียมและคลอไรด์ไว้ได้ จึงไม่เป็นอันตรายต่อผัก

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต

ปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตของผักสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้ต่างมีอิทธิพลร่วมกัน คือ ปัจจัยภายในจะเป็นตัวกำหนดขอบเขตการเจริญเติบโต ส่วนปัจจัยภายนอกจะเป็นตัวกำหนดระดับของการเจริญเติบโต อันเป็นผลทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์

1. ปัจจัยภายใน ได้แก่ พันธุกรรม และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

1.1 **พันธุกรรม (genetic)** ของพืชจะเกี่ยวข้องกับเรื่องของยีนที่เป็นตัวควบคุมลักษณะและถ่ายทอดพันธุกรรมจากพ่อแม่ไปสู่ลูกหลาน ความรู้นี้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชได้

1.2 **สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Bioregulator)** มีทั้งที่พืชสร้างขึ้นเอง (Plant hormones) และที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นนี้จะมีบทบาทต่อการกระตุ้น ยับยั้ง หรือเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของพืช

2. ปัจจัยภายนอกหรือสภาพแวดล้อม นับว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ปัจจัยภายนอกที่สำคัญได้แก่

2.1 **แสง** เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช เนื่องจากแสงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสร้างอาหาร

2.2 **อุณหภูมิ** มีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา เคมี และชีววิทยาของพืช เช่น การงอกของเมล็ด การแบ่งและขยายขนาดของเซลล์ การสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ เป็นต้น พืชแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่ใช้ในการเจริญเติบโตแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืชนั้น ๆ

2.3 **ความชื้น** ความชื้นในดินจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะการปลูกพืชบนดิน หากดินขาดน้ำจนรากพืชไม่สามารถดูดน้ำได้ทันกับอัตราการคายน้ำของพืชแล้ว พืชจะแสดงอาการเหี่ยว และหากพืชไม่ได้น้ำแล้วก็จะตายในที่สุด

2.4 **อากาศและองค์ประกอบของอากาศ** พืชได้รับคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศซึ่งเป็นก๊าซที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้ก๊าซบางชนิดในอากาศ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ถ้ามีปริมาณมากจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.5 **องค์ประกอบของอากาศในน้ำ** ก๊าซที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากพืช คือ ก๊าซออกซิเจน (O_2) รากพืชที่ได้รับ O_2 อย่างเพียงพอจะมีสีขาว ยาว และมีรากฝอยมาก

2.6 **ธาตุอาหารพืช** เป็นสิ่งสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.7 **ความเป็นกรดด่างของน้ำ (pH)** จะเกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.8 **สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง** สิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะอยู่บนดินหรือในน้ำต่างก็มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งสิ้น ไม่ว่าจะทางตรงหรือทางอ้อม

AB ความรู้เกี่ยวกับสารละลายธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืช หรือธาตุอาหารจำเป็น (Plant nutrients หรือ Essential nutrient elements) หมายถึง ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญและพัฒนาของเซลล์

การที่จะทราบว่าธาตุใดเป็น **"ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช"** นั้น พิจารณาได้จาก

- ธาตุนั้นมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช หากพืชไม่ได้รับธาตุนั้นจะไม่สามารถเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ได้ตามปกติจนครบวงจรชีวิต
- ถ้าพืชไม่ได้รับธาตุอาหารนั้นอย่างเพียงพอแล้ว จะแสดงอาการผิดปกติออกมาและเป็นอาการเฉพาะเจาะจงของธาตุนั้น
- พืชต้องนำธาตุอาหารนั้นไปใช้กับกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต

โดยทั่วไปธาตุอาหารที่พืชต้องการมีทั้งสิ้น 17 ธาตุ ซึ่ง 3 ธาตุที่ได้จากน้ำและอากาศ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ส่วนอีก 14 ธาตุจะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามปริมาณที่พืชต้องการ คือ

1. ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมาก หรือมหาธาตุ (macronutrient element) คือ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต พืชมีความต้องการในปริมาณมากเมื่อเทียบกับธาตุอื่น ๆ มีทั้งหมด 6 ธาตุ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1.1 กลุ่มธาตุอาหารหลัก (Primary nutrient elements) คือ ธาตุที่พืชต้องการมาก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K)

1.2 กลุ่มธาตุอาหารรอง (Secondary nutrient elements) คือ ธาตุที่พืชต้องการลดน้อยลงมา ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S)

2. ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย หรือจุลธาตุ (micronutrient element) คือ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่พืชมีความต้องการในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับธาตุอื่น ๆ แต่เป็นธาตุที่ขาดไม่ได้ ถ้าขาดพืชจะแสดงอาการผิดปกติหรือเจริญเติบโตไม่ครบวัฏจักร มีอยู่ด้วยกัน 8 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) คลอรีน (Cl) และนิกเกิล (Ni)

ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารของพืช

เมื่อพืชได้รับธาตุอาหารไม่ครบทุกชนิด หรือไม่เพียงพอต่อความต้องการ พืชจะแสดงอาการผิดปกติออกมา สังเกตได้ดังนี้

ภาพแสดงอาการขาด N ภาพแสดงอาการขาด P ภาพแสดงอาการขาด K

ตารางที่ 1 ลักษณะอาการผิดปกติเบื้องต้นที่พบทั่วไปในพืชที่ขาดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต (ธาตุที่เคลื่อนที่ได้)

ธาตุที่ขาด	ลักษณะอาการ
กลุ่มของธาตุที่แสดงอาการครั้งแรกที่ใบแก่ (ธาตุที่เคลื่อนที่ได้)	
ไนโตรเจน (N)	ใบแก่มีสีเหลืองปนส้ม เริ่มจากปลายใบก่อน เมื่อขาดรุนแรง ใบแก่จะแห้งตาย
ฟอสฟอรัส (P)	ใบล่างและลำต้นมีสีแดงอมม่วง
โพแทสเซียม (K)	ใบล่างมีสีเหลืองโดยเริ่มจากขอบใบก่อน หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขยายลามเข้าสู่กลางใบ
แมกนีเซียม (Mg)	เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบของใบแก่จะมีสีเหลือง แต่เส้นใบเป็นสีเขียวปกติ
โมลิบดีนัม (Mo)	ใบแก่มีสีเหลืองบางครั้งมีจุดสีน้ำตาลไหม้บนใบ

ตารางที่ 2 ลักษณะอาการผิดปกติเบื้องต้นที่พบทั่วไปในพืชที่ขาดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต (ธาตุที่เคลื่อนที่ไม่ได้)

ธาตุที่ขาด	ลักษณะอาการ
กลุ่มของธาตุที่แสดงอาการครั้งแรกที่ใบอ่อน (ธาตุที่เคลื่อนที่ไม่ได้)	
แคลเซียม (Ca)	ใบอ่อนบิดเบี้ยว มีวงสี ยอดหงิก ใบไม่สามารถคลี่ได้เต็มที่
กำมะถัน (S)	ใบอ่อนหรือใบบนมีสีเหลืองทั้งใบ
เหล็ก (Fe)	ใบอ่อนที่ยังโตไม่เต็มที่มีสีเหลืองระหว่างเส้นใบ
แมงกานีส (Mn)	ใบอ่อนที่โตเต็มที่มีสีเหลืองระหว่างเส้นใบ และมีจุดสีน้ำตาลบนใบ
สังกะสี (Zn)	ใบอ่อนเกิดแถบสีเหลืองทั้งสองข้างของเส้นกลางใบ จากปลายใบลามเข้าสู่กลางใบ เส้นกลางใบยังมีสีเขียว ใบมีขนาดเล็ก
ทองแดง (Cu)	ปลายใบอ่อนมีสีซีดหรือขาว
โบรอน (B)	ใบบิด หนาผิดปกติและเปราะ มีวงอหรือขาดวิ่น
คลอรีน (Cl)	ปลายใบแห้ง ใบเหลือง
นิกเกิล (Ni)	พืชให้ผลผลิตไม่เต็มที่

ศัตรูพืช

สิ่งที่จัดได้ว่าเป็นศัตรูพืช ได้แก่ โรค แมลง และวัชพืช ซึ่งการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์มักพบปัญหาเกี่ยวกับโรคและแมลง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเรื่องของโรคมากกว่าแมลง การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์โดยเฉพาะในระบบปิดที่มีการใช้สารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนอยู่ตลอด หากเกิดการระบาดของโรคจะก่อให้เกิดความเสียหายไปทั้งระบบ เนื่องจากเชื้อโรคจะติดไปกับสารละลายธาตุอาหารและพืชต่างก็ดูดสารละลายไปใช้ก็จะทำให้ได้รับเชื้อด้วยเช่นกัน

การป้องกันกำจัดโรคในระบบการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

1. ควรจัดการให้ระบบมีความปลอดเชื้อสาเหตุของโรคและศัตรูพืชอื่น ๆ มากที่สุด รวมทั้งวัสดุปลูก อุปกรณ์ต่าง ๆ น้ำ เมล็ดพันธุ์ควรเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีเชื้อโรคปะปน
2. รักษาความสะอาดบริเวณที่ปลูกพืชให้สะอาดอยู่ตลอด
3. ก่อนปลูกพืชรุ่นต่อไปต้องล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ รางปลูกด้วยคลอรีนที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ไหลผ่านเข้าไปในระบบเพื่อฆ่าเชื้อโรค

วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

ผัก เป็นพืชที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เนื่องจากผักมีคุณค่าทางอาหารและช่วยในระบบการทำงานของลำไส้ ผักมีความบอบบางจึงทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย โดยเฉพาะการสูญเสียที่เกิดหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งสาเหตุหลักมาจากโรค โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกที่ทำให้เกิดความเสียหาย ได้แก่ การตัดแต่ง การบรรจุ การเก็บเกี่ยว และการขนส่ง ฉะนั้นจึงควรมีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกวิธีเพื่อป้องกันมิให้เกิดการสูญเสียกับพืชผัก เพื่อให้ผักมีคุณภาพที่ดี

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของพืชผัก

1. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการคายน้ำ ผักที่มีการคายน้ำมากจะทำให้คุณภาพของผักเสียเร็ว ซึ่งอุณหภูมิมีผลต่อการคายน้ำ ดังนั้นจึงควรลดอุณหภูมิของผักหลังการเก็บเกี่ยวลงโดยเก็บผักไว้ในที่ร่มเย็น หรือทำการบรรจุโดยใช้พลาสติกหรือกระดาษหุ้ม เพื่อช่วยลดการคายน้ำ

2. การหายใจมีผลต่อคุณภาพของผัก หากผักมีอัตราการหายใจสูงจะทำให้อายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาผักไว้ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อลดอัตราการหายใจของพืชผักให้ลดลง สำหรับพืชผลไม้เมืองร้อนควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12-15 องศาเซลเซียส

3. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่

3.1 การทำความสะอาด เก็บเศษดิน หิน คลอดจนตัดแต่งใบแก่และเสียออก เพื่อไม่ให้เป็นแหล่งสะสมของความร้อนและเชื้อจุลินทรีย์

3.2 การคัดเลือกขนาด เพื่อให้ได้ตรงกับมาตรฐานความต้องการของตลาด คลอดจนคัดผักที่มีการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ออก เพื่อป้องกันการสะสมของเชื้อต่าง ๆ

3.3 ความร้อนจากแปลง ผักที่เพิ่งเก็บจากแปลงโดยไม่มีการทำให้เย็นก่อน จะทำเกิดความร้อนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่สูง ทำให้เกิดความเสียหายกับพืชผลที่เก็บในที่ใกล้กัน

3.4 การใช้สารป้องกันกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดบาดแผลหรือการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวไม่ดี ทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าทำลายผลิตผลได้ ในพืชผักนั้นความเสียหายส่วนใหญ่มาจากเชื้อแบคทีเรีย แต่เนื่องจากผักส่วนใหญ่เป็นผักที่นำมารับประทานสด ไม่สามารถใช้สารป้องกันกำจัดแบคทีเรียได้ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการอื่น เช่น ใช้พวกสารคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างทำให้เย็น (cooling) หรือใส่ในน้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาด

การเก็บเกี่ยวผลผลิต

4. การบรรจุหีบห่อ (Packing) ในการขนส่งผักนั้นต้องบรรจุผักลงในภาชนะเต็มพอดี ไม่อัดแน่นหรือหลวมเกินไป และควรระวังไม่ให้เกิดการกระแทกหรือถูกกดทับ

การคัดเลือกขนาด

การบรรจุผลผลิต

การปฏิบัติเพื่อลดความเสียหายของผักหลังการเก็บเกี่ยว

1. เทคโนโลยีการปลูก เริ่มจากการคัดเลือกพันธุ์ที่ดีและมีคุณภาพมาเพาะปลูก การเตรียมดิน การให้น้ำ การใส่ปุ๋ย การป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกวิธี เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ

2. เก็บเกี่ยวผักที่มีคุณภาพและขนาดตามความต้องการของตลาด หลังการตัดควรเก็บไว้ในภาชนะที่มีการระบายอากาศดี สะดวกต่อการขนย้าย ระหว่างการตัดแต่งและการทำความสะอาดควรทำในที่ร่มเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ในการเก็บเกี่ยวต้องระวังให้พืชเกิดบาดแผลให้น้อยที่สุดเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น

3. ภาชนะที่บรรจุ เลือกวัสดุให้ตรงกับความต้องการของตลาดทั้งในรูปของการขายส่งและขายปลีก การวางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้าตลอดจนส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ

4. ในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อรอการขนส่ง ควรเก็บไว้ในที่ร่มมีการถ่ายเทอากาศดี เพื่อไม่ให้ผักที่เก็บเกี่ยวมาเกิดความร้อนสะสม ซึ่งจะทำให้ผักเหี่ยวเฉา

5. ผักที่ต้องการจำหน่ายไปยังต่างประเทศ ควรเก็บไว้ในที่เย็นเพื่อยืดอายุการวางจำหน่ายให้นานขึ้น พาหนะในการขนส่งควรใช้พาหนะที่สามารถทำความเย็นได้และควรเปิดให้เย็นก่อนขนย้ายผักเพื่อให้ผักได้รับความเย็นอย่างสม่ำเสมอและเพียงพอ

6. การเคลือบผิว ผักบางชนิดที่มีการคายน้ำสูง ทำให้ผิวเกิดการเหี่ยวย่นและสูญเสียน้ำหนักได้ง่าย การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวจะทำให้ไม่สูญเสียน้ำหนักและดูน่ารับประทานยิ่งขึ้น เช่น พริกหวาน มะเขือเทศ เป็นต้น

7. การใช้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม ผักแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่างกัน ความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาผักมีความสำคัญสำหรับการรักษาคุณภาพของผัก ซึ่งผักส่วนใหญ่จะเก็บในที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 95-100% ยกเว้นผักบางชนิดที่ไม่ควรเก็บในที่มีความชื้นสัมพัทธ์เกิน 65-70% ได้แก่ หอม กระเทียม

การตลาดของการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

ในปัจจุบันประชาชนให้ความสนใจกับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์เพิ่มมากขึ้น และในการทำธุรกิจนี้ส่วนใหญ่จะนิยมปลูกผักกินในมากกว่า เนื่องจากมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น สามารถหารอบการผลิตได้บ่อยครั้ง และง่ายต่อการดูแลรักษา

ผลผลิตของผักที่ได้จากปลูกผักไฮโดรโปนิกส์จะสังเกตได้ง่ายคือ ผลผลิตจะมีรากและวัสดุปลูกติดมาด้วย สังเกตได้ว่าถ้ารากพืชขาวและขาว แสดงว่าพืชมีการเจริญเติบโตที่ดี ผลผลิตส่วนใหญ่จะบรรจุอยู่ในถุงพลาสติกใส เพื่อให้สามารถเห็นรูปร่างของผลผลิต

การตลาดส่วนใหญ่ของพืชที่ปลูกในระบบนี้มีทั้งที่จำหน่ายหน้าสวนตัวเอง มีห่อค้าคนกลางมารับและมีการขายส่งไปแหล่งต่าง ๆ เช่น โรงแรม ภัตตาคาร ร้านอาหาร ตลาดกลางและห้างสรรพสินค้า ซึ่งตลาดของผักที่ปลูกโดยผักไฮโดรโปนิกส์กำลังขยายตัวไปได้ดี เนื่องจากผักที่ปลูกในระบบนี้จัดได้ว่ามีความปลอดภัยจากสารเคมี ผู้บริโภคจึงนิยมบริโภคกันมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ชนิษฐา พงษ์ปรีชา. 2544. **การปลูกพืชผักระบบไฮโดรโปนิกส์**. สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคตะวันตก. จ.ราชบุรี.

บริษัท เอชีค ไฮโดรฟาร์ม จำกัด. **คู่มือฝึกอบรม "เรียนรู้เทคนิค กับ ไฮโดรโปนิกส์แบบมืออาชีพ"** ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.

ศิเรก ทองอร่าม. 2546. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. ธรรมรักษ์การพิมพ์. ราชบุรี.

ศิเรก ทองอร่าม และ ยิหวิสุนทร นันทกิจ. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเชิงธุรกิจในประเทศไทย**. สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์และสำนักการศึกษาต่อเนื่อง มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพฯ.

ถวัลย์ พัฒนสถิรพงศ์. 2534. **ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. โรงพิมพ์พรานนกการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

เอกสารคำแนะนำที่ 5/2558
การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

ที่ปรึกษา

นายโอฬาร พิทักษ์	อธิบดีกรมส่งเสริมการเกษตร
นายสุรพล จารุพงศ์	รองอธิบดีกรมส่งเสริมการเกษตร ฝ่ายบริหาร
นายไพรัช หวังดี	รองอธิบดีกรมส่งเสริมการเกษตร ฝ่ายวิชาการ
นายสงกรานต์ ภักดีคง	รองอธิบดีกรมส่งเสริมการเกษตร ฝ่ายส่งเสริมและฝึกอบรม
นางสุกัญญา อธิปอนันต์	ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี
นางอรสา ศิลธาพร	ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร

เรียบเรียง

นางสาวจิราภา จอมไธสง	ผู้อำนวยการกลุ่มส่งเสริมพืชผักและเห็ด
นายอภิรักษ์ หลักชัยกุล	นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ
นางสาวสุ่นภา โบวิเชียร	นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ

กลุ่มส่งเสริมพืชผักและเห็ด
สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร
กรมส่งเสริมการเกษตร

จัดทำ

นางอมรทิพย์ ภิรมย์บูรณ์	ผู้อำนวยการกลุ่มพัฒนาสื่อส่งเสริมการเกษตร
นางอุบลวรรณ อารยพงศ์	นักวิชาการเผยแพร่ชำนาญการ
นางสาวอำไพพงษ์ เกาะเทียน	นักวิชาการเผยแพร่ชำนาญการ

กลุ่มพัฒนาสื่อส่งเสริมการเกษตร
สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี
กรมส่งเสริมการเกษตร

กรมส่งเสริมการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ประกาย คำภูศิริ
วัน เดือน ปี เกิด	15 มกราคม 2515
สถานที่เกิด	ขอนแก่น
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	305/18 หมู่5 ตำบลสุรศักดิ์ อำเภอศรีราชา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY