# บทที่ 2

# การตรวจเอกสาร

**ผักสลัดกรีนโอ๊ค (Oak Leaf Lettuce)**

เป็นผักที่ใช้ใบรับประทาน หรือผักกินใบ มีชื่อสามัญว่า Green Oak, Oak Leaf, Lettuce และชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* var.crispa L. เป็นพืชในวงศ์ Compositae มีถิ่นกำเนิดในยุโรปแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียม และเอเชียไมเนอร์ (อภิรักษ์, 2539)

ผักกาดหอมกรีนโอ๊คเป็นพืชที่นิยมบริโภคสด หรือนำมาตกแต่งในจานอาหาร แต่ก็สามารถนำมาประกอบอาหารได้ในบางชนิด ผักกาดหอมมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก และมีคุณค่าทางอาหารสูง ประกอบด้วยแร่ธาตุและวิตามินที่มีประโยชน์หลายชนิด จากข้อมูลของ USDA National Nutrient data base ได้รายงานคุณค่าทางอาหารต่างๆของผักสลัด เมื่อเทียบจากส่วนที่กินได้ของต้นสลัด 100 กรัม ประกอบด้วย พลังงาน 15 กิโลแคลลอรี่ คาร์โบไฮเดรต 2.79 กรัม โปรตีน 1.36 กรัม ไขมัน 0.15 กรัม ใยอาหาร 1.3 กรัม โฟเลต 38 ไมโครกรัม ไนอะซิน 0.375 มิลลิกรัม ไรโบฟลาวิน 0.08 มิลลิกรัม ไทมีน 0.07 มิลลิกรัม วิตามินซี 9.2 มิลลิกรัม วิตามินอี 0.29 มิลลิกรัม วิตามินเค 126.3 ไมโครกรัม วิตามินเอ 7,405 IU (International Unit) โซเดียม 28 มิลลิกรัม โปแตสเซียม 194 มิลลิกรัม แคลเซียม 36 มิลลิกรัม คอปเปอร์ 0.029 มิลลิกรัม เหล็ก 0.86 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 13 มิลลิกรัม แมงกานีส 0.25 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 29 มิลลิกรัม สังกะสี 0.18 มิลลิกรัม เบตาแคโรทีน 4,443 ไมโครกรัม ลูทีน-ซีแซนทีน 1,730 ไมโครกรัมนอกจากนี้ยังให้ฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง บรรเทาอาการท้องผูก เหมาะสำหรับผู้ที่ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน

สายพันธุ์ของผักกาดหอมแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ (th.wikipedia.org/wiki/ผักกาดหอม)

1. ผักกาดหอมที่ห่อหัวคล้ายกะหล่ำปลี (head lettuce)
2. ผักกาดหอมชนิดธรรมดาไม่ห่อ (leaf lettuce)
3. ผักกาดหอมที่มีลำต้นยาว (stem lettuce)

ในประเทศไทยนิยมปลูก 2 ประเภท ได้แก่

**1. คริสป์เฮด (Crisp Head) หรือไอซ์เบิร์ก (Iceberg)** คือผักกาดหอมห่อหรือผักกาดแก้ว มีลักษณะใบบางกรอบและขอบใบหยัก ปลูกได้ในระหว่างเดือนตุลาคม - มกราคม แต่ปลูกได้ดีที่สุดในช่วงเดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม ช่วงเดือนมิถุนายน – กันยายน พอปลูกได้บ้างในบริเวณที่สูงทางภาคเหนือบางเขต ต้องการอุณหภูมิในการเจริญเติบโตระหว่าง 15.5 – 21 องศาเซลเซียส พันธุ์คริสป์เฮด เช่น

- เกรต เลค 659 (Great Lake 695 TARII) เป็นพันธุ์หนักปานกลาง ใบสีเขียวเข้มหยัก พันธุ์นี้ไม่ค่อยมีปัญหาใบไหม้ (Sun burn)

- เกรต เลค 366 (Great Lake 366 TAII) เป็นพันธุ์ค่อนข้างเบา หัวห่อกลม มีใบสีเขียว รอบนอกใบหยัก มีความต้านทานโรคใบแห้งทิปเบิร์น (Tip Burn)

- ซัมเมอร์ เลค (Summer Lake) เป็นพันธุ์เบา หัวห่อกลมสีเขียวอ่อน ใบหนัก

**2. ลีฟ (Leaf) หรือลูสลีฟ (Loose Leaf)** คือผักกาดหอมใบหยิก ใบมีลักษณะหยิกเป็นคลื่นสีของใบ มีตั้งแต่สีเขียวอ่อนจนถึงสีแดง แต่เรามักจะพบเห็นใบสีเขียวอ่อนมากกว่า พันธุ์นี้สามารถปลูกได้ตลอดปี และจะปลูกได้ดีที่สุดในช่วงเดือนตุลาคม – เมษายน อุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 21 -26.6 องศา องศาเซลเซียส พันธุ์ลีฟ เช่น

- แกรนด์ แรปปิด (Grand Rapid) มีใบสีเขียวอ่อน ใบม้วนและหยักอัดกันแน่น ต้นใหญ่เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุด

- แบล็ก ซีดเดด ซิมป์สัน (Black Seeded Simpson) เมล็ดสีดำ มีต้นใหญ่ ใบหยักฝอยยู่ยี่อัดกันแน่นมาก

ธรรมชาติของสลัดกรีนโอ๊คเป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 10 – 24 องศาเซลเซียส ในสภาพอุณหภูมิสูง การเจริญเติบโตทางใบจะลดลง และพืชสร้างสารคล้ายน้ำนมหรือยางมาก เส้นใยสูง เหนียว และมีรสขม เหมาะกับดินร่วนซุย มีความอุดมสมบูรณ์หน้าดินลึก อุ้มน้ำได้ดีปานกลาง พื้นที่ปลูกควรโล่ง และได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่ เป็นพืชฤดูเดียว ซึ่งสลัดกรีนโอ๊คมีลักษณะเฉพาะดังนี้

1. ใบ ลักษณะใบบาง ขอบใบหยัก มีทั้งสีเขียวและสีแดง ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ใบจะเจริญจากข้อเป็นกลุ่ม เนื่องจากใบผักกาดหอมมีลักษณะบาง จึงไม่ทนต่อฝน ฤดูฝนควรปลูกใต้โรงเรือน

2. ลำต้น สลัดกรีนโอ๊คมีลำต้นอวบสั้น ช่วงข้อถี่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ราก สลัดกรีนโอ๊คมีระบบรากแก้วที่สามารถเจริญลงไปในดินได้อย่างรวดเร็ว

4. ช่อดอก มีช่อดอกแบบ Panicle สูง 2 - 4 ฟุต ประกอบด้วยดอก 10 - 25 ดอกต่อช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลือง หรือขาวปนเหลือง ดอกจะบานช่วงเช้า และเป็นในระยะสั้น โดยเฉพาะช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ

**โรคและศัตรูพืชที่สำคัญของสลัดกรีนโอ๊ค (**ปิยรัตน์ และคณะ, 2542)

โรคและแมลงศัตรูที่สำคัญของผักสลัดกรีนโอ๊ค ได้แก่

1. โรคโคนเน่ารากเน่า เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora parasitica* Dastur โดยเชื้อราจะเข้าไปทำลายระบบรากฝอย รากแขนง และตามโคนต้น ทำให้พืชไม่สามารถลำเลียงน้ำและสารอาหารไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของพืชได้สังเกตอาการได้จากใบจะมีสีเหลืองซีด โดยเริ่มที่เส้นกลางใบก่อนแล้วลุกลามไปเรื่อยๆ จากโคนใบไปถึงยอด และใบจะม้วนงอ เมื่อโดนแดดจัด ๆ ในตอนกลางวัน หรือใบเหี่ยวคล้ายขาดน้ำ โรครากเน่า โคนเน่า มักเกิดขึ้นในฤดูร้อน

2. โรคใบจุด มีสาเหตุมาจากเชื้อรา 3 ชนิด ได้แก่ เชื้อ *Alternaria spp*., เชื้อ *Septoria spp*. และเชื้อส่วนใหญ่ที่พบได้แก่ เชื้อ *Cercospora spp*. โดยจุดแผลจะมีลักษณะต่างกันไป แล้วแต่ชนิดพืช แต่ที่พบเห็นชัดเจนคือ ตรงกลางแผลจะมีสีเทาอ่อน จนถึงขาว หรือสีน้ำตาลอ่อน-ขาว รอบแผลมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลแดง คล้ายตากบ แผลที่เกิดจากจุด หากมีอาการมาก แผลจะต่อกัน ทำให้เกิดอาการใบไหม้ได้ ถ้าเกิดกับใบอ่อน ทำให้เกิดอาการใบหงิกงอได้ โรคใบจุดสามารถเกิดขึ้นได้ทุกฤดู โดยเฉพาะฤดูที่มีความชื้นในอากาศสูง เช่น ฤดูฝน แต่ในฤดูร้อนก็สามารถเกิดโรคใบจุดได้ โดยส่วนใหญ่มาจากการสเปรย์น้ำในแปลงปลูกมากเกินไป รวมถึงการระบายอากาศในแปลงปลูกไม่ดีทำให้เกิดโรคใบจุดได้

3. หนอนชอนใบ เป็นแมลงที่เข้าทำลายพืชได้มากกว่า 100 ชนิด เช่น พืชตระกูลกะหล่ำ สลัด มะเขือเทศ พืชตระกูลแตง และวัชพืชหลายชนิด

4. หนอนกระทู้ผัก หนอนเริ่มทำลายผักตั้งแต่เริ่มฟักจากไข่ใหม่ ๆ โดยอยู่รวมกันเป็นกลุ่มในระยะแรก ๆ เมื่อโตขึ้นแยกย้ายไปกินยังส่วนอื่น ๆ ของพืช เช่น กัดกินใบ ก้าน ดอก หัว ได้ทุกส่วน ทำความเสียหายให้กับพืชผักมากเนื่องจากเป็นหนอนที่มีขนาดใหญ่ แพร่ระบาดได้รวดเร็วตลอดทั้งปี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (ไฮโดรพอนิกส์)**

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดิน โดยใช้วัสดุปลูกหรือไม่ต้องมีวัสดุปลูกก็ได้ เพื่อให้พืชได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอจากสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งจะทำการควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (ดิเรก, 2547)

การปลูกพืชไร้ดิน (soilless culture) สามารถแบ่งออกได้ 3 ระบบ ดังนี้

1. การปลูกพืชในวัสดุปลูก (substrate culture) วัสดุที่ใช้ในการปลูกพืชไร้ดินมี 2 ชนิด ชนิดแรก ได้แก่ วัสดุที่สลายตัวง่ายมักเป็นวัสดุที่มาจากสารอินทรีย์ เช่น แกลบ ขี้เถ้าแกลบ ขี้เลื่อย และขุยมะพร้าว และอีกชนิดหนึ่ง ได้แก่ วัสดุที่สลายยาก (inert substances) เช่น กรวด ทราย อิฐเผา rock wool, vermiculite และ perlite วัสดุปลูกทั้ง 2 ชนิดเมื่อใช้ปลูกพืชจะเป็นที่ยึดเกาะของรากและพยุงลำต้น ระหว่างปลูกพืชต้องเติมสารละลายธาตุอาหารลงในวัสดุปลูก ต้นพืชก็จะเจริญเติบโตได้

2. การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืช (hydroponics) เช่น NFT (Nutrient Film Technique), DRF (Dynamics Root Floating System), DFT (Deep Flow Technique), Ebb & Flow System) หรือ Flood and Drain เป็นต้น

3. การปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศ หรือการปลูกในอากาศ (aeroponics)

**การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร (Solution Culture หรือ Water Culture)**

**1. Nutrient Film Technique (NFT)**

เป็นวิธีการปลูกพืชโดยให้สารละลายอาหารไหลผ่านระบบรากซึ่งอยู่ในรางแคบเป็นฟิล์มบางๆ โดยมีการหมุนเวียนของสารละลายธาตุอาหารกลับมาใช้อีก ซึ่งในระบบจะไม่มีการใช้วัสดุอื่น ระบบรากซึ่งเจริญเติบโตอยู่ในรางปลูกจะแผ่สานกันเป็นแผ่นหนา เรียกว่า root mat ซึ่งบางส่วนจะสัมผัสอยู่กับสารละลายธาตุอาหารและส่วนบนสัมผัสกับอากาศโดยตรง รากพืชบริเวณที่อยู่เหนือระดับสารละลายขึ้นมาจะได้รับธาตุอาหารด้วยแรง capillary ผ่าน root mat (Cooper, 1979)

**องค์ประกอบของระบบ**

1. รางปลูก (Gullies) ใช้สำหรับปลูกพืชและยึดส่วนของพืชไว้ ตัวรางทำด้วย โพลีธีน, พีวีซี, ไฟเบอร์กลาส, โลหะ หรือคอนกรีต เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำรางปลูกบางชนิดอาจเป็นพิษกับพืช ทำให้พืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชะงักการเจริญเติบโต จึงไม่เหมาะกับการนำมาทำรางปลูก การใช้โลหะทำรางปลูกทำให้เกิดสนิมขึ้น ซึ่งจะทำให้สารละลายธาตุอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบไป ซึ่งอาจเป็นพิษกับพืชได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการอุดตันในท่อต่างๆ

ขนาดของรางปลูกควรมีความกว้างประมาณ 10 – 15 เซนติเมตร หากปลูกพืชแบบแถวเดี่ยว และกว้างประมาณ 25 – 30 เซนติเมตร หากต้องการปลูกแบบแถวคู่ ส่วนความยาวของรางอยู่ระหว่าง 20 – 30 เมตร โดยทั่วไปการติดตั้งรางปลูกจะให้มีความลาดชันประมาณ 1 : 150 ซึ่งจะทำให้การไหลเวียนสารละลายเป็นไปโดยสะดวก

