

การควบคุมสารละลายในการผลิตผักไร้ดิน

Controlling solution for vegetable Hydroponics

เลิศภูมิ จันทระเพ็ญกุล

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

บทนำ

การปลูกพืชไร้ดิน เป็นการปลูกพืชแบบหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างมากในปัจจุบัน สามารถปลูกพืชได้ในทุกสถานที่โดยไม่มีขอบเขตจำกัด ไม่ว่าจะปลูกจำนวนน้อยหรือการปลูกแบบเศรษฐกิจเชิงการค้า สามารถใช้เทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินกับพืชได้แทบทุกชนิด ตั้งแต่ผัก ผลไม้ ไม้ดอกไม้ประดับ พืชไม้เลื้อย จนถึงพืชยืนต้น แต่ส่วนมากนิยมปลูกกับพืชผัก ไม้ผลที่มีระยะเก็บเกี่ยวในช่วงอายุสั้น การปลูกพืชไร้ดินสามารถหลีกเลี่ยงสภาวะต่างๆ ที่ไม่อำนวยในสภาพการผลิตจากวิธีการปลูกพืชโดยทั่ว ๆ ไป อาทิเช่น สภาพดินที่ไม่เหมาะสม ดินเค็ม ดินเปรี้ยว สภาพอากาศ ฤดูกาล รวมถึงการขยายตัวของชุมชนทำให้พื้นที่ทำการเกษตรลดลง และราคาที่ดินสูงขึ้น นอกจากนี้การปลูกพืชไร้ดินยังสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างถูกต้อง และแน่นอนจึงทำให้ผลผลิตและคุณภาพของพืชที่ปลูกแบบไร้ดินสูงกว่าการปลูกพืชในดิน ยิ่งไปกว่านั้นการปลูกพืชไร้ดินยังประหยัดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายที่ไม่ต้องเตรียมดินและกำจัดวัชพืชก่อนการเพาะปลูกเกษตรกรสามารถปลูกพืชได้ต่อเนื่องตลอดปีในพื้นที่เดิม โดยไม่มีปัญหาการทำลายสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินมาเกี่ยวข้อง ในเรื่องการตลาดเกษตรกรสามารถควบคุมคุณภาพ ปริมาณของผลผลิตให้ได้ตรงกับความต้องการของตลาดมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวโน้มว่าการปลูกพืชไร้ดินจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตรของประเทศไทย

Abstract

The hydroponics. The plant is one which is so popular nowadays. Plants can be grown in any location without boundaries. Whether planted or growing a small number of commercial economy. Techniques can be used to grow plants without soil and plants from almost all kinds of vegetables, fruits, flowers, ivy plant to plant crops. But mostly planted with vegetation. Fruit is harvested in the short-lived The hydroponics can avoid various unfavorable conditions of production of the crop in general, such as soil conditions, improper saline soils weather

seasons, including the expansion of the community, the agricultural areas. lower And land prices rise. Also, hydroponics can also control environment related to the growth of the plants correctly, and of course, the yield and quality of crops without soil than crops in the ground. Moreover cropping.

Without soil also save time, labor and expense to prepare the soil before planting and weeding, farmers can not grow crops throughout the year in the same area. Without destroying the fertility of the soil conditions involved. Quality control in the farmers market. Amount of output to meet the needs of the market even more. This is why it is likely that hydroponics is one option to enhance the country's agricultural production.



ภาพที่1 แปลงปลูกผักสลัดและเรดโอ๊คในระบบไร้ดิน

การปลูกพืชไร้ดินเป็นวิธีการใดก็ตามที่ทำให้การปลูกพืชได้โดยไม่ต้องใช้ดิน แต่จะใช้วัสดุอื่นๆ แทน เช่น การปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศ การปลูกพืชในสารละลาย หรือการปลูกพืชในวัสดุปลูกเช่นทราย แกลบ และวัสดุอื่นๆ โดยให้สารละลายธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตแก่รากโดยตรง ในปริมาณที่เหมาะสมแทนธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการปลูกในส่วนที่เกี่ยวข้องกับดิน เช่นดินมีคุณภาพต่ำ มีความเค็มสูง หรือมีโรคระบาด อีกทั้งการปลูกพืชไร้ดินนี้ยังสามารถควบคุมคุณภาพและปริมาณของผลผลิตให้ได้ตามต้องการ (มนตรี คำชู. 2531)

