

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 น้ำสกัดชีวภาพ

2.1.1 ความหมายและความสำคัญของน้ำสกัดชีวภาพ

น้ำสกัดชีวภาพ (Bio - extract) หรือ B.E ตัวนี้ได้จากการนำเศษพืช สัตว์ มาเข้ากรรมวิธีการหมักกับกากน้ำตาล (Molasses) ทิ้งไว้ประมาณ 7 วันขึ้นไป ก็จะได้น้ำของเหลวที่มีทั้งจุลินทรีย์และสารอินทรีย์หลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อการเกษตร โดยจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินให้เป็นปุ๋ย ส่วนสารอินทรีย์จะเป็นธาตุอาหารพืชโดยตรง ซึ่งกระบวนการหมักนอกจากจะได้จุลินทรีย์แล้วยังได้สารฮอร์โมนและกรดอะมิโน ช่วยในการเร่งการเจริญเติบโตของพืชอีกด้วย (วารสารโลกเกษตร & อุตสาหกรรม, 2544 : 25)

ภาวณา ลิกขานนท์ (2542) ได้ให้ทัศนะถึงน้ำสกัดชีวภาพไว้ว่า น้ำสกัดชีวภาพที่ได้มาจากการหมักเศษพืชหรือสัตว์นั้น ถึงแม้ไม่ได้ใส่กากน้ำตาล พืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นอินทรีย์ก็จะถูกย่อยสลาย โดยกระบวนการทางธรรมชาติอยู่แล้ว แต่การที่ใส่กากน้ำตาลลงไปเพื่อให้เป็นแหล่งพลังงานหรืออาหารของจุลินทรีย์ จึงทำให้เกิดการย่อยสลายเร็วขึ้นกว่าการย่อยสลายตามธรรมชาติทั่วไป กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารนั้นมีจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องหลายกลุ่มและหลังขบวนการเสร็จสิ้นก็ยังคงมีจุลินทรีย์อยู่ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมว่าเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดใด แต่จากการที่ตรวจสอบตัวอย่างที่ส่งมาให้กับกลุ่มงานจุลินทรีย์ดินกรมวิชาการเกษตรนั้น ไม่พบจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ ดังนั้น จึงไม่ถือว่าน้ำสกัดชีวภาพนี้เป็นปุ๋ยชีวภาพ ดังนั้นประโยชน์ที่จะได้รับจากน้ำสกัดชีวภาพนี้ ควรต่างไปจากประโยชน์จากปุ๋ยชีวภาพ การใช้ประโยชน์ว่ามีน้อยมาก เพราะปริมาณของธาตุอาหารหลักมีน้อยและการใช้จะต้องเจือจางตั้งแต่ 100 เท่าขึ้นไป ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารซึ่งมีอยู่น้อยยิ่งน้อยลงไปอีก และจุลินทรีย์ในน้ำสกัดนี้ไม่สามารถระบุได้ว่าชนิดใด เพราะจุลินทรีย์ในธรรมชาติมีหลายล้านชนิด การย่อยสลายจึงอาจเกิดจากจุลินทรีย์ได้หลายพวกและระหว่างกระบวนการย่อยสลายนั้นจะเกิดฮอร์โมน กรดอินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชปะปนกันอยู่แต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย

ยงยุทธ โอสถสภา (2542) ได้ให้ทัศนะถึงน้ำสกัดชีวภาพดังนี้ “สารสกัดจากพืชหรือสัตว์” จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบในเซลล์พืชหรือสัตว์อยู่มากเมื่อนำมาหมักร่วมกับน้ำตาลที่ละลายในน้ำเป็นลักษณะน้ำเชื่อม หรืออาจใช้โมลาสซึ่งเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าน้ำภายในเซลล์ของพืชหรือสัตว์ทำให้ผนังเซลล์สูญเสียสภาพหรือที่เรียกว่าเซลล์แตก อินทรีย์สารที่อยู่ในเซลล์พืชหรือสัตว์ด้วย ดังนั้น อินทรีย์สารที่ได้จากการย่อยสลาย จึงมีทั้งจากของเดิมที่ได้จากพืชและของใหม่ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ ขณะที่เกิดกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารที่ถูกย่อยสลายจะมีโมเลกุลขนาดเล็กทำให้พืชดูดซึมได้ง่าย แต่สารต่างๆ ที่ได้จะมีปริมาณเล็กน้อย เพราะวัสดุที่ใช้ยังสดอยู่จึงมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ขณะที่อินทรีย์สารที่มีอยู่น้อยกว่าวัสดุแห้งเมื่อเปรียบเทียบที่น้ำหนักเท่ากัน นอกจากนี้ ผลผลิตที่ได้แต่ละครั้งจะมีความแตกต่างกันเนื่องจากวัตถุดิบ คือ ซากพืชซากสัตว์สิ่งแวดลอมที่เกี่ยวกับกระบวนการโดยเฉพาะอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงจึงทำให้คุณภาพในแต่ละครั้งไม่สม่ำเสมอ

วรรณดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ (2543) นักวิชาการจากกลุ่มอินทรีย์วัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน ได้วิจัยและศึกษาเรื่องน้ำสกัดชีวภาพ และให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับน้ำสกัดชีวภาพดังนี้ “น้ำสกัดชีวภาพเป็นสิ่งที่ได้จากการหมักเศษพืชหรือสัตว์” และนำมาใช้ในรูปของน้ำโดยการใช้น้ำที่ใบบหรือดินบริเวณรอบ ๆ รากพืชในกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นจะมีจุลินทรีย์เข้ามารวมกิจกรรมตามกลไกของธรรมชาติ

วัสดุธรรมชาติที่นำมาใช้หมักจะเป็นส่วนที่ทำให้ธาตุอาหารที่ได้มีความแตกต่างกันสำหรับพืชแต่ละชนิดจะให้ปริมาณธาตุอาหารไม่แตกต่างกันมากนักและส่วนใหญ่จะไม่ถึง 1% แต่ถ้าใช้วัสดุจากสัตว์จะมีธาตุอาหารแตกต่างกันไปจากพืชบ้าง เช่น ปลาทะเลจะมีปริมาณแคลเซียมมากและมีค่าความเค็มสูง ในน้ำสกัดชีวภาพมีจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่จะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในธรรมชาติซึ่งจะทำให้เกิดสารอินทรีย์ขึ้นด้วย สารเหล่านี้จะมีผลส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืชและถ้ารดน้ำสกัดชีวภาพลงดิน จุลินทรีย์จะเข้าไปอยู่ในบริเวณรากพืชและทำการย่อยสลายนั้นอาจจะมีสารประเภทฮอร์โมนหรือเอนไซม์เกิดขึ้นและเป็นประโยชน์กับพืช

จากทัศนะของนักวิชาการต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่า น้ำสกัดชีวภาพไม่ใช่ปุ๋ยชีวภาพธาตุอาหารหลักที่พบในน้ำสกัดชีวภาพมีปริมาณน้อยมาก นอกจากธาตุอาหารที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ แล้วยังพบฮอร์โมน กรดอินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชปะปนอยู่เพียงปริมาณน้อยเช่นกัน เนื่องจากจุลินทรีย์หลายกลุ่มในน้ำสกัดชีวภาพจะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ไม่มีในธรรมชาติทำให้พืชได้รับประโยชน์จากธาตุอาหาร หากจะนำมาใช้เป็นรูปปุ๋ยโดยตรงยังไม่สามารถสรุปยืนยันได้ว่าจะทำให้เพิ่มการเจริญเติบโตของพืชหรือเพิ่มผลผลิตได้หรือไม่มากนักน้อยเพียงใด เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลทางวิชาการสนับสนุนยืนยันออกมาอย่างเด่นชัด ดังนั้นประโยชน์ของการผลิตน้ำสกัดชีวภาพนอกจากจะเป็นการช่วยลดปัญหาขยะเต็มเมืองแล้วผลที่ได้เกิดขึ้น คือ การนำมาช่วยในการย่อยอินทรีย์วัตถุในดินทำให้พืชได้รับประโยชน์จากธาตุอาหารพืชและฮอร์โมน หรือเอนไซม์ อาจมีผลทำให้เกษตรกรลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลง (วารสารเคหการเกษตร, 2543 : 179 - 18)

2.1.2 ประเภทของน้ำสกัดชีวภาพ

น้ำสกัดชีวภาพสามารถแบ่งออกตามประเภทของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตแบ่งได้เป็น 2 ประเภท (เกษตรกรรมธรรมชาติ, 2542 : 1) ได้แก่

1. น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากพืช

1) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากผัก ผลไม้เป็นการนำพืช ผลไม้ มาผสมกับน้ำตาลในภาชนะที่เตรียมไว้ในอัตราส่วนน้ำตาล 1 ส่วนต่อพืช ผักผลไม้ 3 ส่วน คลุกให้เข้ากัน หมักทิ้งไว้ 3 - 5 วัน จะเริ่มได้ของเหลวสีน้ำตาลอ่อนถึงแก่เกิดขึ้น จากการละลายตัวของน้ำตาลและน้ำเลี้ยงจากเซลล์ของพืชผักน้ำสกัดชีวภาพที่มีคุณภาพจะมีกลิ่นหมักดอง และมีกลิ่นแอลกอฮอล์บ้าง มากน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลและปริมาณผลไม้ที่หมัก ถ้าชิมน้ำสกัดชีวภาพจะมีรสเปรี้ยว

2) น้ำสกัดชีวภาพเพื่อป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เป็นการนำผลไม้ซึ่งใช้ได้ทั้งผลไม้ดิบ สุก เปลือกผลไม้ ถ้าเป็นผลไม้ที่มีฤทธิ์ทางยาสมุนไพร เช่น ผลมะม่วงหิมพานต์จะยิ่งดี หมักผสมกับน้ำตาลหมักในภาชนะที่เตรียมไว้ในอัตราส่วนน้ำตาล 1 ส่วน ต่อ ผลไม้ 3 ส่วน คลุกให้เข้ากัน หรือถ้ามีปริมาณมากจะโรยทับกันเป็นชั้น ๆ ก็ได้หมักไว้ 3 - 5 วัน จะเริ่มมีของเหลวสีน้ำตาลอ่อนถึงแก่เกิดขึ้น

3) น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากขยะเปียกเป็นการนำขยะเปียก ซึ่งได้แก่ เศษอาหาร เศษผัก และผลไม้ จำนวน 1 กิโลกรัม นำมาใส่ถังหมัก แล้วเอาปุ๋ยจุลินทรีย์โรยลงไป 1 กำมือ หรือประมาณเศษ 1 ส่วน 20 ของปริมาตร ของขยะหมักไว้ 10 - 14 วัน จะเกิดการย่อยสลายของขยะเปียกบางส่วนกลายเป็นน้ำกรณินที่ขยะหอมคล้ายกับกลิ่นหมักเหล้าไวน์ วิธีการดังกล่าวจุลินทรีย์จะสามารถย่อยสลายขยะเปียกได้ประมาณ 30 - 40 % ส่วนที่เหลือประมาณ 60 - 70 % จะกลายเป็นกากซึ่งก็คือปุ๋ยหมักสามารถนำไปใช้ในการเกษตรได้

2. น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากสัตว์

1) น้ำสกัดชีวภาพจากปลา เป็นการนำเนื้อปลา พุงปลาและเลือดปลามาทำการบดให้มีขนาดเล็กนำไปหมักโดยใช้กรดมดเข้มข้น (formic acid) หรือกรดน้ำส้มสายชูเข้มข้น (Acetic acid) 3.5% (โดยปกติน้ำส้มสายชูที่ขายในท้องตลาดจะมีความเข้มข้น 5% สามารถนำไปใช้ในสูตรได้เลย) ปริมาณที่ใช้

ร้อยละ 3.5 ผสมให้เข้ากัน แล้วเติมน้ำตาลในปริมาณร้อยละ 20 เพื่อช่วยดับกลิ่นคาวจากเศษปลาคนให้เข้ากัน และคนติดต่อกัน อย่างน้อยเป็นเวลา 7 วัน ในระยะนี้จะสังเกตเห็นว่าฟองปลาเริ่มมีการละลายออกมาเป็นสารละลายเกือบหมดแล้ว ทำการหมักต่อไปอีกเป็นเวลา 21 วัน ระหว่างนี้ทำการคนเป็นครั้งคราว การหมักปุ๋ยปลา ถ้าใช้เวลานานจะได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพและกลิ่นที่ดี

2) น้ำสกัดชีวภาพจากหอยเชอรี่ เป็นการนำตัวหอยเชอรี่มาหมักโดยการนำมาทุบหรือบดให้ละเอียด จะได้เนื้อหอยเชอรี่พร้อมเปลือกและน้ำจากตัวหอยเชอรี่ และนำไปผสมกับน้ำตาลโมลาส และน้ำหมักหัวเชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติ อัตรา 3 : 3 : 1 คนให้เข้ากัน และนำไปบรรจุในถังหมักขนาด 30 ลิตร หรือ 200 ลิตร อย่างใดอย่างหนึ่งปิดฝาทิ้งไว้จากนั้นหากมีการแบ่งชั้น ให้สังเกตดูว่ามีกลิ่นเหม็นหรือไม่ ถ้ามีกลิ่นเหม็นให้ใส่น้ำตาลโมลาสเพิ่มขึ้น และคนให้เข้ากันจนกว่าจะหายเหม็น ทำอย่างนี้เรื่อยไปจนกว่าจะไม่เกิดแก๊สให้เห็นบนผิวหน้าของน้ำหมักหอยเชอรี่ แต่จะเห็นความระยิบระยับอยู่ที่ผิวหน้าน้ำหมักดังกล่าว บางครั้งอาจพบว่า มีตัวหนอนลอยบนผิวหน้าและบริเวณข้างถังภาชนะบรรจุควรรอจนกระทั่งตัวหนอนดังกล่าวตัวใหญ่เต็มที่ ถือว่าน้ำหมักหอยเชอรี่ทั้งตัวเสร็จขบวนการ กลายเป็นน้ำหมักชีวภาพหอยเชอรี่ สามารถนำไปใช้ได้หรือนำไปพัฒนาผสมกับปุ๋ยน้ำอื่น ๆ ใช้ประโยชน์ต่อไป

2.1.3 ประโยชน์ของน้ำสกัดชีวภาพ

1. ใช้ผสมน้ำรดพืชทุกชนิดเพื่อเร่งการเจริญเติบโต
2. ใช้ในการทำปุ๋ยหมักแห้ง
3. ช่วยในการปรับปรุงดิน
4. ช่วยในการดับกลิ่นได้ดี โดยใช้ผสมน้ำรดบริเวณที่มีกลิ่น เช่น ห้องน้ำ คอกปศุสัตว์
5. สามารถนำมาผลิตใช้เองไม่ต้องซื้อหาให้สิ้นเปลือง
6. ปลอดภัยสารพิษ 100 % (วารสารโลกเกษตร & อุตสาหกรรม, 2544 : 25)
7. ปรับค่า pH ดินให้เป็นกลาง จากการทดลองใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพควบคุมและบังคับให้ส้ม

เขียวหวานออกตามระยะเวลาที่ต้องการ ก่อนเริ่มปฏิบัติการได้มีการตรวจค่า pH ดิน ปรากฏว่า มีค่า 4.0 - 4.5 ซึ่งถือว่าเป็นกรดจัด หลังจากมีการใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพโดยการใส่ต้นส้มเขียวหวานทางราก 3 รอบ ใน 1 เดือน ปรากฏว่า ค่าพีเอชของดินขึ้นมาอยู่ที่ 6.0 - 6.5 ถือว่าเป็นกรดอ่อน ๆ ที่ต้นไม้สามารถเจริญเติบโตได้ดี

8. ผลจากการที่ค่า pH ของดินหายจากการเป็นกรดจัด จึงเป็นผลทำให้เชื้อราไฟทอปทอราสาเหตุของโรครากเน่าโคนเน่าในต้นส้ม ไม่สามารถเจริญเติบโตขยายพันธุ์ได้และตายไปในที่สุด

9. จุลินทรีย์ในปุ๋ยน้ำชีวภาพ สามารถย่อยสลายเศษซากอินทรีย์วัตถุทุกชนิดในเนื้อดิน โดยเฉพาะดินเหนียวถึงเหนียวจัดจะกลายเป็นดินร่วนทันที ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินได้แทรกตัว เข้าไปในระหว่างอนุภาคของเม็ดดิน

10. อิวมัสที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายในปุ๋ยน้ำชีวภาพจะเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมีสามารถลดความเข้มข้นของสารโปแตสเซียมคลอไรด์ สำหรับบังคับลำไยให้ออกนอกฤดูกาล และสารพาโคบิวทราโซล สำหรับบังคับมะม่วง ให้เงืองลงจนไม่เป็ชอันตรายต่อการทำงานของรากของต้นไม้ผลที่ดินมีการใช้สารนี้อย่างประจำ และต่อเนื่อง จึงทำให้ดินกลับคืนสู่สภาพปกติได้

11. สภาพโครงสร้างของดินที่อุดมสมบูรณ์ด้วยอิวมัสนั้น สามารถทำให้เกิดไส้เดือนขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง ภายหลังจากการให้ปุ๋ยน้ำชีวภาพแก่ต้นพืชทั้งทางรากและทางใบ ปุ๋ยน้ำชีวภาพส่วนที่ลงไปอยู่ในดินนั้นทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ขึ้นไส้เดือนจึงสามารถอาศัยในดินที่อุดมได้ (ไส้เดือน 1 ตัวสามารถสร้างปุ๋ยอินทรีย์ได้มากถึง 6 - 7 กิโลกรัมต่อปี) (<http://www.geocities.com>) นอกจากนี้มีคุณสมบัติช่วยเร่งการเจริญเติบโต

ของพืชแล้วยังลดการก่อตัวของแมลงได้อีก ที่เป็นเช่นนี้อันเนื่องมาจากการใช้น้ำสกัดชีวภาพทำหน้าที่ในการไล่แมลงไม่ให้เข้ามาทำลายพืชที่ปลูก (เทวินทร์ กุลปิยวัฒน์, 2543 : 344)

2.1.4 วิธีใช้น้ำสกัดชีวภาพ

1. ฉีดพ่นพืช ผัก ไม้ผล ไม้ยืนต้น อัตราส่วน 1 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 5 - 10 ลิตร
2. ราดกองใบไม้ใบหญ้า สดแห้ง อัตราส่วน 1 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 2 - 3 ลิตร ใช้พลาสติกคลุมกองพืชปล่อยไว้ 1 - 2 สัปดาห์ นำมาใช้ประโยชน์ได้
3. ใช้น้ำปุ๋ยหมักแห้ง โดยใช้น้ำสกัดชีวภาพ อัตราส่วน 2 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 10 ลิตร และเพิ่มกากน้ำตาล 3 ช้อนโต๊ะราดปุ๋ยหมักแห้งให้มีความชื้นหมาด
4. ราดดินแปลงเพาะปลูกพรวนดินผสมคลุกเคล้ากับวัชพืช ใช้อัตราส่วนเจือจาง 1 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 2-3 ลิตร ราด 1 ตารางเมตร ต่อปริมาณน้ำ 0.5 - 1 ลิตร ปล่อยให้ย่อยสลาย 3 - 7 วัน ก็สามารถปลูกกล้าไม้ได้
5. ผสมน้ำอัตราส่วน 1 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 1 - 3 ลิตร ราดพื้นทำความสะอาด
6. การขายหัวเชื้อมีอัตราส่วน คือน้ำสกัดชีวภาพ : กากน้ำตาล : น้ำ ในอัตราส่วน 1 : 1 : 10 ใส่ขวดปิดฝา 3 วัน นำไปใช้ได้ (<http://kamphaengphet.doae.go.th>)

2.2 ความรู้เกี่ยวกับการหมัก

2.2.1 ความหมายของการหมัก

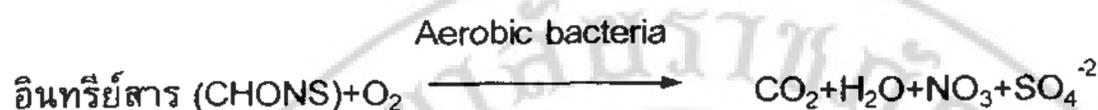
ขบวนการหมัก (fermentation process) ได้เริ่มมีมานานแล้ว แต่ถ้าจะพูดถึงเทคโนโลยีการหมัก (fermentation technology) เริ่มมีขึ้นมาประมาณก่อน ค.ศ. 1860 ซึ่งเป็นช่วงก่อนสมัย หลุยส์ ปาสเตอร์ ในสมัยนั้นรู้จักการทำอาหารหมักพื้นบ้านการหมักแอลกอฮอล์การหมักในสภาพที่มีอากาศใช้เชื้อรา *Aspergillus Oryzae* การผลิตยีสต์ขนมปัง (Baker's yeast) แบบไม่ใช้อากาศ การผลิตน้ำส้มสายชูโดยใช้ vinegar generation เทคนิค ที่มีการใช้ในกระบวนการหมักมี pasteurization, inoculation, aeration และ semiseptic ซึ่งในช่วงก่อน ค.ศ. 1860 อาจแบ่งกระบวนการหมักได้ 2 แบบ คือ การหมักแบบใช้อากาศ (aerobic fermentation) และการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic fermentation) (ลักษณะ ชนะวงศ์, 2538 : 24 - 25)

การหมัก (Fermentation) เป็นคำรากศัพท์มาจากภาษาลาติน "fervere" แปลว่า เดือดซึ่งในบางครั้งใช้เพื่ออธิบายลักษณะที่เกิดจากการกระทำของยีสต์ในน้ำสกัดชีวภาพจากผลไม้หรือเมล็ดข้าวมอลต์ เนื่องจากยีสต์ย่อยสลายน้ำตาลภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้เกิดฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผุดขึ้นมาเหมือนน้ำเดือด อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนักชีวเคมีและนักจุลชีววิทยาอุตสาหกรรมได้นำคำว่า การหมัก มาใช้ในความหมายที่แตกต่างกันไปบ้าง ในทางชีวเคมี การหมัก หมายถึง การสร้างพลังงานจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ โดยมีสารอินทรีย์เป็นทั้งตัวให้และตัวรับอิเล็กตรอน ส่วนการหมักในทางจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม หมายถึง กระบวนการผลิตผลใด ๆ ก็ตามที่ได้จากการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์จำนวนมาก (mass culture) ซึ่งจะครอบคลุมทั้งกระบวนการแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน ในขณะที่การหมักทางชีวเคมีจะหมายถึงเฉพาะกระบวนการแบบใช้ออกซิเจนเท่านั้น (สมใจ ศิริโชค, 2537 : 1)

2.2.2 ประเภทของการหมัก

ในการนำมูลฝอยมาทำปุ๋ยโดยวิธีการหมักนั้น สารอินทรีย์ในมูลฝอยจะสลายตัวให้ธาตุอาหารของพืชค่อนข้างคงรูป เรียกว่าปุ๋ย (Compost or Humus – like material) ซึ่งประเภทของการหมักมีดังนี้

1. การหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Decomposition) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนซึ่งส่งผลให้ผลผลิตของปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายที่เสถียร (Final Stabilized Products) อย่างรวดเร็ว และมีอุณหภูมิที่สูงเกิน 65°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จุลินทรีย์และเชื้อโรคส่วนใหญ่จะถูกทำลาย และที่อุณหภูมิดังกล่าว จุลินทรีย์จะสลายสารอาหารได้ประสิทธิภาพสูงสุด (thermophilic Bacteria) ดังสมการ



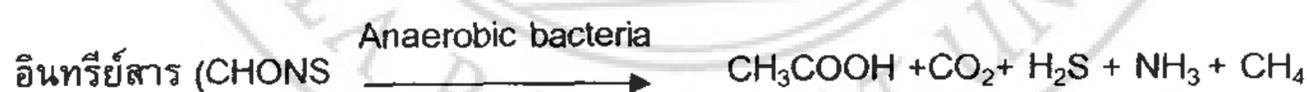
ถ้าในมูลฝอยมีธาตุฟอสฟอรัสอยู่ด้วยจะให้ฟอสเฟตออกมา จากปฏิกิริยาเมื่ออินทรีย์สารถูกย่อยสลายแล้ว จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมาพร้อมกับแร่ธาตุ ซึ่งเป็นอาหารสำหรับพืช เช่น ไนเตรต ไนไตรท์ ซัลเฟต ฟอสเฟต ในการที่จะเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนได้นั้นจะต้องมีสภาวะที่เหมาะสม เช่น มีปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอ อุณหภูมิและความชื้นพอเหมาะ การหมักแบบใช้ออกซิเจนทำได้ 2 วิธีคือ

□ การหมักโดยอาศัยออกซิเจนตามธรรมชาติ (Windrow composting) โดยมูลฝอยที่มีอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ไปกองรวมกันโดยให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้มูลฝอยสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศมากที่สุด ถ้ากองให้ขนาดใหญ่มูลฝอยที่อยู่ข้างในอาจได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition) ขึ้นได้ วิธีนี้จึงต้องใช้พื้นที่มากและใช้เวลาประมาณ 30 วัน

□ การหมักโดยเร่งอัตราการย่อยสลายโดยใช้เครื่องจักรกลช่วย (High Rate composting) มีการใช้เครื่องมือที่ช่วยให้ออกซิเจนในอากาศสัมผัสกับมูลฝอยได้มากที่สุด อาจใช้เครื่องอัดอากาศ (Blower) อัดอากาศผ่านจากใต้กองขึ้นข้างบน หรือจะดูดอากาศจากนอกกองผ่านเข้าไปในกองก็ได้หรืออาจจะเป็นกระทะเจาะรูมีการพลิกกลับเป็นต้น นอกจากใช้เครื่องจักรกลเติมออกซิเจนให้มูลฝอยแล้ว ในการหมักจำเป็นต้องทำให้มูลฝอยเป็นชั้นเล็กและแยกส่วนที่ไม่ย่อยสลายออกไป จะช่วยให้สัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้นด้วย การย่อยสลายก็จะเร็วขึ้นด้วย โดยการใช้เวลาประมาณ 5 - 7 วัน ก็จะทำให้เกิดอุณหภูมิสูงถึงระดับ Thermopile ได้

2. การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition)

เป็นการย่อยสลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะให้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (final Product) ดังสมการ



ปฏิกิริยา ดังกล่าวมักเกิดขึ้นในกองมูลฝอยที่ปราศจากการควบคุม ที่เป็นก๊าซจะหายไป และส่งกลิ่นเหม็นฟุ้งกระจายไปไกล ขบวนการนี้เกิดขึ้นช้ากว่าการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมาก โดยใช้เวลาประมาณ 2 เดือน หรือ 6 เดือน ถึง 1 ปี และการนำมูลฝอยสดมาหมักแบบใช้ออกซิเจนเลยจะให้สารที่เป็นอันตราย และการเปลี่ยนเป็นสารอาหารพืชจะมีน้อย การหมักด้วยวิธีการนี้จึงไม่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ในกระบวนการของการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบ เป็นต้น

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมัก

1. ชนิดของมูลฝอย ควรมีองค์ประกอบของมูลฝอยที่เน่าเปื่อยได้ง่าย (Garbage) ปนอยู่มาก โดยที่องค์ประกอบของวัสดุที่ไม่เหมาะสมต่อการหมัก ไม่ควรเกิน 50 % ของมูลฝอย
2. ความชื้น ความชื้นที่เหมาะสมต่อการหมักควรอยู่ในช่วง 55 - 65 % มากเกินไปจะทำให้สัดส่วนของอากาศต่อเนื่อมูลฝอยน้อยลง การย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้าและอาจเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ถ้ามีความชื้นมากเกินไปจะมีน้ำไม่เพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพราะว่ามีน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี ถ้าความชื้น 30% หรือต่ำกว่านี้ขบวนการการย่อยสลายจะหยุดหรือเกิดขึ้นช้ามาก
3. อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมีและเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาทางชีวเคมี สภาพของอุณหภูมิก็มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย ในฤดูร้อนอุณหภูมิสูง การย่อยสลายจะเป็นไปได้เร็ว ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปกับอากาศ
4. อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C : N Ratio) คาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ธาตุไนโตรเจนน้อยเกินไป จุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนได้น้อย ถ้าไนโตรเจนมากเกินไปก็จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียในโตรเจนกระจายสู่บรรยากาศ ฉะนั้น อัตราส่วนระหว่าง คาร์บอนต่อไนโตรเจนจึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ ค่า C : N ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 25 - 35

2.3 ธาตุอาหาร (Nutrient)

พืชจะดูดซึมซับแร่ธาตุอาหารจำนวนเล็กน้อยเข้าไปมากกว่า 90 ชนิด แต่มีเพียง 165 ชนิดเท่านั้นที่จำเป็น แร่ธาตุอาหารที่จำเป็นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยอาศัยเกณฑ์ปริมาณที่พืชต้องการเป็นสำคัญ ได้แก่

1. แร่ธาตุอาหารหลัก (Macronutrients) คือ คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน
2. แร่ธาตุอาหารที่พืชต้องการน้อย (Micronutrients) คือ เหล็ก แมงกานีส โบรอน สังกะสี โมลิบดีนัม และคลอรีน จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าในเปลือกไขมีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ ธาตุไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม, แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งธาตุต่าง ๆ เหล่านี้ต่างก็มีหน้าที่และความสำคัญ ที่แตกต่างกันออกไป (สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์, 2538 : 2)

2.3.1 หน้าที่ของธาตุหลัก

ธาตุหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการปริมาณมากจึงจะเพียงพอต่อการเจริญเติบโตตามปกติ ดินที่ใช้เพาะปลูกพืชโดยทั่วไปมักขาดแคลนธาตุใดธาตุหนึ่ง สองในสามหรือทั้งสามธาตุ ปุ๋ยเคมีที่ใช้บำรุงดินจึงประกอบด้วยสามธาตุนี้เป็นหลัก สำหรับหน้าที่ของธาตุทั้งสาม แม้จะแตกต่างกันแต่ก็มีความสัมพันธ์ในหลายประเด็น

1. ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่รากพืชดูดไปใช้ในรูปไนเตรทและแอมโมเนียมไอออน สำหรับยูเรีย แม้ว่าพืชจะดูดไปใช้ได้โดยตรงแต่สารนี้มีอยู่ในธรรมชาติน้อย พืชดูดใช้มากเฉพาะในกรณีที่ใส่ปุ๋ยยูเรียสังเคราะห์เท่านั้น พืชชั้นต่ำบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญในการเกษตร คือ แบคทีเรียชื่อ ไรโซเบียม (Rhizobium) เนื่องจากสามารถตรึงไนโตรเจนได้เมื่ออยู่ร่วมกับรากพืชตระกูลถั่ว

□ หน้าทีของไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนที่พบในเนื้อเยื่อของพืชมีทั้งที่เพิ่งดูดเข้าไปและยังไม่เปลี่ยนแปลงกับอินทรีย์สารซึ่งมีการสังเคราะห์ขึ้นใหม่จาก ไนเตรท แอมโมเนียม และยูเรียที่พืชดูดได้ อินทรีย์สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอาจแบ่งได้เป็น 6 กลุ่ม คือ

1. โปรตีน (proteins) มีหน้าที่สำคัญมากในเซลล์โดยเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของไซโทพลาซึม เยื่อ (เป็นทั้งโครงสร้างและพาหะในการเคลื่อนย้ายสารผ่านเยื่อ) เอนไซม์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาชีวเคมีจึงมีบทบาทเกี่ยวข้องกับเมทาบอลิซึมอย่างกว้างขวาง

2. กรดอะมิโน เป็นโครงสร้างของโปรตีน มีอีกมากที่อยู่อย่างอิสระในเซลล์ สัดส่วนของกรดอะมิโนแต่ละอย่าง กรดอะมิโนอิสระกับกรดอะมิโนในโครงสร้างของสารต่างๆ เป็นลักษณะเฉพาะของพืชแต่ละชนิด

3. ฮอร์โมนพืช ฮอร์โมนพืชที่พืชสังเคราะห์ขึ้นเองและมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบคือ ออกซิน (auxins) กับไซโทไคนิน (cytokinins) ออกซินเป็นฮอร์โมนที่กระตุ้นการแบ่งเซลล์ เร่งการขยายขนาดของเซลล์ ควบคุมการแตกราก ยับยั้งการเจริญของตาข้าง ป้องกันการร่วงของใบ กิ่ง และผล

ไซโทไคนินเป็นฮอร์โมนที่ส่งเสริมการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดของเซลล์ ส่งเสริมการสร้างและการเจริญของตา ช่วยในการงอกของเมล็ด ส่งเสริมการสร้างโปรตีน ชะลอการเสื่อมตามอายุของใบ และช่วยในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร

4. กรดนิวคลีอิก(nucleic acids) เป็นอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ประกอบด้วยหน่วยย่อย คือ นิวคลีโอไทด์จำนวนมาก มีอยู่ 2 ชนิด คือ ribo nucleic acid (RNA) deoxyribo nucleic acid (DNA) ทำหน้าที่เป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม

5. สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต โคเอนไซม์

6. สารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมไว้หรือทำหน้าที่ป้องกัน เช่น แอลคาลอยด์

ที่รู้จักกันกว้างขวาง คือ นิโคตินและมอร์ฟีน

□ ไนโตรเจนกับการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของพืช

1. การเจริญเติบโต

ปริมาณไนโตรเจนในพืชแม้จะแตกต่างกันตามชนิดของพืช อวัยวะ และระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปแล้วอยู่ระหว่าง 2 - 5 % โดยน้ำหนักแห้ง พืชได้รับธาตุนี้ต่ำกว่าระดับปกติย่อมมีการเจริญเติบโตน้อยลง อาการขาดธาตุปรากฏชัดเจนที่ใบแก่เนื่องจากไนโตรเจนเคลื่อนย้ายจากใบเหล่านั้นไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังพัฒนา ทำให้ใบแก่ร่วงหล่นเร็ว หากให้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราสูงจะช่วยยืดอายุใบแก่และกระตุ้นให้พืชเติบโตต่อไป นอกจากนี้อาจพบการเปลี่ยนแปลงด้านสัณฐานของพืชด้วย คือ พืชได้รับไนโตรเจนมากตั้งแต่ระยะแรก ส่วนเหนือดินจะเจริญเร็วแต่รากเจริญช้า ดังนั้น ในช่วงเวลาต่อมารากย่อมดูดน้ำและธาตุอาหารได้น้อยกว่าที่พืชต้องการ

2. องค์ประกอบทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงด้านองค์ประกอบทางเคมีเพราะการเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจน แสดงว่าเกิดผลกระทบในวิถีเมทาบอลิซึมหลายด้าน เนื่องจากต้องแบ่งกันใช้สารซึ่งได้จากการสังเคราะห์แสง ดังนี้

2.1 หากเพิ่มไนโตรเจนจนถึงระดับเพียงพอ การใช้ประโยชน์แอมโมเนียมมีอัตราสูงขึ้น จึงเพิ่มปริมาณโปรตีน การเจริญของใบ ดรรชนีพื้นที่ใบ และการสังเคราะห์แสงสุทธิ หากการมีดรรชนีพื้นที่ใบยังสอดคล้องกับการสังเคราะห์แสงสุทธิที่เพิ่มขึ้น การนำโครงสร้างบอมาใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนและอะไมด์

จะไม่ไปลดวิถีเมทาบอลิซึมอื่นที่เกี่ยวข้องกับการโบไฮเดรต การสะสมน้ำมัน การให้ไนโตรเจนเพียงระดับนี้จะไม่ทำให้องค์ประกอบของพืชเปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนผลผลิตรวมต่อไร่จะเพิ่มขึ้น

2.2 หากเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนต่อไป การดึงเอาโครงคาร์บอนมาสังเคราะห์กรดอะมิโนและอะไมด์ก็มีมากขึ้นตามไปด้วย ประกอบกับปุ๋ยช่วยเพิ่มตรรกษพื้นที่ใบเช่นกัน แต่เนื่องจากใบหนาแน่นขึ้นและบังแสงกันเองจึงไม่เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ ผลกระทบต่อเมทาบอลิซึมด้านอื่นอาจมีบ้างแต่ไม่รุนแรงนัก หากเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนเข้าไปอีกการสังเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น จะต้องดึงเอาคาร์โบไฮเดรตที่ควรจะไปใช้ในวิถีเมทาบอลิซึมอื่น ๆ จึงทำให้องค์ประกอบทางเคมีของพืชเปลี่ยนแปลงมาก

3. คุณภาพของผลผลิต

การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเหมาะสมในแง่ชนิด อัตรา และเวลาที่ใส่จะช่วยให้ได้ผลผลิตสูงและคุณภาพดี แต่ถ้าปฏิบัติไม่ถูกต้องจะมีผลเสียตามมา

3.1 ในเทรตกับคุณภาพผลผลิต

การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะที่ใกล้เก็บเกี่ยวพืชมีผลเสีย 2 ประการคือ สิ้นเปลืองปุ๋ยโดยไม่มีผลตอบแทน และคุณภาพของผลผลิตในเชิงโภชนาการต่ำ เช่น ผักชีที่มีไนเตรตสะสมอยู่ในเทรตถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นไนไตรต์ (NO_2) ในระหว่างการเก็บหรือการแปรรูป นอกจากนั้น ไนไตรต์ยังอาจเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นไนโตรซามีน (nitrosamine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ส่วนผักและผลไม้ที่มีไนเตรตสูงนั้นเมื่อนำมาบรรจุเป็นอาหารกระป๋อง ผิวนเคลือบติดกับภายในจะเป็นสีดำภายในเวลาไม่กี่เดือน

3.2 ไนโตรเจนกับโปรตีนในเมล็ด

เมล็ดธัญพืชซึ่งมีโปรตีนสูงเหมาะสมที่จะนำมาแปรรูป และมีคุณค่าทางโภชนาการ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเพียงพอและในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน นอกจากนี้โปรตีนยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นอย่างพร้อมมูล

2. ฟอสฟอรัส

□ รูปที่เป็นประโยชน์ในดินและสารประกอบฟอสเฟตในพืช

ฟอสฟอรัสในสารละลายดินเป็นแอนไอออนของกรดออร์โทฟอสฟอริก (H_3PO_4) รูปของแอนไอออนจึงมีได้สามรูปแบบขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารละลายดิน

- pH ต่ำกว่า 6.8 รูปที่เป็นประโยชน์และมีอยู่มากคือ H_2PO_4^- ซึ่งพืชดูดไปใช้ง่ายที่สุด
- pH 6.8 – 7.2 มีอยู่ในรูป HPO_4^{2-}
- pH สูงกว่า 7.2 จะมี PO_4^{3-} ซึ่งพืชดูดใช้ได้ยาก

เมื่อพืชดูดฟอสฟอรัสไอออนเข้าไปในเนื้อเยื่อพืชแล้วจะไม่ผ่านกระบวนการรีดักชันเพื่อเปลี่ยนรูปเหมือนไนเตรตหรือซัลเฟต แต่คงอยู่ในรูปของฟอสฟอรัสเหมือนเดิมในสองสภาพ คือ อินทรีย์ฟอสเฟต และองค์ประกอบในสารอินทรีย์

ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารที่สำคัญมากมายหลายชนิด เนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยากับอินทรีย์สารได้หลายลักษณะดังนี้

1. ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของโซ่คาร์บอนได้สารประกอบฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate esters) เช่น น้ำตาลฟอสเฟตที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง
2. เชื่อมโยงกันระหว่างอนุกรมฟอสเฟตด้วยพันธะไพโรฟอสเฟตพลังงานสูงใน ATP
3. สร้างพันธะเคมีที่แข็งแกร่งเพื่อเชื่อมโมเลกุลขนาดใหญ่แต่ละหน่วยเข้าด้วยกัน (C-P-C) เพื่อให้โมเลกุลนั้นมีความซับซ้อนและมั่นคง

□ ฟอสฟอรัสในโครงสร้างของสาร

1. กรดนิวคลีอิก (nucleic acids) มี 2 ชนิด คือ
 - ribo nucleic acid (RNA)
 - deoxyribo nucleic acid (DNA)
2. ฟอสโฟลิปิด
3. ATP
4. โคเอนไซม์

□ ฟอสฟอรัสกับการเจริญเติบโตของพืช

พืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3 – 0.5 % โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะพัฒนาภาคเป็นไปตามปกติ สำหรับระดับที่ถือว่าเป็นพิษ คือ สูงกว่า 1% โดยน้ำหนักแห้ง พืชตระกูลถั่วหลายชนิดไวต่อพิษของธาตุนี้มาก

พืชที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 ประการคือ ใบขยายขนาดช้าจึงเล็กและจำนวนใบน้อย สาเหตุที่แผ่นใบมีการขยายช้าก็เพราะเซลล์ชั้นผิวไม่ค่อยขยายตัว อันเนื่องมาจาก เซลล์ชั้นผิวมีฟอสฟอรัสต่ำและสภาพน้ำน้ำของรากลดลง แม้ว่าการขยายขนาดใบจะลดลงอย่างมาก แต่ปริมาณโปรตีนและคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากขนาดใบลดมากแต่คลอโรฟิลล์ลดน้อยกว่าทำให้ใบพืชที่ขาดฟอสฟอรัสในระยะแรกมีสีเขียวเข้มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาอัตราการสังเคราะห์แสงต่อหน่วยของคลอโรฟิลล์พบว่ามีการลดลงไป

เมื่อการเจริญเติบโตของส่วนที่เหนือดินลดลงมาก แต่มีผลกระทบต่อรากน้อย ดังนั้น พืชที่ขาดฟอสฟอรัสจึงมีค่าสัดส่วนระหว่างส่วนเหนือดินกับรากลดลงการขาดฟอสฟอรัสก็เป็นสาเหตุที่ทำให้การกระจายของคาร์โบไฮเดรตลงมาอยู่ที่รากมากขึ้น สำหรับถั่วที่ขาดธาตุนี้มีคาร์โบไฮเดรตในราก 27% ของที่มีทั้งต้นขณะที่พืชปกติมี 15.7% ด้วยเหตุนี้รากพืชที่ขาดฟอสฟอรัสยังสามารถยึดตัวได้ในขณะที่ส่วนเหนือดินหยุดการเจริญเติบโตแล้ว พฤติกรรมดังกล่าว คือ ความพยายามที่จะรักษาสภาพให้รากมีความสามารถหาธาตุอาหารที่ขาดแคลนมาเพิ่มเติม การขาดฟอสฟอรัสของพืชมีผลกระทบต่อเจริญพันธุ์อย่างมาก เช่น ออกดอกช้าจำนวนดอก ผล และเมล็ดน้อยลง การที่ใบพืชเสื่อมตามอายุและร่วงหล่นเร็วกว่าปกติเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ

3. โพแทสเซียม

□ โพแทสเซียมกับการเจริญเติบโตของพืช

แม้ว่าพืชแต่ละชนิดจะต้องการโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วความต้องการของพืชจะอยู่ในพิสัย 2 – 5 % โดยน้ำหนักแห้ง ของอวัยวะด้านพัฒนาภาคผลและหัว ทั้งนี้ยกเว้นพืชที่ชอบโซเดียม ซึ่งความต้องการโพแทสเซียมมีน้อยกว่าพืชทั่วไป แต่ถ้าได้รับธาตุนี้จากเครื่องปลูกน้อยเกินไปย่อมเกิดภาวะขาดแคลน ทำให้การเจริญเติบโตลดลง โพแทสเซียมส่วนที่เคຍสะสมอยู่ในใบแก่และอวัยวะอื่น ๆ ก็เคลื่อนย้ายจากโพลีเอมไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญ อวัยวะดังกล่าวจึงมีอาการผิดปกติ พืชอาจล้มได้ง่ายเนื่องจากการสะสมลิแกนด์ในกลุ่มท่อลำเลียงน้อยกว่าปกติลำต้นจึงไม่แข็งแรง

ลักษณะอีกอย่างของพืชที่ขาดโพแทสเซียมก็คือ เหี่ยวเฉาง่ายเมื่อความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินมีอยู่จำกัด จึงไม่ค่อยมีความต้านทานต่อการขาดน้ำเหมือนพืชที่มีโพแทสเซียมเพียงพอ สิ่งที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับบทบาทของธาตุนี้ คือ บทบาทในการควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ ซึ่งเป็นกลไกหลักของการควบคุม

ระบบน้ำ ในพืชชั้นสูง และเป็นตัวทำลายที่มีส่วนสำคัญในการออสโมซิสของแวกคิวโอล จึงช่วยให้พืชได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพอแม้จะอยู่ในช่วงแล้ง และในระยะที่พืชเริ่มขาดน้ำพืชซึ่งมีโพแทสเซียมเพียงพอจะสังเคราะห์โปรตีน ได้มากกว่าพืชที่ขาดธาตุนี้ สารอินทรีย์ดังกล่าวช่วยลดศักย์ออสโมซิสของเซลล์ จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งซึ่งสนับสนุนบทบาทของโพแทสเซียมที่ช่วยให้พืชทนแล้งมากขึ้น แม้พืชจะกระทบแล้งในบางขณะการมีโพแทสเซียมเพียงพอช่วยให้พืชควบคุมปากใบได้ดีจึงยังมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าพืชที่ขาดธาตุนี้

พืชที่ขาดธาตุโพแทสเซียมมักเป็นโรคร่วง เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงด้านกิจกรรมของเอนไซม์ ชนิดและปริมาณของอินทรีย์สารซึ่งทำให้พืชนั้นอ่อนแอต่อเชื้อโรค ความแปรปรวนด้านชีวเคมีดังกล่าวส่งผลให้คุณภาพด้านโภชนาการของอาหารที่ผลิตจากพืชนั้นลดลงภายหลังกระบวนการผลิต การขาดโพแทสเซียมจะมีผลเสียในลักษณะนี้มากโดยเฉพาะไม้ผลและพืชหัวที่ต้องการธาตุนี้มากเป็นพิเศษ

การเพิ่มปุ๋ยโพแทสเซียมในเครื่องปลูกเพื่อให้พืชดูดทางรากจะช่วยให้ความเข้มข้นของธาตุนี้ในอวัยวะต่างๆ ทั้งนี้ยกเว้นเมล็ดซึ่งมักคงความเข้มข้นไว้เพียงประมาณ 0.3% โดยน้ำหนักแห้ง เท่านั้น หากเพิ่มปุ๋ยในอัตราที่สูงเกินไป เนื้อเยื่อพืชอาจสะสมไวมกแต่การเจริญเติบโตไม่เพิ่มขึ้น เรียกสภาพเช่นนี้ว่าการบริโภครูปแบบฟุ่มเฟือยนอกจากจะไม่เกิดประโยชน์ใด ๆ แล้วยังอาจเกิดโทษเนื่องจากมีผลในทางลบต่อการดูดใช้และบทบาทเชิงสรีระของแคลเซียมและแมกนีเซียมด้วย

4. แคลเซียม

ดินเป็นแหล่งของแคลเซียมที่รากพืชดูดเข้าไปใช้จะได้รับธาตุนี้เพียงพอเมื่อรูปซึ่งเป็นประโยชน์นี้มีอยู่ในระดับที่เหมาะสม สำหรับหน้าที่แคลเซียมในพืชมีอยู่หลายด้านทั้งนี้เนื่องจากเป็นธาตุที่มีสมบัติเฉพาะตัวบางประการ

□ แคลเซียมในดิน

แคลเซียมในดินมาจาก การสลายตัวของหินและแร่ที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เฟลด์สปาร์ อะพาไทต์ แคลไซต์ และยิปซัม ดินใดมีแร่เหล่านี้มากก็สามารถสนองแคลเซียมให้แก่ดินได้อย่างเพียงพอ ดินด่างมีแคลเซียมมากกว่าดินกรด แคลเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ในดิน คือ Ca^{2+} ในสารละลายดินกับแคลเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable calcium) ดินที่มักขาดแคลเซียม ได้แก่ ดินกรดและดินซึ่งผ่านการชะล้างมาช้านาน การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราสูงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้รากพืชดูดแคลเซียมได้น้อยลงและอาจขาดธาตุนี้

□ สมบัติบางประการของแคลเซียม

แคลเซียมจัดเป็นธาตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษต่อพืชและพืชทั่วไปสามารถปรับตัวให้สอดคล้องกับปริมาณที่ได้รับ แม้ว่าเมื่อพืชได้ธาตุนี้มากเกินไปจะมีการเจริญเติบโตช้าลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่ไม่ชอบดินแคลคาเรียสหรือดินเหนียวหรือพืชไม้ทนปูน (calcifuges) แต่อาการเป็นพิษก็เกิดช้าและมักเป็นผลทางอ้อมมากกว่าทางตรง สาเหตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษเนื่องจาก พืชมีกลไกที่สามารถควบคุมให้มีแคลเซียมในไซโทพลาซึมได้นั่นเอง

แคลเซียมเป็นไอวาเลนซ์แคตไอออนที่มีสมบัติเหมาะสมแก่การเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของสารที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

1. โปรตีนในเซลล์จับกับ Ca^{2+} ไอออนได้พอดี เมื่อรวมเข้ากับโปรตีนแล้วมีแนวโน้มที่จะช่วยให้โปรตีนนั้นมีเสถียรภาพไม่ถูกทำลายเนื่องจากความร้อน และไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ (proteolysis) โดยง่าย

2. ขนาดของอะตอมพอดีกับร่องหรือแอ่ง (clefts) บนผิวแม่โครโมเลกุลหรือระหว่างแม่โครโมเลกุล จึงทำหน้าที่เชื่อมโยงได้ดีกว่าแมกนีเซียม

3. Ca^{2+} เป็นคู่แข็งที่เก่งกว่า Mg^{2+} ในการจับเข้าจับกับมลติเดนเตลิแกนด์ (multidentateligands) และลิแกนด์อื่นบางชนิด ดังนั้น เพื่อปกป้องให้ Mg^{2+} สามารถทำหน้าที่ในไซโทพลาสซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องมีกลไกสูบแคลเซียมออกจากไซโทพลาสซึมให้เหลือพอประมาณ

□ แคลเซียมกับการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของพืช

ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชแตกต่างกันตามสภาพการปลูก พันธุ์พืช และอวัยวะซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 - 5% โดยน้ำหนักแห้ง พืชใบเลี้ยงคู่ต้องการแคลเซียมเพื่อให้เจริญอย่างพอเหมาะมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

การเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมในสารละลายปลูกพืชหรือสารละลายดินมีผลให้ความเข้มข้นของธาตุนี้ในใบเพิ่มขึ้น แต่มักไม่กระทบต่อความเข้มข้นในอวัยวะที่มีการคายน้ำต่ำ เช่น ผล หรือไม่มีการคายน้ำ เช่น หัว เพราะอวัยวะสองส่วนนี้รับแคลเซียมซึ่งเคลื่อนย้ายมาทางโฟลเอ็มเป็นหลัก พืชมีกลไกควบคุมให้มีการเคลื่อนย้ายแคลเซียมทางโฟลเอ็มน้อยโดย

1. จำกัดการถ่ายโอนแคลเซียมเข้าสู่โฟลเอ็มจึงมีธาตุนี้ในน้ำเลี้ยงโฟลเอ็มน้อย
2. ตกตะกอนแคลเซียมในรูปแคลเซียมออกซาลเลตขณะเคลื่อนย้ายทางเวสเซลหรือ

ตกตะกอนไว้ในเปลือกเมล็ด

สำหรับแคลเซียมในผลและหัวนั้นพืชควบคุมไว้ให้อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ เพื่อให้เซลล์ในอวัยวะดังกล่าวขยายขนาดได้อย่างรวดเร็วและเยื่อมีสภาพให้ซึมได้สูง แต่ข้อที่ควรระวัง คือ อวัยวะซึ่งคายน้ำน้อยแต่อัตราการเติบโตสูงมักมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลเซียมหรือมีแคลเซียมในอวัยวะนั้นต่ำกว่าระดับวิกฤตหรือมีธาตุนี้ไม่เพียงพอสำหรับคงสภาพที่ดีของเยื่อไว้ได้ เป็นเหตุให้พืชแสดงอาการขาดแคลเซียมที่ผล เช่น ก้านมะเขือเทศเน่า และผิวผลแอปเปิลมีรอยบุ๋ม หรือที่อวัยวะอื่น ๆ เช่น ใต้น้ำ ของเซเลอรี่ และกะหล่ำดอกปลายใบผักกาดหอมหรือผักกาดขาวปลีไหม้

สำหรับผลที่มีเนื้อมาก หากมีแคลเซียมน้อยเกินไปจะเข้าสู่สภาพเสื่อมตามอายุอย่างรวดเร็วและเชื้อราเข้าทำลายง่าย ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีสูง หากสามารถเพิ่มแคลเซียมในผลได้แม้เพียงเล็กน้อยก็จะช่วยยืดเวลาการเก็บได้นานขึ้น

5. แมกนีเซียม

□ แหล่งของแมกนีเซียมสำหรับพืช

แมกนีเซียมในดินส่วนมากอยู่ในรูปของหินและแร่ สำหรับแร่ที่มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบได้แก่ ออไรต์ ไบโอไทต์ เซอร์เพนทีน แมกนีไซต์ และโดโลไมต์ เมื่อหินและแร่สลายตัวจะปลดปล่อยแมกนีเซียมออกมา นอกจากนั้นยังมีแมกนีเซียมอีกจำนวนหนึ่งซึ่งอยู่ในรูปไอออนอิสระในสารละลายดินซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับที่อยู่รูปแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้

□ ภาพรวมของบทบาท

แมกนีเซียมทำหน้าที่ในพืชหลายอย่าง เหตุที่แสดงบทบาทเช่นนี้ได้เนื่องจากความสามารถในการเคลื่อนย้ายภายในเซลล์และมีพันธะเชิงไอออน (ionic bond) กับสารนิวคลีโอฟิลิกลิแกนด์ (nucleophilic ligands) เช่น หมู่ฟอสฟอริล (phosphoril groups) และนอกจากนี้ยังทำหน้าที่เชื่อมโยงและ/หรือทำปฏิกิริยาได้

สารประกอบเชิงซ้อนหลายชนิดซึ่งมีเสถียรภาพแตกต่างกัน พันธะเคมีระหว่างแมกนีเซียมกับสารอื่นส่วนมากเป็นพันธะเชิงไอออน และพันธะโคเวเลนต์

□ สารประกอบแมกนีเซียมและการกระจายในพืช

แมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญยิ่งในพืชสีเขียวเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ สัดส่วนของธาตุนี้ในคลอโรฟิลล์ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ เช่น พืชตระกูลถั่วชื่อชับเทอราเนียนโคลเวอร์ (*Trifolium subterraneum* L.) ที่มีแมกนีเซียมเพียงพอ 6% ของธาตุนี้ในใบอยู่กับคลอโรฟิลล์ แต่ถ้าขาดแมกนีเซียมต้องใช้ถึง 35% ของที่มีในใบ โดยปกติใบพืชจะแบ่งสัดส่วนการใช้แมกนีเซียมที่มีอยู่ดังนี้ 6 - 25% เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ 5 - 10% เป็นองค์ประกอบของสารแพกเตต (pectate) ในผนังเซลล์และตกตะกอนเป็นเกลือที่ละลายยากในแควิวโอล ที่เหลือประมาณ 60 - 90% ละลายได้ง่ายจึงสกัดได้ด้วยน้ำ หากแมกนีเซียมในใบเกินกว่า 20 - 25% เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ พืชจะชะงักการเจริญเติบโตและแสดงอาการขาดแมกนีเซียม

การกระจายแมกนีเซียมในแมทอบอลิกระหว่างไซโทซอลกับคลอโรพลาสต์มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสง กล่าวคือ เมื่อคลอโรพลาสต์ที่แยกมาจากใบและอยู่ในสารละลายซึ่งแมกนีเซียมเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ การสังเคราะห์แสงจะหยุดชะงักเนื่องจากโพแทสเซียมเข้าสู่คลอโรพลาสต์น้อยลง เมื่อได้รับแสงก็เกิดสภาพกรดขึ้นภายในสโตรมา เหตุการณ์ทำนองนี้อาจเกิดขึ้นเมื่อพืชขาดน้ำมากจนเป็นเหตุให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในแมทอบอลิกพุลสูงถึงระดับที่ชะงักการสังเคราะห์แสงของใบ

□ แมกนีเซียมกับการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของพืช

พืชปกติมีแมกนีเซียมในอวัยวะด้านวิวัฒนาการ (vegetative part) อยู่ในช่วง 0.15 - 0.35% โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชขาดธาตุนี้อาการใบเหลืองซีดจะปรากฏในใบซึ่งขยายตัวเต็มที่แล้ว แต่กลับมีไนโตรเจนรูปที่มีไซโปรตีนในใบมากขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสง (ต่อหน่วยพื้นที่ใบหรือหน่วยน้ำหนักคลอโรฟิลล์) ลดลง อัตราการหายใจต่ำกว่าพืชปกติ เมื่อพืชขาดแมกนีเซียมทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงจึงสร้าง ATP ได้น้อย ผลกระทบต่อมา คือ ที่พลังงานจะใช้ในการเคลื่อนที่ผลผลิตของการสังเคราะห์แสงจากแหล่งจ่าย (source) ไปยังที่รับ (sink) คือ ราก ผล และหัว สำหรับชับเทอราเนียนโคลเวอร์ที่ขาดธาตุนี้มีน้ำหนักรากลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ๆ ทำให้สัดส่วนของส่วนเหนือดินรากเพิ่มขึ้น สำหรับพืชตระกูลถั่วที่ขาดแมกนีเซียมจะเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตไปเลี้ยงรากได้น้อยกว่าปกติ อัตราการตรึงไนโตรเจนจึงลดลงด้วย

ตารางที่ 2.1 แร่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต รูปแบบหลักสำหรับการดึงดูด

ลำดับ	ธาตุอาหาร	สัญลักษณ์ทางเคมี	รูปแบบสำหรับการดึงดูด
1	คาร์บอน	C	CO ₂
2	ไฮโดรเจน	H	H ₂ O
3	ออกซิเจน	O	H ₂ O , O ₂
4	ไนโตรเจน	N	NH ₄ , NO ³⁻
5	ฟอสฟอรัส	P	H ₂ PO ⁴⁻ , HPO ₄ ²⁻
6	โพแทสเซียม	K	K ⁺
7	แคลเซียม	Ca	Ca ²⁺
8	แมกนีเซียม	Mg	Mg ²⁺
9	กำมะถัน	S	SO ₄ ²⁻ , SO ²⁻
10	เหล็ก	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺
11	แมงกานีส	Mn	Mn ²⁺
12	โบรอน	B	H ₃ BO ₃
13	สังกะสี	Zn	Zn ²⁺
14	ทองแดง	Cu	Cu ²⁺
15	โมลิบดีนัม	Mo	MoO ₄ ²⁻
16	คลอรีน	Cl	Cl ⁻

ที่มา : สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์, 2538 : 4

2.3.2 การขาดธาตุอาหารของพืช

1. ธาตุไนโตรเจน (N)

ถ้าพืชขาดธาตุไนโตรเจนตั้งแต่ยังอ่อน พืชจะไม่เจริญเติบโต หรือแคระแกรน ส่วนพืชที่เจริญเติบโตแล้ว แต่มีไนโตรเจนในดินไม่เพียงพอ พืชจะแสดงอาการสีเหลืองอ่อน หรือเหลืองที่ใบ ใบแก่หรือใบล่างจะแสดงอาการก่อน โดยเริ่มจากปลายใบเข้าสู่โคนใบเมื่ออาการขั้นรุนแรง และเหลืองทั้งใบ ที่ปลายใบและแห้งตายในที่สุดจะตายทั้งใบ (วรพจน์ รัมพณีนิล, 2529 : 70)

2. ธาตุฟอสฟอรัส (P)

เมื่อพืชขาดฟอสฟอรัส จะทำให้ระบบหายใจลดลง แล้วการสังเคราะห์แสงช้าลง ซึ่งเป็นผลให้เกิดการสะสมเม็ดสีม่วงในใบแก่และต้นแก่ การแบ่งเซลล์เป็นไปล่าช้าจะแคระแกรนใบจะมีสีเขียวเข้มและมีสีม่วงปรากฏเด่นชัดในระยะต้นพืชยังเล็กอยู่ ต่อมาใบจะกลายเป็นสีเหลืองคล้ายกับว่าพืชแก่แล้ว เมื่อถึงระยะออกดอก การเกษตรลดลงและพืชแก่ช้ากว่าปกติ บางครั้งการขาดฟอสฟอรัสอาจเนื่องมาจากพืชดูดไนโตรเจนไปใช้มากเกินไป เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร (วรพจน์ รัมพณีนิล, 2529 : 71)

3. ธาตุโพแทสเซียม (K)

พืชส่วนมากเมื่อขาดธาตุโพแทสเซียม จะปรากฏอาการที่ใบลักษณะใบไหม้เกรียม ที่ขอบใบหรือปลายใบ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า leaf scorch ในข้าวโพดจะปรากฏสีเหลืองหรือเหลืองฟางข้าวที่ขอบใบ จากปลายใบลามไปริมใบทั้ง 2 ข้าง และมักปรากฏกับใบล่างหรือใบแก่เช่นนี้คล้ายคลึงกับพืชขาดน้ำในฤดูแล้ง ต้นหอม หักง่าย รากจะไม่แตกแขนงอย่างปกติ การเจริญเติบโตช้า เปลือกเมล็ดมักเหี่ยวแห้ง การต้านทานโรคน้อยลง (วรพจน์ รัมพณีนิล, 2529 : 72)

4. ธาตุแคลเซียม (Ca)

การขาดธาตุแคลเซียมของพืชมักแสดงอาการที่ใบยอดหรือส่วนที่กำลังเจริญเติบโตแต่ในสภาวะไร้น้ำไปมักไม่ปรากฏการขาดแคลเซียมบ่อยครั้งนัก ดินอาจมีแคลเซียมอย่างเพียงพอแต่พืชอาจขาดน้ำหรือมีความชื้นไม่พอก็เป็นเหตุ พืชดูดน้ำไปใช้ไม่ทันก็เป็นเหตุให้แสดงอาการขาดธาตุแคลเซียมในใบยอดหรือส่วนที่กำลังเจริญเติบโตพืชที่ขาดธาตุแคลเซียมจะมีลักษณะหงิกงอและย่น บางครั้งอาการคล้ายคลึงกับเพลี้ยอ่อนดูดน้ำเลี้ยงที่ใบยอด โดยเฉพาะในยาสูบมักพบเพลี้ยอ่อนที่ใบยอดเสมอ ๆ (วรพจน์ รัมพณีนิล, 2529 : 73)

5. ธาตุแมกนีเซียม (Mg)

แมกนีเซียมเป็นส่วนที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ เมื่อพืชขาดแมกนีเซียม ใบจะมีสีเขียวซีดลงและมองเห็นเป็นแถบ ๆ คล้าย ๆ รอยขีดยาว ๆ ตามใบ ในใบยาสูบจะมีจุดสีขาวประปรายทั่วไปในใบแก่ใบล่างพืชบางชนิดถ้าขาดแมกนีเซียมมาก ๆ ใบจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง ส่วนในใบยาสูบและกะหล่ำดอกจุดสีขาวปรากฏในใบล่าง (วรพจน์ รัมพณีนิล, 2529 : 73)

2.4 ผักกาดเขียวกวาดตั้ง (เมฆ จันทรประยูร, 2543 : 120 – 126)

ผักกาดเขียวกวาดตั้งเป็นพืชอายุปีเดียว โดยใช้บริเวณส่วนของใบและก้านใบ เป็นผักที่นิยมบริโภคกันมาก ปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็ว อายุการเก็บเกี่ยวสั้นเพียง 35 – 45 วัน เป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นำมาประกอบอาหารประเภท ผัด แกงจืด ผักจิ้ม เป็นต้น สามารถปลูกได้ทุกฤดูและนิยมปลูกกันทั่วประเทศทั้งในรูปแบบของสวนผักการค้าและสวนผักใกล้บ้านเพื่อบริโภคในครอบครัว

คนไทยภาคเหนือนิยมนำผักกวางตุ้งมาทำอาหารที่เรียกว่า ผักกาดจ้อ ในแปลงผักจะเห็นสีเหลืองของดอกสดชูช่อไสว ตรงก้านดอกจะมีเมล็ดสีดำ ๆ ในผักกวางตุ้งบางพันธุ์ของทางตะวันตกนำไปสกัดน้ำมันทำเครื่องปรุงรส เรียกน้ำมันนี้ว่า มัสตาร์ด กลิ่นฉุน ๆ แต่กวางตุ้งที่ภาคกลางปลูกกันมาก กลับเป็นผักกวางตุ้งที่มีแต่ใบล้วน ๆ สีเขียวแก่ และกรอบ มีทั้งลำต้นสูงโปร่งราวฟุตเศษ ๆ และต้นเตี้ยสั้นแต่กาบใบอวบอ้วน ซึ่งเรียกกันว่า กวางตุ้งฮ่องเต้หรือกวางตุ้งไต้หวัน

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของต้นผักกาดเขียวกวางตุ้งในส่วนที่กินได้

ส่วนที่กินได้ (กรัม)	พลังงาน (กิโลแคลอรี)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	เบต้า-แคโรทีน* (ไมโครกรัม)
100	8	1.9	0.2	8.5	225

หมายเหตุ : * สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

1. ราก เป็นระบบรากแก้ว อยู่ในระดับดิน ส่วนใหญ่สุดของรากแก้วประมาณ 1.20 เซนติเมตร มีรากแขนงแตกออกรากแก้วมาก โดยรากแขนงแผ่อยู่ตามบริเวณผิวดิน รากแก้วอาจมีขนาดใหญ่ขึ้นถ้าดินมีสภาพชื้นและเย็น

2. ลำต้น ตั้งตรง มีสีเขียว ขนาดโตเต็มที่ใช้รับประทานได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.4 – 1.8 เซนติเมตร สูงประมาณ 43 – 54 เซนติเมตร ก่อนออกดอกลำต้นจะสั้น มีข้อถี่มากจนดูเหมือนเป็นกระจุกที่โคนต้นเมื่อออกดอกแล้ว ในระยะติดผักต้นจะสูงขึ้นมาก โดยเฉลี่ยสูงประมาณ 85 – 144 เซนติเมตร

3. ใบ ใบเลี้ยงมี 2 ใบ มีสีเขียว ปลายใบตรงกลางจะเว้าเข้า ส่วนใบจริงจะแตกเป็นกระจุกที่บริเวณโคนต้นเป็นใบเดี่ยว ใบเรียบไม่ห่อตัว ใบอ่อนมีสีเขียว ขอบใบเป็นรอยฟันเลื่อยเล็กน้อย ใบแก่ผิวใบเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย ไม่มีขน ขอบใบเรียบหรืออาจมีรอยเว้าตื้น ๆ ขนาดเล็ก ปลายใบมน ก้านใบหนาและมีสีขาวอมเขียว สำหรับใบที่ช่อดอก จะมีก้านใบยาว 2 – 3 เซนติเมตร รูปใบเรียวแหลมไปทางฐานใบ และปลายใบ ขอบใบเรียบ

4. ช่อดอกและดอก ผักกาดเขียวกวางตุ้งจะออกดอกเมื่ออายุประมาณ 55 – 75 วัน ช่อดอกยาว 50 – 90 เซนติเมตร ดอกตูมจะรวมกลุ่มอยู่บนยอดช่อดอก ดอกบานจากด้านล่างไปหาด้านบน ดอกที่บานแล้วมีก้านดอกยาวกว่าดอกตูม ดอกเป็นแบบสมบูรณ์เพศขนาดดอกประมาณ 1 – 1.5 เซนติเมตร กลีบชั้นนอกสีเขียวอ่อน 4 อัน ขนาดกลีบกว้าง 0.1 – 0.2 เซนติเมตร ยาว 0.7 – 0.8 เซนติเมตร กลีบชั้นในสีเหลืองสด 4 อัน แยกเป็นกลีบ ๆ ขนาดกลีบกว้าง 0.54 – 0.6 เซนติเมตร ยาว 1.1 – 1.2 เซนติเมตร มีเกสรตัวผู้ 6 อัน อับเกสรสีเหลืองแก่ ก้านชูเกสรสีเหลือง รังไข่ยาว 0.5 – 0.6 เซนติเมตร ซึ่งอยู่เหนือกลีบดอกและเกสรตัวผู้ ก้านเกสรตัวเมียสีเขียวยาว 0.2 - 0.25 เซนติเมตร ยอดเกสรตัวเมียเป็นคัมภีร์สีเหลืองอ่อนดอกบานในตอนเช้า

5. ผล มีลักษณะเป็นฝักรูปรางเรียวยาว แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนปลายไม่มีเมล็ด ยาวประมาณ 0.9 – 1.5 เซนติเมตร และส่วนที่มีเมล็ดยาวประมาณ 3 – 4.1 เซนติเมตร กว้าง 0.3 – 0.5 เซนติเมตร ก้านผลยาว 1.3 – 2.5 เซนติเมตร ผลตั้งขึ้น เมื่อผลแก่จะแตกตามยาวจากโคนไปหาปลายผล เมื่ออ่อนมีสีเขียว ผลแก่มีสีน้ำตาล

6. เมล็ด ค่อนข้างกลม มีทั้งสีน้ำตาลแดงและสีน้ำตาลเกือบดำ ผิวเมล็ดมีลายแบบร่างแหเห็นไม่ค่อยชัด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ประมาณ 2.5 กรัม

2.4.2 พันธุ์ฝักกาดเขียววางตั้ง

ที่ปลูกกันอยู่ทุกวันนี้มีหลายชนิดด้วยกัน แต่ที่นิยมบริโภคกันมาก คือ ฝักกาดเขียววางตั้งใบ สำหรับพันธุ์ที่ทางกรมวิชาการเกษตรส่งเสริมแนะนำ คือ พันธุ์น่าน 1 ลักษณะประจำพันธุ์เป็นฝักกาดชนิดไม่ห่อปลี ส่วนกลางของก้านใบค่อนข้างหนา ใบสีเขียวเข้ม ปลายใบมน ก้านใบประสานแนบกับโคนต้นเป็นระเบียบ ก้านใบสีเขียวอ่อน ความยาวเฉลี่ย 19.5 เซนติเมตร เมื่ออายุ 40 วัน ความหนาของก้านใบเฉลี่ย 0.9 เซนติเมตร ความกว้างเฉลี่ย 1.3 เซนติเมตร กว้าง 19 เซนติเมตร ความสูงเมื่ออายุ 40 วัน เฉลี่ย 57.26 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 550 กรัม ออกดอกเมื่ออายุ 50 วัน ลักษณะเด่นของพันธุ์น่าน 1 คือ เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตเร็ว อายุสั้น เก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุระหว่าง 30 – 40 วัน น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นสูง ต้นไม่แตกแขนง ทำให้เสียหายน้อย ในการบรรจุเพื่อการขนส่ง ไม่ออกดอกก่อนอายุ 40 วัน ข้อเสียของพันธุ์น่าน 1 คือ ไม่ต้านทานต่อโรคราน้ำค้าง

2.4.3 สภาพแวดล้อม

ฝักกาดเขียววางตั้งสามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด แต่จะเจริญได้ดีที่สุดในสภาพดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ดี มีอินทรีย์วัตถุสูง ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ควรอยู่ระหว่างสภาพเป็นกรดเล็กน้อยจนถึงปานกลาง คือ ระหว่าง 6 – 6.8 ชอบดินที่มีความชื้นสูงเพียงพอสม่ำเสมอ ได้รับแสงแดดเต็มที่ตลอดวัน อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20 – 25 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยสามารถปลูกฝักกาดเขียววางตั้งได้ตลอดปี

2.4.4 การเตรียมดิน

เนื่องจากฝักกาดเขียววางตั้งเป็นผักที่มีระบบรากตื้น ดังนั้น ในการเตรียมดินควรขุดไถดินให้ลึกประมาณ 15 – 20 เซนติเมตร แล้วทำการตากดินทิ้งไว้ประมาณ 5 – 7 วัน ใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายตัวแล้วให้มาก คลุกเคล้าให้เข้ากันดี แล้วทำการไถพรวนให้ดินละเอียด ในกรณีที่ดินมีสภาพเป็นกรดก็ควรใส่ปูนขาวเพื่อปรับระดับ pH ของดินให้เหมาะสม ขนาดแปลงปลูกกว้าง 1 เมตร ยาวตามความเหมาะสม

2.4.5 การปลูก

ในการปลูกฝักกาดเขียววางตั้งนิยมทำกัน 2 วิธีด้วยกัน คือ

1. การปลูกแบบหว่านเมล็ดโดยตรง วิธีนี้นิยมใช้ในการปลูกแปลงที่ยกร่อง มีร่องน้ำกว้างและพื้นที่ควรมีการเตรียมอย่างดี และเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ฝักกาดเขียววางตั้งมีขนาดเล็กมาก ดังนั้น ก่อนหว่านควรผสมกับทรายเสียก่อน โดยใช้เมล็ดพันธุ์ 1 ส่วนผสมกับทรายสะอาด 3 ส่วน แล้วหว่านให้กระจายทั่วแปลงสม่ำเสมอ แล้วหว่านกลบด้วยปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักหนาประมาณ 1 เซนติเมตร หลัง

หลังจากนั้นคลุมด้วยฟางข้าวบางๆ เพื่อช่วยเก็บรักษาความชุ่มชื้นในดิน เสร็จแล้วรดน้ำให้ชุ่มหลังจากงอกได้ประมาณ 20 วัน ควรทำการถอนและจัดให้มีระยะระหว่างต้น 20 – 25 เซนติเมตร

2. การปลูกแบบโรยเมล็ดเป็นแถว การปลูกวิธีนี้หลังจากเตรียมดินแล้ว จึงทำร่องลึกประมาณ 1.5 – 2 เซนติเมตร ให้เป็นแถวโดยให้ระยะระหว่างแถวห่างกัน 20 – 25 เซนติเมตร นำเมล็ดพันธุ์ผสมกับทรายแล้วทำการโรยหรือหยอดเมล็ดเป็นแถวตามร่อง แล้วกลบด้วยปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักบาง ๆ คลุมด้วยฟางข้าวบาง รดน้ำให้ชุ่มและสม่ำเสมอ หลังจากปลูกได้ประมาณ 20 วัน หรือต้นกล้ามีใบ 4 – 5 ใบ จึงทำการถอนแยกในแถว โดยพยายามจัดระยะระหว่างต้นให้ห่างกันประมาณ 20 – 25 เซนติเมตร ให้เหลือหลุมละ 1 ต้น

2.4.6 การดูแลรักษา

การให้น้ำ เนื่องจากผักกาดเขียวกวาดตั้งเป็นผักที่ต้องการน้ำมาก และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเกษตรกรจะต้องให้น้ำอย่างเพียงพอและสม่ำเสมอ อย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง โดยใช้ระบบพ่นฝอยหรือใช้สายยางฉีดฝักบัว อย่าให้ผักกาดเขียวกวาดตั้งขาดน้ำในระยะการเจริญเติบโตเพราะจะทำให้ผักกาดเขียวกวาดตั้งชะงักการเจริญเติบโตได้ สำหรับการพรวนดินและกำจัดวัชพืช ควรทำในระยะแรกพร้อมกับการถอนแยก

2.4.7 การเก็บเกี่ยว

อายุการเก็บเกี่ยวของผักกาดเขียวกวาดตั้งค่อนข้างเร็ว คือประมาณ 35 – 45 วัน การเก็บเกี่ยวโดยเลือกต้นที่มีขนาดใหญ่ตามต้องการ แล้วใช้มีดคม ๆ ตัดที่โคนต้น แล้วทำการตัดแต่งใบนอกที่แก่หรือใบที่ถูกโรคหรือแมลงทำลายออกสำหรับการเก็บรักษา เนื่องจากผักกาดเขียวกวาดตั้งเป็นผักอวบน้ำ ดังนั้น การเก็บรักษาจึงควรเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ ประมาณศูนย์องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 3 สัปดาห์

2.5 เปลือกไข่ (Shell)

ถ้านำไข่มาแบ่งออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ ที่สามารถเห็นได้ชัดเจน สามารถแบ่งได้ 3 ส่วน คือ

1. ไข่แดง
2. ไข่ขาว
3. เปลือกไข่

เปลือกไข่ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ที่สำคัญ 2 ชั้น โดยภายในชั้นเหล่านี้ ประกอบไปด้วยรูพรุนมากมาย ประมาณ 8,000 รู สำหรับให้เป็นทางผ่านของน้ำและแก๊สต่าง ๆ นอกจากนี้แล้ว เชื้อแบคทีเรียอาจจะผ่านหรือซึมผ่านรูที่เปลือกไข่ได้เหมือนกัน ปรกติแล้วเปลือกไข่ที่ออกมาใหม่ ๆ จะมีลักษณะจะมีลักษณะใส แต่จะทึบแสงเมื่อมันแห้งลง

ผิวนอกของเปลือกไข่จะมีแผ่นเยื่อบาง ๆ เรียกว่า bloom or cuticle คาดหรือปกคลุมอยู่ ซึ่งหลังจากไข่ออกมา เยื่อบางๆ นี้จะแห้งอย่างรวดเร็วทำให้ไปปิดรูพรุนที่เปลือกจนแห้งสนิท เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและแก๊สออกจากไข่วางทั้งป้องกันการซึมผ่านของเชื้อแบคทีเรียซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ เปลือกไข่ที่ส่วนปลายของฟองไข่จะมลและจะมีรูพรุนมากกว่าส่วนอื่น ๆ ของเปลือกไข่ (วิโรจน์ จันทรรัตน์, 2537 : 824)

2.5.1 องค์ประกอบต่างๆ ของไข่

ไข่ฟองหนึ่งๆ เฉลี่ยโดยทั่วไปหนัก 57 กรัม หรือ 2 ออนซ์ มีปริมาณเปลือกไข่ ประมาณ 11% ของน้ำหนักไข่ทั้งฟอง เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณ 94 % แคลเซียม ฟอสเฟต 1 % แมกนีเซียมคาร์บอเนต 1% และอินทรีย์สาร 4 % ของน้ำหนักเปลือกแห้งเมื่อเทียบสัดส่วนของไข่ทั้งฟองและส่วนต่างๆ จะปรากฏว่าไข่แดงมีสิ่งสำคัญมากกว่าในส่วนอื่น ๆ ทั้งสิ้น ดังนี้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ไก่

ส่วนต่างๆของไข่ ไก่	สัดส่วน%	น้ำ%	โปรตีน%	ไขมัน%	เถ้า%
เนื้อไข่ทั้งฟอง	100	65.5	11.8	11.0	11.7
ไข่ขาว	58	88.0	11.0	0.2	0.8
ไข่แดง	31	48.0	17.5	32.5	2.0
เปลือกไข่ไก่	11	94.0	1.0	1.0	4.0

ที่มา : สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2519 : 113 - 115 จากเอกสาร Egg Grading Manual USDA, Agr. Mandbook.No.75