2. ท่อรับสารละลายธาตุอาหารจากรางปลูกสู่ถังรับสารละลาย

3. ถังรับสารที่ใช้แล้ว

4. ปั๊มสำหรับดึงสารละลายขึ้นสู่ถังเก็บ หรือรางปลูก

5. ท่อส่งสารละลาย ซึ่งจะมีสารละลายไหลผ่านไปสู่รางปลูก

6. ถังบรรจุสารละลายเข้มข้น สารละลายกรด (ในกรณีใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ)

7. อุปการณ์ควบคุม pH, EC

8. โต๊ะหรือขาตั้งสำหรับวางปลูก (Mason, 1990)

Noggle and Fritz (1977) และนักสรีรวิทยาพืชหลายท่านแนะนำว่าเทคนิค NFT มีข้อดีที่ไม่ต้องระวังเรื่องการขาดออกซิเจนของรากพืช หากแต่รางไม่ควรยาวเกิน 10 เมตร ถ้ารางยาวกว่านี้จะเกิดความแตกต่างของปริมาณออกซิเจน (2 gradience) ระหว่างหัวและท้ายรางโดยความกว้างของรางขึ้นอยู่กับชนิดพืชและถังรับควรจะเพียงพอรับสารละลาย

**2. Dynamics Root Floating System (DRF)** (โสระยา, 2548)

เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นโดย Prof. Dr. Te-Chen Kao ชาวไต้หวัน ในปี ค.ศ. 1988 ระบบนี้ได้รับความนิยม มีเกษตรกรนำไปใช้ในการผลิตพืชทั้งในไต้หวัน จีน สิงคโปร์ ไทย ฟิจิ บรูไน ฮ่องกง และมาเลเซีย

ข้อดีของระบบนี้คือ

1. โครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน

2. การจัดการระบบน้ำทำได้สะดวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ใช้แรงงานน้อย

4. ใช้พลังงานน้อย

5. การลงทุนไม่สูงมาก เป็นต้น

**โครงสร้างของระบบประกอบด้วย**

1. โรงเรือนขนาดเล็ก ทำด้วยเหล็กกาวาไนซ์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว และ 0.75 นิ้ว ความกว้างของโรงเรือนมาตรฐานอยู่ที่ 2.13 เมตร สูง 2.1 เมตร ส่วนความยาวขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ พลาสติกมุงหลังคาใช้พลาสติกใสหนาประมาณ 0.15 – 0.20 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันฝน ด้านข้างมุงด้วยตาข่ายขนาด 24 mesh (ช่องต่อตารางเซนติเมตร) เพื่อป้องกันแมลง หากอุณหภูมิสูงเกิน 30 องศาเซลเซียส อาจมุงด้วยตาข่ายพรางแสงขนาด 25 - 40% ด้านบนเหนือหลังคาประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อลดอุณหภูมิ

2. พื้นแปลงเป็นแผ่นโฟมที่มีร่องเป็นคลื่น ลึกประมาณ 4 เซนติเมตร รากของพืชส่วนหนึ่งแช่อยู่ในสารละลายที่ขังอยู่ในร่องนี้ ขนาดแผ่นโฟมกว้าง 2.01 เมตร ยาว 90.1 เมตร และขอบแปลงสูงประมาณ 15 เซนติเมตร

3. โฟมสำหรับปลูกพืช ด้านบนเรียบ ส่วนด้านล่างเว้าเป็นช่อง เพื่อให้เป็นช่องอากาศ ทำให้พืชมีการพัฒนารากด้านบนที่ติดกับแผ่นโฟมสัมผัสอากาศ เรียกว่า aero – roots ส่วนรากด้านล่างที่สัมผัสกับสารละลายเรียกว่า nutria – roots

4. ช่องปรับระดับสารละลายธาตุอาหาร ทำเป็นชั้นๆ เพื่อปรับสารละลายให้สูง ต่ำตามระยะการเจริญเติบโตของพืช เพื่อเพิ่มช่องอากาศให้รากพืชเมื่อต้นเจริญเติบโตขึ้นมาด้วย

5. ระบบการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร สารละลายหมุนเวียนกลับมาใช้โดยอาศัยแรงจากปั๊ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**3. Deep Flow Technique (DFT)** (สุภกิจ, 2552)

ระบบการปลูกแบบนี้จะปลูกพืชบนแผ่นโฟมที่วางบนถาดปลูก หรือรางปลูก โดยให้สารละลายธาตุอาหารระดับลึกกว่าการปลูกแบบ NFT

การให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชโดยใช้รางปลูกเป็นภาชนะ อาจทำได้โดยปล่อยให้สารละลายหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง หรือให้เป็นระยะ ๆ แบบท่วมขังรางประมาณ 3 – 5 เซนติเมตร ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาเมื่อไฟฟ้าขัดข้อง เพราะรากยังใช้น้ำหรือธาตุอาหารจากน้ำที่ท่วมขังได้

ถ้าเป็นถาดปลูกจะมีลักษณะคล้ายอ่าง สามารถใส่สารละลายได้ลึกประมาณ 15 – 20 เซนติเมตร แล้วให้สารละลายพืชแบบหมุนเวียน ซึ่งเหมือนการปลูกพืชแบบลอยน้ำ (Floating System)

**4. Ebb & Flow System** (Muckle, 1995) **หรือ Flood and Drain** (ดิเรก, 2547)

เป็นระบบการให้สารละลายธาตุอาหารที่ใช้กันมานาน องค์ประกอบของระบบประกอบด้วย ภาชนะปลูกที่บรรจุวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดิน เช่น กรวด ทราย เวอร์มิคูไลท์ เป็นต้น วางอยู่บนแปลงปลูกหรือถาด ซึ่งใช้บรรจุสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งต่ออยู่กับระบบควบคุมการไหลเวียนของสารละลาย เช่น ปั๊ม ท่อน้ำ นาฬิกาตั้งเวลา (timer) เป็นต้น

โดยมีหลักการคือ การปล่อยให้สารละลายธาตุอาหาร ผ่านเข้าไปยังแปลงปลูก หรือถาดวางภาชนะปลูก โดยถาดหรือแปลงปลูกต้องมีความลึกพอที่จะขังสารละลายไว้ได้ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งวัสดุปลูกสามารถดูดซับสารละลายนั้นไว้ได้ระยะหนึ่ง จากนั้นปล่อยให้สารละลายไหลออก ซึ่งสารละลายที่ไหลออกมาจะถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้อีก โดยอาศัยปั๊มดูดสารละลายขึ้นไปเก็บไว้ยังถังเก็บ ระยะเวลาการปล่อยสารละลายท่วมภาชนะปลูกนั้น ขึ้นอยู่กับสภาพบรรยากาศ และระยะการเจริญเติบโตของพืช (Jones, 1997)

**5. Aeroponics** (อานัฐ, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นระบบปลูกที่รากพืชไม่ได้สัมผัสกับสารละลายโดยตรง แต่จะลอยอยู่ในอากาศ และได้รับธาตุอาหารพืชโดยการพ่นสารละลายในรูปละอองน้ำเป็นระยะ ๆ อย่างต่อเนื่อง รากพืชจะมีความชื้นอยู่ตลอดเวลา โดยให้รากคงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 95 – 100% ในระบบปิด ระบบนี้จะส่งผลให้ได้ผลผลิตที่สูง และใช้เวลาในการผลิตน้อย

รูปแบบการปลูกพืชในระบบแอโรพอนิกส์ในปัจจุบันประกอบด้วย

1. แอโรพอนิกส์แบบเอเฟรม (A – Frames)

เป็นการปลูกพืชในระบบปลูกที่สร้างเป็นรูปสามเหลี่ยม มีความลาดเอียงลงมาทางด้านข้าง รากพืชห้อยลง ลักษณะดังกล่าวจะทำให้การใช้พื้นที่ปลูกน้อยลง สามารถปลูกต้นพืชได้มาก และใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งรูปแบบนี้นิยมใช้กันมากในต่างประเทศ

2. แอโรพอนิกส์แบบกล่อง

เป็นการปลูกพืชในระบบที่สร้างเป็นแบบกล่องสี่เหลี่ยม และต่อท่อฉีดพ่นสารละลายไว้ด้านล่างกล่อง และเป็นระบบกล่องปลูกขนาดเล็กที่บรรจุสารละลายธาตุอาหารพืช และติดตั้งปั๊มไว้ในกล่องโดยตรง และทำการปลูกพืชบนฝาของกล่อง รากพืชห้อยลงอยู่ภายในกล่อง ปั๊มดูดสารละลายและพ่นใส่รากพืชเป็นระยะๆ

ข้อดีของระบบแอโรพอนิกส์

1. ประหยัดน้ำมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ

2. พืชเจริญเติบโตได้เร็ว เก็บเกี่ยวได้เร็ว และให้ผลผลิตสูงกว่าระบบอื่นๆ

3. สามารถปลูกพืชหัวที่สะอาดได้ผลดี

ข้อเสียของระบบแอโรพอนิกส์

1. จำเป็นต้องใช้น้ำที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากตะกอนเจือปนอาจทำให้หัวฉีดอุดตัน จึงต้องลงทุนกับระบบน้ำสูงมาก

2. ระบบสิ้นเปลืองพลังงานมาก

3. มีข้อจำกัดในการปลูกบริเวณที่มีอากาศร้อน

4. ต้องมีไฟฟ้าสำรอง ในกรณีที่ไฟฟ้าดับจะก่อให้เกิดความเสียหายมาก

5. ต้องใช้เทคนิคสูง และผู้เชี่ยวชาญระบบที่มีความพร้อมมากกว่าระบบอื่น

**การปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดิน (Substrate culture)** (อานัฐ, 2549)

เป็นวิธีการปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดิน เช่น สารอินทรีย์ ได้แก่ มะพร้าวสับ แกลบ ฟางข้าว เปลือกถั่ว ชานอ้อย ฯลฯ และวัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น ทราย กรวด ดินเผา เพอร์ไลท์ เวอร์มิคูไลท์ ร็อควูล เป็นต้น การปลูกพืชระบบนี้นิยมกันมากในเขตที่มีปริมาณน้ำน้อย และใช้ปลูกพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวยาว สำหรับประเทศไทยนิยมใช้กาบมะพร้าวสับ ในการปลูกพริกหวาน มะเขือเทศ และแตงเมลอน เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและไม่แพง อุ้มน้ำได้ดี โปร่งเบา แต่มักมีปัญหาในเรื่องความเค็มสูง จึงควรนำมาแช่น้ำก่อนจึงนำไปเป็นวัสดุปลูกได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปแบบการปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดิน

1. ปลูกในถุง

ใช้ถุงพลาสติกที่ป้องกันรังสียูวีได้ โดยเฉพาะถุงพลาสติกที่มีสีขาวด้านนอกสามารถสะท้อนรังสีได้ดี เป็นการลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ ในการปลูกควรวางถุงพลาสติกบนพื้นที่ปูพลาสติกคลุมดินไว้ เพื่อป้องกันการติดเชื้อโรคจากดิน

2. การปลูกในกระสอบ

เป็นการปลูกพืชบนกระสอบที่ใส่วัสดุปลูกไว้ภายใน โดยทั่วไปนิยมใช้กระสอบพลาสติกที่มีความจุ 50 กิโลกรัม โดยเจาะรูปลูกกระสอบละ 6 ต้น วิธีนี้มีปัญหาคือ ถ้ามีแสงแดดส่องกระสอบโดยตรงกระสอบจะแตกได้ง่าย

3. ปลูกในราง

เป็นการปลูกในรางยาวที่ใส่วัสดุปลูกไว้ภายในราง โดยทั่วไปนิยมใช้พลาสติกแข็งสีดำหนา 2 มิลลิเมตร ปูพื้นและกั้นด้านข้างให้เป็นขอบขึ้นมา ให้มีความสูงจากพื้น 20 – 25 เซนติเมตร ยึดขอบด้านข้างกับเสาเหล็กที่ฝังอยู่กับดิน ระยะห่างของเสาประมาณ 2 เมตร ใส่วัสดุปลูกลงไปในช่องปลูกหนา 15 – 20 เซนติเมตร

สำหรับรูปแบบการให้สารละลายกับวัสดุปลูก คือ การให้น้ำในระบบหยด โดยจะติดตั้งท่อพลาสติกหลัก (PVC) และใช้ท่อไมโครที่มีความยืดหยุ่น และมีรูระบายน้ำขนาดเล็กตรงปลายท่อต่อไปยังต้นพืชแต่ละต้น ระบบนี้ต้องคอยระวังหัวปล่อยสารละลายอุดตันและแรงดันน้ำของหัวปล่อยน้ำแต่ละหัวไม่เท่ากัน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ตัวปรับแรงดัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อดีของวัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร

1) วัสดุมีช่องว่างมาก และมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่า

2) ในปุ๋ยหมักชีวภาพมีจุลินทรีย์บางชนิด ที่สามารถช่วยลดโรคทางรากบางชนิดได้

3) ราคาถูก หาง่าย

ข้อเสียของวัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร

1) มีจุลินทรีย์ไปปนเปื้อนในวัสดุปลูกเมื่อปลูกไปนานๆ

2) อัตราการยุบตัวของวัสดุปลูกสูง

3) ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ข้อดีของวัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร

1) ไม่มีปัญหาในเรื่องการปนเปื้อนจุลินทรีย์ก่อโรค

2) มีความทนสูง นำไปฆ่าเชื้อแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

ข้อเสียของวัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร

1) มีช่องว่างน้อย ไม่สามารถดูดซับน้ำได้ หรือดูดซับได้น้อย

2) มีน้ำหนักมาก

3) ราคาแพง

ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกในสารละลายธาตุอาหาร คือ การที่รากพืชต้องการออกซิเจนจากอากาศและธาตุอาหารพืชจากสารละลายที่เตรียมไว้ นอกจากนี้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของระบบรากก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง โดยในพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ หากอุณหภูมิบริเวณรากต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส พืชจะหยุดเจริญ ในขณะที่ผักกาดหอม ยังคงเจริญต่อไปได้แม้ว่าอุณหภูมิรากต่ำถึง 1 - 2 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามในประเทศไทย ปัญหาที่พบกลับเป็นอุณหภูมิรากสูงเกินไป ทั้งนี้ เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีค่อนข้างสูง (โสระยา, 2548)