ประวัติการปลูกพืชไร้ดิน

การปลูกพืชแบบไร้ดินมีมานานแล้ว เช่น สวนลอยฟ้าของบาบิโลน ถือว่าเป็นหนึ่งในเจ็ดสิ่งมหัศจรรย์ของโลก ถูกสร้างขึ้นในปี 372-287 ก่อนคริสต์ศักราช สวนลอยฟ้าของชาวพื้นเมือง Aztec ที่อาศัยอยู่ในเม็กซิโกและสวนลอยฟ้าของประเทศจีน ในประเทศอียิปต์ก็มีการบันทึกว่า ร้อยปีก่อนคริสต์ศักราชชาวอียิปต์มีการปลูกพืชในน้ำ แต่ตามประวัติที่ได้กล่าวถึงการปลูกพืชไร้ดินที่เข้าหลักการทางวิทยาศาสตร์ ดูเหมือนจะเริ่มมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1600 โดยนายเฮลมอนท์ นักวิทยาศาสตร์ชาวเบลเยียม แสดงให้เห็นว่าพืชได้รับสารประกอบจากน้ำโดยปลูกต้นวิลโล หนัก 5 ปอนด์ ในท่อที่มีดินแห้งอยู่ 200 ปอนด์ แล้วรดด้วยน้ำฝนเป็นเวลา 5 ปี พบว่าต้นวิลโลมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึง 169 ปอนด์ ในขณะที่น้ำหนักดินหายไปน้อยกว่า 2 ออนซ์ เขาสรุปว่าพืชได้รับสารประกอบจากน้ำเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต แต่ไม่ได้สรุปว่าพืชต้องการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนจากอากาศด้วย ในปี ค.ศ. 1699 นายวูดวอดชาวอังกฤษได้พิสูจน์ว่าสามารถปลูกพืชในน้ำที่ใช้ละลายดิน ซึ่งน้ำนี้จะมีธาตุอาหารพืชต่างๆ จากดินละลายอยู่ ส่วน Nicolas de Saussure (1804) กล่าวว่าพืชต้องการธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ในช่วงกลางศตวรรษที่ 19 นายบูซิงเกาล์ ได้แนะนำการปลูกพืชในทราย หิน และถ่าน โดยมีการให้สารละลายธาตุอาหารพืช ต่อมาวิธีนี้ถูกพัฒนาโดย Horstmar ในปี ค.ศ. 1856-60 ผู้ที่คิดค้นสารละลายธาตุอาหารพืชมาตรฐานขึ้นเป็นคนแรก คือ Sachs ในปี ค.ศ. 1860 หลังจากนั้นก็มีการค้นคว้าธาตุอาหารพืชสูตรต่างๆ กันเรื่อยมา จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1925 ศาสตราจารย์เกอร์ริค ชาวอเมริกันแห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ได้พัฒนาเทคโนโลยีเพิ่มเติม จนกระทั่งสามารถนำเอาเทคโนโลยีนี้ออกมาใช้นอกห้องปฏิบัติการได้ และเริ่มศักราชของการปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) ทั้งนี้เป็นสวนครัวและเชิงพาณิชย์ ต่อมา ศาสตราจารย์เกอร์ริคได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาของเทคโนโลยีไฮโดร-โปนิกส์สมัยใหม่ (ทักษิณ อัดตะนันท์, 2538)

สัดส่วนการปลูกพืชไร้ดิน

การสำรวจพื้นที่การปลูกพืชไร้ดินในประเทศต่างๆ ทั่วโลกเมื่อปี พ.ศ. 2535 พบว่ามีพื้นที่ปลูกประมาณ 8,386 เฮกแตร์ หรือประมาณ 52,406 ไร่ ดังตารางที่ 1 เมื่อ ปี พ.ศ. 2555

| ประเทศ | พื้นที่ปลูก (เฮกแตร์) | พื้นที่ปลูกไร่ |
|--------------|-----------------------|----------------|
| เนเธอร์แลนด์ | 3,600 | 22,500 |
| อิสราเอล | 650 | 4,063 |
| ฝรั่งเศส | 600 | 3,750 |
| สเปน | 500 | 3,125 |
| ญี่ปุ่น | 400 | 2,500 |
| จีน | 10 | 63 |

ที่มา : International Congress on Soilless Culture. 1993. หมายเหตุ 1 เฮกแตร์ เท่ากับ 6.25 ไร่

ประโยชน์ของการปลูกพืชไร้ดิน

การปลูกพืชไร้ดินนี้ สามารถปลูกพืชได้ในทุกสถานที่โดยไม่มีขอบเขตจำกัดไม่ว่าจะปลูกจำนวนน้อยหรือการปลูกแบบเศรษฐกิจเชิงการค้า สามารถปลูกได้ในเมืองที่แออัดคับแคบ เช่น การปลูกแบบเชิงการค้าในเมืองที่แออัดคับแคบในประเทศญี่ปุ่น และได้หวันเนเธอร์แลนด์ เบลเยียม เป็นวิธีที่เหมาะสมกับความต้องการสำหรับผู้ปลูกที่มีพื้นที่ปลูกน้อย พืชปลูกด้วยการให้สารละลายที่ไม่เป็นดินจึงมีความสะอาดสวยงามกว่าการปลูกในดินแล้วยังให้ความเพลิดเพลินตาความสุขให้แก่ผู้ปลูกและผู้พบเห็น อีกทั้งพืชผลเก็บเกี่ยวมีความน่ารับประทานสำหรับการปลูกแบบเล็กๆ หรือปลูกเป็นงานอดิเรกก็มีความยุ่งยากไม่มากนัก เป็นเหมือนกับการทำสวนามปกติ แต่สำหรับการปลูกแบบเป็นเชิงการค้านั้นก็เป็นอย่างอื่นอีกลักษณะหนึ่งที่ต้องมีเทคนิคต่างๆ ในการควบคุมให้รัดกุมมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2 การปลูกผักกาดเขียวในระบบไร้ดิน



ภาพที่ 3 การปลูกมะเขือเทศในระบบไร้ดิน

วิธีการปลูกพืชไร้ดินสามารถใช้ปลูกพืชได้หลายชนิดทั้งนี้ขึ้นกับความยากง่ายของการปลูกพืชแต่ละชนิดสามารถใช้เทคนิคการปลูกพืชไร้ดินกับพืชได้แทบทุกชนิด ตั้งแต่ผัก ผลไม้ไม้ดอก ไม้ประดับ ไม้เลื้อย จนถึงพืชยืนต้น แต่ส่วนมากนิยมปลูกพวกพืชผัก ไม้ผลที่เป็นพืชที่เก็บเกี่ยวช่วงอายุสั้นดังตัวอย่างที่แสดงให้เห็นใน ตารางต่อไป



ภาพที่ 4 ผักผลไม้ที่มีการปลูกในระบบไร้ดิน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างของพืชที่สามารถปลูกโดยการปลูกพืชไร้ดิน

| พืชผัก | ไม้ผล/ผัก รับประทานผล | ไม้ดอก | พืชสมุนไพร | พืชอาหารสัตว์ |
|-----------|--------------------------|------------|----------------------|--------------------|
| มะเขือเทศ | ส้ม | กุหลาบ | กระเพรา | หญ้า |
| ผักกาดขาว | สตอเบอร์รี่ | คาร์เนชั่น | ใบแมงลัก | บาร์เลย์ |
| คื่นช่าย | กล้วยแดงกว่า | | โหระพา | ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ |
| ผักชี | แคนตาลูป | | พืชผักสวนครัวบางชนิด | |
| ผักบุ้ง | ถั่วงอกยาว | | | |
| ผักสลัด | พริก | | | |
| กวาดตุ้ง | มะเขือ | | | |

อนึ่ง การปลูกพืชไร้ดิน มิใช่จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อชีวิตและความเป็นอยู่ในปัจจุบันเท่านั้น แต่อาจจะก่อให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาชีวิตในอนาคต ดังที่อดีตประธานาธิบดีโรนัลด์ เรแกน แห่งสหรัฐ-อเมริกาได้กล่าว

ว่า การปลูกพืชไร้ดิน (Hydroponics) จะเป็นเทคโนโลยีที่โดดเด่นใช้ในการผลิตอาหารในอนาคตแล้ว ยังมีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านกำลังวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์การปลูกพืชไร้ดิน (Soiless Culture) ในด้านต่างๆ เช่น มหาวิทยาลัยเพอร์ดู และสถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยอิลลินอยกำลังพัฒนาสิ่งที่ใช้ในการช่วยเหลือโครงการอวกาศให้แก่องค์การนาซ่า (National Aeronautic and Space Administration, NASA) ในโครงการ Controlled Ecological Life Support Systems (CELSS) ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้ในโครงการเดินทางอวกาศ เช่น โครงการเดินทางไปยังดาวพุธ

ข้อดีและข้อด้อยของการปลูกพืชไร้ดิน

ข้อดี

1. สามารถทำการเพาะปลูกพืชในบริเวณพื้นที่ดินไม่ดีหรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการปลูก
2. ใช้พื้นที่เพาะปลูกน้อยและสามารถทำการผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ
3. ลดค่าขนส่งเพราะสามารถเลือกผลิตใกล้เขตชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรมฯ ที่รับซื้อ ทำให้มีศักยภาพในเชิงการค้าสูง
4. ประหยัดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินและกำจัดวัชพืช
5. ใช้แรงงานน้อยแต่มีประสิทธิภาพสูง
6. สามารถปลูกพืชอย่างต่อเนื่องได้ตลอดปีในพื้นที่เดียวกัน
7. พืชเจริญเติบโตได้เร็วและให้ผลผลิตที่มากกว่าการปลูกแบบธรรมดาอย่างน้อย 2 สัปดาห์
8. สามารถตัดปัญหาเกี่ยวกับศัตรูพืชที่เกิดจากดิน ทำให้สามารถปลูกพืชในพื้นที่เดียวกันได้ตลอดปีถึงแม้จะเป็นพืชชนิดเดียวกัน
9. สามารถใช้น้ำและธาตุอาหารพืชอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เช่น ปริมาณน้ำใช้ลดลงไม่ต่ำกว่า 10 เท่าตัวของการปลูกแบบธรรมดา
10. สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชได้อย่างถูกต้องแน่นอนและรวดเร็ว โดยเฉพาะในระดับรากพืช ได้แก่ การควบคุมปริมาณธาตุอาหาร ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิความเข้มข้นของออกซิเจน ฯลฯ ซึ่งการปลูกพืชแบบทั่วไปทำได้ยาก ทำให้ผลผลิตและคุณภาพของพืชที่ได้จึงสูงกว่าการปลูกแบบทั่วๆ ไปมาก

ข้อด้อย

1. เป็นระบบที่มีต้นทุนการผลิตเริ่มต้นค่อนข้างสูง เนื่องจากประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ มากมายและมีราคาแพง
2. จะต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญและประสบการณ์มากพอสมควรในการควบคุมดูแล
3. ต้องมีการควบคุมดูแลอย่างสม่ำเสมอ

4. ถ้าหากไม่มีความรู้และความสามารถในการจัดการที่ดีพอ อาจทำให้ผลผลิตมีปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตพืช เช่น ไนเตรท สูงจนเป็นอันตรายต่อการบริโภคได้
5. วัสดุปลูกบางชนิดเน่าเปื่อยหรือเน่าสลายตัวยาก ทำให้อาจมีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากนี้สารอาหารพืชที่ใช้แล้วหากไม่มีการจัดการที่ดีก็อาจสร้างปัญหาให้น้ำ เช่น ไนเตรท เป็นต้น

ความแตกต่างระหว่างการปลูกพืชบนดินตามธรรมชาติกับปลูกพืชไร้ดิน



ภาพที่ 5 พืชที่ปลูกในระบบไร้ดินกับพืชที่ปลูกในดิน

ปกติแล้วพืชจะเจริญเติบโตได้ดีนั้นต้องมีการเจริญเติบโตที่เหมาะสม คือ แสง น้ำ ธาตุอาหารพืช อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง(pH) ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งที่รากส่วนเหนือดินการปลูกพืชบนดินโดยทั่วไปแม้ดินจะมีธาตุอาหารและอากาศอันเป็นปัจจัยที่พืชต้องการนั้นมักมีข้อเสีย คือ ดินจะมีคุณสมบัติที่ไม่แน่นอนแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ เช่น โครงสร้างของดิน ปริมาณธาตุอาหารหรือความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ความเป็นกรด ต่างไม่เหมาะสม ยุ่งยากต่อการปรับปรุงและเสียค่าใช้จ่ายสูง ปัญหาเหล่านี้ทำให้ได้ผลผลิตที่ไม่แน่นอนส่วนการปลูกพืชไร้ดินนั้นพืชจะได้รับสารละลายที่มีธาตุอาหารเรียกว่าสารละลายธาตุอาหารพืชที่ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันทีเพราะมีการปรับค่าการนำไฟฟ้า (EC) และความเป็นกรดต่าง (pH) ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ของพืชอยู่ตลอดเวลา ที่จริงแล้วไม่มีความแตกต่างทางสรีรวิทยา ระหว่างพืชที่ปลูกบนดินตามธรรมชาติและการปลูกพืชไร้ดินในการปลูกพืชบนดินตามธรรมชาติ “สารอาหารใน

ดิน” เป็นอาหารพืชที่อยู่ในน้ำในดิน ซึ่งมาจากวัตถุที่เป็นสิ่งที่เน่าเปื่อยผุพังย่อยสลาย ที่มาจากอินทรีย์สาร และอินทรีย์สารในขณะที่มีการปลูกพืชที่ไร่นั้น พืชจะได้รับ “สารละลายธาตุอาหาร มาจากการละลายของปุ๋ยเคมี ในน้ำเรียกว่า “สารละลายธาตุอาหารพืช” ทั้งสารอาหารในดินของการปลูกพืชบนดินที่ได้จากการเน่าเปื่อยผุพังตามธรรมชาติ และสารละลายธาตุอาหารจากการปลูกพืชไร่นั้น จะสัมพันธ์กับรากพืชซึ่งพืชจะดูดเอาไปใช้ในการเจริญเติบโตด้วยกระบวนการต่างๆ ต่อไป (ชัยฤกษ์ สงวนทรัพย์ากร. 2529)

ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชไร่น้ำ

1. ปัจจัยทางด้านพันธุกรรม

ยีน (gene) เป็นตัวกำหนดลักษณะการเจริญเติบโตของพืช ไม่ว่าจะเป็นส่วนของราก ลำต้น กิ่ง ก้านใบ ตลอดจนดอกและผล การสะสมมวลชีวภาพได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของพืชเอง พันธุ์พืชที่จะใช้กับการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิคส์โดยเฉพาะยังไม่มีหรือมีน้อยมาก (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538)

2. ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม

2.1 แสง

ตามธรรมชาติพืชจะใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน เพื่อทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ใบหรือส่วนที่มีสีเขียว โดยมีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวชนิดหนึ่งที่มีหน้าที่เป็นตัวรับแสงเพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) เป็นกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) และก๊าซออกซิเจน (O_2) พืชที่ปลูกในบ้านหรือเรือนทดลอง อาจใช้แสงสว่างจากไฟฟ้าทดแทนแสงอาทิตย์ได้แต่ก็เป็นการสิ้นเปลืองและไม่สมบูรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับแสงธรรมชาติ (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538)

2.2 อากาศ

พืชจำเป็นต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีอยู่ประมาณ 0.033 เปอร์เซ็นต์ ในบรรยากาศในการผลิตกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์เริ่มต้น เหตุการณ์ที่พืชจะขาดคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นไปได้ยากเนื่องจากมีแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์อย่างเหลือเฟือ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากโรงงานและรถยนต์ ตลอดจนการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น ส่วนก๊าซออกซิเจน (O_2) พืชต้องการเพื่อใช้ในกระบวนการหายใจ (Respiration) เพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งถูกเก็บไว้ในรูปพลังงานเคมี ในรูปของน้ำตาลกลูโคสและสามารถให้เป็นพลังงานเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ต่างๆ การหายใจของส่วนเหนือดินของพืชมักไม่มีปัญหา เพราะในบรรยากาศมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับรากพืชมักจะขาดออกซิเจน โดยเฉพาะการปลูกพืชไร่น้ำด้วยเทคนิคการปลูกด้วยสารละลาย (Water Culture หรือ Liquid Culture) จำเป็นต้องให้ออกซิเจนในจำนวนที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช การให้ออกซิเจนแก่รากพืชจะให้ในรูปของฟองอากาศที่แทรกอยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งให้โดยใช้เครื่องสูบลม หรือการใช้ระบบน้ำหมุนเวียน

2.3 น้ำ

คุณภาพน้ำเป็นเรื่องสำคัญมากเรื่องหนึ่ง การปลูกพืชเพียงเล็กน้อยเพื่อการทดลองจะไม่มีปัญหาแต่การปลูกเป็นการค้า จะต้องพิจารณาเรื่องของน้ำก่อนอื่น หากใช้น้ำคุณภาพไม่ดีทั้งองค์ประกอบทางเคมีและความสะอาด จะก่อให้เกิดความล้มเหลว น้ำเป็นตัวประกอบที่สำคัญ โดยจะถูกนำไปใช้ 2 ทาง คือใช้เป็นองค์ประกอบของพืช พืชมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พืชใช้น้ำเพื่อก่อให้เกิดกิจกรรมที่มีประโยชน์

ใช้เป็นตัวทำละลายธาตุอาหารพืชให้อยู่ในรูปไอออนหรือสารละลายธาตุอาหารพืชโมเลกุลเล็ก เพื่อให้รากดูดกินเข้าไป ปกติน้ำประปาถือว่าใช้ได้ แต่สำหรับการทดลอง มักใช้น้ำกลั่นหรือน้ำประปาที่ทิ้งให้คลอรีนหมดไป แหล่งของน้ำที่ดีที่สุด สำหรับการปลูกพืชไร้ดินเชิงพาณิชย์ คือ น้ำฝนหรือน้ำจากคลองชลประทาน

2.4 วัสดุปลูก

วัสดุปลูก หมายถึงวัตถุ (material) ต่างๆ ที่เลือกสรรมา เพื่อใช้ปลูกพืชและทำให้ต้นพืชเจริญเติบโตได้ เป็นปกติ วัสดุดังกล่าวอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดผสมกัน ชนิดของวัสดุปลูกอาจเป็นอินทรีย์วัตถุก็ได้ โดยทั่วไปวัสดุปลูกจะมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตพืช 4 ประการ ได้แก่

- ก. คำจุนส่วนของพืชที่อยู่เหนือวัสดุปลูกให้ตั้งตรงอยู่ได้
- ข. เก็บสำรองธาตุอาหารพืช
- ค. กักเก็บน้ำเพื่อเป็นประโยชน์ต่อพืช
- ง. แลกเปลี่ยนอากาศระหว่างรากพืชกับบรรยากาศเหนือวัสดุปลูก

การปลูกพืชไร้ดินด้วยเทคนิควัสดุปลูก (Substrate Culture) วัสดุปลูกพืชนั้นว่ามีความสำคัญยิ่งวัสดุปลูก อาจจะเป็นวัสดุอนินทรีย์ (Inorganic media) เช่น ทราย กรวด หินภูเขาไฟ เพอร์ไลต์ (Perlite) เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) และร็อกวูล (Rockwool) เป็นต้น หรือวัสดุอินทรีย์ (Organic media) เช่น ขี้เลื่อยขุยมะพร้าว เปลือกไม้และแกลบ เป็นต้น วัสดุปลูกควรมีอนุภาคสม่ำเสมอ ราคาถูก ปราศจากพิษ และศัตรูพืชและเป็นวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่นนั้น ในญี่ปุ่นส่วนใหญ่จะใช้แกลบเป็นวัสดุปลูก แต่แกลบจะมีรุกรานมากจึงไม่ดูดซับน้ำ ควรเก็บไว้ระยะหนึ่ง หรือผสมกับวัสดุอื่นที่กักเก็บน้ำได้ เช่น ขุยมะพร้าว ความสามารถในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูก เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะเกี่ยวข้องกับสัดส่วนของอากาศและน้ำ ในช่องว่างที่เหมาะสมวัสดุปลูกที่เป็นของแข็ง สามารถจำแนกตามที่มาและแหล่งกำเนิดของวัสดุได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 6 วัสดุปลูกในระบบไร้ดิน

1. วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร เช่น

- วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ทราย ก้อนกรวด หินภูเขาไฟ หินซีลท์ ฯลฯ
- วัสดุที่ผ่านกระบวนการโดยใช้ความร้อน ทำให้วัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม เช่น ดินเผา เม็ดดินเผา ที่ได้จากการเผาเม็ดดินเหนียวที่อุณหภูมิสูง 1,100 องศาเซลเซียส ใบหิน ที่ได้จากการหลอมหินภูเขาไฟที่ทำให้เป็นเส้นใยแล้วผสมด้วยสารเลซิน เฟอร์ไรท์ ที่ได้จากทรายที่มีต้นกำเนิดจากภูเขาที่อุณหภูมิสูง 1,200 องศาเซลเซียส เวอร์มิคิวไลท์ (vermiculite) ที่ได้จากการเผาแร่ไมก้าที่อุณหภูมิสูง 800 องศาเซลเซียส เป็นต้น
- วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เศษจากการทำอิฐมอญ เศษดินเผา จากโรงงานเครื่องปั้นดินเผา

2. วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร เช่น วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฟางข้าว ขุยมะพร้าว แกลบและขี้เถ้า เปลือกถั่ว ฟืน หรือวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย กากตะกอนจากโรงงานน้ำตาล วัสดุเหลือใช้จากโรงงานกระดาษ

3. วัสดุสังเคราะห์ เช่น เม็ดโฟม แผ่นฟองน้ำ และเส้นใยพลาสติกลักษณะของวัสดุปลูกที่ดี ภาพรวมในการเลือกใช้วัสดุปลูกให้คำนึงถึง คือ ต้องสะอาด และทำความสะอาดง่าย มีความแข็งแรง มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี เช่น ไม่ทรุดตัวง่าย ถ่ายเทน้ำและอากาศได้ดีมีคุณสมบัติที่เหมาะสมทางเคมี เช่น ระดับของความเป็นกรดต่าง ไม่มี

สารทำลายรากพืช เป็นวัสดุที่สามารถเพาะเมล็ดได้ทุกขนาดและทุกประเภท ควรเป็นวัสดุที่มีราคาถูกที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น และไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

2.5 สารละลายธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารที่พืชต้องการในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต มีทั้งหมด 16 ธาตุ ซึ่ง 3 ธาตุ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ได้จากน้ำและอากาศ และอีก 13 ธาตุ ได้จากการดูดกินผ่านทางราก ทั้ง 13 ธาตุแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามปริมาณที่พืชต้องการ คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากและธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณน้อย (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538)

ก. ธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก (macronutrient elements) ไนโตรเจน (N)

a. พืชสามารถดูดกินไนโตรเจนได้ทั้งในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) ซึ่งไนโตรเจนส่วนใหญ่ในสารละลายธาตุอาหารพืชจะอยู่ในรูปไนเตรทไอออนเพราะถ้ามีแอมโมเนียมไอออนมากจะเป็นอันตรายต่อพืชได้ สารเคมีที่ให้ไนเตรทไอออน คือ แคลเซียมไนเตรท และโปแตสเซียมไนเตรท นอกจากนี้ยังอาจได้จากกรดดินประสิว (HNO_3) ที่ใช้ในการปรับความเป็นกรดต่างของสารละลายธาตุอาหารพืช **ฟอสฟอรัส (P)** ในการปลูกพืชไร่ดิน พืชต้องการธาตุฟอสฟอรัสไม่มากเท่ากับไนโตรเจนและโปแตสเซียม ประกอบกับไม่มีปัญหาในเรื่องความไม่เพียงพอของฟอสฟอรัสเหมือนในดิน พืชจึงได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอ รูปของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถดูดกินได้คือ mono-hydrogen phosphate ion (HPO_4^{2-}) ส่วนจะอยู่ในรูปใดมากกว่ากันขึ้นอยู่กับความเป็นกรดต่างของสารละลายในขณะนั้น (Davtyan, G.S. 1980.)

โปแตสเซียม (K) รูปของโปแตสเซียมที่พืชดูดกินได้ คือ potassium ion (K^+) โปแตสเซียมที่มีมากเกินไป จะไปรบกวนการดูดกินแคลเซียมและแมกนีเซียม สารเคมีที่ให้โปแตสเซียม คือ potassium nitrate และ potassium phosphate

แคลเซียม (Ca) รูปของแคลเซียมที่พืชดูดกินได้คือ calcium ion (Ca^{2+}) แหล่ง Ca^{2+} ที่ดีที่สุดคือ calcium nitrate เนื่องจากละลายง่าย ราคาไม่แพงและยังให้ธาตุไนโตรเจนด้วย แคลเซียมที่มีมากในสารละลายธาตุอาหารพืช จะไปรบกวนการดูดกินโปแตสเซียมและแมกนีเซียม ในน้ำตามธรรมชาติจะมีแคลเซียมอยู่ปริมาณหนึ่ง การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจึงควรคิดแคลเซียมในน้ำด้วยจะได้ไม่เกิดปัญหาในการมีแคลเซียมมากเกินไป

แมกนีเซียม (Mg) รูปของแมกนีเซียมที่พืชดูดกินได้คือ magnesium ion (Mg^{2+}) สารเคมีที่ให้แมกนีเซียมคือ magnesium sulfate (MgSO_4) ในน้ำธรรมชาติจะมีแมกนีเซียมอยู่ด้วย ฉะนั้นในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจึงควรคำนึงถึงด้วย แมกนีเซียมที่มีมากเกินไปในสารละลายจะไปรบกวนการดูดกินธาตุโปแตสเซียมและแคลเซียม

กำมะถัน (S) รูปของกำมะถันที่พืชสามารถดูดกินได้ คือ sulfate ion (SO_4^{2-}) พบว่าไม่ค่อยมีปัญหาการขาดกำมะถันในระบบการปลูกพืชไร่ดิน เพราะพืชต้องการกำมะถันในปริมาณน้อย และจะได้รับจากสารเคมีพวกเกลือซัลเฟตของ K, Mg, Fe, Cu, Mn และ Zn เป็นต้น

ข. **ธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ (micronutrient elements) โบรอน (B)** การแสดงอาการขาดธาตุโบรอนของพืชพบเห็นได้ยากเนื่องจากพืชต้องการในปริมาณน้อย ซึ่งในน้ำธรรมชาติก็มีโบรอนอยู่ด้วย สารเคมีที่ให้ borate ion (BO_3^{3-}) ซึ่งพืชสามารถดูดกินได้คือ boric acid (H_3BO_3)

ค. **สังกะสี (Zn)** รูปที่พืชสามารถดูดกินได้คือ zinc ion (Zn^{2+}) ซึ่งได้จาก zinc sulfate (ZnSO_4) หรือ zinc chloride (ZnCl_2)

ทองแดง (Cu) สารเคมีที่ให้ Copper ion (Cu^{2+}) คือ copper sulfate (CuSO_4) หรือ copper chloride (CuCl_2)

เหล็ก (Fe) พืชดูดกินในรูป Fe^{2+} หรือ Fe^{3+} สารเคมีที่ให้ธาตุเหล็กที่มีราคาถูกที่สุดคือ ferrous sulfate (FeSO_4) ซึ่งละลายน้ำได้ง่าย แต่ก็จะตกเป็นตะกอนได้เร็ว จึงต้องควบคุมสภาพความเป็นกรดต่างของสารละลายเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ โดยการใช้เหล็กในรูปคีเลต (Fe-chelate) ซึ่งเป็นสารเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเหล็กและสารคีเลต ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ เหล็กคีเลต เป็นสารประกอบเชิงซ้อน สามารถคงตัวอยู่ในรูปสารละลายธาตุอาหารพืชและพืชดูดกินได้ เหล็กคีเลตที่นิยมใช้กันอยู่ในรูปของ EDTA หรือ EDDHA

แมงกานีส (Mn) มีลักษณะเหมือนกับเหล็กคือ ความเป็นประโยชน์ของแมงกานีส จะถูกควบคุมโดยความเป็นกรดต่าง ถ้าสารละลายธาตุอาหารพืชมีลักษณะต่าง ความเป็นประโยชน์ของแมงกานีสจะลดลง manganese ion (Mn^{2+}) ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถดูดกินได้ จะได้จากสารเคมี manganese sulfate (MnSO_4) หรือ manganese chloride (MnCl_2)

โมลิบดีนัม (Mo) รูปที่พืชสามารถดูดกินได้คือ molybdate ion (MoO_4^{2-}) ซึ่งได้จากสาร sodium molybdate หรือ ammonium molybdate

คลอรีน (Cl) ในน้ำจะมีคลอรีนในรูปของคลอไรด์ (chloride ion (Cl^-)) ซึ่งเป็นรูปที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์เกือบนอนอยู่ด้วย จากการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจะได้คลอไรด์จากสารเคมี potassium chloride รวมทั้งจากจุลธาตุบางธาตุที่อยู่ในรูปของสารประกอบคลอไรด์ ถ้าสารละลายมี Cl^- มากเกินไป จะไปมีผลยับยั้งการดูดกิน anions ตัวอื่น เช่น nitrate (NO_3^-) และซัลเฟต (SO_4^{2-})

การควบคุมความเป็นกรดต่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหารพืช

การรักษาหรือควบคุมความเป็นกรดต่าง และค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายอาหารนี้เพื่อให้พืชสามารถดูดใช้ปุ๋ยหรือสารอาหารพืชได้ดี และเพื่อให้ปริมาณสารอาหารแก่พืชตามที่ต้องการ

1. การรักษาหรือควบคุม pH

เนื่องจากค่าความเป็นกรดต่างในสารละลายจะเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถของรากที่จะดูดธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืชได้ปกติแล้วควรรักษาค่าความเป็นกรดต่างที่ 5.8-7.0 เพราะเป็นค่าหรือช่วงที่ธาตุอาหารพืชต่างๆสามารถคงรูปในสารละลายที่พืชนำไปใช้ได้ดีค่าความเป็นกรดต่างในสารละลายธาตุอาหารพืชเปลี่ยนแปลงได้หลายสาเหตุ เช่น การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการที่รากพืชดูดธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหาร แล้วพืชปลดปล่อยไฮโดรเจน (H^+) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) จากรากสู่สารละลายธาตุอาหารพืชทำให้ pH เปลี่ยนแปลงไป เช่น

- ประจุไฟฟ้าลบ หรือแอนไอออน (anions) เช่น ไนเตรท (NO_3^-), ซัลเฟต (SO_4^{2-}), ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) แล้วจะปลดปล่อยไฮดรอกไซด์ (OH^-) สู่สารละลายธาตุอาหาร

- ประจุไฟฟ้าบวก หรือแคตไอออน (cations) เช่น แคลเซียม (Ca^{++}), แมกนีเซียม (Mg^{++}), โพแทสเซียม (K^+), แอมโมเนียม (NH_4^+) แล้วจะปลดปล่อยไฮโดรเจน (H^+) สู่สารละลายธาตุอาหารปกติแล้วธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารพืช มีประจุไฟฟ้าบวกหรือแคตไอออนมากกว่าค่าของประจุไฟฟ้าลบหรือแอนไอออนแล้ว ค่าความเป็นกรดต่างจะลดลง ในขณะที่การดูดกินแอนไอออนมากกว่าแคตไอออนจะเพิ่มความเป็นกรดต่างในสารละลายธาตุอาหารพืชสำหรับการให้ธาตุอาหารบางชนิดที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก คือ ธาตุไนโตรเจน (Nitrogen, N)ซึ่งมีการให้ทั้ง 2 รูปแบบ คือ ในรูปแบบของประจุลบในสารอาหารในรูปของไนเตรส (NO_3^-) และในรูปแบบของประจุบวกในสารอาหารในรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+) นั้น ต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนของสารนี้ให้ดี เพราะจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดต่างและการใช้ประโยชน์ของพืชมากการปรับเพื่อลดหรือเพิ่มค่าความเป็นกรดต่างนั้น สามารถทำได้โดยเติมสารลงไปในสารละลายธาตุอาหารพืช (Jensen, M. H. and W. L. Collins. 1985)

1.1 การปรับเพื่อลดค่าความเป็นกรดต่าง โดยการเติมสารใดสารหนึ่งต่อไปนี้ ลงไปในสารละลายธาตุอาหารพืช เช่น Sulfuric acid (H_2SO_4) หรือ Nitric acid (HNO_3) หรือ Hydrochloric acid (HCl) หรือ Acetic acid

1.2 การปรับเพื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดต่าง ให้สูงขึ้น ทำโดยการเติมสารใดสารหนึ่งต่อไปนี้ลงไปในสารละลายธาตุอาหารพืช เช่น Potassium hydroxide (KOH) หรือ Sodium hydroxide (NaOH) หรือ Sodium bicarbonate หรือ Bicarbonate of soda ($NaHCO_3$)

2. การควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)



ภาพที่ 7 อุปกรณ์การวัดค่า E.C. meter และ pH meter

เนื่องจากปุ๋ยที่ละลายในน้ำที่ค่าของไอออน (ion) ที่สามารถให้กระแสไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นโมห์ (Mho) แต่ค่าของการนำกระแสไฟฟ้านี้ค่อนข้างน้อยมาก จึงมีการวัดเป็นค่าที่มีหน่วยเป็นมิลลิโมห์/เซนติเมตร (milliMhos/cm) อันเป็นค่าที่ได้จากการวัดการนำกระแสไฟฟ้าจากพื้นที่หนึ่งคิวบิกเซนติเมตรของสารอาหารการวัดค่าการนำไฟฟ้าจะทำให้เราทราบเพียงค่ารวมของการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารพืช(คือน้ำกับปุ๋ยที่เป็นธาตุอาหารพืชทั้งหมดในถังที่ใส่สารอาหารทั้งหมด) เท่านั้น แต่ไม่ทราบค่าของสัดส่วนของธาตุอาหารใดธาตุอาหารหนึ่งที่อยู่ภายในถัง ที่อาจเปลี่ยนไปตามเวลาเนื่องจากพืชนำไปใช้หรือตกตะกอนดังนั้นหลังจากมีการปรับค่าการนำไฟฟ้าไปได้ระยะหนึ่งแล้วจึงควรเปลี่ยนสารละลายในถังใหม่เป็นระยะๆ โดยเฉพาะประเทศที่มีอากาศร้อนอย่างประเทศไทย ควรเปลี่ยนสารละลายใหม่เป็นระยะๆ เช่น ทุก 3 สัปดาห์ ซึ่งการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารพืชแต่ละครั้งก็หมายถึงการเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นปกติแล้วควรรักษาค่าการนำไฟฟ้าของสารอาหารระหว่าง 2.0-4.0 มิลลิโมห์/เซนติเมตร (milliMhos/cm)

การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย แม้ว่าปกติแล้วควรรักษาค่าการนำไฟฟ้าของ

สารอาหารระหว่าง 2.0-4.0 มิลลิโมห์/เซนติเมตร (milliMhos/cm=mMhos/cm) 1 (mMho/cm) = 1 Millisiemen/cm (mS/cm) 1 Millisiemen/cm (mS/cm) = 650 ppm ของความเข้มข้นของสารละลาย (salt) ปกติแล้วความเข้มข้นของสารอาหารควรอยู่ในช่วง 1,000-1,500 ppm เพื่อให้แรงดันออสโมติกของกระบวนการดูดซึมธาตุอาหารของรากพืชได้สะดวกค่าการนำไฟฟ้าจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ระยะการเติบโต และความเข้มของแสง (พิมล เกษสม. 2534.)

เอกสารอ้างอิง

- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2538. ประวัติความเป็นมาของการปลูกพืชในระบบไม่ใช้ดิน, (Soiless Culture). ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.น. 1-1 - 1-12.
- มนตรี คำชู. 2531. การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน. วิศวกรรมสาร มก. 2 (4) : 85-100.
- Davtyan , G.S. 1980. Classification of hydroponic method of plant production, pp. 45-52. In ISOSCPceedings. Fifth International Congress on Soiless Culture.
- ชัยฤกษ์ สงวนทรัพย์ากร. 2529. Soiless Culture (การปลูกพืชในน้ำยา). วารสารพืชสวน 20 (3) : 10-14.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2538. ประวัติความเป็นมาของการปลูกพืชในระบบไม่ใช้ดิน, น. 1-1 - 1-12. ใน การปลูกพืชในระบบไม่ใช้ดิน (Soiless Culture). ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พิมล เกษสมม. 2534. อิทธิพลของสารละลายธาตุอาหารพืชและปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และ

ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในพริกชี้ฟ้า คื่นช่าย และผักกาดหอม ที่ปลูกในวัสดุชนิดต่างๆ.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มนตรี คำชู. 2531. การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน. วิศวกรรมสาร มก. 2 (4) : 85-100.

วิทยา สุริยาภณานนท์. 2523. อาหารและเครื่องปลูกของพืชสวน. เอกสารประกอบการสอน. ภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 188 น.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics). ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 146 น.

Benoit, F. 1992. Practical Guide For Simple Soilless Culture Technique : Ecology Ergonomy Economy. European Vegetable R&D Center, Belgium. 72 p.

Bridwell, R. 1972. Hydroponic Gardening. Woodbridge Press Publishing Co., Santa babara , California. 244 p.

Criley, R.A. and R.T. Watanabe. 1974. Response of chrysanthemum in four soilless media. Hort. Sci 9(4) : 385-387.

Davtyan , G.S. 1980. Classification of hydroponic method of plant production, pp. 45-52. In ISOSC Proceedings. Fifth International Congress on Soilless Culture.

Hurd, R.G. 1978. The root and It's environment in the nutrient Film Technique. Acta Horticulturae. 82 : 87-97.

Jensen, M. H. and W. L. Collins. 1985. Hydroponics vegetable production. Hort. Rev. 7 : 483-559.

Jones, J. B. 1983. A Guide for The Hydroponic & Soilless Culture Grower. Timber Press, Portland, Oregon. 124 p.