

โรงงานผลิตพืช Plant Factory

ธนากร น้ำหอมจันทร์

Thanakorn Namhormchan

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

Faculty of Engineering, Eastern Asia University

Received: January 14, 2019

Revised: March 20, 2019

Accepted: March 21, 2019

บทคัดย่อ

บทความนี้อธิบายความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีโรงงานผลิตพืชโดยใช้แสงแดดเทียม เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางด้านสรีรวิทยาพืช การเกษตร และวิศวกรรมเพื่อการเพาะปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในโรงเรือนหรืออาคารระบบปิดที่มีการควบคุมปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ แร่ธาตุอาหาร ทั้งแร่ธาตุอาหารหลัก และแร่ธาตุอาหารรอง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสงแดดเทียม โดยแสงแดดเทียมนั้นใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอด LED เนื่องจากสามารถควบคุมปริมาณและคุณภาพของแสงให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ให้ความร้อนต่ำ และประหยัดพลังงานสูง สำหรับประเทศไทยโรงงานผลิตพืชโดยใช้แสงแดดเทียมเหมาะกับการเพาะปลูกผักที่มีราคามูลค่าสูงและพืชสมุนไพรในกลุ่มผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีมูลค่าสูง (ยา เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร) โดยสามารถทำการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชสมุนไพรเพื่อเพิ่มคุณภาพและผลผลิตโดยเทคโนโลยีต่าง ๆ รวมถึงการควบคุมสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกเพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการให้แก่พืช ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรมีรายได้สูงขึ้น และสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยต่อไป

คำสำคัญ: การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน, โรงเรือนเพาะปลูกพืช, แสงแดดเทียม, โรงงานผลิตพืช

Abstract

This article illustrates the basic efficacy of plant factories with artificial lighting (PFA – Plant Factory with Artificial Lighting) technology. That is the application of plant physiology technology on agriculture and agricultural engineering for farming. Soilless culture techniques are applied in greenhouses or buildings in closed systems that control key factors for plant growth including temperature, relative humidity, both of macronutrients and micronutrients, carbon dioxide and artificial lighting. The artificial lighting uses a light source from LED bulbs. It can control the quantity and quality of light which are suitable for the growth of plants; it also gives low heat and saves energy. In Thailand PFAL is suitable for the agriculture production of high price vegetables and high value medicinal herbs for health products (medicines, cosmetics, supplements). PFAL stimulates plant

growth to increase quality and productivity using various technologies involved in the control of the cultivation environment to increase plant properties. This will be helpful for farmers to earn higher incomes and to generate more income for Thailand in the future.

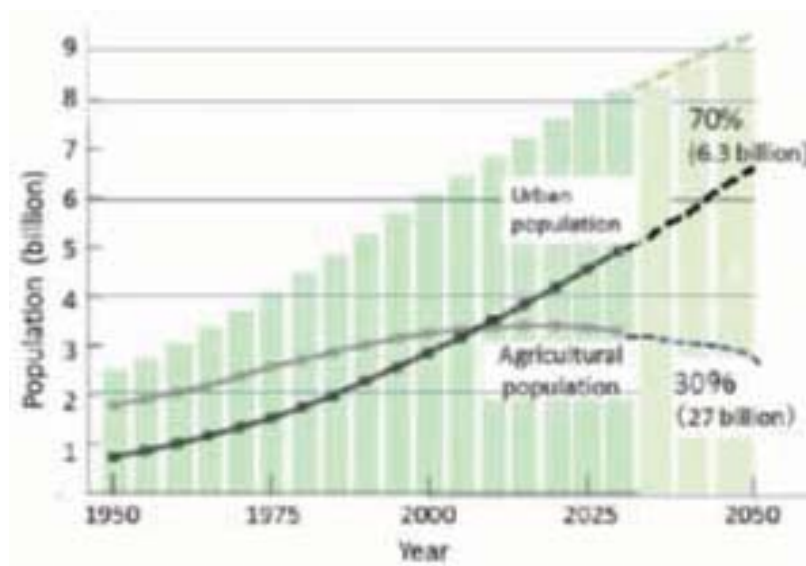
Keywords: soilless culture, greenhouse, artificial lighting, plant factory



บทนำ

ปัจจุบันประชากรบนโลกมี 7.6 พันล้านคน และจะเพิ่มขึ้นเป็น 9.8 พันล้านคนภายในปี ค.ศ. 2050 แสดงดังภาพ 1 ซึ่งจะส่งผลให้สังคมเมืองขยายตัวและจะมีขนาดเพิ่มขึ้นถึง ร้อยละ 70 ของพื้นที่ทั้งหมด นำไปสู่ความ

ต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณ ประกอบกับสภาพดินฟ้า อากาศ ในปัจจุบันและพื้นที่ทำการเกษตรลดลง ส่งผลให้การพัฒนาด้านการเกษตรจะกลายเป็นประเด็นที่นานาประเทศให้ความสำคัญเป็นอันดับต้น ๆ ต่อไป



ภาพ 1 แนวโน้มประชากรของโลกในปี ค.ศ. 2050 (Kozai, Niu and Takagaki, 2016)

การทำเกษตรในปัจจุบันจะทำบนพื้นดิน ซึ่งพึ่งพา สภาพดิน ฟ้า อากาศ และแหล่งน้ำเป็นสำคัญ ส่งผลให้ไร่นา หรือพื้นที่การเกษตรอยู่ห่างไกลจากเมือง จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการขนส่งผลผลิตพืชเข้าสู่ชุมชนเมือง ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน เพิ่มมลภาวะทางอากาศและสภาวะโลกร้อนมากยิ่งขึ้น ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี สรีรวิทยาพืช การเกษตร และวิศวกรรมในปัจจุบันทำให้สามารถปลูกพืชโดยไม่ต้องใช้ดินได้ โดยทำการปลูกใน

สารละลายธาตุอาหารที่มีแร่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช สามารถปลูกในโรงเรือนระบบปิดที่ควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม รวมถึงการใช้แสงแดดเทียมจากหลอดแอลอีดีที่มีทั้งปริมาณและคุณภาพเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ เป็นที่รู้จักกันในหลายชื่อ เช่น โรงงานผลิตพืช (plant factory) การเกษตรในเมือง (urban agriculture) การทำเกษตรในแนวตั้ง (vertical farming) หรือการทำไร่ในอาคารสูง เป็นต้น

การย้ายพื้นที่การทำเกษตรมาอยู่ในเมืองเป็นการผลิตพืชผลทางการเกษตรที่ใกล้ผู้บริโภค สามารถควบคุมให้มีการรบกวนต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด ควบคุมให้พืชผลถูกรบกวนโดยสภาพอากาศน้อยที่สุด และยังช่วยลดภาวะโลกร้อนเนื่องจากไม่ต้องมีการขนส่งผลผลิตจากชนบทเข้ามาสู่เมือง โรงงานผลิตพืชเป็นเทคโนโลยีที่มีจุดเด่น คือสามารถผลิตพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงทั้งด้านอัตราการผลิต และการใช้ทรัพยากรในการผลิต เพิ่มคุณภาพของพืชเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มของผลผลิต เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและต่อมนุษย์ โดยโรงงานผลิตพืชเป็นเทคโนโลยีที่ประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาอย่างต่อเนื่องมากกว่า 20 ปี สามารถปลูกพืชได้มากกว่า 10 ชั้น เป็นการใช้พื้นที่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดเหมาะสำหรับเกษตรกรที่มีพื้นที่จำกัด

เทคโนโลยีโรงงานผลิตพืชมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการผลิตอาหารและยารักษาโรค ทั้งด้านการเพิ่มปริมาณให้เพียงพอต่อการบริโภคของประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การเพิ่มคุณภาพของผลผลิต และการใช้ทรัพยากรในการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

บทความนี้นำเสนอหัวข้อต่างๆ ดังนี้ (1) ประวัติการกลีกรรรม (2) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (3) การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (4) การปลูกพืชในโรงเรือน (5) การปลูกพืชโดยใช้แสงแดดเทียม (6) โรงงานผลิตพืช และ (7) บทสรุป

ประวัติการกลีกรรรม

กลีกรรรม มาจากคำบาลีว่า กลีกรมม (อ่านว่า กะ-สิ-กัม-มะ) หมายถึง การเพาะปลูก การไถ ในภาษาไทยคำว่า กลีกรรรม หมายถึง การทำไร่ไถนา ตรงกับคำภาษาอังกฤษว่า farming ส่วนคำว่า เกษตรกรรม มาจากคำสันสกฤตว่า เกษตร (อ่านว่า เกส-ต-ตระ) หมายถึง นา และคำว่า กรม (อ่านว่า กั-ระ-มะ) หมายถึง การกระทำ คำว่า เกษตรกรรม ตรงกับคำภาษาอังกฤษว่า agriculture หมายถึง การใช้ประโยชน์จากที่ดิน เช่น การเพาะปลูกพืชต่าง ๆ การป่าไม้ รวมทั้งการเลี้ยงสัตว์ และการประมงด้วย (Office of the Royal Society, 2007)

การกลีกรรรมเชื่อกันว่าเกิดขึ้นตั้งแต่มนุษย์เริ่มรู้จัก

การตั้งถิ่นฐานเป็นหลักแหล่งก่อนยุคประวัติศาสตร์ที่เรียกว่า นิโวลีทิก (neolithic age) เมื่อประมาณ 10,000 ปีก่อนคริสตกาล การพัฒนาการการกลีกรรรมถือว่าเป็นอารยธรรมสำคัญอย่างหนึ่งของมนุษย์โดยแบ่งออกเป็นยุคต่าง ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ ๆ จากหลักฐานทางโบราณคดีและทางประวัติศาสตร์อื่น ๆ ได้แก่

1. การกลีกรรรมในยุคโบราณ เป็นยุคที่มนุษย์เริ่มมีอารยธรรมซึ่งเชื่อกันว่าเกิดขึ้นครั้งแรกในตะวันออกใกล้ในดินแดนที่เรียกว่า เมโสโปเตเมีย ซึ่งแปลว่าดินแดนระหว่างแม่น้ำสองสาย คือ ยูเฟรติสและไทกริส (ประเทศอิรักและอิหร่านในปัจจุบัน) ถือได้ว่าได้มีการกลีกรรรมเป็นหลักแหล่งเป็นแห่งแรก (ประมาณ 8,000 ปีก่อนคริสตกาล) โดยพบว่า มีการปลูกพืชจำพวกให้เมล็ดเป็นอาหารและมีอายุเก็บเกี่ยวในปีเดียว เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และถั่วชนิดต่าง ๆ ซึ่งเชื่อว่าการคัดเลือกมาจากพันธุ์ป่าและนำมาปลูก ส่วนพืชจำพวกไม้ผลนั้นเริ่มมีการปลูกเป็นสวนขึ้นเมื่อเมื่อประมาณ 4,000 ปีก่อนคริสตกาล ได้แก่ อินทผลัม แอปเปิ้ล สาลี่ เชอร์รี่ ท้อ มะเดื่อ เป็นต้น การเกษตรดังกล่าวได้ขยายผลไปสู่ดินแดนข้างเคียง คือ ชูเมเรียน บาบิโลเนียน (มีสวนลอยแห่งกรุงบาบิโลน) อัสซีเรียน ซาลดิน ตลอดจนถึงอียิปต์ เป็นต้น

นอกจากนั้นยังปรากฏร่องรอยของระบบการชลประทานที่เกิดขึ้นในสมัยนั้นอีกด้วย โดยในยุคนั้นชาวอียิปต์รู้จักใช้น้ำชลประทาน การระบายน้ำ ใช้เครื่องมือในการเพาะปลูก เช่น จอบ การไถด้วยการใช้แรงสัตว์ เก็บเกี่ยวข้าวด้วยเคียวซึ่งทำจากโลหะ และยังรู้จักการถนอมอาหารในรูปแบบต่าง ๆ เช่น หมัก ดอง ทำแห้ง ร่มควัน ใส่เกลือ รู้จักการอบขนมปัง ทำเครื่องนุ่งห่มและของใช้จากเส้นใยของพืช เช่น จากหญ้าปาไรรัส เป็นต้น สกัต้น้ำมันจากมะพร้าว ใช้สมุนไพรในการรักษาโรค ผลิตเครื่องเทศ ตลอดจนเครื่องสำอางจากพืช อิทธิพลของอารยธรรมอียิปต์ดังกล่าวได้กระจายไปสู่ส่วนอื่น ๆ ของโลกและถือเป็นแบบฉบับของการเกษตรในยุคต่อ ๆ มา

ในยุคโบราณถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นศาสตร์ทางด้านพืช ดังปรากฏจากหลักฐานว่า Theophrastus แห่ง Eresos (372-288 ปีก่อนคริสตกาล) ซึ่งเป็นลูกศิษย์ของ Aristotle ได้เขียนตำราชื่อ “History of Plants and Causes of Plants” โดยมีเนื้อหาบรรยายเรื่องราวของ

พืชหลายด้าน เช่น การจำแนกชนิดพืช รูปพรรณสัณฐาน สรีรวิทยา การขยายพันธุ์ เกสชีววิทยา เป็นต้น ทั้งพืชป่าและ พืชปลูกมากกว่า 500 ชนิด เป็นตำราทางพฤกษศาสตร์ที่มีการใช้มานานจนถึงคริสต์ศตวรรษที่ 17 ทำให้เขาได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งพฤกษศาสตร์

2. การเกษตรในยุคกลาง จากการค้นพบโลกใหม่ ของโคลัมบัสในปี ค.ศ. 1492 เป็นการเปิดศักราชของยุค กลาง ยุคนี้การเกษตรในยุโรปยังอยู่ในระบบศักดินา มี เจ้าของที่ดินและเกษตรกรเป็นผู้เช่ามีการปลูกพืชในพื้นที่ บริเวณกว้าง ระบบศักดินาค่อย ๆ หมดไปเมื่อมีการสร้าง เมืองมากขึ้น ชาวไร่ ชาวนาในศตวรรษที่ 15 มีโอกาสได้ กรรมสิทธิ์ในที่ดินมากขึ้น มีการเลิกทาสในหลายประเทศ ของยุโรป ทำให้ในตอนปลายของยุคกลางนี้สถานภาพของ ชาวไร่ชาวนาดีขึ้น จากเดิมที่ต้องพึ่งพาการปลูกธัญพืชเพียง อย่างเดียวมาเป็นการทำสวนและเลี้ยงสัตว์มากขึ้นตามลำดับ

ในการค้นพบทวีปอเมริกาหรือโลกใหม่ โคลัมบัสได้ นำเอาผลผลิตใหม่จากทวีปนั้นกลับสู่ยุโรปหลายชนิด เช่น ข้าวโพด มันฝรั่ง มะเขือ มันเทศ พักทอง ถั่วลิสง พริก โกโก้ อาโวคาโด มะม่วงหิมพานต์ สับปะรด วานิลลา ควินิน โคคา ยาง ยาสูบ เป็นต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าได้มีการเพาะปลูก เกิดขึ้นในโลกใหม่เช่นเดียวกันโดยชนชาติที่มีอารยธรรมสมัย เดียวกันกับกรีกและโรมัน ได้แก่ ชาวอัสเทคในเม็กซิโก มา ยันในอเมริกากลาง และอินคาในเปรู เป็นต้น

ในยุคกลางนี้วิทยาการสาขาต่าง ๆ ได้เกิดขึ้นเป็น อันมากรวมทั้งศาสตร์ทางพฤกษศาสตร์ได้มีการพิมพ์เป็น ตำราต่าง ๆ มีการประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ (ค.ศ. 1590) การค้นพบเรื่องราวของเซลล์และศึกษากายวิภาคของพืช เป็นต้น การทดลองต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต่อการศึกษาชีววิทยา ของพืชเริ่มขึ้นระหว่างศตวรรษที่ 17 และ 18 ได้มีการค้น พบธรรมชาติของการสืบพันธุ์ของพืช ซึ่งเป็นรากฐานของ การศึกษาทางพันธุกรรมของนักบวชชาวออสเตรีย คือ Abbot Gregor Mendel ในเวลาถัดมา มีการตั้งชื่อพืช อย่างเป็นระบบโดยมีชื่อสกุลและชนิดเรียกว่า “Binomial Nomenclature System” โดยชาวสวีเดน คือ Linnaeus ที่ได้มีการใช้จนถึงปัจจุบันนี้ ทางด้านสรีรวิทยานั้นได้มีการ ค้นพบการคายน้ำของพืชโดย Stephen Hales และการ หายใจในพืชที่ต้องใช้ออกซิเจนคล้ายกับการเผาไหม้ของสิ่ง ไม่มีชีวิตโดย Joseph Priestley ซึ่งเป็นชาวอังกฤษ เป็นต้น

3. การเกษตรยุคใหม่หรือการปฏิวัติการเกษตร การ เปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทางด้านการเมืองและเศรษฐกิจในยุค กลางตลอดจนการค้นพบวิทยาการต่าง ๆ ในช่วงศตวรรษ ที่ 17-18 นั้นได้เปลี่ยนโฉมหน้าของประวัติศาสตร์ในทวีป ยุโรปเข้าสู่ยุคใหม่ ในยุคนี้การใช้ทาสได้ถูกยกเลิกไปแล้ว เกษตรกรสามารถเข้าไปใช้สิทธิในที่ดินของเจ้าขุนมูลนาย ทำการเกษตรและเลี้ยงสัตว์ได้มากขึ้น มีการแบ่งที่ดินและ การเข้าไปจัดการของเกษตรกรเอง มีการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของชุมชนเมือง ที่ดินว่างเปล่าในบาง ฤดูกาลถูกใช้ในการปลูกพืชหมุนเวียนและเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยง สัตว์ ทำให้การจัดการที่ดินมีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม ใน ช่วงศตวรรษที่ 18 เกิดมีฟาร์มในลักษณะนี้มากมาย การ เจริญเติบโตของชุมชนเมืองก่อให้เกิดการเริ่มต้นการปฏิวัติ อุตสาหกรรมขึ้นในยุโรป ในทางการเกษตรซึ่งมีแรงงาน น้อยลงได้มีการคิดค้นและประดิษฐ์เครื่องมือทุ่นแรง ต่าง ๆ ขึ้น เช่น เครื่องไถ เครื่องหยอดเมล็ด เครื่องนวดและ เก็บเกี่ยว และเกิดโรงงานอุตสาหกรรมผลิตและจำหน่าย เครื่องมือการเกษตร กลางศตวรรษที่ 19 จึงถือได้เป็นยุค ที่มีการปฏิวัติทางเกษตร (Khamnalrat et al., 2000)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

จากความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพืชพันธุ์มากขึ้น ทำให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืช โดยแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก ๆ คือ

1. ปัจจัยภายในหรือปัจจัยด้านพันธุกรรม (internal or genetic factor) เป็นปัจจัยพื้นฐานในการ กำหนดการแสดงออกของสิ่งมีชีวิต และเป็นตัวกำหนดว่าสิ่ง มีชีวิตที่เจริญขึ้นมาจะต้องเป็นชนิดเดียวกับพ่อแม่ของสิ่งมี ชีวิตนั้นๆ ลักษณะที่แสดงออกของสิ่งมีชีวิตถูกควบคุมด้วย หน่วยพันธุกรรมที่เรียกว่า ยีนส์ (genes) ซึ่งประกอบด้วย DNA และ RNA ยีนส์เป็นตัวการสำคัญในการกำหนดให้สิ่ง มีชีวิตมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการ โดยการกระตุ้นให้ มีการสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตหรือเกี่ยวข้อง กับการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ลักษณะทางพันธุกรรม เป็นลักษณะที่สามารถถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปสู่ลูกหลานได้ และปัจจัยทางพันธุกรรมนี้ จะแสดงออกได้มากน้อยเพียง ใด จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของปัจจัยภายนอก

หรือปัจจัยสภาพแวดล้อมประกอบไปด้วย

2. ปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม (external or environmental factors) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชเป็นอย่างมาก สิ่งแวดล้อมอาจส่งเสริมหรือขัดขวางการแสดงออกทางด้านพันธุกรรมของพืช ลักษณะของพืชที่ปรากฏจะมีการเจริญเติบโตและการที่ตีหรือเลวนั้นจะขึ้นกับการผสมผสานกันของยีนส์และสภาพแวดล้อม โดยยีนส์จะมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมของฮอร์โมนภายในพืช หากยีนส์และสภาพแวดล้อมผสมผสานกันดี ต้นพืชจะเจริญงอกงามได้ดี หากสภาพแวดล้อมขัดขวางหรือขัดแย้งกับยีนส์แล้ว ต้นพืชจะมีการเจริญเติบโตไม่งอกงามหรือมีการพัฒนาการไม่ดีเพียงพอ เป็นผลให้ผลผลิตต่ำได้

ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช ได้แก่

2.1 ดิน (soil) เทพวัตถุธรรมชาติที่ปกคลุมพื้นผิวโลก ประกอบด้วยอนุภาคต่าง ๆ ที่เกิดจากการแปรสภาพของวัตถุดินกำเนิดดิน และซากสิ่งมีชีวิตที่เน่าเปื่อยผสมคลุกเคล้ากัน องค์ประกอบของดินแบ่งออกได้เป็นส่วนที่เป็นของแข็ง (solids) และส่วนที่ไม่เป็นของแข็ง (non-solids) ในการเพาะปลูกพืช ดินนับได้ว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากยกเว้นการปลูกพืชที่เจริญเติบโตในน้ำ เช่น ผักกระเฉด การเพาะปลูกโดยส่วนใหญ่จะทำงานบนดินแทบทั้งสิ้น

2.2 แร่ธาตุอาหาร (nutrients) เป็นสิ่งจำเป็นสำคัญการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชเนื่องจากแร่ธาตุอาหารเป็นส่วนประกอบของอาหารเป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ และเป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยในกิจกรรมการสังเคราะห์แสงและการหายใจ แร่ธาตุอาหารของพืช แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.2.1 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก หรือธาตุอาหารหลัก มี 10 ธาตุ เรียกว่า macronutrients ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แคลเซียม กำมะถัน

2.2.2 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณ

น้อย หรือธาตุอาหารรอง มี 6 ธาตุ เรียกว่า micronutrients ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง โมลิบดีนัม สังกะสี คลอรีน โบรอนอย่างไรก็ตาม การพิจารณาว่าธาตุอาหารพืชใดจัดอยู่ในกลุ่มธาตุอาหารหลักหรือธาตุอาหารรอง จะต้องพิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเป็นสำคัญ เนื่องจากวิทยาการสมัยใหม่ กลับพบว่าธาตุอาหารพืชบางชนิด อาจเป็นธาตุอาหารรองในพืชชนิดหนึ่ง แต่อาจเป็นธาตุอาหารหลักในพืชอีกชนิดหนึ่งก็ได้

2.3 น้ำ (water) เป็นส่วนประกอบสำคัญของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะพืช มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 75-90% น้ำมีบทบาทต่อการมีชีวิตตลอดจนการเจริญเติบโตของพืช นับตั้งแต่เมล็ดเริ่มงอก จนกระทั่งออกดอกออกผล ถ้าพืชขาดน้ำอย่างมากเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้พืชถึงตายได้ ความสำคัญของน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่

2.3.1 น้ำมีผลต่อการกระบวนการรากฐานของการเจริญเติบโต การเพิ่มขนาดของเซลล์จะต้องการน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการขยายตัวของเซลล์ เมื่อพืชขาดน้ำ เซลล์จะขยายตัวเพิ่มขนาดไม่ได้ เป็นผลให้อวัยวะพืชเล็กและแคระแกร็น

2.3.2 น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการลำเลียงอาหารและแร่ธาตุอาหาร น้ำเป็นตัวทำละลายอาหารและแร่ธาตุอาหาร น้ำเป็นตัวกลางในการลำเลียงธาตุอาหารในดิน เป็นตัวลำเลียงพาแร่ธาตุอาหารเข้ามายังบริเวณรากพืช เมื่อรากดูดแร่ธาตุอาหารเข้ามาในต้นพืช น้ำจะเป็นตัวลำเลียงพาแร่ธาตุอาหารไปยังใบ เพื่อทำการสังเคราะห์เป็นอาหาร น้ำจะลำเลียงอาหารที่ได้ออกจากแหล่งสังเคราะห์ไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช

2.3.3 น้ำเป็นตัวรักษารูปร่างของเซลล์และต้นพืช เซลล์ที่มีชีวิตของพืช จะต้องเป็นเซลล์เต่งที่มีน้ำบรรจุอยู่เต็ม ถ้ามีน้ำไม่เต็ม เซลล์จะเหี่ยว หากเซลล์พืชเหี่ยวมากจะทำให้ต้นพืชตายไปในที่สุด

2.3.4 น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยาและกระบวนการทางชีวเคมีกระบวนการต่าง ๆ ในพืชหรือสิ่งมีชีวิต เช่น การสังเคราะห์แสง การหายใจ การดูดแร่ธาตุอาหาร การสังเคราะห์สารที่ใช้ในการเจริญเติบโต ฯลฯ แทบทุกกระบวนการ จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบด้วยเสมอ การสังเคราะห์แสง สร้างอาหาร

เป็นแป้งและน้ำตาลสะสมในพืช จะมาจากการรวมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้ากับน้ำ กระบวนการเผาผลาญอาหารหรือการหายใจจะมีการใช้น้ำ และมีการสร้างน้ำขึ้น นอกจากนี้ น้ำยังเกี่ยวข้องกับการควบคุมปรากฏการณ์การเจริญเติบโตอื่น ๆ อีก เช่น การงอกของเมล็ด การพักตัวของพืช การชักนำการออกดอก เป็นต้น

2.4 แสง (light) นอกจากแสงจะมีผลโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการรากฐานเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน และเป็นแหล่งของสารประกอบขั้นต้น เพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นสารประกอบอินทรีย์ในพืช อันเป็นปัจจัยโดยตรงในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแล้ว แสงยังควบคุมกระบวนการรากฐานของการเจริญเติบโตในระดับต่าง ๆ จนได้ผลรวมออกมาในรูปการเจริญและเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้าง นอกจากนี้ แสงยังมีอิทธิพลต่อปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในการเจริญเติบโตของพืชด้วย เช่น การงอกของเมล็ด การพักตัวของเมล็ด การออกดอก เป็นต้น การตอบสนองของพืชต่อแสงนั้น พืชจะตอบสนองในแง่ต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1 ความเข้มของแสง (light intensity) คือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่พืชได้รับ ซึ่งความเข้มของแสงจะแตกต่างกันตามพื้นที่ เวลา ฤดูกาล และระยะห่างจากเส้นศูนย์สูตรของโลก ในพื้นที่หนึ่ง ๆ ความเข้มของแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงเที่ยงวันหรือในช่วงบ่าย จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงไปจนกระทั่งดวงอาทิตย์ตก บริเวณเส้นศูนย์สูตรของโลกจะมีความเข้มของแสงสูงที่สุดและค่อย ๆ ลดลงตามเส้นรุ้งที่มุ่งไปหาขั้วโลกในช่วงเวลาเดียวกัน อิทธิพลของความเข้มของแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่

- ความเข้มของแสงที่เหมาะสม โดยที่มีปัจจัยอื่น ๆ เหมาะสมและการหายใจเป็นปกติ การสังเคราะห์แสงจะมีอัตราสูง ทำให้ได้อาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตมาก ระดับความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน พืชในร่มเป็นพืชที่ต้องการความเข้มของแสงน้อยจึงจะเจริญเติบโตได้ดี พืชกลางแจ้งต้องการความเข้มของแสงสูงจึงจะมีการเจริญเติบโตได้ดี

- ความเข้มของแสงที่ต่ำเกินไป จะทำให้พืชมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ และให้ผลผลิตน้อย หรือผลผลิตมี

คุณภาพต่ำเพราะในการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงนั้น ขั้นตอนของกระบวนการนี้ ต้องการพลังงานที่มีปฏิกิริยาที่ใช้แสงเป็นตัวกระตุ้นจึงจะเกิดขึ้นได้ กรณีที่แสงมีความเข้มต่ำ พลังงานที่ใช้ในการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำจะน้อย อัตราการสังเคราะห์แสงจะต่ำ ส่งผลให้สร้างอาหารน้อยได้ตามไปด้วย ซึ่งอาหารจากการสังเคราะห์แสงนี้จะป้อนสารตั้งต้นในการสร้างสารประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตอื่น ๆ เมื่อพืชมีอาหารต่ำอยู่แล้ว จะทำให้การสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตเกิดได้น้อย พืชจะมีการเจริญเติบโตช้า และมีผลผลิตต่ำ หรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ

- ความเข้มของแสงที่สูงเกินไป จะส่งผลลดต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll content) โดยจะทำให้พืชบางชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง การสังเคราะห์แสงจะต่ำไปด้วย ทำให้อุณหภูมิของใบเพิ่มขึ้นอย่างมาก พืชจึงมีอัตราการคายน้ำสูง หากอัตราการดูดน้ำของรากไม่สมดุลกับอัตราการคายน้ำ พืชจะแสดงอาการขาดน้ำ และทำให้อุณหภูมิของใบสูงขึ้น เป็นผลให้ระบบเอนไซม์เกิดการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้งลง ทำให้พืชมีการสะสมน้ำตาลแทนแป้ง นอกจากนี้ เอนไซม์ที่มีส่วนในการสังเคราะห์แสงก็จะลดกิจกรรมลงด้วย ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง

2.4.2 คุณภาพของแสง (light quality) หรือความยาวของคลื่นแสง (wavelength) แสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่นหลายระดับ โดยที่แสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 225–2,500 นาโนเมตร (nm, 1 nm = 10⁻⁹ m) แต่แสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นโลก จะมีความยาวคลื่นระหว่าง 310-2,300 nm ทั้งนี้เนื่องจากคลื่นสั้นหรือแสงเหนือม่วง (ultraviolet: UV) ซึ่งเป็นแสงที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยส่วนใหญ่จะถูกดูดซับไว้โดยชั้นของโอโซน (ozone) ในบรรยากาศ ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าแสงสีแดง (infrared) ความยาวคลื่นมากกว่า 2,300 nm จะถูกดูดซับไว้โดยไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นผิวโลก อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- คลื่นแสงที่มองไม่เห็น (invisible light) ได้แก่ แสงเหนือม่วง (UV) ช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 390 nm เป็นตัวการในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และแสง infrared ช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 810 nm จะทำให้

ปล้องของพืชยืดยาวออก

- คลื่นแสงที่มองเห็น (visible light) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 390-810 nm แต่ละช่วงความยาวคลื่นจะมีสีต่างกัน แสงในกลุ่มนี้จะมีผลต่อพืช

2.4.3 ช่วงแสง (light duration or photoperiod) หมายถึง ระยะเวลาของแสงในแต่ละช่วงวัน ซึ่งจะแตกต่างกันตามฤดูกาล ความยาวของช่วงแสงจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชบางชนิดเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิทธิพลในการเปลี่ยนพืชจากระยะการเจริญเติบโต ทางกิ่งใบ (vegetative growth) ไปเป็นการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (reproductive growth) นั่นคือ ช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการออกดอกและการลงหัวของพืชบางชนิด

2.5 อุณหภูมิ (temperature) เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ตั้งแต่พืชเริ่มออกจนกระทั่งออกดอกติดผล อุณหภูมิเกี่ยวข้องกับกระบวนการงอกของเมล็ด การสังเคราะห์แสง การหายใจ การพักตัว เป็นต้น พืชแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิที่ใช้ในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช มีทั้งอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิในดิน อุณหภูมิกลางวัน และอุณหภูมิกกลางคืน

โดยทั่วไปแล้ว อุณหภูมิอากาศจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้น โดยมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการหายใจ กระบวนการทั้งสอง จะค่อย ๆ เพิ่มอัตราขึ้น ตามการเพิ่มของอุณหภูมิจนถึงระดับหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม ที่ประมาณ 30-35 องศาเซลเซียส ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิจะไม่เพิ่มอัตราการเกิดกิจกรรมของกระบวนการทั้งสองนี้ ส่วนอุณหภูมิในดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของราก

และมีผลต่อการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหาร ถ้าอุณหภูมิในดินต่ำ การดูดน้ำจะลดลง ต้นพืชจะเหี่ยว นอกจากนี้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินในสภาพอุณหภูมิของดินต่ำ ก็จะลดลงด้วย ทำให้ได้อินทรียสารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยตามไปด้วย ถ้าอุณหภูมิในดินสูงกว่าปกติเพียงเล็กน้อย จะกระตุ้นให้รากมีการเจริญเติบโตยืดยาวมาก แต่หากอุณหภูมิของรากสูงกว่าลำต้น การเจริญเติบโตจะชะงัก (Techawongstien, n.d.; Ames & Johnson, n.d.)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีจุดกำเนิดจากสวนลอยฟ้าบาบิโลน (Hanging Gardens of Babylon) ดังภาพ 2 สร้างโดยกษัตริย์เนบูคัดเนสซาร์ที่ 2 แห่งกรุงบาบิโลเนีย เมื่อประมาณ 600 ปีก่อนคริสต์ศักราช มีความสูงประมาณ 75 ฟุต พื้นที่ประมาณ 400 ตารางฟุต ระเบียงทุกชั้นจะปลูกประดับด้วยต้นไม้และดอกไม้ รวมถึงมีการปลูกไม้ยืนต้นชนิดต่าง ๆ ไว้บนสิ่งก่อสร้างนั้น โดยวิศวกรในสมัยนั้นได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องมือที่สามารถดึงน้ำจากแม่น้ำไทกริสไปทำเป็นสวนน้ำตกและนำน้ำนั้นไปใช้ในการเพาะปลูกพืชบนสวนลอยฟ้าแห่งนั้น แต่สวนลอยฟ้าบาบิโลนนี้ได้พังทลายไปเมื่อศตวรรษที่ 2 ก่อนคริสต์ศักราช จากเหตุแผ่นดินไหว



ภาพ 2 ภาพวาดสวนลอยฟ้าบาบิโลน (History, 2013)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่มีหลักการวิทยาศาสตร์นั้นเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 400 กว่าปีที่ผ่านมา ในปี ค.ศ. 1600 ยาน แบ็ปทิสตา ฟาน เฮลมอนท์ (Jan Baptista Van Helmont) นักวิทยาศาสตร์ชาวเบลเยียม ได้ทำการทดลองปลูกต้นวิลโลว์ (willow) ในภาชนะที่มีดินประมาณ 90 กิโลกรัม โดยไม่ได้รดน้ำ ให้เพียงน้ำจากฝน เมื่อผ่านไป 5 ปี ผลปรากฏว่าต้นวิลโลว์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจาก 2.2 กิโลกรัม เป็น 77 กิโลกรัม ในขณะที่ดินที่ใส่ปลูกมีน้ำหนักหายไปเพียง 57 กรัม จากการทดลองนี้เขาสรุปว่า พืชจะสามารถรับธาตุอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตได้นั้นต้องอาศัยน้ำเป็นตัวนำพามากกว่าการได้รับแร่ธาตุโดยตรงจากดิน

ในปี ค.ศ. 1699 จอห์น วูดวูด (John Woodward) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้ทำการทดลองปลูกพืชในน้ำ โดยอาศัยธาตุอาหารจากดินในแหล่งต่าง ๆ มาละลายลงในน้ำ

ในปี ค.ศ. 1860 ยูลิอุส ฟอน ซัคส์ (Julius von Sachs) นักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมันนับเป็นคนแรกที่ได้คิดค้นสารละลายธาตุอาหารมาตรฐานขึ้น หลังจากนั้นจึงได้มีการคิดค้นสารละลายธาตุอาหารสูตรต่าง ๆ โดยนักวิทยาศาสตร์อีกหลายคน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วิลเฮล์ม คนีป (Willhelm Knop) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ซึ่งสูตรสารละลายธาตุอาหารที่เขาคิดค้นขึ้นใน ค.ศ. 1865 ยังคงใช้อยู่ในปัจจุบัน เพียงแต่เพิ่มธาตุอาหารเสริมบางชนิดเข้าไปเท่านั้น

ในปี ค.ศ. 1925 ศาสตราจารย์ วิลเลียม เอฟ.

แกริก (William F. Gericke) ชาวอเมริกัน แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ได้พัฒนาเทคนิคการปลูกมะเขือเทศ โดยการเติมอากาศลงในน้ำ และได้มีการทดลองใช้สารละลายธาตุอาหารพืชมาใช้ในการปลูกมะเขือเทศด้วยสารละลายสูตรที่เขาดัดแปลงขึ้นในอ่างขนาดใหญ่ ปากอ่างปิดด้วยตะแกรงแล้วปลูกมะเขือเทศบนตะแกรงและปล่อยให้รากงอกยาวลงไปถึงสารละลายที่อยู่ด้านล่าง มะเขือเทศที่เขาปลูกสามารถเจริญเติบโตจนถึงระยะติดดอกออกผลและมีอายุยาวถึง 25 ฟุต และเขาได้บัญญัติศัพท์ hydroponics ขึ้นจากรากศัพท์ภาษากรีก 2 คำ คือ Hydro ซึ่งแปลว่า “น้ำ” และ Ponos ซึ่งแปลว่า “การทำงาน” จากนั้นแกริกได้นำเทคนิคการปลูกนี้ไปใช้กับการปลูกในเชิงธุรกิจจนเป็นผลสำเร็จ ทำให้ได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาแห่งเทคโนโลยีไฮโดรโปนิคส์สมัยใหม่ การปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์จึงเริ่มแพร่หลายขึ้นนับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา (Hydroponics, 2014)

หลังจากการค้นพบว่าสามารถปลูกพืชให้เจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องใช้ดิน เพียงแต่จัดการให้พืชได้รับน้ำ ธาตุอาหาร ออกซิเจน และที่ยึดเกาะพยุงลำต้น เพื่อทดแทนจากสิ่งที่ควรได้รับจากดิน จึงได้มีการพัฒนารูปแบบและวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

1. ประเภทการปลูกในวัสดุปลูก (substrate culture) เป็นวิธีการปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกชนิดต่าง ๆ

ทั้งที่เป็นอินทรีย์และอนินทรีย์ต่าง ๆ ได้แก่ ทราย กรวด ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว รือควูล์ พีท ฯลฯ การปลูกพืชระบบนี้นิยมกันอย่างแพร่หลายวิธีหนึ่ง การปลูกพืชในวัสดุปลูกส่วนใหญ่จะแตกต่างกันทางด้านของเทคนิคการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหารพืช

2. ประเภทการปลูกในอากาศ (aeroponics) เป็นระบบที่ทำให้รากพืชอิมมัวอย่างต่อเนื่องด้วยการพ่นสารละลายที่มีธาตุอาหารพืชเป็นระยะ ๆ ระบบนี้รากพืชไม่ได้จุ่มอยู่ในน้ำสารละลายธาตุอาหารพืช แต่จะมีความชื้นอิมมัวอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้รากคงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับ 95-100% โดยวิธีการนี้พืชได้อาหารครบถ้วนและพอเพียง ระบบนี้รากจะลอยอยู่ในอากาศในระบบปิดที่กันแสง แต่การปลูกด้วยระบบแอโรโพนิกส์ต้องใช้ระบบควบคุมการฉีดพ่นธาตุอาหารแบบอัตโนมัติ วิธีการนี้ใช้น้ำน้อยมาก โดยรูปแบบการปลูกพืชให้ราก ลอยอยู่ในอากาศนี้ จะนิยมสำหรับพืชหัวที่ไม่สามารถแช่อยู่ในน้ำหรืออยู่ในดินที่จะเสี่ยงต่อโรคทางดิน เมื่อมีระยะการปลูกนานเกิน 2 เดือน เช่น มันฝรั่งและแครอท

3. การปลูกในน้ำ (water culture) เป็นการปลูกโดยรากของพืชจะต้องสัมผัสหรือแช่อยู่ในน้ำสารละลายธาตุอาหารโดยตรงและตลอดเวลา มีอยู่หลายเทคนิค ได้แก่ เทคนิคน้ำไหลเป็นฟิล์มบาง (Nutrient Film Technique; NFT) โดยกำหนดให้สารละลายไหลผ่านรากพืชที่ความหนา 2-3 มิลลิเมตร เทคนิคการปลูกพืชในน้ำลึกไหลล้น (Deep Flow Technique; DFT) เป็นการปลูกพืชโดยให้รากแช่อยู่ในสารละลายลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร เทคนิคการปลูกพืชในน้ำลึก (Dynamic Root Floating Technique; DRFT) เป็นการปลูกพืชโดยให้รากแช่อยู่ในน้ำส่วนหนึ่งและอีกส่วนหนึ่งสร้างรากอากาศเพื่อช่วยการหายใจ เป็นต้น (Forfarm, 2016; Thongaram, 2007; Namhormchan & Sareephattananon, 2014; Kanasri, 2018)

ทั้งนี้การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแต่ละเทคนิคจะสัมพันธ์กับปริมาณสารละลายธาตุอาหาร ภาชนะเพาะปลูก และโครงสร้างรับน้ำหนักภาชนะเพาะปลูกเนื่องจากน้ำหนักของสารละลายสารอาหารที่แตกต่างกันในแต่ละเทคนิค ปัจจัยทั้ง 5 ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแสดงดังภาพ 3 ซึ่งสอดคล้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชดังที่นำเสนอข้างต้น

1. WATER		2. AIR	
•Quality •Hardness •pH •Contents •Quantity		•Composition •CO₂ •O₂ •Humidity •Temperature •Circulation •Exchanges/hr	
3. LIGHT		4. CLIMATE	5. NUTRIENTS
•Quantity •Intensity •Duration •Quality •Red •Blue		•Temperature •Maximum •Minimum •Humidity •Wind •Day length	•Macro •NP KCa Mg S •Micro •Fe Cu Zn B - Mn Na Cl Mo Si •pH •EC

ภาพ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Venter, 2017)

การปลูกพืชในโรงเรือน

ในการผลิตพืชผลทางการเกษตร เกษตรกรเป็นจำนวนมากยังต้องพึ่งพาสภาวะแวดล้อมและน้ำจากธรรมชาติจากสภาพอากาศที่แปรปรวนในปัจจุบัน ส่งผลให้พืชพันธุ์ได้รับความเสียหาย การเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง แนวทางหนึ่งที่เกษตรกรสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมได้คือ การเพาะปลูกโรงเรือนเพาะปลูกพืช (greenhouse)

การปลูกพืชในโรงเรือนที่สามารถควบคุมให้มีสภาวะแวดล้อมที่พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชพันธุ์ได้จะทำให้สามารถเพาะปลูกพืชพันธุ์ได้อย่างมีคุณภาพและมีปริมาณตามที่ต้องการ การนำระบบควบคุมอัตโนมัติเข้ามาใช้จะทำให้ลดการใช้กำลังคน น้ำ และกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในโรงเรือนได้

โรงเรือนเพาะปลูกแบ่งออกได้ 2 ชนิด ได้แก่

1. โรงเรือนแบบเปิด ผ่นและหลังคาเป็นตาข่ายป้องกันแมลง อากาศถ่ายเทได้สะดวก มีระบบการให้น้ำพืชแบบต่าง ๆ
2. โรงเรือนแบบปิด ผ่นและหลังคาเป็นแผ่นโปร่งแสงหรือโปร่งใสแบบอ่อนหรือแบบแข็ง และมีระบบประกอบอื่น ๆ เช่น ระบบแผ่นระเหยน้ำและระบบพ่นหมอกช่วยลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายใน ระบบการให้น้ำพืชช่วยการดูดซึมธาตุอาหารของพืชได้เหมาะสม ระบบการให้ปุ๋ยทางน้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้ปุ๋ย ระบบเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แสง ระบบแสงสว่างความเข้มสูงช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืช ระบบตาข่ายพรางแสงช่วยลดความเข้มของแสง ระบบควบคุมศัตรูพืชช่วยป้องกันและกำจัดศัตรูพืชภายใน ระบบควบคุมอัตโนมัติช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรือน (Department of Agricultural Extension, n.d.; Namhormchan & Sareephattananon, 2014)

การปลูกพืชโดยใช้แสงแดดเทียม

การใช้แสงแดดเทียมเพื่อการปลูกพืชที่พบเห็นได้ทั่วไปในประเทศไทย คือ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดย

ใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือแสงจากไดโอดเปล่งแสง (light-emitting diode -- LED) การปลูกพืชโดยใช้แสงเทียมต้องการระบบการปลูกที่มีความแม่นยำเป็นพิเศษ ระบบให้แสงอัตโนมัติ แสงที่กำเนิดขึ้นสามารถปรับเปลี่ยนให้มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดได้ เป็นการเพาะปลูกพืชในระบบปิดสามารถปลูกพืชแบบอินทรีย์ได้ มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น น้ำ และสารอาหารในดินอย่างเหมาะสม ระบบดังกล่าว เรียกว่า การเกษตรแม่นยำ (precision agriculture) ซึ่งมีการใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงและมีการควบคุมสเปกตรัมของแสงให้เหมาะสมกับความต้องการในการเจริญเติบโตของพืชได้ (Watjanatepin & Boonmee, 2017)

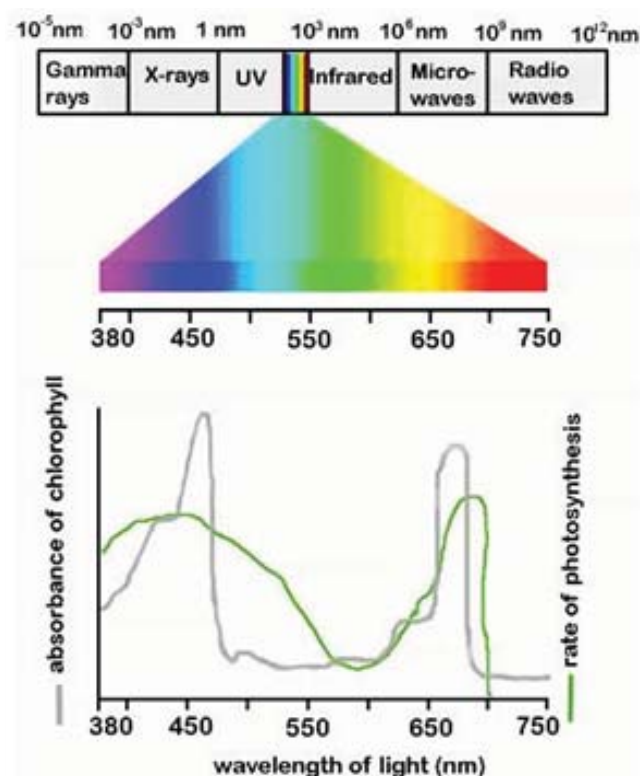
การใช้แสงเทียมเพื่อการปลูกพืชโดยทั่วไปนิยมใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อและติดตั้งง่าย และการบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก แต่การให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นมีย่อเสียทั้งในเรื่องการปล่อยความร้อนจากระบบ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งที่บัลลาสต์แกนเหล็ก อีกทั้งช่วงความยาวของคลื่นแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นเป็นช่วงความยาวคลื่นที่พืชนำไปใช้ได้เพียงบางส่วน เนื่องจากความยาวคลื่นส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของสีเขียว ซึ่งไดโอดเปล่งแสง เป็นแหล่งกำเนิดแสงเทียมที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์อื่น ๆ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดโซเดียมความดันไอสูง และหลอดอินแคนเดสเซนต์ และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงในระบบการปลูกพืช แสงเทียมที่ใช้ในการปลูกพืชนั้นควรต้องมีความเหมาะสมทั้งในเชิงคุณภาพ (ช่วงความยาวคลื่นแสง) และเชิงปริมาณ (ความเข้มแสง) เพื่อส่งเสริมการสังเคราะห์แสงของพืช และทำให้ได้ลักษณะของพืชเหมือนกับการปลูกในธรรมชาติมากที่สุด (Jaisin et al., 2017; Jamaree et al., 2017)

พืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อช่วงความยาวคลื่นแสง และความเข้มแสงแตกต่างกัน เช่น ผักกาดที่ได้รับแสงผสมระหว่างสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง มีน้ำหนักแห้งสูงกว่าต้นที่ได้รับแสงผสมระหว่างสีน้ำเงินและสีแดง ทั้งนี้เนื่องจากแสงสีน้ำเงิน และสีแดงจะถูกใบด้านนอกของทรงพุ่มดูดกลืนไว้เกือบทั้งหมดส่งผลให้ใบที่อยู่ด้านในทรงพุ่มได้รับพลังงานแสงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่แสง

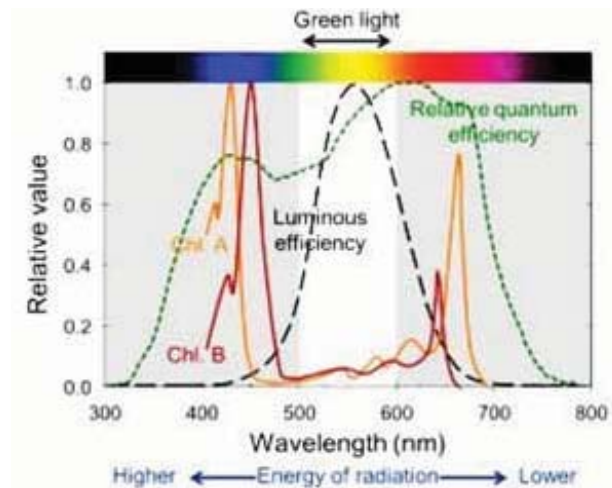
สีเขียวจะทะลุผ่านใบด้านนอกของทรงพุ่มเข้าไปด้านใน ได้ดีกว่าแสงสีน้ำเงินและแดง ส่งผลให้ใบในทรงพุ่มมีการสังเคราะห์แสงและมีการเจริญเติบโตโดยรวมทั้งทรงพุ่มที่ดีกว่าการได้รับแสงผสมระหว่างสีแดง และน้ำเงินเท่านั้น (Jamaree et al., 2017)

แสงสามารถอธิบายได้ในเชิงปริมาณ (ความเข้มของแสง) และในเชิงคุณภาพ (ความยาวคลื่นของแสง) ได้ การวัดปริมาณของแสงหรือจำนวนพลังงานรวมที่แสงผลิตออกมาจะอยู่ในรูปของพลังงานต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) หรือเทอมของจำนวนโฟตอน (moles of photons) หน่วยเป็นไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) แสงธรรมชาติที่มาจากดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยสเปกตรัมของแสง (light spectrum) ในช่วงความยาวคลื่นแสงระหว่าง 250-3000 นาโนเมตร (nm) การที่แสงมีความยาวคลื่นแตกต่างกัน ทำให้เกิดสีที่แตกต่างกันไปด้วย

แสงที่พืชนำมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อการเจริญเติบโต สร้างใบ ดอก และผล คือ แสงในช่วงที่มนุษย์มองเห็น (visible light) ซึ่งเป็นแสงที่มีความยาวคลื่น 380-770 นาโนเมตร แสดงดังภาพ 4 แต่จะมีช่วงแสงเฉพาะที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ที่เรียกว่า Photo Synthetically Active Radiation (PAR) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ซึ่งสำคัญมากต่อพืชในการใช้พลังงานเพื่อสังเคราะห์ด้วยแสง และภาพ 5 แสดงช่วงแสงที่มีการดูดซึมแสงเพื่อสร้างคลอโรฟิลล์ ชนิด a และ b (chlorophyll molecules type a & b) ได้ดีที่สุดระหว่างความยาวคลื่น 400-480 nm (แสงสีน้ำเงิน) และระหว่าง 630-680 nm (แสงสีแดง) โดยช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-700 nm พืชต้องการแสงเหล่านั้นในช่วงเวลาใดบ้าง และต้องการแสงสีอะไรบ้างเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเพาะเมล็ดและการสร้างใบ ดอก และผลที่ดีที่สุด แสดงดังตาราง 1 (Watjanatepin & Boonmee, 2017)



ภาพ 4 แสงและความยาวคลื่นในช่วงที่มนุษย์มองเห็น (UK, n.d.)



ภาพ 5 แสงและความยาวคลื่นแสงในช่วงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Runkle, 2017)

ตาราง 1

ความสัมพันธ์ระหว่างสีของแสง ความยาวคลื่นแสง และบทบาทต่อพืช
(Watjanatepin & Boonmee, 2017; Kozai, Niu & Takagaki, 2016)

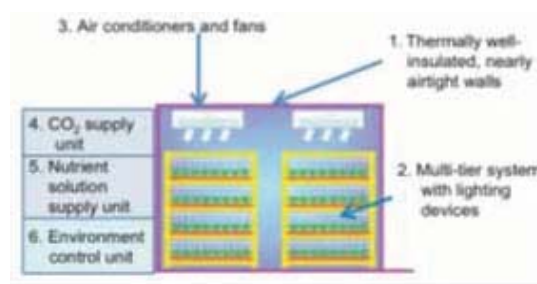
ช่วงคลื่น (nm)	สีของแสง	บทบาทต่อพืช
100-300	เหนือม่วง	-
100-280	ยูวี-ซี	การฆ่าเชื้อ
280-320	ยูวี-บี	ถูกเผาด้วยแดด
320-380	ยูวี-เอ	-
ไม่แน่นอน		
380-436	ม่วง	อาจมีผลมาจากแสงใกล้สีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่นใกล้กับ 436 นาโนเมตร
436-495	น้ำเงิน	ความเข้มแสงต่าง ๆ มีความจำเป็นในการเพาะเมล็ดและการอนุบาลพืช
495-566	เขียว	ไม่มีความจำเป็น แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสง
566-589	เหลือง	ไม่มีความจำเป็น แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสง
589-627	ส้ม	ดีที่สุดสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
627-780	แดง	ดีที่สุดทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ช่วยเร่งการสร้างดอก เร่งการเจริญเติบโตของลำต้น (อัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแดงไกลมีความสำคัญมาก)

ช่วงคลื่น (nm)	สีของแสง	บทบาทต่อพืช
800-2500	ใต้แดงช่วงคลื่นสั้น	ความร้อน
2500+	ใต้แดง	ความร้อน

โรงงานผลิตพืช

เทคโนโลยีโรงงานผลิตพืชโดยใช้แสงแดดเทียม (Plant Factory With Artificial Lighting -- PFAL) หรือ การเกษตรในเมืองเป็นเทคโนโลยีการผลิตพืชในระบบปิด หรือกึ่งปิด ที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยนำเอาเทคโนโลยีเข้ามาจัดการด้านการเกษตร ซึ่งใช้แสงแดดเทียมจากหลอด LED จึงสามารถปลูกผักเป็นชั้น ๆ ได้ โดยพืชยังคงได้รับแสงเช่นเดียวกันทุกชั้น เป็นการใช้พื้นที่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เหมาะสำหรับผู้ที่ไม่มีพื้นที่จำกัด ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้เพียง

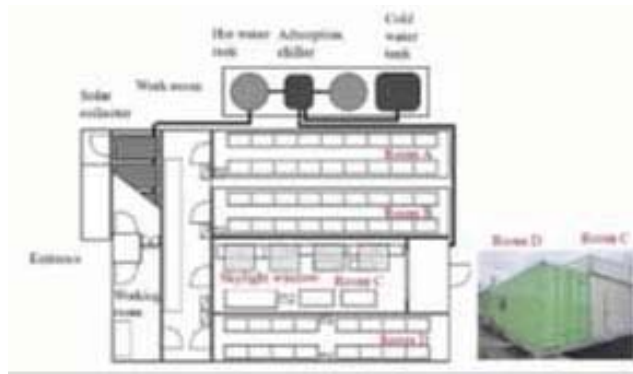
พอต่อความต้องการ เนื่องจากให้ผลผลิตที่สูงกว่าและเร็วกว่า โดยใช้ทรัพยากรน้อยกว่า เนื่องจากสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้และนอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคโนโลยีควบคุมเพื่อเพิ่มผลผลิตได้อีกด้วย (Krajangpan, Suebtaanaawong & Wangsathiswong, 2018) องค์ประกอบหลักที่สำคัญ 6 ประการสำหรับโรงงานผลิตพืช ได้แก่ ผนังฉนวนกันความร้อนจากภายนอก ชั้นวางและอุปกรณ์ส่องสว่าง เครื่องปรับอากาศและพัดลมระบายอากาศ หน่วยจ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หน่วยจ่ายสารละลายธาตุอาหาร และหน่วยควบคุมสภาพแวดล้อม (Kozai, 2013) แสดงดังภาพ 6



ภาพ 6 องค์ประกอบหลักของโรงงานผลิตพืช (Kozai, 2013)

ต้นแบบโรงงานผลิตพืช ณ เมืองโอกินาวะ ประเทศญี่ปุ่น มีรายละเอียดในการออกแบบ ดังนี้ ห้องเพาะปลูก จำนวน 4 ห้อง ใช้ตู้สินค้าแบบควบคุมอุณหภูมิ ขนาดกว้าง 2.5 เมตร ยาว 12 เมตร สูง 2.4 เมตร จำนวน 4 ตู้ ระบบปรับอากาศใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 2.2 กิโลวัตต์ จำนวน 2 เครื่องต่อหนึ่งห้องเพาะปลูก ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 18-25 องศาเซลเซียส ระบบส่องสว่าง ห้องเพาะปลูก A และ B ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ 10.5 กิโลวัตต์ต่อหนึ่งห้องเพาะปลูก ห้องเพาะปลูก D ใช้หลอด LED แสง

สีแดง สีแดงและสีน้ำเงิน สีขาว และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ รวม 4.6 กิโลวัตต์ และห้องเพาะปลูก C ใช้แสงจากธรรมชาติและแสงจากหลอด LED ทำการเพาะปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ ควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 1500 ส่วนต่อล้านส่วน (ppm) พร้อมทั้งติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์และการใช้พลังงานในโรงงานต้นแบบอีกด้วย (Ueno & Kawamitsu, 2017) แผนผังโรงงานผลิตพืชต้นแบบ แสดงดังภาพ 7



ภาพ 7 แผนผังต้นแบบโรงงานผลิตพืช (Ueno & Kawamitsu, 2017)

องค์กร JPFA (Japan Plant Factory Association) ในประเทศญี่ปุ่น พยายามแก้ไขปัญหาด้านอาหาร สิ่งแวดล้อม พลังงาน และทรัพยากรในศตวรรษที่ 21 ของประเทศ โดยการมุ่งเน้นการพัฒนาการสาธิต และการขยายระบบการปลูกพืชโดยใช้แสงอาทิตย์เทียม ระบบดังกล่าวสามารถผลิตพืชอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในประเด็นของการประหยัดทรัพยากร เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้ผลิตผลสูงและมีคุณภาพ ระบบการปลูกพืชโดยใช้แสงเทียมนี้เหมาะสำหรับการปลูกผักใบและพืชใบที่มีความสูงไม่มากนักนับเป็นการส่งเสริมการเพาะปลูกสินค้าเกษตรในเขตเมืองได้เป็นอย่างดี (Watjanatepin & Boonmee, 2017) โรงงานผลิตพืชโดยใช้แสงเทียมขนาดใหญ่ในประเทศญี่ปุ่น มีระบบการจัดการแบบปิดที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ได้ ทำให้พืชผักที่ปลูกในโรงงานแห่งนี้ ไม่มีการปนเปื้อนจากโรคและแมลงศัตรูพืช โดยมีพื้นที่การผลิตอยู่ที่ 1,000 ตารางเมตร สามารถปลูกพืชได้มากถึง 120,000 ต้น มีอัตราการเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 9,000 ต้นต่อวัน การนำระบบ โรงงานผลิตพืชเข้ามาใช้ในการผลิตพืชทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านต่าง ๆ ไปได้อย่างมาก เช่น สารฆ่าแมลง น้ำ ปุ๋ย นอกจากนี้ยังประหยัดพื้นที่ในการเพาะปลูก และผลผลิตมีมูลค่าสูงเป็นที่ต้องการของตลาดและผู้บริโภคอีกด้วย

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างโรงงานผลิตพืชโดยใช้แสงเทียมในประเทศญี่ปุ่นอยู่ที่ประมาณ 127,000 บาท ต่อตารางเมตร โดยสามารถสร้างรายได้ปีละประมาณ

75,000 บาทต่อตารางเมตร ทำให้สามารถคืนทุนได้ภายใน 2-3 ปี สำหรับประเทศไทยเทคโนโลยีดังกล่าวเหมาะสมกับการเพาะปลูกพืชสมุนไพรในกลุ่มผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีมูลค่าสูง (ยา เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร) โดยสามารถทำการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช เพื่อเพิ่มคุณภาพและผลผลิตโดยเทคโนโลยีทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ได้แก่ การกระตุ้นด้วยสนามแม่เหล็ก คลื่นแสงเลเซอร์ คลื่นเสียง ความถี่สูงอัลตราซาวด์ รังสีไมโครเวฟ เป็นต้น (Aladjadj-jiyan, 2012) รวมถึงการควบคุมสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกเพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการให้แก่พืช ผัก ผลไม้ เช่น รสชาติ ความกรอบของผัก การกระตุ้นให้ผลิตสารทุยภูมิ เช่น สารไลโคพีนในมะเขือเทศและสารไอโซฟลาโวนในถั่วเหลืองมีปริมาณมากยิ่งขึ้นซึ่งจะสามารถนำสารสำคัญดังกล่าวไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่ลดการเกิดโรคต่อมลูกหมากโตและมะเร็งต่อมลูกหมากได้ (Chaiprateep, 2015 a; Chaiprateep, 2015 b) เป็นต้น หรือกระตุ้นให้พืชสมุนไพรและพืชกลุ่มยารักษาโรคมีสารสำคัญมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในสมุนไพรในกลุ่มน้ำมันหอมระเหย (essential oil) เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์จากพืชสมุนไพรที่มีมูลค่าสูง เป็นความต้องการของตลาดซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรมีรายได้สูงขึ้น คืนทุนได้ไวขึ้น และสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยต่อไป

ตัวอย่างของโรงงานผลิตพืชโดยใช้แสงแดดเทียมแสดงดังภาพ 8 และ 9



ภาพ 8 โรงงานผลิตพืชโดยใช้แสงเทียม ณ มหาวิทยาลัยชิบะ ประเทศญี่ปุ่น (Kozai, Niu & Takagaki, 2016)



ภาพ 9 โครงการ VertiCorp ประเทศสหรัฐอเมริกา (Kozai, Niu & Takagaki, 2016)

บทสรุป

เทคโนโลยีโรงงานผลิตพืชโดยใช้แสงแดดเทียม เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาจากองค์ความรู้ทางด้านสรีรวิทยาพืช การเกษตร วิศวกรรม และเทคโนโลยีด้านการจัดการ เป็นเทคโนโลยีที่สามารถผลิตพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง สามารถผลิตพืชได้อย่างทวีคูณในพื้นที่จำกัด ใช้ทรัพยากรในการผลิตอย่างคุ้มค่า ซึ่งจะช่วยให้อาจผลิตพืชผลทางการเกษตรเพียงพอต่อความต้องการของประชากรที่จะเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณในอนาคต รวมถึงลดการใช้สาร

เคมี เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและลดภาวะโลกร้อนอีกด้วย

เทคโนโลยีโรงงานผลิตพืชโดยใช้แสงแดดเทียม เป็นการผลิตพืชในระบบปิดที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น แร่ธาตุอาหารพืชทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ช่วงคลื่นแสง ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต และยังมีการใช้หลอด LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงเทียม เนื่องจากสามารถกำหนดสีและความ

เข้มของแสงตามความต้องการของต้นพืชในแต่ละช่วงอายุ ได้ ให้ความร้อนต่ำ และประหยัดพลังงาน

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างโรงงานผลิตพืชโดยใช้แสงเทียมในประเทศญี่ปุ่นอยู่ที่ประมาณ 127,000 บาท ต่อตารางเมตร ถือเป็นต้นทุนการทำการเกษตรที่สูงมาก ในปัจจุบัน สำหรับประเทศไทยเทคโนโลยีโรงงานผลิตพืชเหมาะสมกับการเพาะปลูกผักที่มีราคาสูง สามารถ

ใช้เทคโนโลยีทางฟิสิกส์มากระตุ้น เพื่อเพิ่มคุณภาพและปริมาณผลผลิต รวมถึงการควบคุมสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกเพื่อกระตุ้นให้ผลิตสารสำคัญในปริมาณมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชสมุนไพรในกลุ่มน้ำมันหอมระเหย เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์จากพืชสมุนไพรที่มีมูลค่าสูง เป็นความต้องการของตลาด ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรมีรายได้สูงขึ้น คืนทุนได้ไวขึ้น และสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยต่อไป



References

- Aladjadjian, A. (2012). *Physical factors for plant growth stimulation improve food quality*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/221922791_Physical_Factors_for_Plant_Growth_Stimulation_Improve_Food_Quality
- Ames, M., & Johnson, S. W. (n.d.). *A review of factors affecting plant growth*. Retrieved from https://www.hydrofarm.com/resources/articles/factors_plantgrowth
- Chaiprateep, E. (2015 a). Effects of lycopene-rich tomatoes in benign prostatic hyperplasia and prostate cancer. *Thai Pharmaceutical and Health Science Journal*, 10(3), 117-121. (in Thai)
- Chaiprateep, E. (2015 b). Soy isoflavones on prostate cancer. *EAU Heritage Journal: Science and Technology*, 9(2), 89-98. (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. (n.d.). *Greenhouse*. Retrieved from <http://www.k-center.doae.go.th/getKnowledge.jsp?id=2894> (in Thai)
- Forfarm. (2016). *Soilless culture*. Retrieved from <https://www.forfarm.co/1> (in Thai)
- History. (2013). *Hanging gardens existed, but not in Babylon*. Retrieved from <https://www.history.com/news/hanging-gardens-existed-but-not-in-babylon>
- Hydroponics, Z. (2014). *History of hydroponics*. Retrieved from <http://zen-hydroponics.blogspot.com/2014/09/blog-post.html> (in Thai)
- Jaisin, C., Pumisutapon, P., Pinkeaw, N., & Maneechuket, T. (2017). The development of LED lighting system for plant tissue culture in temporary immersion bioreactor. *Proceeding of MJU Annual Conference 2017*, Chiang Mai. (in Thai)
- Jamaree, T., Kanjanaphachaoat, P., Jaturonglumert, S., & Sakhonwasee, S. (2017). *Petunia hybrida Vilm 'Purple' under a semi-closed plant production system*. *Proceeding of The 3rd Pibulsongkram*

Research Conference, Phitsanulok. (in Thai)

- Kanasri, T. (2018). Control system of water temperature for Chinese celery growing hydroponic vegetables. *EAU Heritage Journal: Science and Technology*, 12(3), 133-140. (in Thai)
- Khamnalrat, A., & et al. (2000). *Principle of crop production*. Retrieved from <http://natres.psu.ac.th/Department/PlantScience/510-111web/> (in Thai)
- Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (2016). *Plant factory: An indoor vertical farming system for efficient quality food production*. San Diego: Elsevier.
- Kozai, T. (2013). Plant factory in Japan – current situation and perspectives. *Chronica horticulturae*, 53(2). 8-11.
- Krajangpan, K., Suebtaanaawong, T., & Wangsathiswong, S. (2018). LED lighting design for indoor planting based on daily light integral. *Agricultural Science Journal*, 49(1), 498-501. (in Thai)
- Namhormchan, T., & Sareephattananon, A. (2014). PLC-based automatic control system of temperature and relative humidity in soilless culture green house with an evaporative cooling system and fogging system. *EAU Heritage Journal: Science and Technology*, 8(1), 98-111. (in Thai)
- Office of the Royal Society. (2007). *Farming-agriculture*. Retrieved from <https://bit.ly/2VHL2bP> (in Thai)
- Runkle, E. (2017). *Growing plants with green light*. Retrieved from <https://gpnmag.com/article/growing-plants-with-green-light/>
- Techawongstien, S. (n.d.). *Factors affecting plant growth and development*. Retrieved from [https://ag.kku.ac.th/suntec/134101/134101_Factors affecting G-D \(note\).pdf](https://ag.kku.ac.th/suntec/134101/134101_Factors_affecting_G-D_(note).pdf) (in Thai)
- Thongaram, D. (2007). *Soilless culture: Principles of production management and business technology in Thailand*. Bangkok: Pimdee. (in Thai)
- Ueno, M., & Kawamitsu, Y. (2017). Design of a plant factory suitable for Okinawa. *Engineering and Applied Science Research*, 44(3). 182-188.
- Venter, G. (2017). *Hydroponics: know your plants' growth requirements*. Retrieved from <https://www.farmersweekly.co.za/agri-technology/farming-for-tomorrow/hydroponics-know-plants-growth-requirements/>
- Watjanatepin, N., & Boonmee, C. (2017). Which color of light from the light emitting diodes is optimal for plant cultivation?. *Thai Journal of Science and Technology*, 25(1), 158-176. (in Thai)