นอกจากปัจจัยดังกล่าวแล้ว ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งวัดเป็นค่าความนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical Conductivity, EC) และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ในสารละลาย ก็มีความสำคัญต่อความสำเร็จในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

**ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ธาตุอาหารพืชที่อยู่ในรูปองค์ประกอบทางเคมี เมื่อนำมาละลายในน้ำจะแตกตัวเป็นอิออนของธาตุ ค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ (Rhoades, 1982) เกลือที่ละลายน้ำได้เมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวให้ไอออนบวก และไอออนลบซึ่งนำไฟฟ้าได้ ค่าการนำไฟฟ้าจะผันแปรตามชนิดของไอออนบวก และไอออนลบ หรือปริมาณเกลือในสารละลาย และอุณหภูมิของสารละลาย โดยสามารถวัดเป็นค่าความนำกระแสไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) มีหน่วยเป็นโมห์ (Mho) แต่ค่าของการนำไฟฟ้านี้ค่อนข้างน้อยมากจึงมีการวัดเป็นหน่วยมิลลิโมห์ หรือนิยมอ่านค่าเป็นมิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) อันเป็นค่าที่ได้จากการวัดการนำกระแสไฟฟ้าจากพื้นที่หนึ่ง

คิวบิกเซนติเมตรของสารละลายธาตุอาหาร ค่า EC เป็นค่ารวมของการนำไฟฟ้าของน้ำกับธาตุอาหารทั้งหมด แต่ไม่สามารถวัดค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละธาตุได้ ซึ่งความเข้มข้นของธาตุอาหารเหล่านี้เปลี่ยนไปตามเวลา เนื่องจากพืชนำไปใช้หรือเกิดการตกตะกอน ดังนั้นในการปลูกพืชจึงควรเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหาร เมื่อค่า EC สูงหรือต่ำกว่ามาตรฐานที่ต้องการใช้มากอย่างผิดปกติ (ดิเรก, 2547)

จากรายงานการศึกษาของกองเกษตรเคมี (2531) พบว่า การเตรียมต้นกล้าพืชสำหรับการปลูกพืชในวัสดุปลูก การให้สารละลายธาตุอาหารแก่ต้นกล้าพืชควรอยู่ในช่วงค่าการนำไฟฟ้า (EC) 1.0 – 1.2 mS/cm ข้อควรระวังคือจะต้องให้สารละลายธาตุอาหารเจือจางประมาณ ¼ - ½ ของระยะต้นพืชเจริญเติบโตเต็มที่ เนื่องจากต้นกล้าพืชยังไม่แข็งแรง ถ้าให้ความเข้มข้นมากเกินไปจะเกิดอาการเหี่ยวเฉา

Morgan (1998) รายงานว่า การปลูกผักกาดหอม ถ้าใช้ระดับ EC ที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดอาการใบไหม้ (Tip burn) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผักกาดหอม นอกจากนี้ เมื่อมีการใช้ระดับ EC สูงจะทำให้โซเดียม (Na) สูงขึ้น ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ของธาตุอาหารของพืชลดลง ซึ่งโดยทั่วไประดับความเป็นพิษของโซเดียมต่อพืชอยู่ที่ประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

**ความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลาย** (ถวัลย์, 2534)

ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายที่ใช้ในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งค่าความเป็นกรดด่างของวัสดุปลูกไม่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชปลูก แต่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช และควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในวัสดุปลูก ทั้งนี้เพราะสภาพ pH ที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อ availability ของธาตุอาหารที่พืชจะนำไปใช้ หากสารละลายมีสภาพเป็นด่าง (มี pH มากกว่า 7) จะทำให้เกิดการตกตะกอนของธาตุต่างๆ หลายชนิด เช่น เหล็ก แมงกานีส ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม มีผลให้ต้นพืชไม่สามารถนำสารอาหารเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้ และหากปล่อยทิ้งไว้ให้ต้นพืชขาดแคลนธาตุอาหารยาวนานต่อไป ผลที่สุดคือ ต้นพืชอาจตายได้ พืชส่วนมากมีความต้องการ pH เป็นกรดอ่อน หรือค่อนไปในด้านเป็นกรดเล็กน้อย คือ อยู่ระหว่าง 5.0 – 6.5 ในสภาพเป็นกรดจะไม่ทำให้ธาตุอาหารต่างๆ เกิดการตกตะกอน โดยธาตุเหล่านี้จะอยู่ในรูปของอิออนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช (สมภพ, 2537)**

การเจริญเติบโตของพืชผักได้รับอิทธิพลจากปัจจัยที่สำคัญต่างๆ หลายชนิด ได้แก่ สภาพแวดล้อมในแหล่งปลูก ตลอดจนปัญหาเกี่ยวกับโรคและแมลง โดยทั่วไปปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชผักมีดังนี้

1. แสง เป็นปัจจัยที่สำคัญอันหนึ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชผักเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการสังเคราะห์อาหารจากแร่ธาตุและน้ำที่ดูดขึ้นมาจากดิน ให้เป็นอาหารที่พืชผักนำไปใช้ในการเสริมสร้างส่วนต่างๆ นอกจากนี้แสงยังมีอิทธิพลต่อการงอกของเมล็ด การออกดอกและเกี่ยวข้องกับขบวนการต่างๆ ภายในพืชซึ่งขบวนการต่างๆ เหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับความเข้มของแสง (light intensity) ช่วงแสง (light duration) และคุณภาพของแสง (light quality)

2. อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชผักเริ่มต้นตั้งแต่การงอกของเมล็ด การสังเคราะห์แสง การหายใจ จนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือออกดอก ติดเมล็ด นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อขบวนการดูดธาตุอาหารและน้ำด้วย อัตราสูงสุดของการสังเคราะห์แสงจะผันแปรไปตามระดับอุณหภูมิและความเข้มของแสง

3. น้ำ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเจริญเติบโตของพืชผัก ในการปลูกพืชผักจำเป็นต้องมีความชื้นพอเพียงอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้เพราะน้ำเป็นตัวทำละลายธาตุอาหาร มีบทบาทสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาทางชีววิทยา รักษาอุณหภูมิของต้นพืชให้คงที่ ลำเลียงอาหารและธาตุอาหารต่างๆ ในพืช พืชผักหลายชนิดมีน้ำประกอบอยู่ไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เช่น ในผักกาดหอมมีน้ำประกอบอยู่ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ น้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชผักมาก ถ้าขาดน้ำติดต่อกันเป็นเวลานานพืชจะชะงักการเจริญเติบโต

4. ธาตุอาหาร เป็นปัจจัยที่สำคัญที่พืชผักจะขาดเสียมิได้ การปลูกพืชผักจำเป็นต้องมีธาตุอาหารในสัดส่วนที่พอเหมาะกับความต้องการของพืชด้วย ถ้าขาดธาตุพืชผักจะไม่สามารถเจริญเติบโตครบวงชีพได้ ธาตุอาหารเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ในการเจริญเติบโตของพืช พืชนำธาตุอาหารมาใช้สร้างอาหาร เส้นใย น้ำย่อย ฮอร์โมน และวิตามินที่สำคัญทุกชนิด

5. สิ่งมีชีวิต ได้แก่ สาหร่าย โรค และแมลง จะทำความเสียหายให้กับการปลูกผักอย่างมาก ซึ่งสาหร่ายจะแย่งน้ำ และแย่งอาหารจากพืช ส่วนโรคและแมลงทำให้คุณภาพและผลผลิตของผักที่ปลูกลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารในพืช (ยงยุทธ, 2543)**

มหธาตุหรือธาตุอาหารหลัก (macronutrient) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตประมาณ 1000 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืช 1 กรัม มี 9 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นธาตุที่มีอยู่มากอย่างเพียงพอตามธรรมชาติ โดยพืชได้รับจากน้ำและอากาศ ส่วนธาตุที่เหลือพืชได้รับจากดินหรือการให้ธาตุอาหารเหล่านี้โดยตรงในรูปของปุ๋ย นพดล (2538) ได้รายงานว่าพืชต้องการธาตุไนโตรเจนอยู่ในช่วง 150-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร, ฟอสฟอรัส 50-100 มิลลิกรัมต่อลิตร, โพแทสเซียม 100-400 มิลลิกรัมต่อลิตร, แคลเซียม 300-500 มิลลิกรัม, แมกนีเซียม 50-100 มิลลิกรัมต่อลิตร และกำมะถัน 200-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

**ไนโตรเจน (Nitrogen)**

รากพืชดูดไนโตรเจนจากดินมาใช้ในรูปของเกลือไนเตรท ($NO_3^-$) และเกลือแอมโมเนียม ($NH_4^+$) แต่ความสามารถในการตรึงไนโตรเจนทั้ง 2 รูปแบบไปใช้ได้ต่างกัน เนื่องจากข้อจำกัดทางชีวเคมีภายในต้นพืช (Haynas, 1986) นอกจากนี้อาจพบการเปลี่ยนแปลงด้านสัณฐานวิทยาของพืชด้วย คือ หากพืชได้รับไนโตรเจนมากตั้งแต่ระยะแรกนั้น ส่วนเหนือดินจะเจริญเร็วแต่รากจะเจริญช้า ดังนั้นเวลาต่อมารากย่อมดูดน้ำและธาตุอาหารได้น้อยลง เช่น ใบข้าวยาวและกว้างมากขึ้น ในขณะที่ความหนาของใบลดลงเมื่อได้รับไนโตรเจนในปริมาณมาก ใบจึงอ่อนและโค้งเป็นเหตุให้ใบบนบดบังแสงใบล่าง และต้นมักยืดยาวมากจึงไม่แข็งแรงและล้มง่าย ผลผลิตจึงลดลง (Yoshida *et al*., 1969)

ในพืชบางชนิดมีจุลินทรีย์ช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศ เปลี่ยนมาเป็นรูปเกลือไนเตรทที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น ในรากพืชตระกูลถั่วมีไรโซเบียมช่วยตรึงไนโตรเจนในอากาศให้พืชนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ พืชอาจได้รับไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ เช่น ยูเรีย เป็นต้น (สมบุญ, 2538)

ไนโตรเจนที่อยู่ในใบประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์จะอยู่ในคลอโรพลาสต์ (Stocking and Ongum, 1962) เป็นองค์ประกอบของโปรตีนซึ่งมีหน้าที่สำคัญมากในเซลล์ เป็นธาตุที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชเพราะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน นิวคลีโอไทด์ เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของไซโตพลาสซึม เนื้อเยื่อ และเอนไซม์ นอกจากนี้ยังเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องค์ประกอบของสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosinetriphosphate, ATP) และโคเอนไซม์ (co-enzyme) ซึ่งมีหน้าที่ช่วยเร่งและควบคุมปฏิกิริยาในพืชให้ดำเนินไปเป็นปกติ เป็นต้น สารประกอบเหล่านี้เป็นโครงสร้างชีวโมเลกุล และเป็นตัวดำเนินการในกระบวนการเมตาบอลิซึม ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลิอิก (nucleic acid) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีนและเป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของโปรโตพลาสซึม และคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้พืชมีสีเขียวและมีความสำคัญในการสังเคราะห์แสง เป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนพืช คือ ออกซิน (auxins) และไซโตไคนิน (cytokynins) เป็นองค์ประกอบของสารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมไว้ (reserves) เพื่อทำหน้าที่ป้องกัน (protective compounds) เช่น นิโคติน (nicotine) จากใบยาสูบ และมอร์ฟีน (morphine) จากฝิ่น ซึ่งเป็นอัลคาลอยด์ (alkaloid) ทั้งสิ้น (ยงยุทธ, 2543)

ไนโตรเจนในดินสูญเสียง่ายโดยถูกชะล้าง (leaching) ในรูปเกลือไนเตรทหรือเกิดการระเหย (volatilization) ในรูปเกลือแอมโมเนียม เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก เมื่อพืชขาดไนโตรเจนเกิดอาการคลอโรซิส (chlorosis) คือ มีใบสีเหลืองเนื่องจากการขาดคลอโรฟิลล์ โดยปรากฏในใบแก่ที่อยู่ส่วนล่างก่อน เป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้มาก ใบอ่อนในระยะแรกยังมีธาตุนี้อยู่โดยได้รับจากใบแก่ที่อยู่ด้านล่าง ถ้าไนโตรเจนมีอยู่น้อยมากในใบล่างที่เหลืองหลุดร่วงจากต้นและค่อยๆ ลุกลามไปยังใบอ่อนที่อยู่ด้านบน ทำให้ใบอ่อนมีสีเขียวซีดและเหลือง หลังจากนี้การเจริญส่วนยอดหยุดชะงัก ลำต้นแคระแกร็น ส่วนรากแผ่ขยายมาก และพืชตายในที่สุด (สมบุญ, 2538)

ปริมาณความต้องการไนโตรเจนของพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืช อายุของพืช และฤดูกาล (นพดล, 2538) ประมาณ 80 – 85 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในพืชเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก และอีก 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นของกรดอะมิโนที่ละลายน้ำได้ (soluble amino N) (โสระยา, 2544) ปริมาณไนโตรเจนในพืชแม้แตกต่างกันตามชนิดของพืช อวัยวะและระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 2 – 5 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามพืชที่ได้รับไนโตรเจนมาก แต่ได้รับธาตุอื่น เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมหรือกำมะถันในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตอย่างปรกติ จะทำให้พืชแก่ช้า พืชที่ได้รับไนโตรเจนมากใบพืชจะขยายตัว และเพิ่มพื้นที่ผิวในการสังเคราะห์แสง ใบพืชจะเขียวขึ้นเนื่องจากไนโตรเจนเป็น

องค์ประกอบในคลอโรฟิลล์ พืชดูดไนโตรเจนเข้าทางรากทั้งในรูปไนเตรท ($NO_3^-$) และแอมโมเนียม ($NH_4^+$) (Morgan, 2000)

**ธาตุฟอสฟอรัส (Phosphorus)**

เป็นองค์ประกอบในสารอินทรีย์ที่สำคัญต่อพืชหลายชนิด เช่น นิวคลีโอโปรตีน (nucleoprotein) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ และการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมโดยโครโมโซม, ฟอสฟอไลปิด (phospholipid) เช่น เลกธิน (lecthin) เป็นองค์ประกอบของเซลล์เมมเบรน NAD, NADP ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนในกระบวนการต่างๆ และ ATP, ADP ซึ่งจำเป็นต่อกระบวนการสร้างแป้ง โปรตีน ฟอสฟอรัสช่วยให้พืชออกดอกและแก่เร็ว ทำให้พืชมีความแข็งแรงต้านทานต่อโรคและแมลง

**ธาตุโพแทสเซียม (Potassium)**

เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากแต่พืชจะไม่นำไปใช้สังเคราะห์เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์โมเลกุลต่างๆ ที่เป็นโครงสร้างของพืชเหมือนธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม มักพบในเนื้อเยื่อของพืชในรูปของเกลืออนินทรีย์หรือเกลืออินทรีย์ซึ่งละลายน้ำได้ หน้าที่หลักของโพแทสเซียมคือเป็นตัวกระตุ้น (activator) การทำงานของเอนไซม์ต่างๆ หลายชนิด พบว่ามีเอนไซม์ไม่น้อยกว่า 46 ชนิดจากสัตว์ พืชชั้นสูงและจุลินทรีย์ซึ่งต้องการโพแทสเซียมเป็นตัวกระตุ้น เช่น เอนไซม์ที่จำเป็นในกระบวนการ glycolysis, oxidative phosphorylation, photophosphorylation และการสังเคราะห์ adenine ซึ่งเป็น เอนไซม์ที่สำคัญในพืชชั้นสูง เป็นต้น (Miller and Evans, 1957; Evans and Sorger, 1966) พืชต้องการโพแทสเซียมมากในระยะแรกของการเจริญเติบโต การเพิ่มโพแทสเซียมสามารถลดเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคหลายชนิด (สมภพ, 2530)

**ธาตุแคลเซียม (Calcium)**

จำเป็นในการแบ่งเซลล์ เนื่องจากพบแคลเซียมเป็นองค์ประกอบของแคลเซียมเพคเตทใน middle lamella ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมผนังเซลล์เข้าด้วยกัน พืชจะเจริญเติบโตได้จะต้องมีการแบ่งเซลล์ที่ส่วนยอดหรือปลายราก พบว่าในปลายรากที่กำลังเจริญจะมีปริมาณแคลเซียมมาก (Taiz and Zeiger, 1998) ถ้าขาดแคลเซียม ส่วนยอด และรากของพืชจะไม่เจริญเพราะการแบ่งเซลล์แบบ mitosis ลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้าขาดมากขึ้นพืชจะไม่มีการแบ่งเซลล์ นอกจากนี้แคลเซียมยังทำให้พืชมีลำต้นแข็งแรงและช่วยรักษาโครงสร้างของผนังเซลล์ Gerber (1985) รายงานว่าแหล่งของแคลเซียมในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่ดีที่สุดก็คือ แคลเซียมไนเตรท เพราะมีความสามารถในการละลายได้สูงราคาไม่แพงและยังให้ธาตุไนโตรเจนซึ่งธาตุไนโตรเจนนี้พืชมีความต้องการในปริมาณมาก ดังนั้นการขาดธาตุแคลเซียมจึงมีโอกาสน้อยมากเมื่อใช้สารแคลเซียมไนเตรท Evans and Kiss (1990) รายงานว่าแคลเซียมเป็นตัวต้านฤทธิ์ของสารออกซิน (auxin) โดยมีผลไปยับยั้งการยืดยาวของรากต้นกล้าข้าวโพด ออกซินเป็นฮอร์โมนที่ช่วยเร่งการขยายตัวของเซลล์ให้ยาวออกไปแคลเซียมสามารถต่อต้านฤทธิ์ของออกซิน มีผลทำให้สารนี้ทำงานได้พอเหมาะไม่ทำให้เซลล์พืชผิดปกติ พบว่าพืชที่ขาดแคลเซียมมีการแบ่งเซลล์แบบ meiosis ลดลง

**ธาตุแมกนีเซียม (Magnesium)**

เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการสังเคราะห์แสง และยังเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างแป้ง น้ำตาล ไขมัน และวิตามินต่างๆ ตลอดจนการแบ่งเซลล์ (สมภพ, 2530) Gerber (1985) รายงานถึงแหล่งของแมกนีเซียมในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่นิยมใช้กัน ได้แก่ เกลือยิปซัม หรือแมกนีเซียมซัลเฟต การให้แมกนีเซียมซัล-เฟตมากเกินไป จะไปรบกวนการดูดกินธาตุโพแทสเซียมหรือแคลเซียม และยังมีผลจากการสะสมของซัลเฟตอีกด้วย

**ธาตุกำมะถัน (Sulfer)**

เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนบางชนิดซึ่งจำเป็นต่อการสร้างโปรตีนโดยเฉพาะที่เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของส่วนยอด กระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยชนิดต่างๆ และเกี่ยวพันทางอ้อมกับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (สมภพ, 2530) Roorda van Eysinga *et.al.* (1981) รายงานว่าไม่ค่อยมีปัญหาการขาดกำมะถันในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

**จุลธาตุหรือธาตุอาหรรอง (micronutrient)** คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็เพียงพอต่อการดำรงชีพ มี 7 ธาตุ ได้แก่ โบรอน (B) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แมงกานีส (Mn) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl) ส่วนใหญ่พืชต้องการในปริมาณน้อยกว่า 100 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืชหนัก 1 กรัม

**ธาตุโบรอน (Boron)**

หน้าที่ของโบรอนได้แก่ การสังเคราะห์และสร้างความสมบูรณ์ให้ผนังเซลล์ โดยการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนโบรอน – เพ็กทิน และบูรณภาพของเนื้อเยื่อ โดยการรวมตัวของโบรอนกับไกลโคลิพิดในเนื้อเยื่อ (ยงยุทธ, 2552) นอกจากนี้โบรอนยังมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์และการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต การสร้างกรดอะมิโนและโปรตีน การงอกและการเจริญเติบโตของละอองเกสรตัวผู้ (pollen) และกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ เช่น การแบ่งเซลล์ และการเจริญเติบโตของเซลล์

**ธาตุสังกะสี (Zinc)**

ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของน้ำย่อยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนบางชนิด การสังเคราะห์กรดคาร์บอนิค และเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนในการเจริญเติบโต (สมภพ, 2530) และมีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เพราะมีความจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์สาร IAA (indole acetic acid) ซึ่งเป็นสารเกี่ยวข้องกับการขยายตัวเซลล์

**ธาตุทองแดง (Copper)**

มีหน้าที่ทางอ้อมในกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์ โดยช่วยเพิ่มโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ และการทำลายคลอโรฟิลล์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของพืช นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของน้ำย่อยหลายชนิดที่เกี่ยวกับการเพิ่มออกซิเจน เกี่ยวพันกับการสังเคราะห์แป้งและน้ำตาล (สมภพ, 2530) และมีบทบาทในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และช่วยในการสร้างวิตามิน เอ ในพืช

**ธาตุเหล็ก (Iron)**

เป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซิน (feridoxin) ซึ่งเป็นสารที่สำคัญ ในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็คตรอนของพืช และยังเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ Gerber (1985) รายงานว่า เหล็กเป็นจุล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ธาตุที่พืชมักแสดงอาการขาดในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน ความเป็นประโยชน์ของเหล็กจะลดลงถ้าสารละลายธาตุอาหารมีความเป็นด่างเล็กน้อย และการให้ธาตุแมงกานีสมากเกินไป จะไปรบกวนการดูดเหล็กของพืช

**ธาตุแมงกานีส (Manganese)**

หน้าที่ของแมงกานีสเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชั่น – รีดักชั่น (oxidation-reduction) ในกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็คตรอนและเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Gerber (1985) รายงานว่า ถ้าสารละลายมีสภาพเป็นด่างสูง ความเป็นประโยชน์ของแมงกานีสจะลดลง

**ธาตุโมลิบดินั่ม (Molybdenum)**

เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ 2 ชนิด คือไนโตรจีเนส (nitrogenase) และไนเตรทรีดักเตส (nitrate redustase) และทำหน้าที่เกี่ยวกับน้ำย่อยหลายชนิด ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในพืช และการย้ายฟอสเฟต (สมภพ, 2530)

**ธาตุคลอรีน (Chloride)**

หน้าที่ของคลอรีนในพืชมีหลายด้าน บางบทบาทมีความจำเพาะเจาะจงกับกระบวนการภายในเซลล์ แต่บางบทบาทเกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อสภาพแวดล้อม เช่น เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง การควบคุมออสโมซิส กิจกรรมของเอนไซม์ เป็นต้น และพืชมักจะไม่ขาดเพราะมีอยู่ทั่วไปในสภาพแวดล้อม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ธาตุที่มีประโยชน์อื่นๆ (beneficial elements) คือธาตุที่พืชขาดแล้วก็ไม่มีผลกระทบต่อการเพิ่มการเจริญเติบโต แต่ถ้าพืชได้รับก็จะมีผลในการเพิ่มคุณภาพในส่วนต่างๆของพืช เช่นทำให้พืชมีรสชาติที่ดีขึ้น ต้นแข็งแรงขึ้น เป็นต้น ธาตุเหล่านี้ได้แก่ โซเดียม (Na), ซิลิกอน (Si), นิเกิล (Ni) และ เวเนเดียม (V)

ธาตุโซเดียม (Sodium) มีประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงของพืช

ธาตุซิลิกอน (Silicon) พบว่ามีประโยชน์ครั้งแรกกับข้าว เพราะทำให้ลำต้นแข็งแรงและไม่ล้ม ต่อมาพบว่ามะเขือเทศและพืชตระกูลแตงที่ปลูกในเรือนกระจก และได้รับซิลิกอนจะต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา

ธาตุนิเกิล (Nickel) มีประโยชน์ต่อพืชตระกูลถั่วและธัญพืชเมล็ดเล็กต่าง ๆ เพราะเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ยูรีเอส (urease) ที่จำเป็นต่อการใช้ยูเรียของพืช

ธาตุเวเนเดียม (Vanadium) สามารถใช้ทดแทนโมลิบดินัม ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของไนโตรเจน (ยงยุทธ, 2543)

**การสะสมไนเตรทของพืช**

ผักที่มีการสะสมไนเตรทสูงอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เนื่องจากเซลล์ตับเปลี่ยนไนเตรทไอออนเป็นไนไตรท์ ไปจับกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือด ทำให้สารนี้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ตามปกติ เกิดการขาดออกซิเจน เรียกโรคนี้ว่า Methemoglobinemia นอกจากนั้นไนเตรทยังสามารถเปลี่ยนเป็นไนโตรซา-มีน (Nitrosamines) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) ได้อีกด้วย (พิทยา, 2555) โดยปริมาณสูงสุดของสารไนเตรทที่ยอมให้ตกค้างภายในผักกาดหอมคือ 2,500 - 3,000 มิลลิกรัมไนเตรทต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ในการปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ NFT การงดให้ไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารช่วงสัปดาห์สุดท้ายทำให้การสะสมไนเตรทลดลง (Miguel *et al*., 1998) นอกจากนี้ Santamaria *et al*. (1998) พบว่า ปริมาณไนเตรทสะสมในผักชิโคริ่ (Chicory) และสลัดร็อกเก็ต (Rocket) ลดลง ถ้าลดการใช้ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมก่อนการเก็บเกี่ยวเพียงเล็กน้อย การใช้แอมโมเนียมไนเตรท ($NH_4NO_3$) แอมโมเนียมซัลเฟต ($NH_4SO_4$) และยูเรีย มีอิทธิพลต่อการสะสมไนเตรท (Jarvan, 1995) นอกจากนั้นยังพบว่า การปลูกพืชในโรงเรือนมีโอกาสพบการสะสมของไนเตรทมากกว่าการปลูกพืชกลางแจ้ง

ธาตุอาหารอื่นมีผลต่อการใช้ไนเตรทเช่นกัน จากการทดลองพบว่า การใช้โบรอน โมลิบดินัม ทางใบในปริมาณที่เหมาะสมช่วยลดการสะสมของไนเตรทในพืชได้ และในสภาพที่พืชขาดธาตุอาหารเสริมหรือมีธาตุอาหารเสริมมากเกินไปเป็นสาเหตุให้พืชเกิดการสะสมไนเตรทในเซลล์ได้ โดยในสภาพความเข้มแสงน้อยโดยเฉพาะในฤดูหนาวของประเทศในแถบยุโรป พบว่าผักกินใบมีการสะสมไนเตรทในพืชสูง (Escobor *et al*., 2002) นอกจากนี้ Eleni *et al*. (2010) รายงานว่า การปลูกผัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในฤดูหนาวมักมีแนวโน้มที่จะเกิดการสะสมไนเตรทสูงกว่าฤดูอื่น ๆ การทดลองในผักวอเตอร์เครส (Watercress) ที่ปลูกด้วยระบบ DFT พบว่า การงดให้สารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยว 0, 3, 6 และ 9 วัน มีน้ำหนักสดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนไนเตรทตกค้างมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (มนัชญาและคณะ, 2546) การใช้ยูเรียเป็นแหล่งของไนโตรเจนในระบบไฮโดรโพนิกส์ เป็นทางเลือกหนึ่งที่อาจลดการสะสมของไนเตรทในพืช โดยที่ให้ผลผลิตไม่แตกต่างจากการให้ไนโตรเจนในรูปของไนเตรท (Aminuddin *et al*., 1993)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved