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 ลิกขนานนท์ (2542) ได้ให้ทัศนะถึงน้ำสกัดชีวภาพไว้ว่า น้ำสกัดชีวภาพที่ได้มาจากการหมักเศษพืชหรือสัตว์นั้น ถึงแม้ไม่ได้ใส่กากน้ำตาล พืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นอินทรีย์ก็จะถูกย่อยสลาย โดยกระบวนการทางธรรมชาติอยู่แล้ว แต่การที่ใส่กากน้ำตาลลงไปเพื่อให้เป็นแหล่งพลังงานหรืออาหารของจุลิทรีย์ จึงทำให้เกิดการย่อยสลายเร็วขึ้นกว่าการย่อยสลายตามธรรมชาติทั่วไป กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารนั้นมีจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องหลายกลุ่มและหลังขบวนการเสร็จสิ้นก็ยังคงมีจุลินทรีย์อยู่ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมว่าเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดใด แต่จากการที่ตรวจสอบตัวอย่างที่ส่งมาให้กับกลุ่มงานจุลินทรีย์ดิน กรมวิชาการเกษตรนั้น ไม่พบจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ ดังนั้น จึงไม่ถือว่าน้ำสกัดชีวภาพนี้เป็นปุ๋ยชีวภาพ ดังนั้นประโยชน์ที่จะได้รับจากน้ำสกัดชีวภาพนี้ ควรต่างไปจากประโยชน์จากปุ๋ยชีวภาพ การใช้ประโยชน์ว่ามีน้อยมาก เพราะปริมาณของธาตุอาหารหลักมีน้อยและการใช้จะต้องเจือจางตั้งแต่ 100 เท่าขึ้นไป ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารซึ่งมีอยู่น้อยยิ่งน้อยลงไปอีก และจุลินทรีย์ในน้ำสกัดนี้ไม่สามารถระบุได้ว่าชนิดใด เพราะจุลินทรีย์ในธรรมชาติมีหลายล้านชนิด การย่อยสลายจึงอาจเกิดจากจุลินทรีย์ได้หลายพวกและระหว่างกระบวนการย่อยสลายนั้นจะเกิดฮอร์โมน กรดอินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชปะปนกันอยู่แต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย

ยงยุทธ โอสถสภา (2542) ได้ให้ทัศนะถึงน้ำสกัดชีวภาพดังนี้ "สารสกัดจากพืชหรือสัตว์" จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบในเซลล์พืชหรือสัตว์อยู่มากเมื่อนำมาหมักร่วมกับน้ำตาลที่ละลายในน้ำเป็นลักษณะน้ำเชื่อม หรืออาจใช้โมลาสซึ่งเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าน้ำภายในเซลล์ของพืชหรือสัตว์ทำให้ผนังเซลล์สูญเสียสภาพหรือที่เรียกว่าเซลล์แดก อินทรีย์สารที่อยู่ในเซลล์พืชหรือสัตว์ด้วย ดังนั้น อินทรีย์สารที่ได้จากการย่อยสลาย จึงมีทั้งจากของเดิมที่ได้จากพืชและของใหม่ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ ขณะที่เกิดกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารที่ถูกย่อยสลายจะมีโมเลกุลขนาดเล็กทำให้พืชดูดซึมได้ง่าย แต่สารต่างๆ ที่ได้จะมีปริมาณเล็กน้อย เพราะวัสดุที่ใช้ยังสดอยู่จึงมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ขณะที่อินทรีย์สารที่มีอยู่น้อยกว่าวัสดุแห้งเมื่อเปรียบเทียบที่น้ำหนักเท่ากัน นอกจากนี้ ผลผลิตที่ได้แต่ละครั้งจะมีความแตกต่างกันเนื่องจากวัตถุดิบ คือ ซากพืชซากสัตว์สิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับกระบวนการโดยเฉพาะอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงจึงทำให้คุณภาพในแต่ครั้งไม่สม่ำเสมอ

วรรลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ (2543) นักวิชาการจากกลุ่มอินทรีย์วัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน ได้วิจัยและศึกษาเรื่องน้ำสกัดชีวภาพ และให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับน้ำสกัดชีวภาพดังนี้ "น้ำสกัดชีวภาพเป็นสิ่งที่ได้จากการหมักเศษพืชหรือสัตว์" และนำมาใช้ในรูปของน้ำโดยการใช้พ่นที่ใบหรือดินบริเวณรอบ ๆ รากพืชในกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นจะมีจุลินทรีย์เข้ามาร่วมกิจกรรมตามกลไกของธรรมชาติ

วัสดุธรรมชาติที่นำมาใช้หมักจะเป็นส่วนที่ทำให้ธาตุอาหารที่ได้มีความแตกต่างกันสำหรับพืชแต่ละชนิดจะให้ปริมาณธาตุอาหารไม่แตกต่างกันมากนักและส่วนใหญ่จะไม่ถึง 1% แต่ถ้าใช้วัสดุจากสัตว์จะมีธาตุอาหารแตกต่างไปจากพืชบ้าง เช่น ปลาทะเลจะมีปริมาณแคลเซียมมากและมีค่าความเค็มสูง ในน้ำสกัดชีวภาพมีจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่จะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในธรรมชาติซึ่งจะทำให้เกิดสารอินทรีย์ขึ้นด้วย สารเหล่านี้จะมีผลส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืชและถ้าราดน้ำสกัดชีวภาพลงดิน จุลินทรีย์จะเข้าไปอยู่ในบริเวณรากพืชและทำการย่อยสลายนั้นอาจจะมีสารประเภทฮอร์โมนหรือเอนไซม์เกิดขึ้นและเป็นประโยชน์กับพืช

จากทัศนะของนักวิชาการต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่า น้ำสกัดชีวภาพไม่ใช่ปุ๋ยชีวภาพ ธาตุอาหารหลักที่พบในน้ำสกัดชีวภาพมีปริมาณน้อยมาก นอกจากธาตุอาหารที่พบในน้ำสกัดชีวภาพ แล้วยังพบฮอร์โมน กรดอินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชปะปนอยู่เพียงปริมาณน้อยเช่นกัน เนื่องจากจุลินทรีย์หลายกลุ่มในน้ำสกัดชีวภาพจะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ไม่มีในธรรมชาติทำให้พืชได้รับประโยชน์จากธาตุอาหาร หากจะนำมาใช้เป็นรูปปุ๋ยโดยตรงยังไม่สามารถสรุปยืนยันได้ว่าจะทำให้เพิ่มการเจริญเติบโตของพืชหรือเพิ่มผลผลิตได้หรือไม่มากน้อยเพียงใด เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลทางวิชาการสนับสนุนยืนยันออกมาอย่างเด่นชัด ดังนั้นประโยชน์ของการผลิตน้ำสกัดชีวภาพนอกจากจะเป็นการช่วยลดปัญหาขยะเต็มเมืองแล้วผลที่ได้เกิดขึ้น คือ การนำมาช่วยในการย่อยอินทรีย์วัตถุในดินทำให้พืชได้รับประโยชน์จากธาตุอาหารพืชและฮอร์โมน หรือเอ็นไซม์ 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 ถ้าชิมน้ำสกัดชีภาพจะมีรสเปรี้ยว

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 เศษผักและผลไม้ จำนวน 1 กิโลกรัม นำมาใส่ถังหมัก แล้วเอาปุ๋ยจุลินทรีย์โรยลงไป 1 กำมือ หรือประมาณเศษ 1 ส่วน 20 ของปริมาตร ของขยะหมักไว้ 10 - 14 วัน จะเกิดการย่อยสลายของขยะเปียกบางส่วนกลายเป็นน้ำกรณีที่ขยะหอมคล้ายกับกลิ่นหมักเหล้าไวน์ 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 เพื่อช่วยดับกลิ่นคาวจากเศษปลาคนให้เข้ากันและคนติดต่อกัน อย่างน้อยเป็นเวลา 7 วัน ในระยะนี้จะสังเกตเห็นว่าพุงปลาเริ่มมีการละลายออกมาเป็นสาร ละลายเกือบหมดแล้ว ทำการหมักต่อไปอีกเป็นเวลา 21 วัน ระหว่างนี้ทำการคนเป็นครั้งคราว การหมักปุ๋ยปลาถ้าใช้เวลานานจะได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพและกลิ่นที่ดี

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

2.1.3 ประโยชน์ของน้ำสกัดชีวภาพ

1. ใช้ผสมน้ำรดพืชทุกชนิดเพื่อเร่งการเจริญเติบโต
2. ใช้ในการทำปุ๋ยหมักแห้ง
3. ช่วยในการปรับปรุงดิน
4. ช่วยในการดับกลิ่นได้ดี โดยใช้ผสมน้ำราดบริเวณที่มีกลิ่น เช่น ห้องน้ำ คอกปศุสัตว์
5. สามารถนำมาผลิตใช้เองไม่ต้องซื้อหาให้สิ้นเปลือง
6. ปลอดภัยสารพิษ 100 % (วารสารโลกเกษตร & อุตสาหกรรม, 2544 : 25)
7. ปรับค่า pH ดินให้เป็นกลาง จากการทดลองใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพควบคุมและบังคับให้ส้มเขียวหวานออกตามระยะเวลาที่ต้องการ ก่อนเริ่มปฏิบัติการได้มีการตรวจค่า pH ดิน ปรากฏว่า มีค่า 4.0 - 4.5 ซึ่งถือว่าเป็นกรดจัด หลังจากมีการใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพโดยการใส่ต้นส้มเขียวหวานทางราก 3 รอบ ใน 1 เดือน ปรากฏว่า ค่าพีเอชของดินขึ้นมามีค่าอยู่ที่ 6.0 - 6.5 ถือว่าเป็นกรดอ่อน ๆ ที่ต้นไม้สามารถเจริญเติบโตได้ดี
8. ผลจากการที่ค่า pH ของดินหายจากการเป็นกรดจัด จึงเป็นผลทำให้เชื้อราไฟทอฟทอร่าสาเหตุของโรครากเน่าโคนเน่าในต้นส้ม ไม่สามารถเจริญเติบโตขยายพันธุ์ได้และตายไปในที่สุด
9. จุลินทรีย์ในปุ๋ยน้ำชีวภาพ สามารถย่อยสลายเศษซากอินทรีย์วัตถุทุกชนิดในเนื้อดิน โดยเฉพาะดินเหนียวถึงเหนียวจัดจะกลายเป็นดินร่วนทันที ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินได้แทรกตัว เข้าไปในระหว่างอนุภาคของเม็ดดิน
10. ฮิวมัสที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายในปุ๋ยน้ำชีวภาพจะเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมี สามารถลดความเข้มข้นของสารโปแตสเซียมคลอเรท สำหรับบังคับลำไยให้ออกนอกฤดูกาล และสารพาโคบิวทราโซล สำหรับบังคับมะม่วง ให้เจือจางลงจนไม่เป็นอันตรายต่อการทำงานของรากของต้นไม้ผลที่ดินมีการใช้สารนี้อย่างประจำ และต่อเนื่อง จึงทำให้ดินกลับคืนสู่สภาพปกติได้
11. สภาพโครงสร้างของดินที่อุดมสมบูรณ์ด้วยฮิวมัสนั้น สามารถทำให้เกิดไส้เดือนขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง ภายหลังจากการให้ปุ๋ยน้ำชีวภาพแก่ต้นพืชทั้งทางรากและทางใบ ปุ๋ยน้ำชีวภาพส่วนที่ลงไปอยู่ในดินนั้นทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ขึ้นไส้เดือนจึงสามารถอาศัยในดินที่อุดมได้ (ไส้เดือน 1 ตัวสามารถสร้างปุ๋ยอินทรีย์ได้มากถึง 6 - 7 กิโลกรัมต่อปี) (http://www.geocities.com) นอกจากนี้มีคุณสมบัติช่วยเร่งการเจริญเติบโต

ของพืชแล้วยังลดการก่อกวนของแมลงได้อีก ที่เป็นเช่นนี้อันเนื่องกลิ่นของน้ำสกัดชีวภาพทำหน้าที่ในการไล่แมลงไม่ให้เข้ามาทำลายพืชที่ปลูก (เทวินทร์ กุลปิยวัฒน์, 2543 : 344)

2.1.4 วิธีใช้น้ำสกัดชีวภาพ

1. ฉีดพ่นพืช ผัก ไม้ผล ไม้ยืนต้น อัตราส่วน 1 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 5 - 10 ลิตร
2. ราดกองใบไม้ใบหญ้า สด แห้ง 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. การขยายหัวเชื้อมีอัตราส่วน 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 ในสมัยนั้นรู้จักการทำอาหารหมักพื้นบ้านการหมักแอลกอฮอล์การหมักในในสภาพที่มีอากาศใช้เชื้อรา Aspergillus Oryzae การผลิตยีสต์ขนนมปัง (Baker's yeast) แบบไม่ใช้อากาศ การผลิตน้ำส้มสายชูโดยใช้ vineger generation เทคนิค ที่มีการใช้ในกระบวนการหมักมี pasteurization, inoculation, aeration และ semiaseptic ซึ่งในช่วงก่อน ค.ศ. 1860 อาจแบ่งกระบวนการหมักได้ 2 แบบ คือ การหมักแบบใช้อากาศ (aerobic fermentation) และการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobicfermentation) (ลักขณา ชนะวงค์, 2538 : 24 – 25)

การหมัก (Fermentation) เป็นคำรากศัพท์มาจากภาษาลาติน "fervere" แปลว่า เดือดซึ่งในบางครั้งใช้เพื่ออธิบายลักษณะที่เกิดจากการกระทำของยีสต์ในน้ำสกัดชีวภาพจากผลไม้หรือเมล็ดข้าวมอลล์ เนื่องจากยีสต์ย่อยสลายน้ำตาลภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน ทำให้เกิดฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผุดขึ้นมาเหมือนน้ำเดือด อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนักชีวเคมีและนักจุลชีววิทยาอุตสาหกรรมได้นำคำว่า การหมัก มาใช้ในความหมายที่แตกต่างกันไปบ้าง ในทางชีวเคมี การหมัก หมายถึง การสร้างพลังงานจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ โดยมีสารอินทรีย์เป็นทั้งตัวให้และตัวรับอิเล็กตรอน ส่วนการหมักในทางจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม หมายถึง กระบวนการผลิตผลใด ๆ ก็ตามที่ได้จากการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์จำนวนมาก (mass culture) ซึ่งจะครอบคลุมทั้งกระบวนการแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน ในขณะที่การหมักทางชีวเคมีจะหมายถึงเฉพาะกระบวนการการแบบใช้ออกซิเจนเท่านั้น (สมใจ ศิริโภค, 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 ^{0}C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จุลินทรีย์และเชื้อโรคส่วนใหญ่จะถูกทำลาย และที่อุณหภูมิดังกล่าวจุลินทรีย์จะสลายสารอาหารได้ประสิทธิภาพสูงสุด (thermophilic Bacteria) ดังสมการ

$$\text{อินทรีย์สาร (CHONS)} + O_2 \xrightarrow{\text{Aerobic bacteria}} CO_2 + H_2O + NO_3 + SO_4^{-2}$$

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

- การหมักโดยอาศัยออกซิเจนตามธรรมชาติ (Windraw composting) โดยมูลฝอยที่มีอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ไปกองรวมกันโดยให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้มูลฝอยสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศมากที่สุด ถ้ากองให้ขนาดใหญ่มูลฝอยที่อยู่ข้างในอาจได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Decomposition) ขึ้นได้ วิธีนี้จึงต้องใช้พื้นที่มากและใช้เวลาประมาณ 30 วัน
- การหมักโดยเร่งอัตราการย่อยสลายโดยใช้เครื่องจักรกลช่วย (High Rate composting) มีการใช้เครื่องมือที่ช่วยให้ออกซิเจนในอากาศสัมผัสกับมูลฝอยได้มากที่สุด อาจใช้เครื่องอัดอากาศ (Blower) อัดอากาศผ่านจากใต้กองขึ้นข้างบน หรือจะดูดอากาศจากนอกกองผ่านเข้าไปในกองก็ได้หรืออาจจะเป็นกระทะเจาะรูมีการพลิกกลับเป็นต้น นอกจากใช้เครื่องจักรกลเติมออกซิเจนให้มูลฝอยแล้ว ในการหมักจำเป็นต้องทำให้มูลฝอยเป็นชิ้นเล็กและแยกส่วนที่ไม่ย่อยสลายออกไป จะช่วยให้สัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้นด้วย การย่อยสลายก็จะเร็วขึ้นด้วย โดยการใช้เวลาประมาณ 5 - 7 วัน ก็จะทำให้เกิดอุณหภูมิสูงถึงระดับ Thermopile ได้

2. การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition)

เป็นการย่อยสลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะให้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (final Product) ดังสมการ

$$\text{อินทรีย์สาร (CHONS} \xrightarrow{\text{Anaerobic bacteria}} CH_3COOH + CO_2 + H_2S + NH_3 + CH_4$$

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 % มากเกินไปจะทำให้สัดส่วนของอากาศต่อเนื้อมูลฝอยน้อยลง การย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้าและอาจเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ถ้ามีความชื้นมากเกินไปจะมีน้ำไม่เพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพราะว่าน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี ถ้าความชื้น 30% หรือต่ำกว่านี้ขบวนการการย่อยสลายจะหยุดหรือเกิดขึ้นช้ามาก

3. อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมีและเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาทางชีวเคมี สภาพของอุณหภูมิก็มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย ในฤดูร้อนอุณหภูมิสูง การย่อยสลายจะเป็นไปได้เร็ว ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปกับอากาศ

4. อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C : N Ratio) คาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ธาตุไนโตรเจนน้อยเกินไป จุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนได้น้อย ถ้าไนโตรเจนมากเกินไปก็จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนกระจายสู่บรรยากาศ 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 โมลิบดินัม และคลอรีน จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าในเปลือกไข่มีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ ธาตุไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม, แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งธาตุต่าง ๆ เหล่านี้ต่างก็มีหน้าที่และความสำคัญ ที่แตกต่างกันออกไป (สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์, 2538 : 2)

2.3.1 หน้าที่ของธาตุหลัก

ธาตุหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการปริมาณมากจึงจะเพียงพอต่อการเจริญเติบโตตามปกติ ดินที่ใช้เพาะปลูกพืชโดยทั่วไปมักขาดแคลนธาตุใดธาตุหนึ่ง สองในสาม หรือทั้งสามธาตุ ปุ๋ยเคมีที่ใช้บำรุงดินจึงประกอบด้วยสามธาตุนี้เป็นหลัก สำหรับหน้าที่ของธาตุทั้งสาม แม้จะแตกต่างกันแต่ก็มีความสัมพันธ์ในหลายประเด็น

1. ไนโตรเจน

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

❑ **หน้าที่ของไนโตรเจน**

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 ฮอร์โมนพืชที่พืชสังเคราะห์ขึ้นเองและมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ คือ ออกซิน (auxins) กับไซโทไคนิน (cytokinins) ออกซินเป็นฮอร์โมนที่กระตุ้นการแบ่งเซลล์ เร่งการขยายขนาดของเซลล์ ควบคุมการแตกราก ยับยั้งการเจริญของตาข้าง ป้องกันการร่วงของใบ กิ่ง และผล

ไซโทไคนินเป็นฮอร์โมนที่ส่งเสริมการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดของเซลล์ ส่งเสริมการสร้างและการเจริญของตา ช่วยในการงอกของเมล็ด ส่งเสริมการสร้างโปรตีน ชะลอการเสื่อมตามอายุของใบ และช่วยในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร

4. กรดนิวคลีอิก(nucleic acids) เป็นอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ประกอบด้วยหน่วยย่อย คือ นิวคลีโอไทม์จำนวนมาก 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 ทำให้ใบแกร่วงหล่นเร็ว หากให้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราสูงจะช่วยยืดอายุใบแก่และกระตุ้นให้พืชเติบโตต่อไป นอกจากนี้อาจพบการเปลี่ยนแปลงด้านสัณฐานของพืชด้วย คือ พืชได้รับไนโตรเจนมากตั้งแต่ระยะแรก ส่วนเหนือดินจะเจริญเร็วแต่รากเจริญช้า ดังนั้น ในช่วงเวลาต่อมารากย่อมดูดน้ำและธาตุอาหารได้น้อยกว่าที่พืชต้องการ

2. องค์ประกอบทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงด้านองค์ประกอบทางเคมีเพราะการเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจน แสดงว่าเกิดผลกระทบในวิถีเมทาบอลิซึมหลายด้าน เนื่องจากต้องแบ่งกันใช้สารซึ่งได้จากการสังเคราะห์แสง ดังนี้

2.1 หากเพิ่มไนโตรเจนจนถึงระดับเพียงพอ การใช้ประโยชน์แอมโมเนียมีอัตราสูงขึ้น จึงเพิ่มปริมาณโปรตีน การเจริญของใบ ดรรชนีพื้นที่ใบ และการสังเคราะห์แสงสุทธิ หากการมีดรรชนีพื้นที่ใบยังสอดคล้องกับการสังเคราะห์แสงสุทธิที่เพิ่มขึ้น การนำโครงคาร์บอนมาใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนและอะไมด์

จะไม่ไปลดวิถีเมทาบอลิซึมอื่นที่เกี่ยวข้องกับคาร์โบไฮเดรต การสะสมน้ำมัน การให้ไนโตรเจนเพียงระดับนี้จะไม่ทำให้องค์ประกอบของพืชเปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนผลผลิตรวมต่อไร่จะเพิ่มขึ้น

2.2 หากเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนต่อไป การดึงเอาโครงคาร์บอนมาสังเคราะห์กรดอะมิโนและอะไมด์ก็มีมากขึ้นตามไปด้วย ประกอบกับปุ๋ยช่วยเพิ่มดรรชนีพื้นที่ใบเช่นกัน แต่เนื่องจากใบหนาแน่นขึ้นและบังแสงกันเองจึงไม่เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ ผลกระทบต่อเมทาบอลิซึมด้านอื่นอาจมีบ้างแต่ไม่รุนแรงนัก หากเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนเข้าไปอีกการสังเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น จะต้องดึงเอาคาร์โบไฮเดรตที่ควรจะนำไปใช้ในวิถีเมทาบอลิซึมอื่น ๆ จึงทำให้องค์ประกอบทางเคมีของพืชเปลี่ยนแปลงมาก

3. คุณภาพของผลผลิต

การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเหมาะสมในแง่ชนิด อัตรา และเวลาที่ใส่จะช่วยให้ได้ผลผลิตสูงและคุณภาพดี แต่ถ้าปฏิบัติไม่ถูกต้องจะมีผลเสียตามมา

3.1 ไนเทรตกับคุณภาพผลผลิต

การใช้ปุ๋ยไนเทรตในระยะที่ใกล้เก็บเกี่ยวพืชมีผลเสีย 2 ประการคือ สิ้นเปลืองปุ๋ยโดยไม่มีผลตอบแทน และคุณภาพของผลผลิตในเชิงโภชนาการต่ำ เช่น ผักชีที่มีไนเทรตสะสมอยู่ ไนเทรตถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นไนไทรต์ (NO_2^-) ในระหว่างการเก็บหรือการแปรสภาพ นอกจากนั้น ไนไทรตยังอาจเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นไนโตรซามีน (nitrosamine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ส่วนผักและผลไม้ที่มีไนเทรตสูงนั้นเมื่อนำมาบรรจุเป็นอาหารกระป๋อง ผิวเคลือบดีบุกภายในจะเป็นสีดำภายในเวลาไม่กี่เดือน

3.2 ไนโตรเจนกับโปรตีนในเมล็ด

เมล็ดธัญพืชซึ่งมีโปรตีนสูงเหมาะสมที่จะนำมาแปรรูป และมีคุณค่าทางโภชนาการการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเพียงพอและในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน นอกจากนี้โปรตีนยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นอย่างพร้อมมูล

2. ฟอสฟอรัส

❑ รูปที่เป็นประโยชน์ในดินและสารประกอบฟอสเฟตในพืช

ฟอสฟอรัสในสารละลายดินเป็นแอนไอออนของกรดออโทฟอสฟอริก (H_3PO_4) รูปของแอนไอออนจึงมีได้สามรูปแบบขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่าง (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

เมื่อพืชดูดฟอสฟอรัสไอออนเข้าไปในเนื้อเยื่อพืชแล้วจะไม่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นเพื่อเปลี่ยนรูปเหมือนไนเทรตหรือซัลเฟต แต่คงอยู่ในรูปของฟอสฟอรัสเหมือนเดิมในสองสภาพ คือ อินทรีย์ฟอสเฟต และองค์ประกอบในสารอินทรีย์

ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารที่สำคัญมากมายหลายชนิด เนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยากับอินทรีย์สารได้หลายลักษณะดังนี้

1. ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของโซ่คาร์บอนได้สารประกอบฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate esters) เช่น น้ำตาลฟอสเฟตที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง
2. เชื่อมโยงกันระหว่างอนุมูลฟอสเฟตด้วยพันธะไพโรฟอสเฟตพลังงานสูงใน 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 เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะวัฒนภาคเป็นไปตามปกติ สำหรับระดับที่ถือว่าเป็นพิษ คือ สูงกว่า 1% โดยน้ำหนักแห้ง พืชตระกูลถั่วหลายชนิดไวต่อพิษของธาตุนี้มาก

พืชที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 ประการคือ ใบขยายขนาดช้าจึงเล็กและจำนวนใบน้อย สาเหตุที่แผ่นใบมีการขยายช้าก็เพราะเซลล์ชั้นผิวไม่ค่อยขยายตัว อันเนื่องมาจาก เซลล์ชั้นผิวมีฟอสฟอรัสต่ำและสภาพนำน้ำของรากลดลง แม้ว่าการขยายขนาดใบจะลดลงอย่างมาก แต่ปริมาณโปรตีนและคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากขนาดใบลดมากแต่คลอโรฟิลล์ลดน้อยกว่าทำให้ใบพืชที่ขาดฟอสฟอรัสในระยะแรกมีสีเขียวเข้มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาอัตราการสังเคราะห์แสงต่อหน่วยของคลอโรฟิลล์พบว่ามีค่าลดลงไป

เมื่อการเจริญเติบโตของส่วนที่เหนือดินลดลงมาก แต่มีผลกระทบต่อรากน้อย ดังนั้น พืชที่ขาดฟอสฟอรัสจึงมีค่าสัดส่วนระหว่างส่วนเหนือดินกับรากลดลงการขาดฟอสฟอรัสก็เป็นสาเหตุที่ทำให้การกระจายของคาร์โบไฮเดรตลงมาอยู่ที่รากมากขึ้น สำหรับถั่วที่ขาดธาตุนี้มีคาร์โบไฮเดรตในราก 27% ของที่มีทั้งต้นขณะที่พืชปกติมี 15.7% ด้วยเหตุนี้รากพืชที่ขาดฟอสฟอรัสยังสามารถยืดตัวได้ในขณะที่ส่วนเหนือดินหยุดการเจริญเติบโตแล้ว พฤติกรรมดังกล่าว คือ ความพยายามที่จะรักษาสภาพให้รากมีความสามารถหาธาตุอาหารที่ขาดแคลนมาเพิ่มเติม การขาดฟอสฟอรัสของพืชมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์อย่างมาก เช่น ออกดอกช้าจำนวนดอก ผล และเมล็ดน้อยลง การที่ใบพืชเสื่อมตามอายุและร่วงหล่นเร็วกว่าปกติเป็นสาเหตุหนึ่งที่ให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ

3.โพแทสเซียม

- **โพแทสเซียมกับการเจริญเติบโตของพืช**

แม้ว่าพืชแต่ละชนิดจะต้องการโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วความต้องการของพืชจะอยู่ในพิสัย 2 – 5 % โดยน้ำหนักแห้ง ของอวัยวะด้านวัฒนภาคผลและหัว ทั้งนี้ยกเว้นพืชที่ชอบโซเดียม ซึ่งความต้องการโพแทสเซียมมีน้อยกว่าพืชทั่วไป แต่ถ้าได้รับธาตุนี้จากเครื่องปลูกน้อยเกินไปย่อมเกิดภาวะขาดแคลน ทำให้การเจริญเติบโตลดลง โพแทสเซียมส่วนที่เคยสะสมอยู่ในใบแก่และอวัยวะอื่น ๆ ก็เคลื่อนย้ายจากโฟลเอ็มไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญ อวัยวะดังกล่าวจึงมีอาการผิดปกติ พืชอาจล้มได้ง่ายเนื่องจากการสะสมลิกนินในกลุ่มท่อลำเลียงน้อยกว่าปกติลำต้นจึงไม่แข็งแรง

ลักษณะอีกอย่างของพืชที่ขาดโพแทสเซียมก็คือ เหี่ยวเฉาง่ายเมื่อความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินมีอยู่จำกัด จึงไม่ค่อยมีความต้านทานต่อการขาดน้ำเหมือนพืชที่มีโพแทสเซียมเพียงพอ สิ่งที่เกิดขึ้นเกี่ยวโยงกับบทบาทของธาตุนี้ คือ บทบาทในการควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ ซึ่งเป็นกลไกลหลักของการควบคุม

ระบบน้ำ ในพืชชั้นสูง และเป็นตัวทำละลายที่มีส่วนสำคัญในการออสโมซิสของแวคคิวโอล จึงช่วยให้พืชได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพอแม้จะอยู่ในช่วงแล้ง และในระยะที่พืชเริ่มขาดน้ำพืชซึ่งมีโพแทสเซียมเพียงพอจะสังเคราะห์โพรลีน ได้มากกว่าพืชที่ขาดธาตุนี้ สารอินทรีย์ดังกล่าวช่วยลดศักย์ออสโมซิสของเซลล์ จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งซึ่งสนับสนุนบทบาทของโพแทสเซียมที่ช่วยให้พืชทนแล้งมากขึ้น แม้พืชจะกระทบแล้งในบางขณะการมีโพแทสเซียมเพียงพอช่วยให้พืชควบคุมปากใบได้ดีจึงยังมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าพืชที่ขาดธาตุนี้

พืชที่ขาดธาตุโพแทสเซียมมักเป็นโรคง่าย เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงด้านกิจกรรมของเอนไซม์ ชนิดและปริมาณของอินทรีย์สารซึ่งทำให้พืชนั้นอ่อนแอต่อเชื้อโรค ความแปรปรวนด้านชีวเคมีดังกล่าวส่งผลให้คุณภาพด้านโภชนาการของอาหารที่ผลิตจากพืชนั้นลดลงภายหลังกระบวนการผลิต การขาดโพแทสเซียมจะมีผลเสียในลักษณะนี้มากโดยเฉพาะไม้ผลและพืชหัวที่ต้องการธาตุนี้มากเป็นพิเศษ

การเพิ่มปุ๋ยโพแทสเซียมในเครื่องปลูกเพื่อให้พืชดูดทางรากจะช่วยให้ความเข้มข้นของธาตุนี้ในอวัยวะต่างๆ ทั้งนี้ยกเว้นเมล็ดซึ่งมักคงความเข้มข้นไว้เพียงประมาณ 0.3% โดยน้ำหนักแห้ง เท่านั้น หากเพิ่มปุ๋ยในอัตราที่สูงเกินไป เนื้อเยื่อพืชอาจสะสมไว้มากแต่การเจริญเติบโตไม่เพิ่มขึ้น เรียกสภาพเช่นนี้ว่าการบริโภคอย่างฟุ่มเฟือยนอกจากจะไม่เกิดประโยชน์ใด ๆ แล้วยังอาจเกิดโทษเนื่องจากมีผลในทางลบต่อการดูดใช้และบทบาทเชิงสรีระของแคลเซียมและแมกนีเซียมด้วย

4. แคลเซียม

ดินเป็นแหล่งของแคลเซียมที่รากพืชดูดเข้าไปใช้จะได้รับธาตุนี้อย่างเพียงพอเมื่อรูปซึ่งเป็นประโยชน์นี้มีอยู่ในระดับที่เหมาะสม สำหรับหน้าที่แคลเซียมในพืชมีอยู่หลายด้านทั้งนี้เนื่องจากเป็นธาตุที่มีสมบัติเฉพาะตัวบางประการ

❑ แคลเซียมในดิน

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

❑ สมบัติบางประการของแคลเซียม

แคลเซียมจัดเป็นธาตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษต่อพืชและพืชทั่วไปสามารถปรับตัวให้สอดคล้องกับปริมาณที่ได้รับ แม้ว่าเมื่อพืชได้ธาตุนี้มากเกินไปจะมีการเจริญเติบโตช้าลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่ไม่ชอบดินแคลคาเรียสหรือดินเนื้อปูนหรือพืชไม่ทนปูน (calcifuges) แต่อาการเป็นพิษก็เกิดช้าและมักเป็นผลทางอ้อมมากกว่าทางตรง สาเหตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษเนื่องจาก พืชมีกลไกที่สามารถควบคุมให้มีแคลเซียมในไซโทพลาซึมต่ำนั่นเอง

แคลเซียมเป็นไดวาเลนซ์แคตไอออนที่มีสมบัติเหมาะสมแก่การเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของสารที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

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

2. ขนาดของอะตอมพอดีกับร่องหรือแอ่ง (clefts) บนผิวแมโครโมเลกุลหรือระหว่างแมโครโมเลกุล จึงทำหน้าที่เชี่ยมโยงได้ดีกว่าแมกนีเซียม

3. Ca^{2+} เป็นคู่แข็งที่เก่งกว่า Mg^{2+} ในการจับเข้าจับกับมัลทิแดนเทตลิแกนด์ (multidentateligands) และลิแกนด์อื่นบางชนิด ดังนั้น เพื่อปกป้องให้ Mg^{2+} สามารถทำหน้าที่ในไซโทรพลาสซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องมีกลไกสูบแคลเซียมออกจากไซโทรพลาสซึมให้เหลือพอประมาณ

□ แคลเซียมกับการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของพืช

ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชแตกต่างกันตามสภาพการปลูก พันธุ์พืช และอวัยวะซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 - 5% โดยน้ำหนักแห้ง พืชใบเลี้ยงคู่ต้องการแคลเซียมเพื่อให้เจริญอย่างพอเหมาะมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

การเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมในสารละลายปลูกพืชหรือสารละลายดินมีผลให้ความเข้มข้นของธาตุนี้ในใบเพิ่มขึ้น แต่มักไม่กระทบต่อความเข้มข้นในอวัยวะที่มีการคายน้ำต่ำ เช่น ผล หรือไม่มีการคายน้ำ เช่น หัว เพราะอวัยวะสองส่วนนี้รับแคลเซียมซึ่งเคลื่อนย้ายมาทางโฟลเอ็มเป็นหลัก พืชมีกลไกควบคุมให้มีการเคลื่อนย้ายแคลเซียมทางโฟลเอ็มน้อยโดย

1. จำกัดการถ่ายโอนแคลเซียมเข้าสู่โฟลเอ็มจึงมีธาตุนี้ในน้ำเลี้ยงโฟลเอ็มต่ำ
2. ตกตะกอนแคลเซียมในรูปแคลเซียมออกซาเลตขณะเคลื่อนย้ายทางเวสเซลหรือตกตะกอนไว้ในเปลือกเมล็ด

สำหรับแคลเซียมในผลและหัวนั้นพืชควบคุมไว้ให้อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ เพื่อให้เซลล์ในอวัยวะดังกล่าวขยายขนาดได้อย่างรวดเร็วและเยื่อมีสภาพให้ซึมได้สูง แต่ข้อที่ควรระวัง คือ อวัยวะซึ่งคายน้ำน้อยแต่อัตราการเดิบโตสูงมักมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลเซียมหรือมีแคลเซียมในอวัยวะนั้นต่ำกว่าระดับวิกฤตหรือมีธาตุนี้ไม่เพียงพอสำหรับคงสภาพที่ดีของเยื่อไว้ได้ เป็นเหตุให้พืชแสดงอาการขาดแคลเซียมที่ผล เช่น ก้นมะเขือเทศเน่า และผิวผลแอปเปิลมีรอยบุ๋ม หรือที่อวัยวะอื่น ๆ เช่น ไส้เน่า ของเซเลอรี่ และกะหล่ำดอก ปลายใบผักกาดหอมหรือผักกาดขาวปลีไหม้

สำหรับผลที่มีเนื้อมาก หากมีแคลเซียมน้อยเกินไปจะเข้าสู่สภาพเสื่อมตามอายุอย่างรวดเร็วและเชื้อราเข้าทำลายง่าย ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีสูง หากสามารถเพิ่มแคลเซียมในผลได้แม้เพียงเล็กน้อยก็จะช่วยยืดเวลาการเก็บได้นานขึ้น

5. แมกนีเซียม

□ แหล่งของแมกนีเซียมสำหรับพืช

แมกนีเซียมในดินส่วนมากอยู่ในรูปของหินและแร่ สำหรับแร่ที่มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบได้แก่ ออไจต์ ไบโอไทต์ เซอร์เพนทีน แมกนีไซต์ และโดโลไมต์ เมื่อหินและแร่สลายตัวจะปลดปล่อยแมกนีเซียมออกมา นอกจากนั้นยังมีแมกนีเซียมอีกจำนวนหนึ่งซึ่งอยู่ในรูปไอออนอิสระในสารละลายดินซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับที่อยู่ไรูปแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้

□ ภาพรวมของบทบาท

แมกนีเซียมทำหน้าที่ในพืชหลายอย่าง เหตุที่แสดงบทบาทเช่นนี้ได้เนื่องจากความสามารถในการเคลื่อนย้ายภายในเซลล์และมีพันธะเชิงไอออน (ionic bond) กับสารนิวคลีโอฟิลิกลิแกนด์ (nucleophilic ligands) เช่น หมู่ฟอสฟอริล (phosporil groups) และนอกจากนี้ยังทำหน้าเชื่อมโยงและ/หรือทำปฏิกิริยาได้

สารประกอลเชิงซ้อนหลายชนิดซึ่งมีเสถียรภาพแดกต่างกัน พันธะเคมีระหว่างแมกนีเซียมกับสารอื่นส่วนมากเป็นพันธะเชิงไอออน และพันธะโควาเลนซ์

❑ สารประกอบแมกนีเซียมและการกระจายในพืช

แมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญยิ่งในพืชสีเขียวเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟีลล์ สัดส่วนของธาตุนี้ในคลอโรฟิลล์ขึ้นอยู่กับปปริมาณที่ได้รับ เช่น พืชตระกูลถั่วชื่อซับเทอราเนียนโคลเวอร์ (Trifolium subterraneum L.) ที่มีแมกนีเซียมเพียงพอ 6% ของธาตุนี้ในใบอยู่กับคลอโรฟิลล์ แต่ถ้าขาดแมกนีเซียมต้องใช้ถึง 35% ของที่มีในใบ โดยปกติใบพืชจะแบ่งสัดส่วนการใช้แมกนีเซียมที่มีอยู่ดังนี้ 6 – 25% เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ 5 – 10% เป็นองค์ประกอบของสารแพกเทต (pectate) ในผนังเซลล์และตกตะกอนเป็นเกลือที่ละลายยากในแวคิวโอล ที่เหลือประมาณ 60 – 90% ละลายน้ำง่ายจึงสกัดได้ด้วยน้ำ หากแมกนีเซียมในใบเกินกว่า 20 - 25% เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ พืชจะชะงักการเจริญเติบโตและแสดงอาการขาดแมกนีเซียม

การกระจายแมกนีเซียมในแมแทบอลิกระหว่างไซโทซอลกับคลอโรพลาสต์มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสง กล่าวคือ เมื่อคลอดรพลาสต์ที่แยกมาจากใบและอยู่ในสารละลายซึ่งแมกนีเซียมเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ การสังเคราะห์แสงจะหยุดชะงักเนื่องจากโพแทสเซียมเข้าสู่คลอโรพลาสต์น้อยลง เมื่อได้รับแสงก็เกิดสภาพกรดขึ้นภายในสโตรมา เหตุการณ์ทำนองนี้อาจเกิดขึ้นเมื่อพืชขาดน้ำมากจนเป็นเหตุให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในแมทอบอลิกพูลสูงถึงระดับที่ชะงักการสังเคราะห์แสงของใบ

❑ แมกนีเซียมกับการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของพืช

พืชปกติมีแมกนีเซียมในอวัยวะด้านวัฒนภาค (vegetative part) อยู่ในช่วง 0.15 - 0.35% โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชขาดธาตุนี้อาการใบเหลืองซีดจะปรากฏในใบซึ่งขยายตัวเต็มที่แล้ว แต่กลับมีไนโตรเจนรูปที่มิใช่โปรตีนในใบมากขึ้น อัตราการสังเคราะห์แสง (ต่อหน่วยพื้นที่ใบหรือหน่วยน้ำหนักคลอโรฟิลล์) ลดลง อัตราการหายใจต่ำกว่าพืชปกติ เมื่อพืชขาดแมกนีเซียมทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงจึงสร้าง ATP ได้น้อย ผลกระทบต่อมา คือ ที่พลังงานจะใช้ในการเคลื่อนที่ผลผลิตของการสังเคราะห์แสงจากแหล่งจ่าย (soure) ไปยังที่รับ (sink) คือ ราก ผล และหัว สำหรับซับเทอราเนียนโคลเวอร์ที่ขาดธาตุนี้มีน้ำหนักรากลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ๆ ทำให้สัดส่วนของส่วนเหนือดินรากเพิ่มขึ้น สำหรับพืชตระกูลถั่วที่ขาดแมกนีเซียมจะเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตไปเลี้ยงรากได้น้อยกว่าปกติ อัตราการตรึงไนโตรเจนจึงลดลงด้วย

ตารางที่ 2.1 แร่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต รูปแบบหลักสำหรับการดึงดูด

ลำดับ	ธาตุอาหาร	สัญลักษณ์ทางเคมี	รูปแบบสำหรับการดึงดูด
1	คาร์บอน	C	CO_2
2	ไฮโดรเจน	H	H_2O
3	ออกซิเจน	O	H_2O , O_2
4	ไนโตรเจน	N	NH_4 , NO^{3-}
5	ฟอสฟอรัส	P	H_2PO^{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_3BO_3
13	สังกะสี	Zn	Zn^{2+}
14	ทองแดง	Cu	Cu^{2+}
15	โมลิบดินัม	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 การเกษตรเลวลงและพืชแก่ช้ากว่าปกติ บางครั้งการขาดฟอสฟอรัสอาจเนื่องมาจากพืชดูดไนโตรเจนไปใช้มากเกินไป เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร (วรพจน์ รัมพณีนิล, 2529 : 71)

3. ธาตุโพแทสเซียม (K)

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

4. ธาตุแคลเซียม (Ca)

การขาดธาตุแคลเซียมของพืชมักแสดงอาการที่ใบยอดหรือส่วนที่กำลังเจริญเติบโตแต่ในสภาวะไร่ทั่วไปมักไม่ปรากฏการขาดแคลเซียมบ่อยครั้งนัก ดินอาจมีแคลเซียมอย่างเพียงพอแต่พืชอาจขาดน้ำหรือมีความชื้นไม่พอก็เป็นเหตุ พืชดูดน้ำไปใช้ไม่ทันก็เป็นเหตุให้แสดงอาการขาดธาตุแคลเซียมในใบยอดหรือส่วนที่กำลังเจริญเติบโตพืชที่ขาดธาตแคลเซียมจะมีลักษณะหงิกงอและย่น บางครั้งอาการคล้ายคลึงกับเพลี้ยอ่อนดูดน้ำเลี้ยงที่ใบยอด โดยเฉพาะในยาสูบมักพบเพลี้ยอ่อนที่ใบยอดเสมอ ๆ (วรพจน์ รัมพณีนิล, 2529 : 73)

5. ธาตุแมกนีเซียม (Mg)

แมกนีเซียมเป็นส่วนที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ เมื่อพืชขาดแมกนีเซียม ใบจะมีสีซีดลงและมองเห็นเป็นแถบ ๆ คล้าย ๆ รอยขีดยาว ๆ ตามใบ ในใบยาสูบจะมีจุดสีขาวประปรายทั่วไปในใบแก่ใบล่าง พืชบางชนิดถ้าขาดแมกนีเซียมมาก ๆ ใบจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง ส่วนในใบยาสูบและกะหล่ำดอกจุดประสีขาวปรากฏในใบล่าง (วรพจน์ รัมพณีนิล, 2529 : 73)

2.4 ผักกาดเขียวกวางตุ้ง (เมฆ จันทร์ประยูร, 2543 : 120 – 126)

ผักกาดเขียวกวางตุ้งเป็นพืชอายุปีเดียว โดยใช้บริโภคส่วนของใบและก้านใบ เป็นผักที่นิยมบริโภคกันมาก ปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็ว อายุการเก็บเกี่ยวสั้นเพียง 35 – 45 วัน เป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นำมาประกอบอาหารประเภท ผัด แกงจืด ผักจิ้ม เป็นต้น สามารถปลูกได้ทุกฤดูและนิยมปลูกกันทั่วประเทศทั้งในรูปของสวนผักการค้าและสวนผักใกล้บ้านเพื่อบริโภคในครอบครัว

คนไทยภาคเหนือนิยมนำผักกวางตุ้งมาทำอาหารที่เรียกว่า ผักกาดจอ 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 (กิโลแคลอรี่)	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 อยู่ในระดับตื้น ส่วนใหญ่สุดของรากแก้วประมาณ 1.20 เซนติเมตร มีรากแขนงแตกออกจากรากแก้วมาก โดยรากแขนงแผ่อยู่ตามบริเวณผิวดิน รากแก้วอาจมีขนาดใหญ่ขึ้นถ้าดินมีสภาพชื้นและเย็น

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

3. ใบ ใบเลี้ยงมี 2 ใบ มีสีเขียว ปลายใบตรงกลางจะเว้าเข้า ส่วนใบจริงจะแตกเป็นกระจุกที่บริเวณโคนต้นเป็นใบเดี่ยว ใบเรียบไม่ห่อตัว ใบอ่อนมีสีเขียว ขอบใบเป็นรอยฟันเลื่อยเล็กมาก ใบแก่ผิวใบเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย ไม่มีขน ขอบใบเรียบหรืออาจมีรอยเว้าตื้น ๆ ขนาดเล็ก ปลายใบมน ก้านใบหนาและมีสีขาวอมเขียว สำหรับใบที่ช่อดอก จะมีก้านใบยาว 2 – 3 เซติเมตร รูปใบเรียวแหลมไปทางฐานใบและปลายใบ 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 ยอดเกสรตัวเมียเป็นตุ่มสีเหลืองอ่อนดอกบานในตอนเช้า

5. ผล มีลักษณะเป็นฝักรูปร่างเรียว 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 พันธุ์ผักกาดเขียวกวางตุ้ง

ที่ปลูกกันอยู่ทุกวันนี้มีหลายชนิดด้วยกัน แต่ที่นิยมบริโภคกันมาก คือ ผักกาดเขียวกวางตุ้งใบ สำหรับพันธุ์ที่ทางกรมวิชาการเกษตรส่งเสริมแนะนำ คือ พันธุ์น่าน 1 ลักษณะประจำพันธุ์เป็นผักกาดชนิดไม่ห่อปลีส่วนกลางของก้านใบค่อนข้างหนา ใบสีเขียวเข้ม ปลายใบมน ก้านในประสานแนบกับโคนต้นเป็นระเบียบก้านใบสีเขียวอ่อน 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 ทำให้เสียหายน้อยในการบรรจุเพื่อการขนส่ง ไม่ออกดอกก่อนอายุ 40 วัน ข้อเสียของพันธุ์น่าน 1 คือ ไม่ต้านทานต่อโรคราน้ำค้าง

2.4.3 สภาพแวดล้อม

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

2.4.4 การเตรียมดิน

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

2.4.5 การปลูก

ในการปลูกผักกาดเขียวกวางตุ้งนิยมทำกัน 2 วิธีด้วยกัน คือ

1. การปลูกแบบหว่านเมล็ดโดยตรง วิธีนี้นิยมใช้ในการปลูกแปลงที่ยกร่อง มีร่องน้ำกว้างและพื้นที่ควรมีการเตรียมอย่างดี และเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวกวางตุ้งมีขนาดเล็กมาก 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 เนื่องจากผักกาดเขียวกวางตุ้งเป็นผักที่ต้องการน้ำมาก และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเกษตรกรจะต้องให้น้ำอย่างเพียงพอและสม่ำเสมอ อย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง โดยใช้ระบบพ่นฝอยหรือใช้สายยางติดฝักบัว อย่าให้ผักกาดเขียวกวางตุ้งขาดน้ำในระยะการเจริญเติบโตเพราะจะทำให้ผักกาดเขียวกวางตุ้งชะงักการเจริญเติบโตได้ สำหรับการพรวนดินและกำจัดวัชพืช ควรทำในระยะแรกพร้อมกับการถอนแยก

2.4.7 การเก็บเกี่ยว

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

2.5 เปลือกไข่ (Shell)

ถ้านำไข่มาแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ที่สามารถเห็นได้ชัดเจน สามารถแบ่งได้ 3 ส่วน คือ

1. ไข่แดง
2. ไข่ขาว
3. เปลือกไข่

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

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

2.5.1 องค์ประกอบต่าง ๆ 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

ส่วนต่างๆของไข่ไก่	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