เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร

"การจัดการธาตุอาหารพืชในการผลิตพืชปลอดภัย"

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

https://bit.ly/3VrLX9q

วันที่ 13 มิถุนายน 2567

ณ ห้องประชุมมนตรีรุมาคม (501) อาคารเฉลิมพระเกียรติ 6 รอบพระชนมพรรษา

คำนำ

ด้วยกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร มีการศึกษา ค้นคว้า วิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับดิน น้ำ ปุ๋ย ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช โดยในปี 2565-2567 แผนงานวิจัยและพัฒนาการจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ประโยชน์ทรัพยากรชีวภาพจากจุลินทรีย์และชีวมวลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัย ได้ผลิตองค์ความรู้ด้านการจัดการธาตุอาหารพืชในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัยตามหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practice, GAP) และเกษตรอินทรีย์ ที่สามารถถ่ายทอดให้แก่นักวิจัยด้านพืชและด้านเขตกรรมของกรมวิชาการเกษตร สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพืชปลอดภัยในพื้นที่ที่รับผิดชอบ ซึ่งในการดำเนินงานถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการจัดการธาตุอาหารพืชในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัยนั้น นักวิจัยด้านพืชและด้านเขตกรรม ต้องมีความรู้ความเข้าใจอย่างถ่องแท้เกี่ยวกับสมบัติของดินด้านต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช จึงจะสามารถจัดการดินได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม เช่น ผลของสมบัติทางกายภาพและทางเคมีบางประการต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช นอกจากนี้นักวิจัยต้องมีความรู้เกี่ยวกับหน้าที่และบทบาทของธาตุอาหารพืช มีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับปุ๋ย พฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคมี วัสดุอินทรีย์/ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจากจุลินทรีย์ และสารสกัดชีวภาพที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งมีคุณสมบัติและความเป็นประโยชน์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อสร้างความเข้มแข็งทางวิชาการให้กับนักวิจัยที่ปฏิบัติงานวิจัยด้านพืชและด้านเขตกรรม รวมทั้งให้สามารถบูรณาการความรู้ด้านดินและปุ๋ยสาขาต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม จึงเห็นสมควรจัดฝึกอบรมให้แก่บุคลากรของกรมวิชาการเกษตรที่ปฏิบัติงานวิจัยด้านพืชและด้านเขตกรรมของกรมวิชาการเกษตร เพื่อจะได้มีความรู้ความเข้าใจ และสามารถนำไปถ่ายทอดแก่เกษตรกรต่อไปได้

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร จึงได้จัดทำเอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร การจัดการธาตุอาหารพืชในการผลิตพืชปลอดภัย เพื่อให้นักวิชาการเกษตรของกรมวิชาการเกษตรสามารถนำไปปรับใช้ในการถ่ายทอดความรู้ให้แก่เกษตรกรในพื้นที่เพื่อยกระดับผลผลิตและสร้างความเข้มแข็งให้แก่เกษตรกรต่อไป

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา
กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
มิถุนายน 2567

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
การจัดการธาตุอาหารในการผลิตพืช GAP และเกษตรอินทรีย์	1
ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ คุณสมบัติ และการใช้ประโยชน์	15
การพัฒนาผลิตภัณฑ์สารชีวภาพจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และแหนแดง	25
การปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวล	39
การจัดการธาตุอาหารพืชในการผลิตข้าวโพดหวาน	49
การจัดการธาตุอาหารพืชในการผลิตกระชาย	63
การจัดการธาตุอาหารพืชในการผลิตกระเจี๊ยบเขียว	79

การจัดการธาตุอาหารในการผลิตพืช GAP และเกษตรอินทรีย์

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

---

1. บทนำ

การจัดการธาตุอาหารพืชในดินมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำให้ดินมีธาตุอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช หลักในการจัดการธาตุอาหารพืชต้องทราบถึงสมบัติของดินและปริมาณธาตุอาหารในดินที่สามารถปลดปล่อยให้กับพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ และต้องทราบว่าพืชชนิดนั้น ๆ มีความต้องการธาตุอาหารอย่างไรและปริมาณเท่าใด ซึ่งแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิดหรือแต่ละพันธุ์ นอกจากนี้จะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับประสิทธิภาพของปุ๋ยในการปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชซึ่งแตกต่างกันในปุ๋ยแต่ละชนิดและสภาพแวดล้อม

การจัดการธาตุอาหารในการผลิตพืช GAP สามารถจัดการด้วยปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพ โดยต้องเลือกใช้ปุ๋ยที่มีคุณภาพได้มาตรฐานและใช้อย่างถูกต้องเหมาะสมไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในขณะที่การจัดการธาตุอาหารในการผลิตพืชอินทรีย์ มีข้อจำกัดในการเลือกใช้แหล่งของธาตุอาหาร ซึ่งมีข้อกำหนดว่าไม่สามารถใช้ปุ๋ยที่ผ่านการสังเคราะห์ทางเคมีได้ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการจัดการธาตุอาหารโดยใช้วัสดุจากธรรมชาติ เช่น หินแร่ ปุ๋ยอินทรีย์ วัสดุอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และพืชตระกูลถั่วเพื่อใช้เป็นปุ๋ยพืชสดหมุนเวียนกับการปลูกพืชหลัก เพื่อให้ดินมีธาตุอาหารในปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของพืช

2. ธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืช (essential nutrient elements) ประกอบด้วย 17 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซึ่งพืชได้รับจากอากาศและน้ำ และธาตุอาหารในรูปอนินทรีย์ที่ได้จากการสลายตัวของแร่ในดินและอินทรียวัตถุ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดินัม คลอรีน และนิกเกิล **(ตารางที่ 1)** โดยหน้าที่หลักของธาตุอาหารพืช แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ตามลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชได้ดังนี้

1. ธาตุที่ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบหลักของสารอินทรีย์ในพืช เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ ของเอนไซม์ และปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในพืช ได้แก่ C, H, O และ N
2. ธาตุที่มีบทบาทเกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงานและกระบวนการ esterification ของกลุ่มสารแอลกอฮอล์ในพืช ได้แก่ P และ B
3. ธาตุที่มีบทบาทในกระบวนการออสโมซิสและควบคุมความสมดุลของไอออนในพืช รวมทั้งเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ได้แก่ K, Ca, Mg, Mn และ Cl
4. เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของคีเลตและเมทาลโลโปรตีน และควบคุมการเคลื่อนย้ายอิเลคตรอนในพืช ได้แก่ Fe, Cu, Zn และ Mo

ตารางที่ 1 ธาตุอาหารและบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

ธาตุอาหาร	บทบาทสำคัญ
คาร์บอน (C)	เป็นส่วนประกอบหลักของสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิด ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิพิด และกรดนิวคลีอิก
ออกซิเจน (O)	เป็นส่วนประกอบหลักของสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิด
ไฮโดรเจน (H)	เป็นส่วนประกอบหลักของสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิด มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอลิซึมและการเกิดพลังงานในเซลล์พืช
ไนโตรเจน (N)	เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน นิวคลีโอไทด์ คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์บางชนิด มีความสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช
ฟอสฟอรัส (P)	เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) นิวคลีโอไทด์ และฟอสโฟลิพิดมีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงานในระบบต่าง ๆ เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ การเคลื่อนย้ายสาร ช่วยในการเจริญเติบโตของราก เป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการออกดอก ติดเมล็ด และการพัฒนาของเมล็ดและผล
โพแทสเซียม (K)	เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสง การสร้างโปรตีน แป้ง ช่วยในการลำเลียงแป้งและน้ำตาล ควบคุมและรักษาความเป็นกรด-ด่าง ควบคุมการปิดเปิดปากใบ
แคลเซียม (Ca)	เป็นส่วนประกอบของแคลเซียมเพกเทตซึ่งเป็นโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์ ช่วยให้ผนังเซลล์แข็งแรง และเป็นธาตุที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด ทำหน้าที่ลดพิษของกรดอินทรีย์ในพืช ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก การผสมเกสร และการงอกของเมล็ด
แมกนีเซียม (Mg)	เป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งสำคัญสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้งและกรดนิวคลีอิก เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจของเซลล์และเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ช่วยเสริมสร้างการดูดใช้และการลำเลียงธาตุฟอสฟอรัส ช่วยเคลื่อนย้ายน้ำตาลในพืช
กำมะถัน (S)	มีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายทอดพลังงานเช่นเดียวกับฟอสฟอรัส เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนและโปรตีน เกี่ยวข้องกับกิจกรรมสร้างวิตามิน ไบโอทิน ไธอะมีน และ โคเอนไซม์ เอ (coenzyme A) มีผลทางอ้อมต่อการสร้างคลอโรฟิลล์และการแบ่งเซลล์ในส่วนยอดของพืช ช่วยในการสร้างน้ำมัน
เหล็ก (Fe)	เป็นองค์ประกอบของเหล็กพอไฟริน (iron porphyrin) และเฟร์ริดอกซิน (ferredoxin) ซึ่งเป็นสารที่สำคัญในกระบวนการถ่ายเทอิเลคตรอนของพืช เกี่ยวข้องกับกระบวนการตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่ว
แมงกานีส (Mn)	มีหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ในพืช เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันในกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเลคตรอน เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของพืช และเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนและการสร้างคลอโรฟิลล์
ทองแดง (Cu)	มีหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างลิกนิน และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ cytochrome oxidase, ascorbic acid oxidase, phenolase, lactase ช่วยสร้างวิตามินเอในพืช
สังกะสี (Zn)	เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิด มีหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของออกซิน (auxin) ซึ่งเป็นสารที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เป็นธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์และการสร้างเมล็ดของพืช มีบทบาทในการสังเคราะห์โปรตีน ช่วยส่งเสริมการใช้ประโยชน์ธาตุฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในพืช
โบรอน (B)	มีบทบาทสำคัญในการควบคุมระดับฮอร์โมนของพืช ช่วยในการออกดอกและผสมเกสร การยืดตัวและการงอกของหลอดละอองเรณู การพัฒนาเมล็ดและผล

ธาตุอาหาร	บทบาทสำคัญ
โมลิบดินัม (Mo)	เป็นส่วนประกอบสำคัญในเอนไซม์ nitrate reductase ซึ่งมีบทบาทในการรีดิวซ์ ไนเทรตให้เป็นไนไทรต์และเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ก่อนที่จะนำไปใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนภายในพืช นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญในเอนไซม์ nitrogenase ซึ่งไรโซเบียมที่อาศัยในปมรากพืชตระกูลถั่วใช้เพื่อตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ
คลอรีน (Cl)	มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับฮอร์โมนพืช การควบคุมกระบวนการออสโมซิสและการเปิดปิดปากใบ การใช้ออกซิเจนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
นิกเกิล (Ni)	มีบทบาทต่อปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมในพืช เป็นโคแฟกเตอร์ในการทำงานของเอนไซม์ยูรีเอสในการปลดปล่อยไนโตรเจนจากยูเรียไปเป็นแอมโมเนียมไอออนให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้

นอกจากนี้ ยังมีธาตุอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งเรียกว่า **ธาตุเสริมประโยชน์ (beneficial elements)** ได้แก่ โคบอลต์ (Co) ซีลีเนียม (Se) ซิลิกอน (Si) โซเดียม (Na) วาเนเดียม (V) ซึ่งพืชต้องการใช้เพื่อช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโต เช่น ผักกาดหัวและผักชีฝรั่งจะเจริญงอกงามกว่าปกติถ้าได้รับโซเดียมอย่างเพียงพอ สาหร่ายบางชนิดก็ต้องการโซเดียมเพื่อการเจริญเติบโตเช่นกัน ซิลิกอนส่งเสริมให้ต้นข้าวแข็งแรง ไม่ล้ม และยากต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง โคบอลต์เป็นธาตุที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและส่งเสริมให้ไรโซเบียมที่อาศัยอยู่ในปมของรากพืชตระกูลถั่วสามารถตรึงไนโตรเจนได้ดีขึ้น

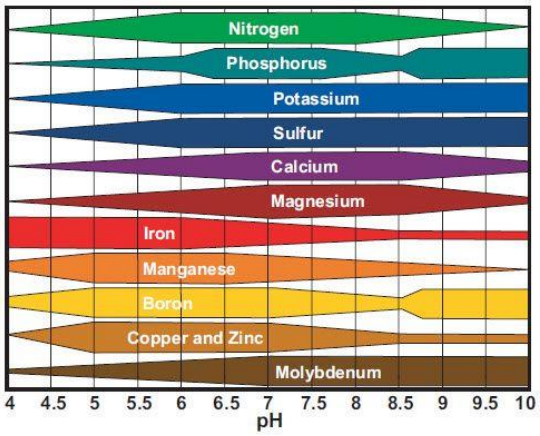
3. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช

ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินหรือจากปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายปัจจัย ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน ความชื้นดิน ความสมดุลของธาตุต่าง ๆ ในดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน โครงสร้างดิน อากาศในดิน อุณหภูมิดิน เป็นต้น

<u>ผลของความเป็นกรด-ด่างของดินต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช</u>

ความเป็นกรด-ด่างของดินมีความสำคัญต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร **(ภาพที่ 1)** ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับพืชโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง pH 6.0-7.0 เมื่อดินเป็นกรดมากๆ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และโมลิบดินัม ปลดปล่อยออกมาให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย แต่เหล็กและอะลูมินัมจะละลายน้ำได้มากขึ้น ทำให้ฟอสเฟตในดินถูกตรึงอยู่ในรูปเหล็กและอะลูมินัมฟอสเฟตซึ่งพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก และหากดินมี pH มากกว่า 7.0 ฟอสเฟตจะถูกตรึงโดยทำปฏิกิริยากับแคลเซียม แมกนีเซียม และคาร์บอเนตของธาตุดังกล่าว และพบว่าที่ pH มากกว่า 7.0 เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และโบรอน จะละลายน้ำได้น้อยลง พืชดูดไปใช้ได้ยากขึ้นตามลำดับ

ความเป็นกรด-ด่างของดิน ยังมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินอีกด้วย เมื่อปฏิกิริยาดินใกล้เป็นกลาง แบคทีเรียจะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ แต่หากดินเป็นกรด การทำงานของจุลินทรีย์จะลดลง ซึ่งกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไนทริฟิเคชั่นในการแปรสภาพแอมโมเนียมไปเป็นไนไทรต์และไนเทรตจะลดลงอย่างเด่นชัดเมื่อดินมี pH ต่ำกว่า 5.5 แต่ที่ระดับ pH ดังกล่าว จุลินทรีย์จำพวกเชื้อราจะเจริญและเข้าครอบครองทำหน้าที่แทน (วิจิตร, 2550) ระดับความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์แต่ละชนิดได้แสดงไว้ใน**ตารางที่ 2** (USDA Natural Resources Conservation Service, 2022)



ภาพที่ 1 ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินที่ระดับ pH ต่างๆ
ที่มา: Clemson Cooperative Extension (2020)

ตารางที่ 2 ความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์แต่ละชนิด

ชนิดของจุลินทรีย์	ช่วง pH ที่สามารถเจริญได้	pH ที่เหมาะสม
แบคทีเรีย	5 - 9	7
แอคทิโนมัยสีต	6.5 - 9.5	8
เชื้อรา	2 - 7	5
สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	6 - 9	มากกว่า 7
โปรโตซัว	5 - 8	มากกว่า 7

พืชแต่ละชนิดมีความต้องการความเป็นกรด-ด่างของดินแตกต่างกัน (Deepika, 2023) ดังแสดงใน **ตารางที่ 3** ซึ่งจะเห็นได้ว่าพืชบางชนิดสามารถเจริญเติบโตดีในดินกรด เช่น มันฝรั่งและสับปะรด ดังนั้น หากดินมี pH 5.0 ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงดินด้วยปูนสำหรับการปลูกพืชดังกล่าว

ตารางที่ 3 ความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิด

ชนิดพืช	**pH ดินที่เหมาะสม**	**ชนิดพืช**	**pH ดินที่เหมาะสม**
ฝรั่ง	4.5 – 8.2	แครอท	6.0 – 7.0
มันฝรั่ง	4.8 – 5.4	กระเทียม	6.0 – 7.0
สับปะรด	5.0 – 6.0	ข้าวโพด	6.0 – 7.5
ฝ้าย	5.0 – 7.5	กระเจี๊ยบเขียว	6.0 – 6.8
หอมหัวใหญ่	5.5 – 6.5	ถั่วลิสง	6.0 – 6.5
กะหล่ำปลี กะหล่ำดอก	5.5 – 6.5	มะละกอ	6.5 – 7.0
ข้าว	5.5 – 7.0	ถั่วเหลือง	6.5 – 7.5
มะม่วง	5.5 – 7.5	แตงโม แตงกวา	6.5 – 7.5
ส้ม มะนาว	5.5 – 7.5	มะเขือเทศ	6.5 – 7.5
กล้วย	5.5 – 7.5	องุ่น	6.5 – 7.5
อ้อย	5.5 – 8.0	พริก	6.5 – 7.5

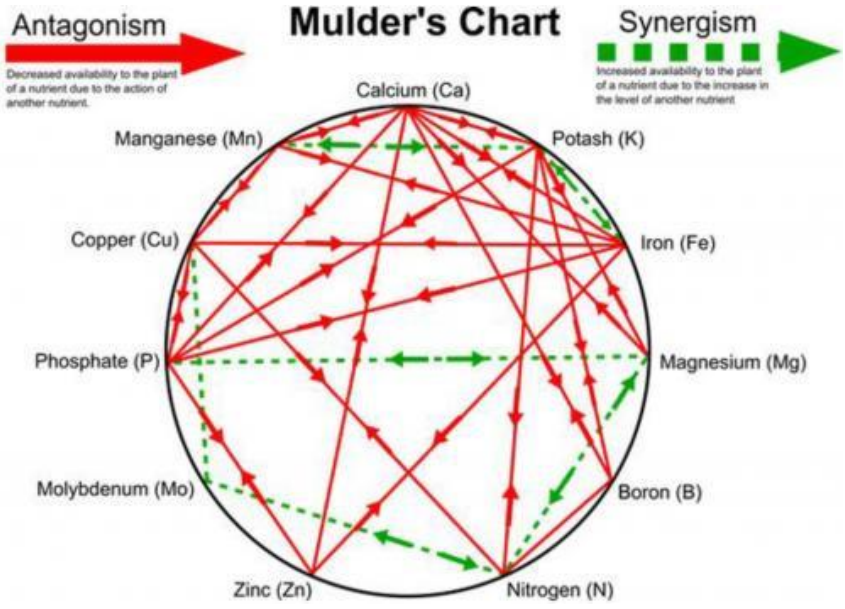
การแก้ไขความเป็นกรด-ด่างของดินที่เป็นกรดด้วยวัสดุประเภทปูนทางการเกษตร ควรระมัดระวังไม่ใส่ปูนในปริมาณมากในครั้งเดียว เพราะอาจทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างธาตุอาหาร เช่น ทำให้พืชขาดโพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และโบรอนได้ และเป็นผลเสียต่อพืชตระกูลถั่ว

ผลของความชื้นดินต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช

ความชื้นในดินมีผลต่อการละลายได้ของปุ๋ยเคมี การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันภายในดิน การดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์และรากพืช ความชื้นดินที่เหมาะสมควรอยู่ที่ระดับความชื้นสนาม (field capacity) หรือมีน้ำอยู่ในช่องว่างของดินประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ หากดินมีความชื้นมากเกินไปหรืออยู่ในสภาพน้ำขังจะทำให้ไนโตรเจนและกำมะถันสูญหายไปในรูปของก๊าซ รวมทั้งก่อให้เกิดการชะละลาย (leaching) ของไนเทรตลงไปในชั้นดินล่างจนเลยเขตรากพืช

ความสมดุลของธาตุในดินต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารที่อยู่ในดินแต่ละธาตุจะมีอันตรกิริยา (interaction) 3 แบบ ตามแผนภูมิของมุลเดอร์ (Mulder's chart) ดัง**ภาพที่ 2** คือ 1. ให้ผลเสริมกัน (stimulation) เช่น หากดินมีโมลิบดินัมในระดับที่เหมาะสม ทำให้ไรโซเบียมที่อาศัยอยู่ในรากพืชตระกูลถั่วสามารถตรึง N ได้ดี 2. ให้ผลเชิงปฏิปักษ์ (antagonistic) เช่น หากดินมีฟอสฟอรัสมากเกินไป มีผลทำให้พืชขาดเหล็กและสังกะสีได้ ในทางกลับกัน หากดินมีเหล็กมากเกินไป ก็ส่งผลให้พืชดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ลดลงเช่นกัน ในขณะที่การให้ปุ๋ยโพแทชในอัตราสูงเกินไป สามารถลดความเป็นประโยชน์ของแคลเซียมและแมกนีเซียมต่อพืชได้ และในทางกลับกัน หากพืชได้รับแมกนีเซียมมากเกินไป ก็จะทำให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมลดลงได้ เป็นต้น และ 3. ไม่มีอันตรกิริยาต่อกัน (zero interaction) ดังนั้น การจัดการธาตุอาหารในการผลิตพืช ต้องให้ธาตุอาหารแก่พืชอย่างสมดุล ให้เหมาะสมตามสมบัติของดินและความต้องการของพืช หากดินมีธาตุใดไม่เพียงพอต่อพืช ก็ควรจัดการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มเติมธาตุดังกล่าวลงไปในดิน และหากดินมีธาตุใดเพียงพอต่อความต้องการของพืชแล้ว การใส่ปุ๋ยที่มีธาตุดังกล่าวลงไปอีก ไม่ทำให้พืชตอบสนองและให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้นแต่อาจทำให้ผลผลิตลดลงได้



ภาพที่ 2 แผนภูมิของมุลเดอร์ (Mulder's chart)
ที่มา: https://www.canr.msu.edu/news/more_reasons_for_soil_testing (Goldy, 2016)

4. การดูดใช้ธาตุอาหารของพืช

พืชดูดใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตในรูปของโมเลกุลหรือรูปไอออนไม่ว่าปุ๋ยที่ใส่จะเป็นปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ก็ตาม โดยปริมาณที่พบในพืชแสดงใน**ตารางที่ 4** (วิจิตร, 2550) ซึ่งความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืชโดยทั่วไปจะแตกต่างกันในพืชขึ้นอยู่กับชนิด/พันธุ์พืช อายุต้น/ใบ และชิ้นส่วนของพืช

ตารางที่ 4 รูปของธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์และความเข้มข้นโดยประมาณของธาตุอาหารในพืช

ธาตุ	รูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์	ความเข้มข้นในพืช (% โดยน้ำหนักแห้ง)
คาร์บอน	CO_2	45
ออกซิเจน	O_2	45
ไฮโดรเจน	H_2O, H_2, H_2S	6
ไนโตรเจน	Ammonium ion (NH_4^+), Nitrate ion (NO_3^-)	1.5
โพแทสเซียม	Potassium ion (K^+)	1.0
แคลเซียม	Calcium ion (Ca^{2+})	0.5
แมกนีเซียม	Magnesium ion (Mg^{2+})	0.2
ฟอสฟอรัส	Dihydrogen phosphate ion ($H_2PO_4^-$), Hydrogen phosphate ion (HPO_4^{2-})	0.2
กำมะถัน	Sulphate ion (SO_4^{2-})	0.1
คลอรีน	Chlorine ion (Cl-)	0.01
โบรอน	Boric acid (H_3BO_3), Borate ion (BO_3^{3-})	0.002
เหล็ก	Ferrous ion (Fe^{2+}), Ferric ion (Fe^{3+})	0.002
แมงกานีส	Manganous ion (Mn^{2+})	0.005
สังกะสี	Zinc ion (Zn^{2+})	0.002
ทองแดง	Cuprous ion (Cu^+), Cupric ion (Cu^{2+})	0.0006
โมลิบดินัม	Molybdate ion ($MoO4^{2-}$)	0.00001
นิกเกิล	Nickle ion (Ni^{2+})	0.000005

5. หลักการจัดการธาตุอาหาร

หลักการจัดการธาตุอาหารในการผลิตพืชยึดหลักความถูกต้อง 4 ประการด้านธาตุอาหารพืช (4R-plant nutrition) ซึ่งประกอบด้วย

1. **Right source** หมายถึง ชนิดปุ๋ยถูกต้อง โดยเลือกใช้ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารตรงกับที่ดินขาดแคลน

2. **Right rate** หมายถึง อัตราปุ๋ยถูกต้อง โดยใส่ปุ๋ยในอัตราที่ให้ธาตุอาหารสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ดินและความต้องการของพืช

3. **Right time** หมายถึง ใส่ปุ๋ยในจังหวะเวลาที่ถูกต้อง เหมาะกับระยะการเจริญเติบโตอันเป็นช่วงที่พืชมีความต้องการ

4. **Right place** หมายถึง ใส่ปุ๋ยในบริเวณที่ถูกต้อง โดยใส่ปุ๋ยในดินในบริเวณที่รากพืชดูดธาตุอาหารไปใช้ได้มาก

6. แหล่งของธาตุอาหารพืช

แหล่งของธาตุอาหารพืชนอกจากได้จากดิน น้ำ และอากาศแล้ว ยังได้จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ วัสดุอินทรีย์ กากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร และหินแร่ต่าง ๆ ซึ่งปุ๋ยแต่ละชนิดมีข้อดี ประสิทธิภาพ และข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ควรเลือกใช้อย่างเหมาะสม

ปุ๋ยเคมี เป็นปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ มีธาตุอาหารรับรองในปริมาณที่แน่นอนตามที่ระบุในฉลาก สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารที่รากพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที สามารถปรับแต่งให้มีปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดตรงตามความต้องการของพืชและเหมาะสมกับดินที่ปลูกได้ ปริมาณของธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีและปุ๋ยเคมีธาตุอาหารเสริม แสดงใน**ตารางที่ 5 และ 6** ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยเคมี

ปุ๋ย	ปริมาณธาตุอาหาร
ยูเรีย	46%N
แอมโมเนียมซัลเฟต	21%N, 24%S
ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต	46%P_2O_5
โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต	11%N, 55%P_2O_5
ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต	18%N, 46%P_2O_5
โพแทสเซียมไนเทรต	13%N, 46%K_2O
โพแทสเซียมซัลเฟต	50%K_2O (42%K, 17%S)
โพแทสเซียมคลอไรด์	60%K_2O (50%K, 50%Cl)
แคลเซียมไนเทรต	15.5%N, 26.5%CaO

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีธาตุอาหารเสริม

ปุ๋ย (สูตรทางเคมี)	ปริมาณธาตุอาหาร
บอแร็กซ์ ($Na_2B_4O_7.10H_2O$)	11.3%B
แอมโมเนียมเพนตะบอเรต ($NH_4B_5O_8.4H_2O$)	19.9%B
คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$)	25%Cu
คิวปริกคลอไรด์ ($CuCl_2$)	47.2%Cu
เฟร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4.4H_2O$)	20.1%Fe
เฟร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$)	14.2%Fe
เฟร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$)	34.4%Fe
แมงกานัสซัลเฟต ($MnSO_4.4H_2O$)	24.6%Mn
แมงกานีสคลอไรด์ ($MnCl_2$)	43.7%Mn
โซเดียมโมลิบเดต ($Na_2MoO_4.4H_2O$)	39.7%Mo
แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$)	54.3%Mo
ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4.H_2O$)	36.4%Zn
ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)	48%Zn

ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ องค์ประกอบหลักของปุ๋ยอินทรีย์คืออินทรียวัตถุหรืออินทรีย์คาร์บอน ซึ่งช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและชีวเคมีของดิน ทำให้ดินมีความโปร่งร่วนซุย มีความสามารถในการอุ้มน้ำและการถ่ายเทอากาศดีขึ้น ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารให้แก่จุลินทรีย์ดิน ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินสามารถดำเนินกิจกรรมได้ดีขึ้น ปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุอาหารหลักในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี แต่มีธาตุอาหารครบทุกธาตุ ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริม **(ตารางที่ 7)** แต่การปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนต้องอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนแล้วจึงสามารถปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเทรตออกมาให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้

ตารางที่ 7 ธาตุอาหารพืชในมูลสัตว์

พารามิเตอร์	มูลสุกร	มูลไก่	มูลโค
ไนโตรเจน (%)	1.2 - 1.8	1.4 - 1.7	1.5 - 13.9
ฟอสฟอรัส (%)	1.0 - 1.2	1.2 - 1.4	1.1 - 1.5
โพแทสเซียม (%)	1.5 - 1.7	1.6 - 1.8	1.2 - 1.6
แคลเซียม (%)	1.5 - 2.0	1.2 - 1.5	0.7 - 1.0
แมกนีเซียม (%)	0.6 - 0.8	0.6 - 0.8	0.2 - 0.3
กำมะถัน (%)	0.2 - 0.3	0.1 - 0.2	0.2 - 0.3
เหล็ก (มก./กก.)	200 - 210	160 - 180	180 - 200
ทองแดง (มก./กก.)	130 - 150	70 - 90	60 - 75
สังกะสี (มก./กก.)	50 - 70	30 - 50	20 - 40
แมงกานีส (มก./กก.)	60 - 70	40 - 60	50 - 100
โบรอน (มก./กก.)	6 - 9	5 - 10	10 - 15
โมลิบดินัม (มก./กก.)	0.3 - 0.6	0.2 - 0.3	0.4 - 0.6

ปุ๋ยชีวภาพ เป็นปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช ได้แก่ จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน เช่น *Rhizobium spp.* ซึ่งสร้างปมเพื่อตรึงไนโตรเจนที่รากพืชตระกูลถั่ว, *Anabaena azolla* ที่อาศัยในโพรงใบแหนแดง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุลต่าง ๆ *Azotobacter spp*., *Azospirillum spp*. เป็นต้น จุลินทรีย์ที่ช่วยละลายฟอสเฟต เช่น *Talaromyces spp., Pseudomonas spp*., *Burkholderia spp., Bacillus spp.* เป็นต้น (Sembiring and Sabrina, 2022) และจุลินทรีย์ที่ช่วยรากพืชดูดใช้ธาตุอาหาร ได้แก่ arbuscular mycorrhiza, ectomycorrhiza ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทถัดไป

นอกจากนี้ แหล่งของธาตุอาหารพืชยังได้จากหินแร่ต่าง ๆ และกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ยิปซัม ซึ่งเป็นสารปรับปรุงดินชนิดหนึ่ง สามารถปลดปล่อยแคลเซียมและกำมะถันบางส่วนให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ปูนโดโลไมต์ที่ใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินกรดก็จะมีแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ เมื่อปูนโดโลไมต์ทำปฏิกิริยากับกรดในดิน ก็จะมีแคลเซียมและแมกนีเซียมบางส่วนปลดปล่อยออกมาให้พืชนำไปใช้ได้ แต่หินแร่เหล่านี้มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยและไม่สามารถควบคุมให้มีธาตุอาหารรับรองในปริมาณที่แน่นอนได้ จึงไม่จัดเป็นปุ๋ยเคมีตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.

2518 และที่แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 แหล่งของแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน แสดงไว้ใน**ตารางที่ 8-10** ตามลำดับ

ตารางที่ 8 แหล่งของแคลเซียม

วัสดุ	แคลเซียม (%)
ยิปซัม ($CaSO_4.2H_2O$)	22
เบสิก สแลก (Basic slag)	29
(ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมถลุงแร่ เหล็ก จากสินแร่ที่มีฟอสฟอรัสเป็นสิ่งเจือปน)	
หินปูน (calcitic limestone)	32
หินปูนโดไลไมต์ (dolomitic limestone)	22
ปูนขาว (hydrated lime; slaked lime; $Ca(OH)_2$)	46

ตารางที่ 9 แหล่งของแมกนีเซียม

วัสดุ	แมกนีเซียม (%)
โดโลไมต์	6-12
แมกนีเซียมคลอไรด์ (สารละลาย)	7.5
แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์	40
แมกนีเซียมไนเทรต	16
แมกนีเซียมออกไซด์	56-60
แมกนีเซียมซัลเฟต	10-16
คีเซอไรต์	26

ตารางที่ 10 แหล่งของกำมะถัน

วัสดุ	กำมะถัน (%)
แอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$)	24
แอมโมเนียมไธโอซัลเฟต	26
แอมโมเนียมโพลีซัลเฟต	40-50
ธาตุกำมะถัน	> 85
ยิปซัม	12-18
แมกนีเซียมซัลเฟต	14
ซูเปอร์ฟอสเฟต	12
โพแทสเซียมซัลเฟต	18
โพแทสเซียมไธโอซัลเฟต	17
ยูเรีย (เคลือบ S)	10

7. การจัดการธาตุอาหารในการผลิตพืช GAP

เกษตรปลอดภัย (GAP) หรือการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี เป็นระบบการผลิตที่อนุญาตให้ใช้สารเคมีทางการเกษตร ปุ๋ยเคมี ในกระบวนการผลิตได้แต่ต้องใช้ในปริมาณที่ถูกต้องตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะทำให้ผลิตผล/สินค้าเกษตรที่เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วอาจมีปริมาณสารพิษตกค้างอยู่ในระดับต่ำแต่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งแตกต่างกับเกษตรอินทรีย์ที่ไม่อนุญาตให้ใช้สารเคมีสังเคราะห์ใด ๆ

ดังนั้น การจัดการธาตุอาหารในการผลิตพืช GAP สามารถปฏิบัติได้ตามคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน เนื่องจากการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินนั้นเป็นการใช้ปุ๋ยในระดับที่เหมาะสมตามสมบัติของดินและปริมาณธาตุอาหารในดิน สอดคล้องกับความต้องการธาตุอาหารของพืชแต่ละชนิด และได้คำนึงถึงผลตอบแทนที่คุ้มค่าแก่การลงทุน หากเกษตรกรปฏิบัติตามคำแนะนำ จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างถูกต้องเหมาะสมจะต้องใช้คู่กันกับปุ๋ยอินทรีย์และ/หรือปุ๋ยชีวภาพ พร้อมทั้งมีการปรับปรุงดินอย่างบูรณาการ จึงจะทำให้ได้ผลิตผลที่มีคุณภาพ และเป็นการรักษาผลิตภาพของดินอย่างยั่งยืน

8. การจัดการธาตุอาหารในการผลิตพืชอินทรีย์

เกษตรอินทรีย์เป็นระบบการผลิตที่ไม่ใช้สารเคมีสารสังเคราะห์ทุกชนิด ไม่ใช้สารกำจัดศัตรูพืช ไม่ใช้ยาฆ่าแมลง ไม่ใช้ปุ๋ย ไม่ใช้ฮอร์โมน ไม่ใช้ GMO และในขั้นตอนการแปรรูปก็ไม่ให้ใช้สารสังเคราะห์ และไม่ใช้วิธีการฉายรังสี โดยเน้นให้คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม รักษาสมดุลของระบบนิเวศ และรักษาความหลากหลายทางชีวภาพรวมถึงการผลิตแบบผสมผสาน

ดินที่อุดมสมบูรณ์และเหมาะสมต่อการเพาะปลูกเป็นกุญแจสำคัญที่ทำให้เกษตรอินทรีย์ประสบความสำเร็จ องค์ประกอบหลักของความอุดมสมบูรณ์ของดินคือ **“อินทรียวัตถุ”** ซึ่งจะช่วยให้ดินมีความร่วนซุย ถ่ายเทอากาศและอุ้มน้ำได้ดี ส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินซึ่งมีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ตลอดจนควบคุมการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาดินไม่ให้มีสภาพเป็นกรดหรือด่างมากเกินไป และกุญแจที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ **“สมดุลของธาตุอาหารในดิน”**

หลักการของเกษตรอินทรีย์

1. พัฒนาระบบการผลิตไปสู่แนวทางเกษตรผสมผสานที่มีความหลากหลายของพืชและสัตว์
2. พัฒนาระบบการผลิตที่พึ่งพาตนเองในเรื่องของอินทรียวัตถุและธาตุอาหารภายในฟาร์ม
3. ฟื้นฟูและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินและคุณภาพน้ำด้วยอินทรียวัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสดอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ทรัพยากรในฟาร์มมาหมุนเวียนใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
4. รักษาความสมดุลของระบบนิเวศในฟาร์ม และความยั่งยืนของระบบนิเวศโดยรวม
5. ป้องกันและหลีกเลี่ยงการปฏิบัติที่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม
6. ยึดหลักการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปที่เป็นวิธีการธรรมชาติ ประหยัดพลังงาน และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
7. รักษาความหลากหลายทางชีวภาพของระบบการเกษตรและระบบนิเวศรอบข้าง รวมทั้งการอนุรักษ์แหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของพืชและสัตว์ป่า
8. รักษาความเป็นอินทรีย์ตลอดห่วงโซ่การผลิต แปรรูป เก็บรักษา และจำหน่าย
9. หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ตลอดกระบวนการผลิต แปรรูป และเก็บรักษา
10. ผลิตผล ผลิตภัณฑ์ หรือส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ ต้องไม่มาจากการดัดแปรพันธุกรรม

11.ผลิตภัณฑ์หรือส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ ต้องไม่ผ่านการฉายรังสี

การจัดการและการปรับปรุงดินในการผลิตพืชอินทรีย์ ต้องรักษาหรือเพิ่มระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและกิจกรรมทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ในดิน สามารถทำได้ดังนี้

1. การปลูกพืชตระกูลถั่ว การใช้ปุ๋ยพืชสด การใช้พืชรากลึกในการปลูกหมุนเวียน
2. ใส่วัสดุอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้จากแปลงปลูกพืชหรือฟาร์มปศุสัตว์ที่ปฏิบัติตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์
3. การเร่งปฏิกิริยาของปุ๋ยอินทรีย์อาจใช้เชื้อจุลินทรีย์หรือวัสดุจากพืชที่เหมาะสมได้
4. ใช้สิ่งที่ได้จากการเตรียมทางชีวพลวัต หรือจากหินบด หรือปุ๋ยคอก หรือวัสดุจากพืช
5. กรณีวิธีที่ระบุในข้อ 1 และข้อ 2 ให้ธาตุอาหารแก่พืชไม่เพียงพอ หรือไม่สามารถหาวัสดุอินทรีย์ที่ได้มาจากการปฏิบัติตามมาตรฐานนี้เพียงพอ อาจใช้สารปรับปรุงบำรุงดินอื่น ๆ ตาม**ตารางที่ 11** ได้

ตารางที่ 11 ปัจจัยการผลิตที่ใช้เป็นปุ๋ยและสารปรับปรุงบำรุงดินในการผลิตพืชอินทรีย์

ชื่อสาร		รายละเอียด/ข้อกำหนด
1.	มูลสัตว์จากปศุสัตว์และสัตว์ปีก	- กรณีไม่ได้มาจากระบบการผลิตเกษตรอินทรีย์ จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
2.	ปุ๋ยหมักจากปฏิกูลของสัตว์และสัตว์ปีก	
3.	ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์	
4.	มูลสัตว์ชนิดแห้งจากปศุสัตว์และสัตว์ปีก	- ไม่อนุญาตให้ใช้แหล่งที่มาจากฟาร์มที่มีการเลี้ยงแบบอุตสาหกรรม (ใช้สารเคมี หรือยาสัตว์ ปริมาณมาก และการเลี้ยงแบบกรงตับ) - ไม่ให้ใช้มูลสัตว์สดกับพืชอาหารในลักษณะที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์ก่อโรคสู่ส่วนที่บริโภคได้ของพืช
5.	ของเสียและปัสสาวะจากสัตว์	- กรณีไม่ได้มาจากระบบการผลิตอินทรีย์ จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง ควรผ่านการหมัก และ/หรือ การทำให้เจือจางลงภายใต้สภาวะควบคุมแล้ว และไม่อนุญาตให้ใช้แหล่งที่มาจากฟาร์มแบบโรงงาน
6.	ปุ๋ยจากธรรมชาติ (ปุ๋ยปลา มูลนก มูลค้างคาว)	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
7.	ฟางข้าว	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
8.	ปุ๋ยหมักจากวัสดุเพาะเห็ด	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง และวัสดุที่ใช้ควรอยู่ภายใต้รายการเหล่านี้
9.	ปุ๋ยหมักจากวัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากบ้านเรือน	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
10.	ปุ๋ยหมักจากวัสดุพืชเหลือใช้	
11.	ส่วนเหลือจากโรงงานฆ่าสัตว์และโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ	- ต้องไม่ใช้สารสังเคราะห์ และจำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
12.	ผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและทอผ้า	- จะต้องไม่มีการใช้วัสดุเจือปนที่เป็นสารสังเคราะห์

ชื่อสาร	รายละเอียด/ข้อกำหนด
	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
13. สาหร่ายทะเลและผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายทะเล	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
14. ขี้เลื่อย เปลือกไม้ และของเสียจากไม้	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
15. ขี้เถ้าไม้	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
16. หินฟอสเฟตจากธรรมชาติ (3-8%P_2O_5)	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง - ปริมาณแคดเมียมต้องไม่เกิน 90 มก./กก. P_2O_5
17. เบสิกสแลก (basic slag)	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
18. หินโพแทสเซียมและเกลือโพแทสเซียมจากเหมือง - Kainite (18.9%K_2O) - Sylvinite (20-30% K_2O)	- ต้องมีคลอรีนเป็นส่วนประกอบต่ำกว่า 60%
19. ซัลเฟตของโพแทช (50-51%K_2O, 18%S)	- ได้จากกระบวนการทางกายภาพ แต่ต้องไม่มีการเสริมด้วยกระบวนการทางเคมีเพื่อเพิ่มการละลาย - จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
20. แคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติ เช่น ชอล์ก ปูนมาร์ล ปูนขาว ชอล์กฟอสเฟต)	-
21. หินแมกนีเซียม	-
22. หินแคลคาเรียสแมกนีเซียม	-
23. แมกนีเซียมซัลเฟต (Epsom salt)	-
24. ยิปซัม (แคลเซียมซัลเฟต)	-
25. สทิลเลจ (Stillage) และสารสกัดสทิลเลจ (Stillage extract)	- ไม่รวมแอมโมเนียมสทิลเลจ (Ammonium stillage)
26. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride)	- เฉพาะเกลือสินเธาว์
27. อลูมิเนียมแคลเซียมฟอสเฟต (Aluminium calcium phosphate)	- ปริมาณแคดเมียมไม่เกิน 90 มก./กก. P_2O_5
28. แร่ธาตุปริมาณน้อย (เช่น โบรอน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โมลิบดินัม สังกะสี)	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
29. กำมะถัน	- จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
30. หินบด	-
31. ดิน เช่น เบนโทไนต์ เพอร์ไลต์ ซีโอไลต์	-
32. สิ่งมีชีวิตต้านชีววิทยาตามธรรมชาติ (เช่น ไส้เดือน)	-
33. เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite)	-

ชื่อสาร		รายละเอียด/ข้อกำหนด
34. วัสดุที่ใช้ในการเพาะปลูก (Peat)	-	ไม่รวมวัตถุเจือปนสังเคราะห์ที่อนุญาตสำหรับเมล็ดพันธุ์ วัสดุปลูกบางชนิด
	-	การใช้อื่น ๆ ตามที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรอง
35. ฮิวมัส (Humus) จากไส้เดือนดินและแมลง	-	
36. ซีโอไลต์ (Zeolite)	-	
37. ถ่านจากไม้	-	
38. ด่างคลอไรด์ (chloride of lime)	-	จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
39. ผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาล	-	จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
40. ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตส่วนผสมแปรรูปต่าง ๆ จากเกษตรอินทรีย์	-	จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง
41. ผลพลอยได้จากน้ำมันปาล์ม มะพร้าว และโกโก้	-	จำเป็นต้องได้รับการยอมรับจากหน่วยรับรองหรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวข้อง

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2552)

เอกสารอ้างอิง

วิจิตร วังใน. 2550. ธาตุอาหารกับการผลิตพืชผล. 370 น.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2552. มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 9000 เล่ม 1-2552 เกษตรอินทรีย์ เล่ม 1: การผลิต แปรรูป แสดงฉลาก และจำหน่ายผลิตผลและผลิตภัณฑ์เกษตรอินทรีย์. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. 40 น.

Clemson Cooperative Extension. 2020. Recommendations for Limimg and Fertilizing Vegetables. *Factsheet HGIC 1254*. Home & Garden Information Center, Clemson Cooperative Extension, Clemson University. 4 p. Available: https://hgic.clemson.edu/ Accessed: December 19th, 2020.

Deepika, M. 2023. Soil pH – An important factor in crop production. Available: https://kisanvedika.bighaat.com/crop/soil-ph-an-important-factor-in-crop-production/ Accessed: June 4th, 2024.

Goldy R. 2016. More reason for soil testing. Available: https://www.canr.msu.edu/news/more_reasons_for_soil_testing Accessed: June 4th, 2024.

Sembiring, M. and Sabrina, T., 2022. Diversity of phosphate solubilizing bacteria and fungi from andisol soil affected by eruption of Mount Sinabung, North Sumatra, Indonesia. Biodivesitas 23 (2): 714 – 720.

USDA Natural Resources Conservation Service. 2022. Soil quality indicators. Available: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/soil_ph.pdf Accessed: June 4th, 2024.

ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ คุณสมบัติ และการใช้ประโยชน์

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต ประไพ ทองระอา นิศารัตน์ ทวีนุต และณัฐนันท์ ไกรเลิศรัตนชัย

---

1. ประวัติการใช้ปุ๋ยชีวภาพ

ตามบันทึกในพจนานุกรมของจีนในประวัติศาสตร์ มีคำว่าแหนแดงปรากฏอยู่มานานกว่า 2000 ปี และในปีคริสตศักราช 540 มีหลักฐานการใช้แหนแดงจากหนังสือเรื่องเทคนิคการเกษตร ที่เขียนโดย Jia Si Xue จากนั้น Dao and Tran (1979) รายงานว่ามีการใช้แหนแดงใน ศตวรรษที่ 11 ในเวียดนาม (Shi and Hall, 1988) สำหรับ ประวัติการเริ่มการใช้ปุ๋ยชีวภาพทางการค้าน่าจะเริ่มต้นในปี ค.ศ.1895 โดยการเพาะเชื้อ Rhizobium sp. ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ชื่อว่า “Nitragin” ซึ่งผลิตโดย Nobbe และ Hiltner และในตอนปลายของช่วง 1950s ได้เริ่มมีการศึกษาเกี่ยวกับหัวเชื้ออาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซ่าเพื่อใช้ช่วยให้พืชดูดใช้ฟอสฟอรัส และเริ่มมีการศึกษาคุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางด้านธาตุอาหารตัวอื่นๆ ตามมา จากนั้นจึงมีการค้นพบจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่จะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านธาตุอาหารพืชมากขึ้น จนถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาการนำเอาจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางด้านธาตุอาหารต่างๆ เพื่อมาใช้เป็น “ปุ๋ยชีวภาพ” กันมากขึ้น แต่กระนั้นก็ตาม ทั้ง ๆ ที่ปุ๋ยชีวภาพมีประโยชน์หลากหลายและราคาถูก แต่ก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ซึ่งเหตุผลที่จำกัดการใช้ปุ๋ยชีวภาพส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองที่ไม่สอดคล้องกันต่อดิน ความจำเพาะเจาะจงของปุ๋ยชีวภาพต่อพืช ชนิดของพืช และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ตลอดจนแง่มุมในทางปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับการผลิตจำนวนมาก อายุการเก็บรักษา คำแนะนำที่เหมาะสม และความสะดวกในการใช้งานสำหรับ เกษตรกร

2. ความหมายของ “ปุ๋ยชีวภาพ”

- ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518

“ปุ๋ย” หมายความว่า สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช

- ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

“ปุ๋ย” หมายความว่า สารอินทรีย์ อินทรีย์สังเคราะห์ อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช

บัญญัติเพิ่มเติมคำว่า “ปุ๋ยชีวภาพ” หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากการนำ**จุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช** มาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือทางชีวเคมี และให้หมายความรวมถึงหัวเชื้อจุลินทรีย์

3. ชนิดปุ๋ยชีวภาพของกรมวิชาการเกษตร

- ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน (N-fixers) ได้แก่

1. ปุ๋ยชีวภาพสำหรับพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วเหลือง ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วเขียว ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วลิสง ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมปอเทือง

2. ปุ๋ยชีวภาพกลุ่มจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนอิสระ ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-วัน ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-ทู ปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน
3. แหนแดง

- ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสฟอรัส (Phosphate solubilizers)
1. ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
2. ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพชนิดต่างๆ ของกรมวิชาการเกษตร

4. การจำแนกปุ๋ยชีวภาพ

ปุ๋ยชีวภาพมีหลายชนิด ซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ตามชนิดของจุลินทรีย์ หรือตามประเภทของธาตุอาหาร ที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ให้แก่พืช หรือตามหน้าที่และกลไกการทำงาน ได้แก่

- จำแนกตามประเภทของจุลินทรีย์ เช่น
    1. แบคทีเรีย
    2. รา
    3. ไซยาโนแบคทีเรีย
    4. แอคติโนมัยซิส
- จำแนกตามประเภทของธาตุอาหารพืช เช่น
    1. จุลินทรีย์เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส
    2. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารรอง เช่น เหล็ก กำมะถัน สังกะสี
- จำแนกตามกลไกการทำงาน เช่น
    1. สร้างธาตุอาหาร (ตรึงไนโตรเจน)
    2. ทำให้แร่ธาตุที่มีอยู่ในดินเป็นประโยชน์แก่พืช
        2.1 การละลายธาตุอาหาร
        2.2 การเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร

ตารางที่ 1 ชนิดของปุ๋ยชีวภาพจำแนกตามประเภทของธาตุอาหารพืช และกลไกการทำงานของจุลินทรีย์

Group		Example
Biofertilizer for macronutrients		
N2-fixing biofertilizers	(A) Free-living	*Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia*, *Nostoc* *Hapalosiphon, Anabaena*
	(B) Symbiotic	*Rhizobium*, *Frankia*, *Anabaena azollae*
	(C) Associative symbiotic	*Azospirillum*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*
P-solubilizing biofertilizers	(A) Bacteria	*Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*, *Bacillus subtilis, Bacillus circulans*, *Pseudomonas striata*
	(B) Fungi	*Penicillium sp.*, *Aspergillus awamori,* Arbuscular mycorrhiza
P-mobilizing biofertilizers	Fungi	*Glomus* sp., *Gigaspora* sp., *Acaulospora* sp., *Scutellospora* sp., *Sclerocystis* sp.
K-solubilizing biofertilizers	(A) Bacteria	*Acidithiobacillus ferrooxidans, Bacillus mucilaginosus, B. circulans, B. edaphicus, and Paenibacillus spp., Pseudomonas*
	(B) Fungi	*Aspergillus niger, A. violaceofuscus*
Biofertilizer for micronutrients		
Sulphur oxidizing biofertilizers	Bacteria	*Thiobocblus thioxidans, Thiobacillus, Thiomicrospira, Thiosphaera,*
Zinc solubilizing biofertilizers	(A) Bacteria	*Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp.
	(B) Fungi	*Aspergillus niger*
Silicate solubilizing biofertilizers	Bacteria	*Erwinia*, *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Fracturia auerentia*
Manganese solubilizing biofertilizers	Fungi	*Penicillium citrinum*

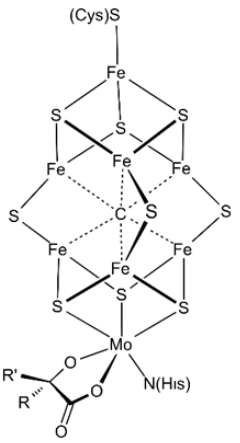
5. การตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์

จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศเปลี่ยนเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่สามารถนำไปเป็นประโยชน์แก่พืช ด้วยกระบวนการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ ทำให้ธาตุไนโตรเจนส่วนหนึ่งถูกนำไปเป็นองค์ประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ บางส่วนจะถูกปลดปล่อยในรูปไนเตรทเพื่อให้พืชนำไปใช้ได้ และอีกส่วนหนึ่งก็จะอยู่ในดิน ดังนั้นถ้าดินมีจุลินทรีย์กลุ่มนี้อยู่ก็จะสามารถเพิ่มปริมาณธาตุไนโตรเจนได้ โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะสร้างเอนไซม์ไนโตรจีเนสที่สามารถเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจน (N_2) ให้กลายเป็นกรดอะมิโน และสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยสามารถแบ่งจุลินทรีย์พวกที่ตรึงไนโตรเจนออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ พวกที่ต้องอาศัยร่วมกับพืชจึงจะสามารถตรึงไนโตรเจนได้ และพวกที่ตรึงไนโตรเจนโดยอยู่อย่างอิสระโดยไม่ต้องเข้าไปอยู่ในพืช

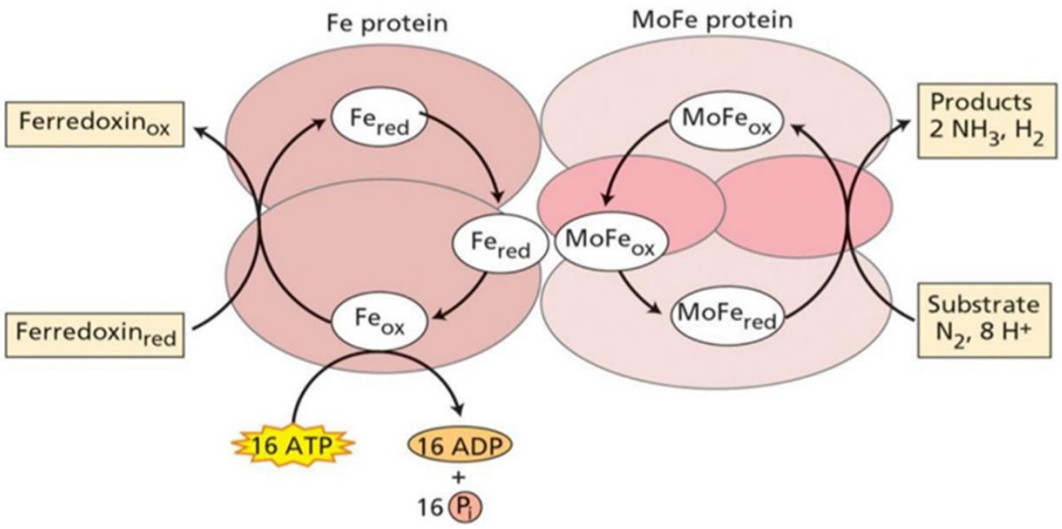
ในกรณีของพืชตระกูลถั่วเมื่อเซลล์ของไรโซเบียมเข้าไปอยู่ในเซลล์พืช จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็น bacteroid ซึ่งเป็นตัวสร้างโปรตีน คือ เอนไซม์ไนโตรจีเนส (nitrogenase enzyme) เอนไซม์นี้มี

ความสำคัญสำหรับกระบวนการ ตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ ที่ใช้ในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ โดยเปลี่ยนจากก๊าซไนโตรเจนในอากาศให้เป็นก๊าซ แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เอนไซม์นี้ประกอบด้วยโปรตีนขนาดใหญ่และซับซ้อน 2 ส่วน คือส่วนที่ 1 (component I) คือส่วนที่ประกอบด้วย Molybdenum-Fe protein (Mo-Fe protein) มีขนาดใหญ่ ประกอบด้วยโปรตีน 4 โมเลกุล และมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 24 อะตอม รวมทั้งมีโมลิบดินัม เป็น cofactor อีก 2 อะตอมด้วย ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจน ขณะที่ส่วนที่ 2 (component II) ประกอบด้วย Fe protein ที่มีขนาด เล็กกว่า โปรตีนส่วนนี้ประกอบไปด้วยหน่วยย่อย 2 หน่วยที่เหมือนกันและมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 อะตอม ทำหน้าที่ถ่ายอิเล็คตรอนให้แก่ Mo-Fe protein ดังภาพที่ 2

เอนไซม์ไนโตรจีเนสมีความไวต่อออกซิเจนเป็นอย่างมาก คือจะเสื่อมสภาพในสภาวะที่มีออกซิเจน และการเสื่อมสภาพนี้ไม่สามารถคืนกลับได้ (irreversible) แม้ว่าจะเอาออกซิเจนออกไปแล้วก็ตาม ในกรณีของไรโซเบียมซึ่งอยู่ร่วมกับพืชตระกูลถั่ว จะมีกระบวนการที่ช่วยปกป้องเอนไซม์ไนโตรจีเนสจากออกซิเจนโดยพืชตระกูลถั่วจะสร้างโปรตีนกลุ่ม leghemoglobin ซึ่งจะทำหน้าที่คอยจับเอาออกซิเจนมาให้กับไรโซเบียมใช้หายใจ และในขณะเดียวกันก็ควบคุมไม่ให้มีออกซิเจนอิสระ ไปกวนการทำางานของเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจนของมันด้วย และ leghemoglobin นี้ จะถูกสร้างก็ต่อเมื่อมีไรโซเบียมเข้าไปเจริญอยู่ในรากเท่านั้น โดยเราจะสังเกตว่าสีภายในของปมรากถั่วที่ตรึงไนโตรเจนจะมีสีแดงสด ซึ่งเป็นสีของ leghemoglobin นั่นเอง สำหรับจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนที่อยู่แบบอิสระนั้น จำเป็นต้องมีกลไกที่จะป้องกันไนโตรเจนจากอากาศโดยการอยู่อาศัยบริเวณรอบๆ รากที่ลึกลงไปจากผิวดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบในดินอยู่สูง ในกรณีของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะสังเคราะห์เอนไซม์ไนโตรจีเนสเฉพาะในเซลล์ที่มีผนังหนาพิเศษที่เรียกว่า heterocyst



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ MoFe nitrogenase (Fe_7MoS_9C)



$$N_2 + 8\,H^+ + 8\,e^- + 16\,ATP \longrightarrow 2\,NH_3 + H_2 + 16\,ADP + 16\,P_i$$

ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาในการตรึงไนโตรเจน โดยมี Fe protein ทำหน้าที่ถ่ายอิเล็คตรอนให้แก่ Mo-Fe protein เพื่อให้สามารถรีดิวซ์ก๊าซไนโตรเจนเป็นแอมโมเนีย

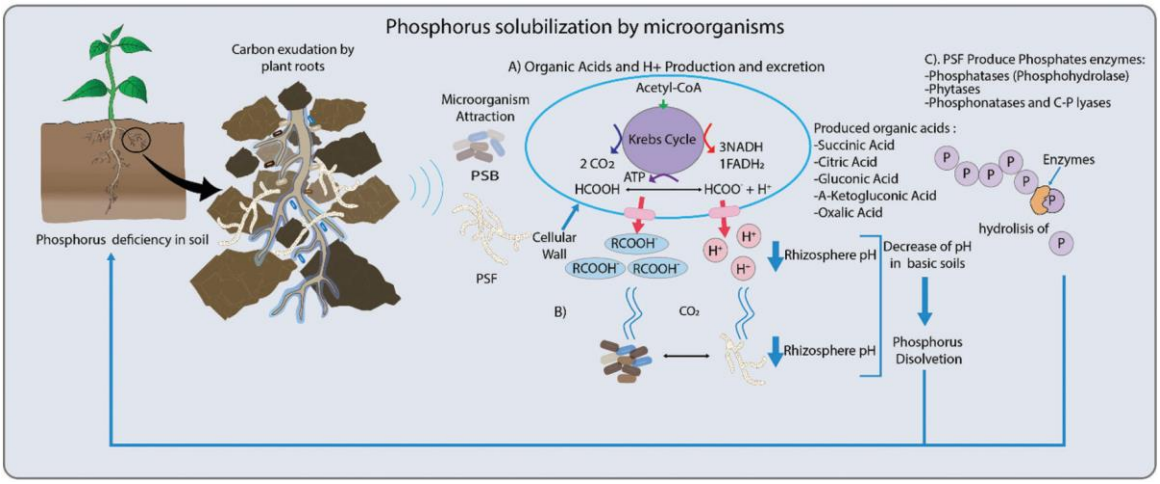
6. การละลายฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์

ฟอสฟอรัส เป็นหนึ่งในธาตุจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยมีบทบาทในกระบวนการชีวเคมีหลายประการ เช่น การสะสมพลังงาน การรักษาสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ การสังเคราะห์แสง ไกลโคไลซิส การหายใจ การจับหรือการยับยั้งเอนไซม์ ปฏิกิริยารีดอกซ์ การส่งสัญญาณ เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต การตรึงไนโตรเจน และโครงสร้างและหน้าที่ของกรดนิวคลีอิก ฟอสฟอรัสเป็นพื้นฐานของสารประกอบต่างๆ มากมาย โดยสารประกอบที่สำคัญที่สุดสำหรับการสร้างสารอาหารให้พืชคือ ฟอสเฟต เมื่อพืชขาดฟอสฟอรัสพืชจะมีการเจริญเติบโตที่จำกัด ใบเล็กผิดปกติ รากสั้นไม่แตกแขนง ออกดอกช้ากว่าปกติ เปอร์เซ็นต์ของดอกที่ติดผลต่ำกว่าปกติ ในธัญพืชมีการแตกกอน้อย ผลผลิตต่ำ

พืชดูดฟอสฟอรัสจากดินในรูปของอนุมูลออโทฟอสเฟต (H_2PO_4) โดยฟอสเฟตที่รากพืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้มี 2 รูป คือ $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{-2} แต่ฟอสเฟตส่วนใหญ่ในดินเป็นพวกอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เป็นสารประกอบหรือแร่ที่เป็นของแข็ง รวมถึงการถูกตรึงไว้ในแร่ดินเหนียวซึ่งพืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ฟอสเฟตยังทำปฏิกิริยากับไอออนที่เป็นประจุบวก (cation) บางชนิดในดินแล้วตกตะกอนเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยาก เช่น เหล็ก อลูมินัม แมงกานีส และแคลเซียม เป็นต้น ในธรรมชาติจะมีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถนำฟอสฟอรัสดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์แก่พืชโดยกระบวนการย่อยละลายฟอสเฟตมาซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้มีทั้งแบคทีเรีย รา แอคติโนมัยซิส และยีสต์ ซึ่งการนำจุลินทรีย์เหล่านี้มาใช้จะช่วยให้เกิดประโยชน์ในด้านการเกษตร เป็นแนวทางที่ประหยัด ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและยั่งยืน

จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตจะทำงานโดยการหลั่งเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายฟอสเฟตอนินทรีย์ออกจากแหล่งฟอสเฟตต่างๆ เช่น หินฟอสเฟต กระดูกสัตว์ เป็นต้น โดยจุลินทรีย์จะหลั่งเอนไซม์ฟอสฟาเตส (phosphatase) หรือฟอสโฟไฮโดรเลส (phosphohydrolase) ออกมายังสภาพแวดล้อม เอนไซม์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยาย่อยสลายพันธะเอสเทอร์หรือพันธะเอไนลของฟอสเฟตอนินทรีย์ ทำให้ฟอสเฟตถูกปลดปล่อยออกมาในรูปอนินทรีย์ที่สามารถถูกดูดซึมได้โดยจุลินทรีย์และพืช จุลินทรีย์จะดูดซึมฟอสเฟตที่

ถูกปล่อยออกมาเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมและการสร้างสารประกอบฟอสเฟต เช่น ATP กรดนิวคลีอิก ไขมัน เป็นต้น การย่อยสลายฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์ช่วยให้ฟอสเฟตที่ตกค้างในดินหรือวัสดุอินทรีย์ถูกปลดปล่อยออกมาในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงมีบทบาทสำคัญในวัฏจักรฟอสฟอรัส จุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟตได้ดีมีทั้งแบคทีเรีย รา ยีสต์ และแอคติโนมัยซิส ได้แก่ Bacillus, Pseudomonas, Aspergillus, Penicillium เป็นต้น บางสายพันธุ์ถูกนำมาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพเพื่อปรับปรุงดินให้อุดมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากเอนไซม์กรดฟอสโฟไฮโดรเลสและฟอสฟาเตสแล้ว ยังมีกรดอื่นๆ ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นเพื่อช่วยในการละลายฟอสเฟตอนินทรีย์อีก ได้แก่ กรดออร์แกนิก (organic acids) เช่น กรดอะซิติก กรดซิตริก กรดแลคติก กรดออกซาลิก กรดฟูมาริก กรดกลูตามิก เป็นต้น กรดเหล่านี้ช่วยละลายฟอสเฟตโดยการเพิ่มความเป็นกรดให้กับสภาพแวดล้อมและกรดบางชนิดยังช่วยเกิดปฏิกิริยาคีเลตกับไอออนของฟอสเฟตอีกด้วย กรดอนินทรีย์ (inorganic acids) เช่น กรดไนตริก กรดซัลฟุริก กรดคลอริก เป็นต้น ช่วยในการละลายฟอสเฟตในหินฟอสเฟตและแร่ฟอสเฟต โมเลกุลสารคีเลต (chelating agents) เช่น ซิเดโรฟอร์ สารประกอบฮิวมิก เป็นต้น ช่วยจับกับไอออนของธาตุเหล็ก อะลูมิเนียม และแคลเซียม ทำให้ฟอสเฟตถูกปลดปล่อยออกมาจากการจับตัวกัน จุลินทรีย์บางชนิดสามารถสร้างกรดและสารเหล่านี้ได้หลายชนิดพร้อมกัน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



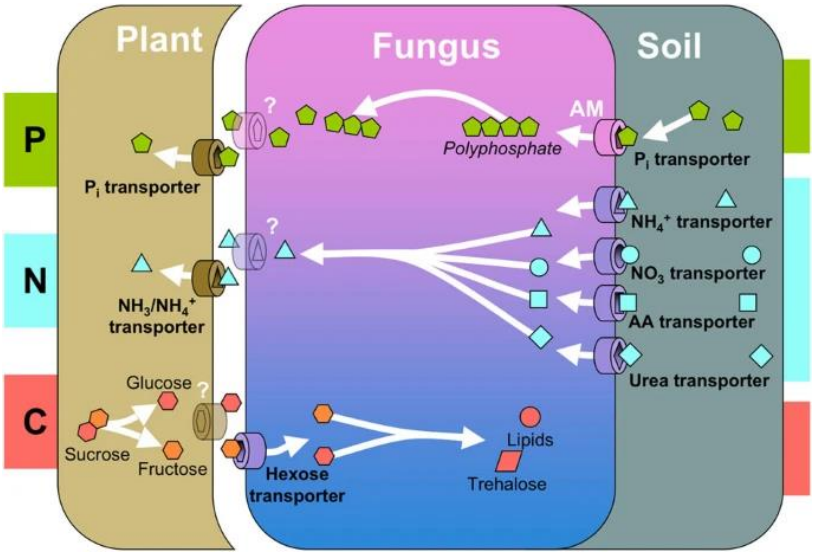
ภาพที่ 4 กระบวนการย่อยละลายฟอสฟอรัสโดยจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรีย (Phosphate Solubilizing Bacteria, PSB) และกลุ่มรา (Phosphate Solubilizing Fungi, PSF) ที่มา Madrid-Delgado et. Al. (2021)

7. ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ราไมคอร์ไรซาเป็นรากลุ่มหนึ่งที่อยู่ในดินอาศัยอยู่ตามรากพืช โดยไม่ทำอันตรายแก่พืชและต่างอาศัยพึ่งพาซึ่งกันและกัน ได้รับผลประโยชน์ร่วมกัน จากคุณลักษณะเฉพาะของเชื้อราที่เจริญเติบโตเฉพาะบริเวณรากพืชนี้จึงมีการตั้งชื่อเรียกรากลุ่มนี้ว่า เชื้อราไมคอร์ไรซา (Mycorrhizal fungi) โดยทั่วไปราไมคอร์ไรซาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ 1) Ectotrophic mycorrhiza 2) Ectendotrophic mycorrhiza และ 3) Endotrophic mycorrhiza ซึ่งปัจจุบันเรียกว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular Mycorrhiza Fungi, AMF) ได้ถูกนำมาศึกษาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรอย่างแพร่หลาย และเป็นปุ๋ยชีวภาพที่มีศักยภาพในการใช้ร่วมกับไม้ยืนต้นเป็นอย่างมาก โดย AMF จะสร้างเส้นใยสานกันอย่างหลวมๆ บนผิว และจะแทงเส้นใยผ่านผนังเซลล์ชั้นนอกเข้าไปเจริญในเซลล์ cortex ของ

รากพืช เส้นใยที่อยู่ภายในเซลล์พืชจะพัฒนาตัวเองเป็นโครงสร้างดูดซับธาตุอาหาร (haustoria) 2 รูปแบบ คือ แบบแตกกิ่งก้านสาขาคล้ายพุ่มไม้ เรียกว่า arbuscule และแบบกลมคล้ายรูปไข่ หรือกลม ผนังบาง เรียกว่า vesicle ซึ่งประกอบไปด้วยหยดไขมัน และมักจะเกิดกับรากฝอยมากกว่ารากชนิดอื่น โดยส่วนใหญ่รากพืชที่ AMF อาศัยอยู่สามารถเจริญได้ตามปกติ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพใดๆ และ AMF ไม่สามารถมีวงจรชีวิตได้สมบูรณ์หากขาดการพึ่งพาอาศัยกับรากพืช ในการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยนั้น AMF ต้องการแหล่งคาร์บอนจากพืชอาศัยผ่านตัวขนส่งคือเส้นใยของมัน ในขณะเดียวกัน AMF ก็ช่วยกระตุ้นการดูดใช้สารอนินทรีย์เช่น ฟอสเฟต แอมโมเนีย และกรดอะมิโน ผ่านช่องทางที่เลือกผ่านบนเยื่อหุ้มเซลล์ของรากและเคลื่อนย้ายไปสู่พืช ภาพที่ 5 (Bonfante and Genre, 2010)

ดังนั้น AMF จึงช่วยเพิ่มความพร้อมใช้ของฟอสฟอรัสในดินให้แก่พืช โดยเฉพาะในสภาพดินที่มีฟอสเฟตอนินทรีย์ต่ำ กระบวนการสร้างความสัมพันธ์พึ่งพาอาศัยกันระหว่างรากพืชและเส้นใยของราไมคอร์ไรซาจะเริ่มจากการที่รากพืชปล่อยสารสัญญาณ เช่น สตริโกแลกโตน ซึ่งจะกระตุ้นให้เส้นใยของรางอกและเจริญเติบโตเข้าหารากพืช เมื่อสร้างความสัมพันธ์พึ่งพาอาศัยกันได้แล้ว เส้นใยของราจะทำหน้าที่ดูดซึมฟอสเฟตจากดินผ่านฟอสเฟตทรานสปอร์ตเตอร์ จากนั้นจะลำเลียงฟอสเฟตเข้าสู่โครงสร้างอาบัสคูลาที่อยู่ภายในเซลล์รากพืช พืชดูดซึมฟอสฟอรัสได้ 2 วิถี คือ การดูดซึมโดยตรงจากรากพืช (direct uptake pathway) และการดูดซึมผ่านเส้นใยของราไมคอร์ไรซา (mycorrhizal uptake pathway) ในกรณีของการดูดซึมผ่านเส้นใยของราไมคอร์ไรซานั้น ฟอสเฟตจะถูกปลดปล่อยจากเส้นใยของราในช่องว่างอะพอพลาสติกบริเวณรอบอาบัสคูลา จากนั้นจะถูกดูดซึมเข้าสู่ซิมพลาสต์ของเซลล์รากพืชผ่านฟอสเฟตทรานสปอร์ตเตอร์บนเยื่อหุ้มอาบัสคูลา



ภาพที่ 5 กระบวนการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารต่างๆ จากดินสู่ AMF และระหว่าง AMF กับพืชอาศัย โดยฟอสฟอรัสในรูปสารอนินทรีย์ และไนโตรเจนในรูปแร่ธาตุหรืออินทรีย์ เช่น NH_4^+, NO_3^- และกรดอะมิโน จะถูกดูดซึมโดยโปรตีนขนส่งเฉพาะที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ของเส้นใย AMF ภายนอกราก (extraradical mycelium) และ NH_4^+/NO_3^- และฟอสเฟตจะถูกนำเข้าจากส่วนเชื่อมต่อไปยังเซลล์พืช ที่มา : Bonfante and Genre (2010)

8. หินฟอสเฟต (Rock phosphate)

หินฟอสเฟต เป็นแร่ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เรียกว่าอะปาไทต์ (apatite) เกิดขึ้นจากการเย็นตัวและตกผลึกออกมาของ molten magma ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแคลเซียมฟอสเฟตมีพวก $CaCl_2$ และ CaF_2 เจือปนผยู่ด้วย แต่อยู่ในรูปปสัณฐาน และมีสิ่งเจือปนอื่นๆ ผสมอยู่มาก จะพบอยู่ในสภาพแข็งเป็นหินหรือก้อนคล้ายๆ ก้อนกรวด

องค์ประกอบของหินฟอสเฟตที่พบในท้องตลาดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด แต่โดยทั่วไปแล้วจะมี P_2O_5 ระหว่าง 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ (คิดเป็นฟอสฟอรัสประมาณ 13 – 17 เปอร์เซ็นต์) ดังแสดงในตารางที่ 2 หินฟอสเฟตที่ใส่ลงดินจะปลดปล่อยฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์โดยปฏิกริยาหลายอย่างแตกต่างกันไป อัตราของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่ละลายออกมาจากหินฟอสเฟตมีความแปรปรวนมากขึ้นอยู่กับขนาด ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินและสมบัติทางเคมีของดิน โดยทั่วไปหินฟอสเฟตเหมาะสำหรับใช้กับดินที่เป็นกรดมากกว่าดินที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง และถึงแม้ว่าจะนำหินฟอสเฟตไปใช้ในดินกรดก็จะต้องมีการบดให้ละเอียด และในทางปฏิบัติ อัตราการใช้หินฟอสเฟตมักจะเป็น 10 เท่าของปุ๋ยเคมี

เนื่องจากหินฟอสเฟตเป็นสินแร่เพียงชนิดเดียวที่นำมาผลิตปุ๋ยฟอสเฟตชนิดอื่นๆ เช่น ซูเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต หรือทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต ฯลฯ ฟอสฟอรัสก็เป็นธาตุอาหารที่สำคัญมาก เป็นทรัพยากรที่ขุดได้จากแหล่งใต้ดิน ใช้แล้วหมดไปได้ ไม่มีการหมุนเวียนในช่วงระยะเวลาสั้น และไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้ สำหรับในประเทศไทยมีแหล่งของหินฟอสเฟตที่แม้ว่าจะเป็นแหล่งขนาดเล็ก แต่คุณภาพของหินฟอสเฟตบางแหล่งของไทยก็มีคุณภาพสูงเท่าเทียมกับแหล่งผลิตที่เป็นการค้าของต่างประเทศ และพบว่าพืชเศรษฐกิจหลายชนิดสามารถใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสแทนปุ๋ยฟอสเฟตชนิดอื่นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปลูกพืชในดินที่มีความเป็นกรด-ด่าง ค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 2 ปริมาณฟอสฟอรัสในหินฟอสเฟตบางแหล่งของประเทศไทย

แหล่งของหินฟอสเฟต	ปริมาณฟอสฟอรัส	
	Total	Available P_2O_5
ลำพูน	35.7	4.7
ราชบุรี	33.3	4.0
ชัยนาท	32.7	5.1
เพชรบูรณ์	31.2	6.6
เลย	19.2	4.4
ภูเก็ต	19.1	3.8
ร้อยเอ็ด	23.2	1.6

ที่มา : ประพิศ แสงทอง กลุ่มงานวิจัยเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน และลัดดาวัลย์ มีสุข กลุ่มงานวิจัยปุ๋ย กองปฐพีวิทยา

9. ความสำคัญของพื้นที่บริเวณรากพืช (Rhizosphere)

ในดินที่อุดมสมบูรณ์ 1 กรัม อาจมีแบคทีเรียถึง 10 ล้านเซลล์ โดยมีน้ำหนักเซลล์มีชีวิตประมาณ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ แบคทีเรียในดินมีรูปร่างเป็นทรงกลม เรียกว่า cocci ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5

ไมครอน ทรงแท่งเรียก bacilli ขนาดเส้นผ่าน 0.5-0.3 ไมครอน และรูปเกลียว ขนาดเส้นผ่าน 1-100 ไมครอน ปริมาณแบคทีเรีย ในดินขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ปริมาณสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และกิจกรรม การเพาะปลูก อย่างไรก็ตามการตรึงธาตุอาหารและการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบ สำคัญในวัฏจักรธาตุอาหารต่างๆ ของระบบนิเวศน์ด้วย

บริเวณรากพืชหรือไรโซสเฟียร์ (rhizosphere) ซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่แคบ ๆ ของระบบดินที่อยู่ใกล้ชิดผิวรากพืช คำว่า "ไรโซสเฟียร์" ถูกใช้ครั้งแรกโดย Lorenz Hiltner ในปี 1904 พื้นที่บริเวณรากพืชจะได้รับสารคัดหลั่ง (root exudates) จากราก ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล กรดอินทรีย์ วิตามิน ฟลาโวนอยด์ นิวคลีโอไทด์ เอนไซม์ ฮอร์โมน และสารประกอบระเหย ไอออนอนินทรีย์ และโมเลกุลของก๊าซ สารเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นผู้ส่งสัญญาณกระตุ้น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างรากพืชและจุลินทรีย์ในดิน ดังนั้นบริเวณรากพืชจึงเป็นสภาพแวดล้อมที่มีการเคลื่อนไหวมากที่สุด ในดินและมีความหลากหลายของจุลินทรีย์สูงมาก และได้รับการพิสูจน์แล้วว่าประชากรของจุลินทรีย์มีจำนวนมากกว่า ในบริเวณรากพืชเมื่อเทียบกับส่วนอื่นๆ ของดิน ความเป็นประโยชน์ของ root exudates ที่ขับออกมาในบริเวณไรโซสเฟียร์นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน การเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนในดินไรโซสเฟียร์เมื่อเทียบกับดินนอกไรโซสเฟียร์เรียกว่าอัตราส่วน R/S ซึ่งโดยทั่วไปคำนวณได้ระหว่าง 1 ถึง 20 ประชากรของจุลินทรีย์ในบริเวณรากพืชนั้นอาจมีความผันผวน ตั้งแต่ หลักพันจนถึงหลักล้าน การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชและจุลินทรีย์ แสดง ให้เห็นถึงผลดีต่อการเจริญเติบโตและพัฒนา การของพืช เพิ่มการใช้ประโยชน์และการดูดซึมธาตุอาหาร รวมถึงการ ยับยั้งโรคพืช นอกจากนี้ ยังเพิ่มความต้านทาน ต่อความเครียดจากปัจจัยทางชีวภาพและไม่ใช่ชีวภาพ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ ล้วนนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ความยั่งยืนของดิน และความพร้อมของธาตุอาหาร

ตาราง 3 สารประกอบชนิดต่างๆ ใน root exudates จากพืชหลากหลายพืช

Amino acids	α-Alanine, β-alanine, asparagines, aspartate, cysteine, cystine, glutamate, glycine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, serine, threonine, proline, valine, tryptophan, ornithine, histidine, arginine, homoserine, phenylalanine, aminobutyric acid, α-aminoadipic acid
Enzymes	Acid/alkaline-phosphatase, invertase, amylase, protease
Inorganic ions and gaseous molecules	HCO_3^-,OH-, H^+, CO_2, H_2
Organic acids	Citric acid, oxalic acid, malic acid, fumaric acid, succinic acid, acetic acid, butyric acid, valeric acid, glycolic acid, piscidic acid, formic acid, aconitic acid, lactic acid, pyruvic acid, glutaric acid, malonic acid, tetronic acid, aldonic acid, erythronic acid
Purines/nucleosides	Adenine, guanine, cytidine, uridine
Sugars	Glucose, fructose, galactose, ribose, xylose, rhamnose, arabinose, desoxyribose, oligosaccharides, raffinose, maltose
Vitamins	Biotin, thiamin, pantothenate, riboflavin, niacin

ที่มา: ดัดแปลงจาก Dakora and Phillips 2002

ตารางที่ 4 ปริมาณประชากรจุลินทรีย์ในบริเวณรอบรากพืช เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้อยู่บริเวณรอบรากพืช

Microorganisms	Rhizosphere	Non-rhizosphere	R:S ratio
	Microbes g^{-1} dry soil		
Bacteria	1.2×10^9	5.3×10^7	23.0
Fungi	1.2×10^6	1.0×10^5	12.0
Actinomycetes	4.6×10^7	7.0×10^6	7.0
Algae	5.0×10^3	2.7×10^4	0.2

ที่มา: ดัดแปลงจาก Prasad et. al. (2017)

เอกสารอ้างอิง

Bonfante, P. and Genre, A. 2010. Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. Nature communications 48: 1-11

Dakora, F.D. and Phillips, D.A. 2002 Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. Plant Soil. 245:35–47.

Daniel, A.I.; Fadaka, A.O., Gokul, A., Bakare, O.O., Aina, O.,Fisher, S., Burt, A.F., Mavumengwana, V., Keyster, M., and Klein, A. 2022. Biofertilizer: The Future of Food Security and Food Safety. Microorganisms 10(6):1220-1235

Dao, T. T. and Thuyet, T.Q. 1979. Use of Azolla in rice production in Vietnam. 395-405. *In* Int. Rice Res. Inst. (ed.), Nitrogen and rice. Los Bafios, Laguna, Philippines.

Madrid-Delgado, G., Orozco-Miranda, M., Cruz-Osorio, M., Hernández-Rodríguez, O.A., Rodríguez-Heredia, R. 2021. Pathways of phosphorus absorption and early signaling between the mycorrhizal fungi and plants. Phyton-Inter J. Exp. Bot. 90(5), 1321-1338.

Prasad, M., Chaudhary, M., Choudhary, M. and Kumar, T.K. 2017. Rhizosphere microorganisms towards soil sustainability and sutrient scquisition. 31-49. V.S. Meena et al. (eds.), *In* Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture, Springer Singapore

Shi Ding-Jr. and Hall D. 1988. The Azolla-Anabaena association: Historical perspective, symbiosis and energy metabolism. The botanical review 54(4): 353-386.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สารชีวภาพจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และแหนแดง

ประไพ ทองระอา ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต ณัฐนันท์ ไกรเลิศรัตนชัย และ แวววตา พลกุล

---

1. สารเร่งชีวภาพพืชทางการเกษตร

ในการผลิตพืชทางการเกษตรแบบสมัยใหม่ในปัจจุบัน นอกจากเกษตรกรจะใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรพื้นฐาน ซึ่งได้แก่ ปุ๋ยเคมีและสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชแล้วเกษตรกรยังมีการใช้สารเร่งชีวภาพพืช (plant biostimulants) ร่วมด้วย โดยเฉพาะในระบบการผลิตพืชอินทรีย์ที่มีแนวโน้มการใช้เพิ่มขึ้น ซึ่งสารเร่งชีวภาพพืช คือ สารที่ไม่ใช่ปุ๋ย แต่ประกอบด้วยสารหรือจุลินทรีย์ ซึ่งเมื่อใช้ในปริมาณน้อยกับพืชและระบบรากพืชจะกระตุ้นกระบวนการธรรมชาติทำให้ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหาร เพิ่มความทนทานต่อสภาวะวิกฤตทางกายภาพ (abiotic factors) และเพิ่มคุณภาพแก่พืช ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม ได้แก่ กรดฮิวมิคและกรดฟูลวิค กรดอะมิโนและโปรตีนไฮโดรไลเสท สารสกัดจากสาหร่ายและสารสกัดจากพืช ไคโตซาน สารอนินทรีย์ เชื้อราที่เป็นประโยชน์และเชื้อแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ (Kauffman *et al*., 2007; Patrick, 2015) โดยเฉพาะสารสกัดจากพืชและสาหร่ายที่มีการนำมาใช้ในการผลิตพืชกันอย่างกว้างขวาง ในต่างประเทศ พบว่า สารสกัดจากสาหร่ายเป็นสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (seaweed) *Ascophylum nodusum* ซึ่งพบได้ตามชายฝั่งทะเลเป็นจำนวนมาก มีขนาดความยาวประมาณ 65 เมตร ส่วนสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) ที่มีเซลล์เดียวหรือเป็นเส้นสายมีขนาดตั้งแต่ 1-900 ไมโครเมตร ได้แก่ *Arthrospira* spp., *Chlorella* spp., *Dunaliella* spp., *Nostoc* spp. และ *Aphanizomenon* spp. (Schmitz *et al*., 2012) พบว่ามีศักยภาพในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารเร่งชีวภาพพืชได้เช่นกันโดยมีการนำมาใช้ในระบบเกษตรอินทรีย์กันเป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตให้สูงขึ้น เนื่องจากผลผลิตพืชอินทรีย์มีปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับการปลูกพืชแบบใช้เคมีทั่วไป

2. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) หรือ blue-green algae เป็นสาหร่ายขนาดเล็กมีทั้งพวกที่สามารถตรึงไนโตรเจนและไม่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ ในกลุ่มที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ที่มีเซลล์เฮเทอโรซีสต์ จัดเป็นแหล่งชีวมวลที่สำคัญที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มีวันหมด (renewable biomass source) เช่น สกุล Anabaena, Nostoc, Calothrix, Rivularia, Cylindrospermum, Fischerella, Hapalosiphon, Stigonema, Scytonema และ Tolypothrix เป็นต้น (Rippka et al., 1979) โดยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปปุ๋ยชีวภาพในนาข้าว และในรูปแบบสารสกัดสาหร่ายสำหรับใช้ในพืชชนิดอื่น ๆ เนื่องจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถสร้างสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ภายในเซลล์ (extracellular product) ซึ่งเป็นสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ ได้แก่ วิตามิน เอนไซม์ คาร์โบไฮเดรท เปปไทด์ กรดอะมิโน และสารคล้ายฮอร์โมนพืชทั้งกลุ่มออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน (Zulpa et al., 2003; Stirk et al., 2002; ประไพ และคณะ, 2560) ทำให้สามารถช่วยปรับปรุงการเจริญเติบโตของพืช ปรับปรุงผลผลิต คุณภาพผลผลิต เพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารพืช และเพิ่มความทนทานต่อสภาวะวิกฤติทางกายภาพ ซึ่งส่งผลดีต่อพืชนอกเหนือจากการใช้ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว โดยมีรายงานผลการวิจัยว่า สารสกัดสาหร่ายสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับพืชได้หลายชนิด ได้แก่ ข้าวสาลี ถั่ว

เหลือง ข้าวโอ๊ต มะเขือเทศ หัวไชเท้า ฝ้าย อ้อย ข้าวโพด พริก ถั่วต่าง ๆ แตงไทยและ ผักกาดหอม เป็นต้น (Maqubela et al., 2008; Saadatnia and Riahi, 2009; Mohsen et al., 2016)

ในประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์สารสกัดจากสาหร่ายที่นำเข้ามาจากต่างประเทศเพื่อจำหน่ายในท้องตลาดหลายยี่ห้อ มีทั้งผลิตภัณฑ์รูปแบบผงและน้ำ ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวตามกฎหมายไม่จัดเป็นปุ๋ยและวัตถุอันตราย แต่จัดเป็น “ผลิตภัณฑ์สารเพิ่มประสิทธิภาพพืช” ซึ่งเป็นสินค้าที่ต้องควบคุมฉลากตามประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลาก เนื่องจากคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภคได้มีการตรวจพบว่า ในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมักมีการอวดอ้างสรรพคุณว่ามีคุณสมบัติหรือสารออกฤทธิ์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งยังไม่สามารถทดสอบพิสูจน์ได้ว่ามีคุณสมบัติหรือมีสารออกฤทธิ์ได้จริงตามที่มีการอวดอ้าง ซึ่งเป็นการคุ้มครองสิทธิของผู้บริโภคให้ได้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีสรรพคุณตรงต่อความเป็นจริง โดยตามประกาศคณะกรรมการว่าด้วยฉลากให้ “ผลิตภัณฑ์สารเพิ่มประสิทธิภาพพืช” หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติ สรรพคุณ คุณประโยชน์ และวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงสารไคโตซาน สารสกัดจากสาหร่าย กรดอะมิโนสำหรับพืช และสารอื่นที่มีลักษณะเดียวกันกับสารดังกล่าวข้างต้นที่ไม่จัดเป็นปุ๋ยตามกฎหมายว่าด้วยปุ๋ย และวัตถุอันตรายตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตราย

3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร เป็นแหล่งรวบรวมและเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ ซึ่งเป็นทรัพยากรชีวภาพที่สามารถนำมาพัฒนาการใช้ประโยชน์แก่พืชได้ จึงได้ดำเนินการวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล Hapalosiphon เพื่อนำไปใช้ประโยชน์แก่พืชผัก โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

3.1 การเตรียมหัวเชื้อตั้งต้นสำหรับใช้เลี้ยงขยายชีวมวลสาหร่าย

นำหัวเชื้อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เก็บรักษาไว้ จากห้องปฏิบัติการสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมาทำการเลี้ยงขยายในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสูตร BG-11_0 (Allen and Arnon, 1955; Rippka *et al*., 1979) ปริมาตร 5 ลิตร เมื่อหัวเชื้อเจริญเติบโตในระยะที่เหมาะสม นำไปปลูกเชื้อในถุงอาหารเหลว BG-11_0 ให้มีความเข้มข้นหัวเชื้อ 15% จากนั้นบ่มเชื้อไว้ภายใต้ชั้นแสงนาน 14 วัน สาหร่ายจะมีปริมาณไม่น้อยกว่า 10^5 โคโลนีต่อกรัม จึงสามารถนำไปเลี้ยงขยายเพื่อเพิ่มปริมาณชีวมวลได้ (ภาพที่ 1)

1) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp.DASH05101

2) เลี้ยงขยายในอาหารเหลว BG-11_0 นาน 14 วัน เซลล์มีความแข็งแรงและมีปริมาณเชื้อสูง

3) ปลูกเชื้อและบ่มหัวเชื้อตั้งต้นในถุงพลาสติกชิบนาน 14 วัน มีปริมาณสาหร่ายไม่น้อยกว่า 10^5 โคโลนีต่อกรัม

ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อตั้งต้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในถุงพลาสติกชิบเพื่อเลี้ยงขยาย

3.2 การเลี้ยงขยายชีวมวลสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยใช้อาหารเหลวน้ำปุ๋ยหมักมูลไก่

- เตรียมอาหารเหลวน้ำปุ๋ยหมักมูลไก่เจือจาง 250 เท่า

ต้มปุ๋ยหมักมูลไก่แห้งจำนวน 1 กิโลกรัม ในน้ำสะอาด 5 ลิตร ต้มให้เดือดนาน 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น กรองเอาแต่น้ำปุ๋ยหมักเข้มข้นไปเจือจางด้วยน้ำให้ครบ 250 ลิตร จะได้น้ำปุ๋ยหมักมูลไก่เจือจางที่มีปริมาณธาตุอาหารใกล้เคียงกับอาหารเลี้ยงเชื้อสูตรสังเคราะห์ (ตารางที่ 1) กวนผสมให้เข้ากัน แบ่งใส่ถุงพลาสติกใสถุงละ 4.5 ลิตร และปลูกเชื้อด้วยหัวเชื้อตั้งต้นจากข้อ 1 (ปริมาตร 500 มิลลิลิตร) เลี้ยงขยายชีวมวลในสภาพโรงเรือน โดยมีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่องด้วยปั๊มลม นาน 45 วัน (ภาพที่ 2) เมื่อเลี้ยงขยายอย่างต่อเนื่องใน 1 รอบปี พบว่า การให้ผลผลิตชีวมวลสดของสาหร่ายมีความแตกต่างกันในแต่ละฤดู โดยในช่วงฤดูหนาวให้ผลผลิต>ฤดูฝน>ฤดูร้อน (17 ,14, 12.4 กรัมต่อลิตร) ซึ่งการเพาะเลี้ยงในฤดูร้อนให้ผลผลิตต่ำเนื่องจากอุณหภูมิอากาศสูง (> 35 องศาเซลเซียส) ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการเพาะเลี้ยงในช่วงฤดูร้อน

ภาพที่ 2 การเลี้ยงขยายหัวเชื้อตั้งต้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp.DASH05101 โดยใช้น้ำปุ๋ยหมักมูลไก่เจือจาง 250 เท่า สภาพโรงเรือน ก) เตรียมน้ำปุ๋ยหมักมูลไก่เจือจางในถุงพลาสติก ข) เลี้ยงขยายชีวมวลโดยการเติมอากาศอย่างต่อเนื่องในสภาพโรงเรือน

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในน้ำปุ๋ยหมักมูลไก่เจือจาง 250 เท่า เปรียบเทียบกับอาหาร สูตร BG-11_0

สมบัติทางเคมี/ปริมาณธาตุอาหาร	อาหารสูตร BG-110	น้ำปุ๋ยหมักมูลไก่เจือจาง 250 เท่า
pH	7.80	7.63
EC (เดซิซีเมนส์/ม.)	0.20	0.64
N (มก./ล.)	nd	nd
P (มก./ล.)	9.66	4.44
K (มก./ล.)	26.9	40.1
Ca (มก./ล.)	8.30	3.03
Mg (มก./ล.)	7.78	2.14
Fe (มก./ล.)	0.08	0.03
Mn (มก./ล.)	0.51	0.02
Zn (มก./ล.)	0.12	0.01

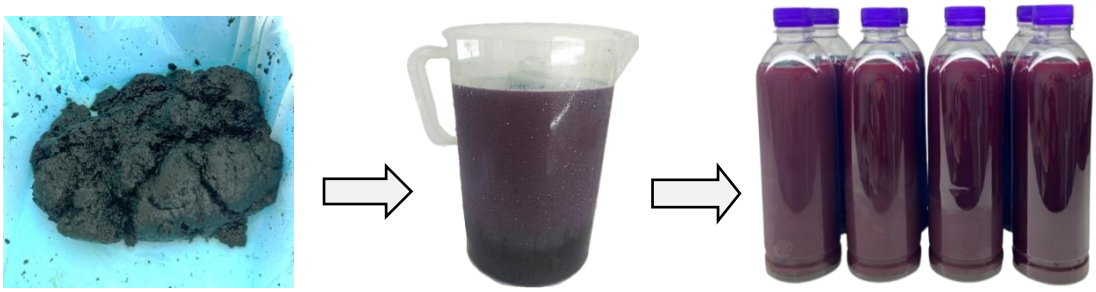
สมบัติทางเคมี/ปริมาณธาตุอาหาร	อาหารสูตร BG-110	น้ำปุ๋ยหมักมูลไก่เจือจาง 250 เท่า
Cu (มก./ล.)	0.04	0.03
Ni (มก./ล.)	ND	ND

ND = non-detect data

ที่มา : ประไพ และคณะ (2565)

3.3 การสกัดเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

นำเซลล์สดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ผลิตได้ ที่มีความชื้นต่อน้ำหนักสดประมาณ 93% มาสกัดหยาบด้วยน้ำ (อัตราส่วนเซลล์สด : น้ำ ; 1:5 น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยวิธีการแช่เยือกแข็ง (-20 องศาเซลเซียส) ทำการละลายน้ำแข็ง และปั่นตัดเซลล์ด้วยเครื่องปั่น จากนั้นกรองสารละลายเซลล์แชบด้วยผ้ากรองแพลงตอนขนาด 30 ไมครอน กวนผสมสารละลายให้เข้ากันจะได้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเข้มข้น (ภาพที่ 3) เมื่อนำไปเจือจางด้วยน้ำสามารถนำไปใช้ฉีดพ่นแก่พืชผักรับประทานใบได้



1) เซลล์สดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีความชื้นต่อน้ำหนักสดประมาณ 93%

2) สกัดเซลล์โดยการแช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็ง และปั่นตัดเซลล์

3) สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเข้มข้น

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการสกัดเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมนำเงินแบบหยาบด้วยน้ำ โดยวิธีการเยือกแข็งและการปั่นตัดเซลล์

3.4 องค์ประกอบของสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเข้มข้นมีองค์ประกอบของสารสำคัญ และธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่พืช ดังนี้

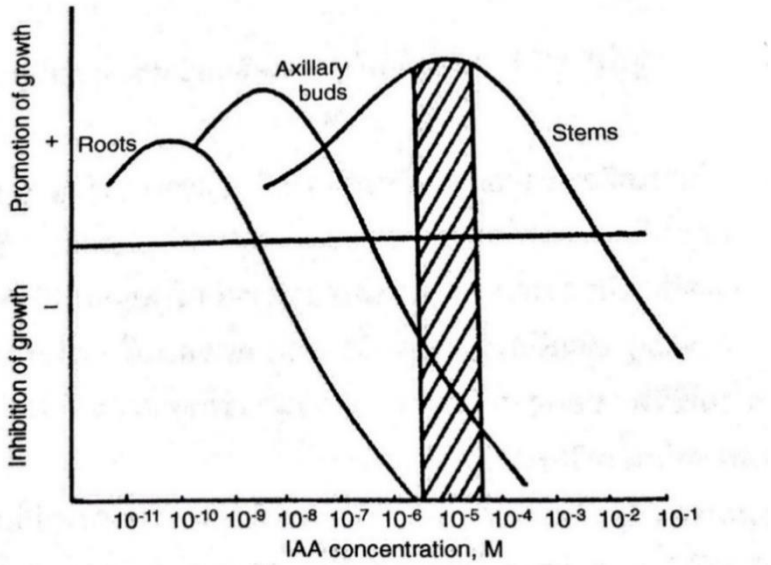
3.4.1 สารคล้ายฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณสารคล้ายฮอร์โมนพืชในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเข้มข้น

สารคล้ายฮอร์โมนพืช	มก./ล.
Free IAA	0.05
Free GA_3	36.4
Free CKs	0.013

โดยออกซินที่ตรวจพบคือ Free IAA มีความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากพบว่า ความเข้มข้นของ IAA ที่ตอบสนองต่อส่วนของลำต้น และตาข้างในด้านส่งเสริมการเจริญเติบโต (promotion of growth) อยู่ในช่วง 10^{-5} และ 10^{-8} โมลาร์ (M) ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากอยู่ในระดับต่ำมากในช่วง 10^{-11} -10^{-10} M (Moore, 1989) (ภาพที่ 4) ซึ่งความเข้มข้น

ของ IAA ในสารสกัดสาหร่ายที่แนะนำให้ใช้ฉีดพ่นทางใบแก่พืชผักเท่ากับ 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร (เจือจางด้วยน้ำที่อัตราส่วน 1 : 9) โดยเป็นความเข้มข้นที่อยู่ในช่วง 10^{-8}-10^{-7} M



ภาพที่ 4 ระดับความเข้มข้นของ IAA ที่ตอบสนองต่อส่วนต่างๆ ของพืช
ที่มา : Moore (1989)

ด้านจิบเบอเรลลินช่วยเพิ่มการขยายขนาดของเซลล์และการยืดยาวของลำต้น ส่วนไซโตไคนินสามารถช่วยส่งเสริมการแบ่งเซลล์ เร่งการขยายตัวของเซลล์ ส่งเสริมการสร้างและการเจริญของตาและช่วยในการงอกของเมล็ด

3.4.2 กรดอะมิโน

ในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเข้มข้น มีกรดอะมิโนในรูปกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) และเปปไทด์สายสั้น ๆ ในรูปกรดอะมิโนรวม (total amino acid) กรดอะมิโนอิสระสามารถเป็นประโยชน์แก่พืชได้โดยเป็นแหล่งของอินทรีย์ไนโตรเจนแก่พืช (ตารางที่ 3) นอกจากนี้กรดอะมิโนอิสระยังมีบทบาทหน้าที่ที่สำคัญต่าง ๆ ภายในพืชอีกด้วย (ตารางที่ 4) จึงสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชได้

ตารางที่ 3 ปริมาณกรดอะมิโนอิสระ และกรดอะมิโนรวม ในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเข้มข้น

กรดอะมิโน	กรดอะมิโนอิสระ (มก./ล.)	กรดอะมิโนรวม (มก./ล.)
Aspartic acid	6.28	102.40
Serine	13.65	57.00
Glutamic acid	45.13	133.30
Glycine	6.13	50.80
Histidine	10.83	10.40
Arginine	20.80	81.80
Threonine	11.45	44.00
Alanine	23.15	111.40
Proline	6.55	41.10
Cysteine	ND	0.40

กรดอะมิโน	กรดอะมิโนอิสระ (มก./ล.)	กรดอะมิโนรวม (มก./ล.)
Tyrosine	16.23	37.10
Valine	13.55	52.10
Methionine	10.48	10.60
Lysine	13.85	51.70
Isoleucine	19.03	70.30
Leucine	23.75	85.40
Phenylalanine	15.10	38.60
Total	255.93	978.40

ND = non-detect data

ตารางที่ 4 บทบาทหน้าที่พื้นฐานของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในพืช

กรดอะมิโน	หน้าที่
Hydroxy Proline, Proline	Anti-stress agent
Cysteine, Glutamic acid, Glycine, Histidine, Lysine	Chelating agent
Alanine, Arginine	Cold weather resistance
Hydroxy Proline, Proline	Generative development of plants and improvement of the plant pollen fertility
Glutamic acid	Growth stimulator
Serine, Tryptophan, Valine	Precursor of auxin
Glycine	Precursor of chlorophyll
Arginine	Precursor of polyamines: necessary to start the cell division
Phenylalanine	Precursor to the formation of lignin and woody tissues
Hydroxy Proline, Proline, Serine	Regulation of the water balance
Glutamic acid	Reserve of organic nitrogen necessary for the synthesis of other amino acids and proteins
Alanine, Lysine, Serine	Stimulation of the chlorophyll synthesis
Methionine	Stimulation of the ethylene synthesis
Aspartic acid, Glutamic acid, Lysine, Methionine, Phenylalanine, Threonine	Stimulation of the germination
Alanine	Stimulation of the hormone metabolism
Alanine	Stimulation of the resistance mechanism to viruses

ที่มา : Baqir *et al*. (2019)

3.4.3 ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์

สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมที่ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 5) และมีค่า pH เป็นกลาง เท่ากับ 7.0

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมที่ละลายน้ำได้ในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเข้มข้น

ธาตุอาหาร	มก./ล.
Inorganic N	9.97
Soluble P	4.02
Soluble K	52.0
Soluble Ca	17.9
Soluble Mg	17.0
Soluble Cu	0.068
Soluble Fe	0.194
Soluble Mn	0.262
Soluble Zn	0.033

3.5 ประโยชน์ของสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีต่อพืช

เพิ่มการแตกใบอ่อน ขนาดของใบและลำต้น เพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารพืช และผลผลิต

3.6 ผลการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (สารสกัด BGA) ต่อผลผลิตของพืชผักรับประทานใบ

ผลการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบแก่ ผักคะน้า ผักกวางตุ้ง ผักสลัดคอส และผักกาดหอม ร่วมกับการใช้ปุ๋ย N P K ทางดิน พบว่า การฉีดพ่นสารสกัดสาหร่ายช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต และผลผลิตให้ผักรับประทานใบได้ทุกชนิด โดยมีผลผลิตเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 30-70% (ภาพที่ 5 และ ตารางที่ 6) ส่วนการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นให้ผักสลัดคอสอินทรีย์ พบว่า สามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตผักสลัดคอสได้เช่นกัน โดยมีผลผลิตเพิ่มขึ้น 31.3% (ภาพที่ 6 และ ตารางที่ 6) ดังนั้นสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจึงสามารถใช้ฉีดพ่นเป็นสารเสริมทางใบร่วมกับการใช้ปุ๋ยทางดินแบบ GAP หรือเกษตรอินทรีย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชผักรับประทานใบได้

3.7 การเก็บรักษาสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

เนื่องจากสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีองค์ประกอบของสารสำคัญเป็นสารคล้ายฮอร์โมนพืชจากธรรมชาติ ซึ่งสามารถสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับแสง และมีกรดอะมิโนอิสระ และกรดอะมิโนรวม ซึ่งสามารถเกิดการเสื่อมสลายได้เช่นกันหากไม่เก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไว้ในช่องแช่แข็ง อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จะช่วยชะลอการเสื่อมสลายของสารสำคัญไว้ได้

ตารางที่ 6 ผลการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบร่วมกับการใช้ปุ๋ยทางดินต่อผลผลิตผักรับประทานใบชนิดต่างๆ

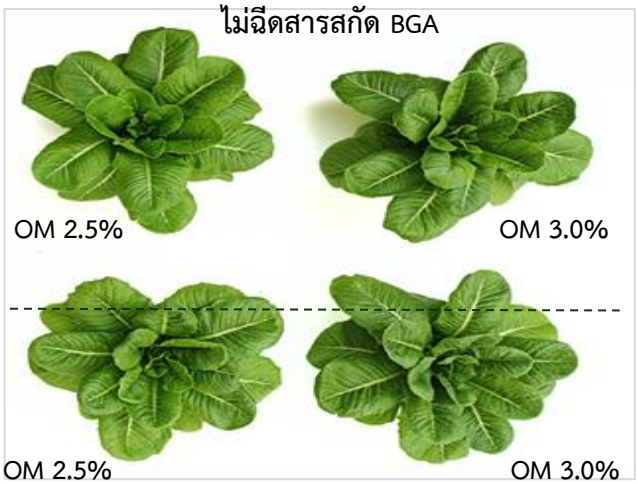
พืชผัก GAP	ผลผลิต (กก./ไร่)		ผลผลิตเพิ่ม	
	ไม่ฉีดสารสกัด BGA	ไม่ฉีดสารสกัด BGA	กก./ไร่	%
ผักคะน้า [1/]	859	1,520	661	76.9
ผักกวางตุ้ง [1/]	1,792	2,608	816	45.0
ผักสลัดคอส [1/]	3,612	4,853	1,241	34.3
ผักกาดหอม [1/]	710	1,034	324	45.6
พืชผักอินทรีย์	ผลผลิต (กก./ไร่)		ผลผลิตเพิ่ม	
	ไม่ฉีดสารสกัด BGA	ไม่ฉีดสารสกัด BGA	กก./ไร่	%
ผักกวางตุ้ง [2/]	3.13	4.11	0.98	31.3

ที่มา : ประไพ และคณะ (2567), ศิริลักษณ์ และ ประไพ (2563)

หมายเหตุ : [1/]ใช้ปุ๋ยเคมี N P K อัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร และฉีดพ่นสารสกัด BGA จำนวน 6 ครั้ง

[2/]ปลูกในดินที่ปรับระดับอินทรียวัตถุให้เท่ากับ 3.0% โดยใช้แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยหมักมูลไก่ (ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี) และฉีดพ่นสารสกัด BGA จำนวน 6 ครั้ง

ภาพที่ 5 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของ ก) ผักคะน้า ข) ผักกาดหอม และ ค) ผักสลัดคอส ที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ย N P K ตามอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร ที่ไม่ฉีดพ่นและฉีดพ่นสารสกัด BGA



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสที่ปลูกในดินที่ปรับระดับอินทรียวัตถุเท่ากับ 2.5 และ 3.0% โดยใช้แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยหมักมูลไก่ (ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี) ที่ไม่ฉีดพ่นและฉีดพ่นสารสกัด BGA

4. การผลิตผลิตภัณฑ์แหนแดงร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัดเม็ด

แหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถตรึงไนโตรเจน จัดเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนและธาตุอาหารชนิดอื่น ๆ แก่พืช แหนแดงเป็นพืชที่สามารถเพิ่มชีวมวลได้อย่างรวดเร็ว โดยมีระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเพียง 2-5 วัน หากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มปริมาณได้ถึง 40 เท่าจากน้ำหนักสดเริ่มต้น 80 กิโลกรัม เป็น 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ ได้ในระยะเวลาเพียง 2 สัปดาห์ (Jumadi *et al*., 2014; Zimmerman, 1985) ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีองค์ประกอบของกรดอะมิโน และสารคล้ายฮอร์โมนพืชในกลุ่มออกซิน ไซโตไคนิน และจิบเบอเรลลินที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (ประไพ และคณะ, 2560; Kollmen and Strieth, 2022) อีกทั้งแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินยังเป็นแหล่งชีวมวลที่มีศักยภาพที่เกษตรกรสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องไม่มีวันหมด โดยมีต้นทุนการผลิตต่ำหากเปรียบเทียบกับการผลิตชีวมวลชนิดอื่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์แหนแดงร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัดเม็ด เป็นการวิจัยพัฒนาเพื่อให้การใช้แหนแดงแห้งในแปลงปลูกพืชมีความสะดวกมากขึ้น สามารถใส่ลงดินได้ในปริมาณมากทำให้พืชได้รับธาตุอาหารเพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใส่ในกระถางปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น

วิธีการ

1. การผลิตชีวมวลแหนแดง

ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงแม่พันธุ์แหนแดงเพื่อนำไปเลี้ยงขยายเพื่อเพิ่มปริมาณชีวมวลแหนแดง

1.1 เตรียมบ่อปูนซีเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร เจาะรูขนาด ½ นิ้ว สูงจากพื้นบ่อปูนซีเมนต์ประมาณ 10-15 เซนติเมตร เพื่อใส่ท่อระบายน้ำที่มีฝาปิด ดังภาพที่ 7

ภาพที่ 7 ท่อระบายน้ำแบบมีฝาปิด เพื่อปรับระดับน้ำในบ่อ

1.2 เติมดินร่วนที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงจากระดับพื้นหนาอย่างน้อย 10 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยคอกประมาณ 0.5 กิโลกรัม และเติมน้ำสูงจากผิวดินประมาณ 10 เซนติเมตร

1.3 ใส่แม่พันธุ์แหนแดง 200 กรัม แล้วปล่อยให้แหนแดงเจริญเติบโตจนเต็มแน่นบ่อ จึงนำไปเพาะขยายปริมาณในกระชังขนาด 4x8 ตารางเมตร (กระชังเพื่อป้องกันปลากินพืช)

1.4 นำแหนแดงที่ได้จากบ่อปูนมาหว่านกระจายลงกระชังอัตรา 450 กรัมต่อตารางเมตร รอจนแหนแดงเจริญเติบโตเต็มที่จนเต็มแน่นบ่อจึงตักขึ้นมาตากแห้งในที่ร่ม

ภาพที่ 8 บ่อปูนซีเมนต์สำหรับเพาะขยายแม่พันธุ์แหนแดง

ภาพที่ 9 กระชังเพาะขยายแหนแดงเพื่อเพิ่มปริมาณ

2. การผลิตผลิตภัณฑ์ชีวภาพแหนแดงร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัดเม็ด

2.1 เตรียมแหนแดงแห้ง โดยการนำแหนแดงที่ผลิตได้มาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม และนำมาบดให้ละเอียด

2.2 นำสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp.DASH05101 เข้มข้นที่ได้จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสาหร่ายมาเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 1: 9 เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในขั้นตอนการอัดเม็ด

2.3 เตรียมดินเหนียวเพื่อใช้เป็นสารเชื่อม โดยบดดินเหนียวให้ละเอียดจากนั้นเติมสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เจือจางด้วยน้ำอัตราส่วน 1:9 ให้ท่วมดิน

2.4 นำแหนแดงแห้งที่ผ่านการบดแล้วมาผสมกับดินเหนียวที่เตรียมไว้ข้างต้น โดยใช้อัตราส่วนแหนแดงแห้งต่อดิน 7:3 แล้วนำใส่เครื่องบด ซึ่งขั้นตอนนี้จะได้แหนแดงอัดเป็นแท่งขนาดเล็ก จากนั้นนำไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เก็บใส่ถุงและปิดปากถุงให้สนิท

ภาพที่ 10 วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ด และการเตรียมวัสดุก่อนอัดเม็ด ก) แหนแดงแห้ง ข) ดินเหนียว ค) เซลล์สดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ง) แหนแดงแห้งบด จ) ดินเหนียวบด ฉ) สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเข้มข้นที่เจือจางด้วยน้ำอัตราส่วน 1:9

ภาพที่ 11 การปั้นเม็ดผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องบดเนื้อสัตว์ (ซ้าย) และผลิตภัณฑ์หลังจากผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (ขวา)

3. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์และการนำไปใช้ประโยชน์

ผลิตภัณฑ์ชีวภาพแหนแดงร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัดเม็ด มีคุณสมบัติตามเกณฑ์กำหนดของปุ๋ยอินทรีย์ (ตารางที่ 7) สามารถนำไปใช้ประโยชน์แก่พืชผักทั้งการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ และ GAP โดยปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในแปลงปลูกพืชผัก แนะนำให้ใส่อัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร นอกจากนี้ยัง

สามารถนำไปใช้ในการปลูกพืชผักในกระถาง โดยการใส่อัตราอย่างน้อย 10 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ก็เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช การใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพแหนแดงร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัดเม็ดสำหรับปลูกผักกวางตุ้ง จะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต และผลผลิตได้ โดยมีผลผลิตเพิ่มขึ้นอยู่ประมาณ 30% (ภาพที่ 12)

ตารางที่ 7 สมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในผลิตภัณฑ์ชีวภาพแหนแดงร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัดเม็ดที่มีความชื้น 10% โดยน้ำหนัก

pH (1:2)	EC 1:5 (dS/m)	C/N ratio	OC (%)	OM (%)	T-N	T-P	T-K	T-Ca	T-Mg
					----------%----------				
6.1	0.004	19.3	44.49	76.7	2.3	0.29	1.88	2.95	0.66

ภาพที่ 12 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งที่อายุ 35 วัน ปลูกในถุงปลูกดิน 7 กิโลกรัม โดยไม่ใส่ผลิตภัณฑ์ฯ (ซ้าย) และใส่ผลิตภัณฑ์ ฯ อัตรา 10 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม (ขวา)

เอกสารอ้างอิง

ประไพ ทองระอา ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต กานดา ฉัตรไชยศิริ กัลยาณี สุวิทวัส พิมพ์นิภา เพ็ญช่าง นิศารัตน์ ทวีนุต และภาสันต์ ศารทูลทัต. 2560. การใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากล้วยน้ำว้า ‘ปากช่อง 50’ จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. ว. พืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 4(4): 16-21.

ประไพ ทองระอา ณัฐนันท์ ไกรเลิศรัตนชัย แววตา พลกุล ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต วนิดา โนบรรเทา และศุภกาญจน์ ล้วนมณี. 2565. การศึกษากระบวนการผลิตชีวมวลสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล Hapalosiphon ที่มีประสิทธิภาพเพื่อการเลี้ยงขยายในระดับภาคสนาม. หน้า 1-12 *ในเอกสารผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2565* กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร.

ประไพ ทองระอา ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต ภัสชญภณ หมื่นแจ้ง กัลยกร โปร่งจันทึก เพทาย กาญจนเกสร และ สุภัค แสงทวี. การศึกษาผลการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชผัก (ผักกาดหอม). เข้าถึงได้จาก : https://www.doa.go.th/plan/wp-content/uploads/2021/05/3165.pdf 30 พฤษภาคม 2567

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต และ ประไพ ทองระอา. 2563. การใช้สารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแหนแดงเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตพืช. หน้า 330-349 ใน *ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2563* กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร.

Allen, M. B. and D. I. Arnon. 1955. Studies on nitrogen-fixing blue-green algae. *Plant Physiol*. 30: 366-372.

Baqir, H.A., N. H. Zeboon and A.A. J. Al-behadili. 2019. The role and importance of amino acids within plants : A review. *Plant Archives* 19: 1402-1410.

Jumadi, O., F. Hiola, Y. Hala, J. Norton and K. Inubushi. 2014. Influence of Azolla (Azolla microphylla Kaulf.) compost on biogenic gas production, inorganic nitrogen and growth of upland Kangkong (Ipomoea aquatica Forsk.) in a silt loam soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 60: 722-730.

Kauffman, G.L., D.P. kneivel and T.L. Watschke. 2007. Effect of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability and polyphenol production of perennial ryegrass. *Crop Sci*. 47:261-276.

Kollmen, J. and D. Strieth. 2022. The beneficial effects of cyanobacterial co-culture on plant growth. *Life* 12(2): 223.

Maqubela, M.P., P.N.S. Mnkeni, O. Malamissa, M.T. Pardo and L.P.D. Acqui. 2008. Nostoc cyanobacterial inoculation in South African agricultural soils enhances soil structure, fertility and maize growth. *Plant and Soil* 315: 79-92.

Mohsen, A.A.M., A.S.A. Salama and F.M.A. El-Saadony. 2016. The effect of foliar spray with cyanobacterial extracts on growth, yield and quality of lettuce plants (*Lactuca sativa* L.). *Mid. East J. Agri. Res*. 5(1): 90-96.

Moore, T.C. 1989. Biochemistry and physiology of plant hormones. Springer-Verlag. N.Y. 330 p.

Patrick, D.J. 2015. Plant biostimulants : definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticuturae* 196: 3-14.

Rippka, R., J. Deruelles, J.B. Waterbury, M. Herdman and R.Y. Stanier. 1979. Generic assignment, strain histories and properties of pure culture of cyanobacteria. *J. Gen. Microbio*. 111: 1-61.

Saadatnia, H. and H. Riahi. 2009. Cyanobacteria from paddy-fields in Iran as a biofertilizer in rice plants. *Plant Soil Envi*. 55(5): 207-212.

Schmitz, R., C.D. Magro and L.M. Colla. 2012. Application ambient of microalga. Rev. CIATEC-UPE 4: 48-60.

Stirk, W.A., V. Van Staden and K. Jager. 2002. Cytokinins and auxin-like activity in cyanophyta and microalgae. *J. Appl. Phycol*. 14: 215-211.

Zimmerman, W.J. 1985. Biomass and pigment production in three isolates of Azolla II. Response to light and temperature stress. *Annals of Botany* 56: 701-709.

Zulpa, G., M.C. Zaccaro, F. Boccazzi, J.L. Parada and M. Storni. 2003. Bioactivity of intra and extracellular substances from cyanobacteria and lactic acid bacteria on “wood blue stain” fungi. *Biol.Control*. 27: 345-358.

การปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวล

วนิดา โนบรรเทา

---

1. บทนำ

ชีวมวล หมายถึง วัสดุอินทรีย์ที่ได้จากเศษซากพืช วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มูลสัตว์ ปุ๋ยหมัก แหนแดง เป็นต้น

การปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวล หมายถึง การปลดปล่อยไนโตรเจนของวัสดุอินทรีย์ชนิดต่างๆ

โดยทั่วไปปุ๋ยอินทรีย์หรือชีวมวลมีธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง เช่น แคลเซียม และแมกนีเซียม และจุลธาตุอาหาร เช่น เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ค่อนข้างครบแต่จะมีในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี ซึ่งไนโตรเจน (N) จัดว่าเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในรูปไนโตรเจนอนินทรีย์ (แอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-)) ซึ่งความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวลแต่ละชนิดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ แต่ไม่สามารถบอกเป็นค่าตายตัวที่แน่นอนได้ แม้จะเป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือชีวมวลที่มาจากวัตถุดิบเดียวกัน ก็อาจมีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกันได้ เช่น มูลไก่ มีปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1.2 เปอร์เซ็นต์ ถึง 4.9 เปอร์เซ็นต์ (ศุภกาญจน์ และคณะ, 2553) นอกจากปริมาณของไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวลชนิดต่างๆ จะที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ต่อพืชแล้ว ปัจจัยสภาพแวดล้อมก็มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวลหลังใส่ลงดิน เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม จะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดิน จึงจะปลดปล่อยไนโตรเจนหรือธาตุอาหารอื่นๆ ออกมาให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้

2. ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวลในดิน

การปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยอินทรีย์หรือชีวมวลจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ โดยมีปัจจัยที่สำคัญ 3 ชนิดที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย คือ 1) คุณภาพของวัสดุอินทรีย์ (Quality of organic materials, Q) ทั้งองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ 2) สิ่งมีชีวิตในดิน (Organisms, O) ทั้งสัตว์และจุลินทรีย์ดินที่ทำการย่อยสลาย และ 3) สภาพแวดล้อม (Environment, E) เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การระบายอากาศ เนื้อดิน และความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ต่างมีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในการทำหน้าที่ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ (ปัทมา และคณะ, 2556) ซึ่งจะช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์ต่อพืชและจุลินทรีย์

2.1 คุณภาพของวัสดุอินทรีย์ (Quality of organic materials, Q)

วัสดุอินทรีย์เมื่อใส่ลงดินจะย่อยสลายเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิด ดังนี้

1) สารประกอบอินทรีย์แต่ละชนิดในวัสดุอินทรีย์ โดยทั่วไปสารประกอบอินทรีย์พวกกรดอะมิโน กรดอินทรีย์ต่างๆ ที่ละลายน้ำ แป้งหรือโปรตีน จะถูกย่อยสลายได้ง่ายและเร็วกว่าสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนอย่าง เซลลูโลส และลิกนิน ที่จุลินทรีย์ดินต้องใช้เวลาในการย่อยสลาย 2-3 ปี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ซึ่งเชื้อราสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีสารต้านการย่อยสลายได้ดี ในขณะที่แบคทีเรียจะย่อยสลายสารที่เปลี่ยนแปลงง่าย เป็นต้น

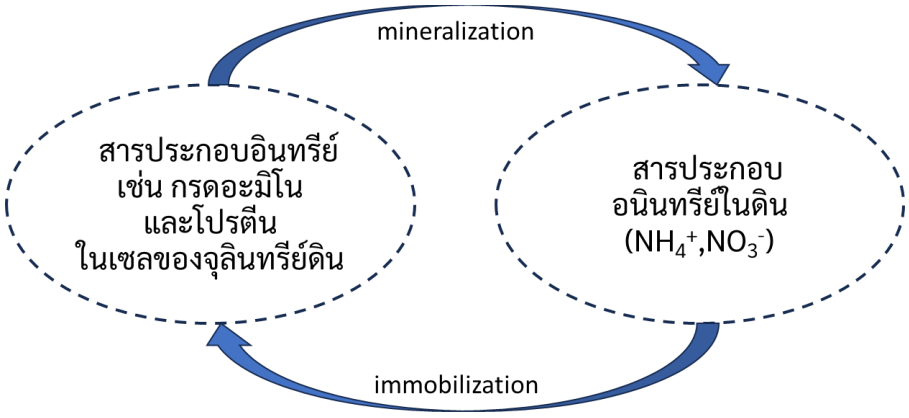
2) อัตราส่วนของสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนต่อสารประกอบไนโตรเจนในวัสดุอินทรีย์ (C:N ratio) สารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนของสารอินทรีย์ เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนจนกระทั่งเป็นโมเลกุลเล็กและนำเข้าไปในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสร้างส่วนประกอบของเซลล์ ส่วนสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายและจุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน เพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ เช่น สารโปรตีนและกรดนิวคลีอิก ดังนั้น ปริมาณของ C:N ที่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ จะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่ง C:N ที่เหมาะสมกับความต้องการของจุลินทรีย์อยู่ในช่วงประมาณ 20:1 ถึง 30:1 โดยทั่วไปวัสดุอินทรีย์ที่มี C:N กว้างจะสลายตัวได้ช้ากว่าวัสดุอินทรีย์ที่มี C:N แคบ เช่น ฟางข้าวและหญ้าแห้งมี C:N ประมาณ 80:1 จะสลายตัวได้ช้ากว่าพืชตระกูลถั่ว ซึ่งมี C:N ประมาณ 20:1 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ค่า C:N ของวัสดุอินทรีย์ (ตารางผนวก 1 และ 2) เมื่อใส่ลงดินจะมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนในดินโดยกระบวนการ mineralization และ immobilization ของจุลินทรีย์ดิน (ภาพที่ 1) ดังนี้

ก. C:N มากกว่า 30:1 มีผลทำให้กระบวนการเกิด immobilization ของไนโตรเจนสูงกว่ากระบวนการเกิด mineralization เนื่องจากไนโตรเจนที่ได้จากการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ไม่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ ดังนั้นจุลินทรีย์จะไปนำเอาไนโตรเจนในดินมาใช้สร้างองค์ประกอบของเซลล์ทำให้ธาตุไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินลดลงจนอาจทำให้พืชเกิดการขาดธาตุไนโตรเจนได้

ข. C:N ระหว่าง 30:1 ถึง 20:1 กระบวนการทั้งสองจะเกิดใกล้เคียงกัน

ค. C:N น้อยกว่า 20:1 มีผลทำให้กระบวนการเกิด mineralization ของไนโตรเจนสูงกว่ากระบวนการเกิด immobilization ทำให้สารประกอบไนโตรเจนเหลือและถูกปลดปล่อยออกมาสู่ดิน ต่อจากนั้นค่า C:N จะยังลดลงไปเรื่อยๆ ตามอัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ และค่อนข้างคงที่เมื่อ C:N ประมาณ 12:1 ถึง 10:1 ซึ่งเป็นค่า C:N ratio ของเซลล์จุลินทรีย์และอินทรียวัตถุในดิน



ภาพที่ 1 กระบวนการเกิด mineralization และ immobilization ของไนโตรเจนในดินโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์

3) ขนาดของวัสดุอินทรีย์ วัสดุอินทรีย์ประเภทเดียวกันหากมีขนาดเล็กจะมีอัตราการย่อยสลายเร็วกว่าขนาดใหญ่ เนื่องจากวัสดุอินทรีย์ขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์เข้าย่อยได้มากขึ้น

2.2 สิ่งมีชีวิตในดิน (Organisms, O)

สำหรับสิ่งมีชีวิตในดิน ทั้งสัตว์และจุลินทรีย์ดินมีบทบาทที่สำคัญยิ่งต่ออัตราการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ ซึ่งชนิดของจุลินทรีย์ เช่น รา แบคทีเรีย หรือแอคติโนไมซีส ต่างมีหน้าที่ต่างกันในการย่อยสลาย และมีอิทธิพลจากปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายด้วย เช่น สภาพแวดล้อม และคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ แม้ปัจจัยเหล่านี้เหมาะสม แต่หากปริมาณประชากรของสิ่งมีชีวิตในดินน้อย อัตราการย่อยสลายก็จะต่ำ

2.3 สภาพแวดล้อม (Environment, E)

ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่ช่วยย่อยสลายวัสดุ-อินทรีย์ ซึ่งถ้าปัจจัยเหล่านี้เหมาะสมจะส่งเสริมให้จุลินทรีย์ดินย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ได้เร็วขึ้น ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ประกอบด้วย

ก. สภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน (Soil pH) กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินที่ช่วยย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน ซึ่งดินที่มีความเป็นกรดจัด (pH <4.5) หรือด่างจัด (pH >9.0) จะมีผลยับยั้งกิจกรรมการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ของจุลินทรีย์ เช่น หาก pH ของดิน < 5.5 กิจกรรมของแบคทีเรียและแอคทีโนมัยซีทจะลดลงอย่างมาก ในขณะที่กิจกรรมของเชื้อราจะเกิดขึ้นมากกว่า (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) เนื่องจากแบคทีเรียและแอคทีโนมัยซีทเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีระดับความเป็นกรด-ด่างที่ค่อนข้างเป็นกลาง ในสภาพดินที่เป็นกรดเชื้อราจึงเจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ โดยทั่วไปการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์จะเกิดขึ้นรวดเร็วในดินที่มีระดับ pH 6-7 ดังนั้นการปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมไม่เป็นกรดหรือด่างมากเกินไปจะส่งเสริมกิจกรรมการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ในดิน

ข. การระบายอากาศของดิน (Soil aeration) การย่อยสลายวัสดุอินทรีย์เป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยอากาศคือ ออกซิเจน (O_2) เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยสลายอย่างเชื้อรา และแอคทีโนมัยซีท รวมทั้งแบคทีเรียบางชนิดต้องการ O_2 ในกระบวนการหายใจ ซึ่งถ้ามี O_2 เพียงพอ กิจกรรมการการย่อยสลายจะเป็นไปอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ ในทางตรงข้ามหากดินมีสภาพขาดอากาศหรือมีน้ำท่วมขังอัตราการย่อยสลายจะลดลงอย่างมากและเกิดไม่สมบูรณ์ ได้สารประกอบต่างๆที่ไม่พึงประสงค์อย่างกรดอินทรีย์ สารอื่นๆ เช่น ketone aldehyde amine และเกิดก๊าซต่างๆ เช่น H_2S CO_2 หรือ CH_4 เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ค. ความชื้นดิน (Soil moisture) กิจกรรมและการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ดินจำเป็นต้องอาศัยน้ำ ไม่ว่าจะเป็นการทำงานของเอนไซม์ การละลายของธาตุอาหารต่างๆ ตลอดจนเป็นที่อยู่อาศัยและช่วยในการเคลื่อนที่ของจุลินทรีย์ นอกจากนี้น้ำยังมีผลต่อการถ่ายเทอากาศในดิน ดังนั้นระดับความชื้นของดินจึงมีความสัมพันธ์กับอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน ดินที่มีความชื้นประมาณ 50 – 60 เปอร์เซ็นต์ของความจุความชื้นในดิน จัดเป็นระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ หากความชื้นของดินค่อยๆ ลดต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมอัตราการย่อยสลายก็จะค่อยๆ ลดลงเช่นกัน แต่หากดินมีสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ อัตราการย่อยสลายจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินขาดก๊าซออกซิเจน

ง. อุณหภูมิดิน (Soil temperature) อุณหภูมิมีผลควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินโดยตรง อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งอัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ได้มาก เนื่องจากอุณภูมิที่สูงเหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย นอกจากนี้อุณหภูมิยังเป็นปัจจัยควบคุมปฏิกิริยาในดินทั้งทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมการย่อยสลายอยู่ระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส

3. การปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวล

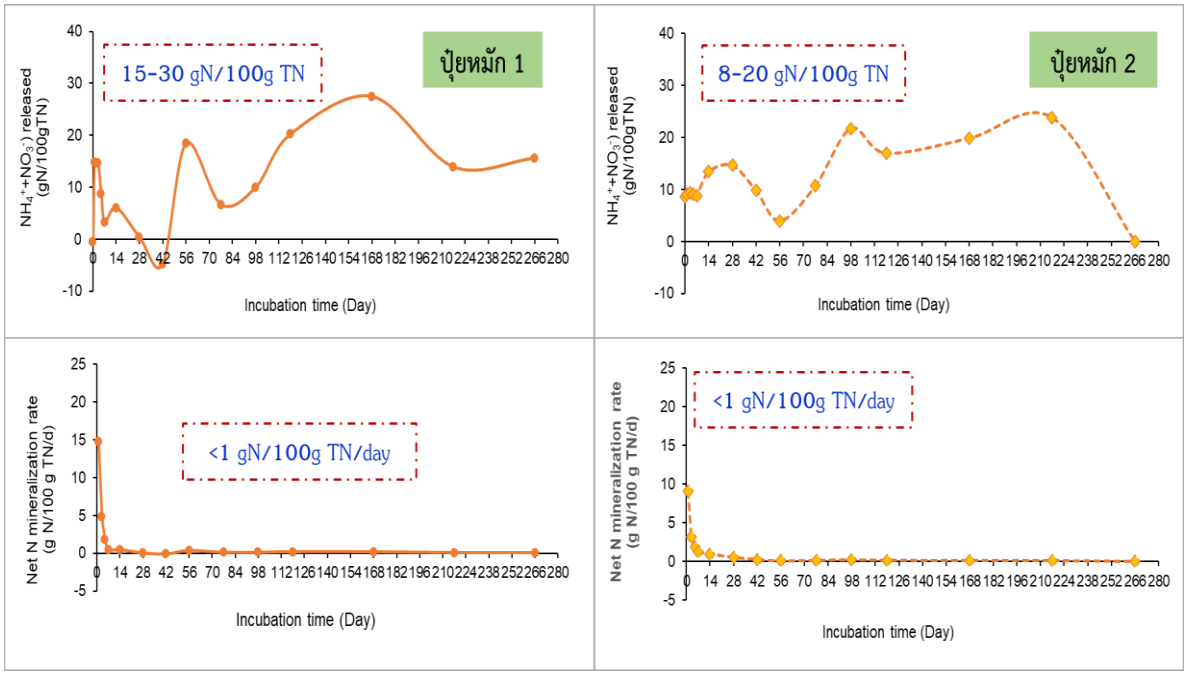
ในปัจจุบันเกษตรปลอดภัยได้รับความนิยมในกลุ่มเกษตรกรไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระแสรักสุขภาพ ดังนั้นปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวลจึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการผลิตพืช นอกจากเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชแล้ว ยังส่งผลดีต่อสมบัติทางกายภาพของดิน ปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวลมีหลากหลายชนิดตามวัตถุดิบหรือแหล่งที่มา จึงทำให้มีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกัน ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวล เนื่องจากไนโตรเจน (N) จัดเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวลแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ (ตารางผนวก 1 และ 2) นอกจากปริมาณของไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีผลต่อความเป็นประยชน์ต่อพืชแล้ว ปัจจัยสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะสมบัติดินก็มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารพืชที่สูญเสียไปจากดินได้ง่าย หากสภาวะแวดล้อมในดินไม่เหมาะสม เช่น ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง การระบายอากาศ อุณหภูมิ และเนื้อดิน เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะทำให้การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนอินทรีย์ ไปเป็นไนโตรเจนอนินทรีย์ (NH_4^+-N, NO_3^--N) เกิดในอัตราเร็วที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งผลจากการศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจนของชีวมวลแต่ละชนิด (กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2566) จากโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัย เป็นดังนี้

3.1 การปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก

จากการทดลองบ่มปุ๋ยหมัก No.1 ในดินร่วนเหนียว พบว่า ปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 30 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ ส่วนปุ๋ยหมัก No. 2 ที่บ่มในดินร่วนปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 20 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ (ภาพที่ 2) โดยมีอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงสุดในสัปดาห์แรกหลังการบ่ม หลังจากนั้นการปลดปล่อยจะลดลง เมื่อพิจารณาถึงอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักทั้ง 2 ชนิดต่อวัน จะเห็นว่ามีการปลดปล่อยต่ำกว่า 1 กรัม N ต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมด ซึ่งปุ๋ยหมัก No. 1 และ No. 2 มีการปลดปล่อยไนโตรเจนในปริมาณที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนจากปุ๋ยหมักแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก นอกจากนี้ปุ๋ยหมักทั้ง 2 ชนิด ยังมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) น้อยกว่า 20 (ตารางที่ 1) จึงสามารถใส่พร้อมการปลูกพืชได้

ตารางที่ 1 สมบัติของชีวมวลที่ใช้ในการศึกษา

ชีวมวล	ความชื้น	คาร์บอนอินทรีย์	C:N	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
	(%)	(C, %)	ratio	(N, %)	(P, %)	(K, %)
ปุ๋ยหมัก No. 1	15	18	16	1.2	2.6	2.2
ปุ๋ยหมัก No. 2	14	15	11	1.4	1.9	1.1
มูลวัว No. 1	12	33	24	1.4	1.3	2.6
มูลวัว No. 2	12	35	15	2.3	0.7	1.4
มูลไก่แกลบ No. 1	21	31	17	1.8	3.2	3.2
มูลไก่แกลบ No. 2	24	28	8	3.4	2.0	2.3
แหนแดงแห้ง	11.0	39	14	2.8	0.46	2.2



ภาพที่ 2 การปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจนจากการบ่มปุ๋ยหมัก No. 1 ในดินร่วนเหนียว และปุ๋ยหมัก No. 2 ในดินร่วน

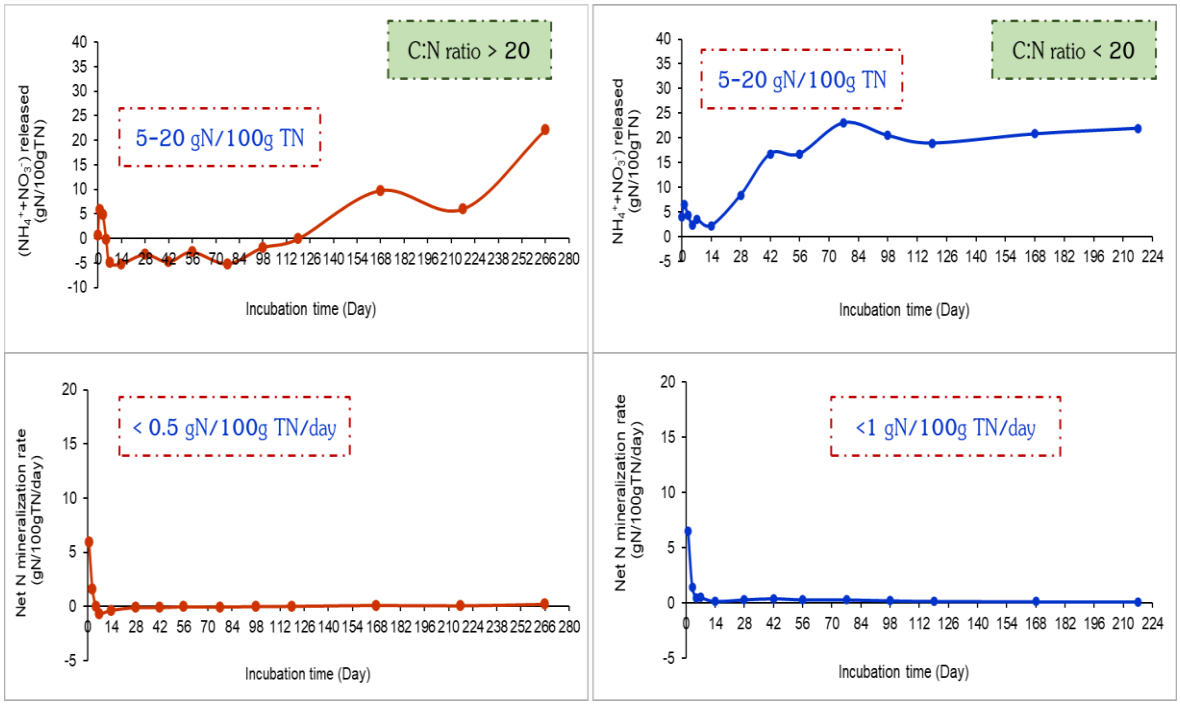
ที่มา: ทิพวรรณ แก้วหนู และสมฤทัย ตันเจริญ โครงการวิจัยและพัฒนาการจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ประโยชน์ทรัพยากรชีวภาพจากจุลินทรีย์และชีวมวลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัย

3.2 การปลดปล่อยไนโตรเจนของมูลวัว

จากการบ่มมูลวัว ที่มีค่า C:N ratio น้อยกว่า 20 และ มากกว่า 20 ในดินร่วน พบว่า สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 20 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ (ภาพที่ 3) แต่พบว่ามูลวัว No. 1 ที่มี C:N ratio มากกว่า 20 เกิด immobilization การปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จึงเกิดขึ้นได้ช้า โดยต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานถึง 16 สัปดาห์ จึงจะปลดปล่อยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ส่วนมูลวัว No. 2 ที่มี C:N ratio น้อยกว่า 20 สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนให้พืชใช้ได้ทันที และการปลดปล่อยจะเพิ่มขึ้นหลังสัปดาห์ที่ 2 เมื่อพิจารณาถึงอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนทั้งหมดของมูลวัวทั้ง 2 ชนิดต่อวันจะเห็นว่า มูลวัว No. 1 ปลดปล่อยไนโตรเจนต่ำกว่า 0.5 กรัม N ต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมด ส่วนมูลวัว No. 2 ปลดปล่อยไนโตรเจนต่ำกว่า 1 กรัม N ต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมด ดังนั้นการใช้มูลวัวที่มี C:N ratio มากกว่า 20 (ตารางที่ 1) จึงควรใส่แล้วไถกลบทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 1 เดือนก่อนปลูก หากใส่มูลวัวพร้อมปลูกพืช จะทำให้พืชขาดไนโตรเจนได้

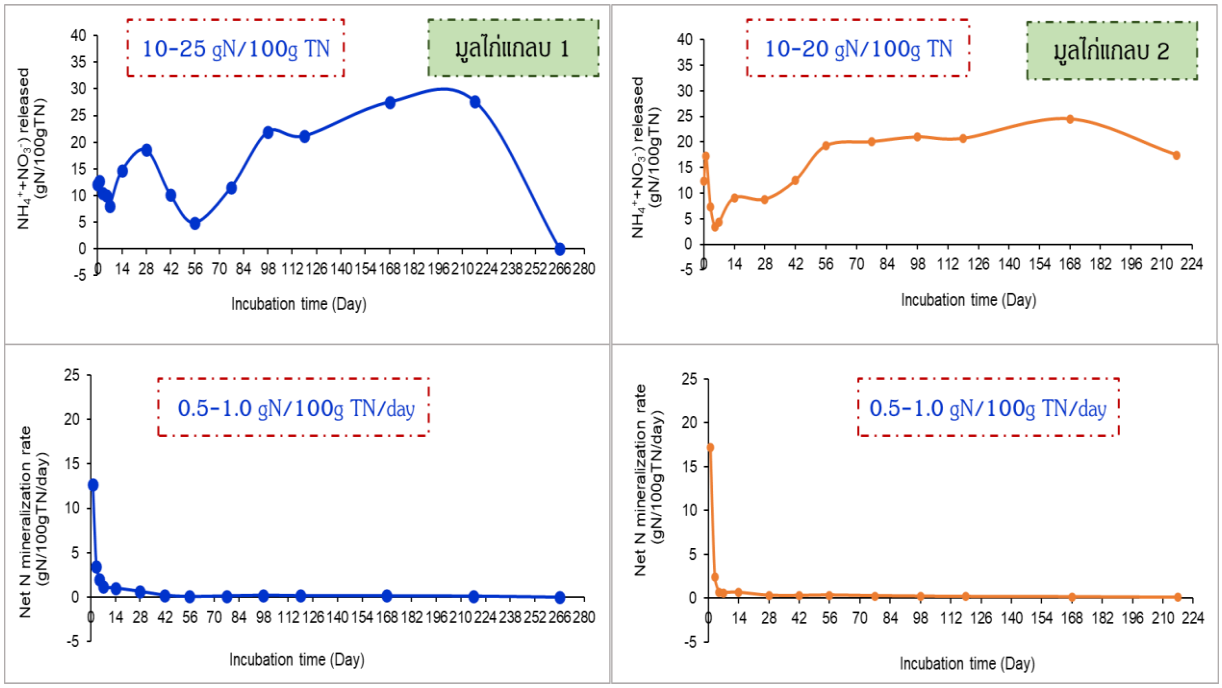
3.3 การปลดปล่อยไนโตรเจนของมูลไก่แกลบ

จากการบ่มมูลไก่แกลบ No. 1 และ No. 2 ในดินร่วน พบว่า ปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 20-25 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ (ภาพที่ 4) โดยมีอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงสุดในสัปดาห์แรกหลังการบ่ม หลังจากนั้นการปลดปล่อยจะลดลง เมื่อพิจารณาถึงอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนทั้งหมดของมูลไก่แกลบทั้ง 2 ชนิดต่อวัน มีการปลดปล่อยไนโตรเจน 0.5-1.0 กรัม N ต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมด ดังนั้นมูลไก่แกลบ ที่มี C:N ratio น้อยกว่า 20 (ตารางที่ 1) สามารถใส่พร้อมปลูกพืชได้



ภาพที่ 3 การปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจนจากการบ่มมูลวัวในดินร่วน

ที่มา: ชัชธนพร เกื้อหนุน และแววตา พลกุล โครงการวิจัยและพัฒนาการจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ประโยชน์ทรัพยากรชีวภาพจากจุลินทรีย์และชีวมวลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัย



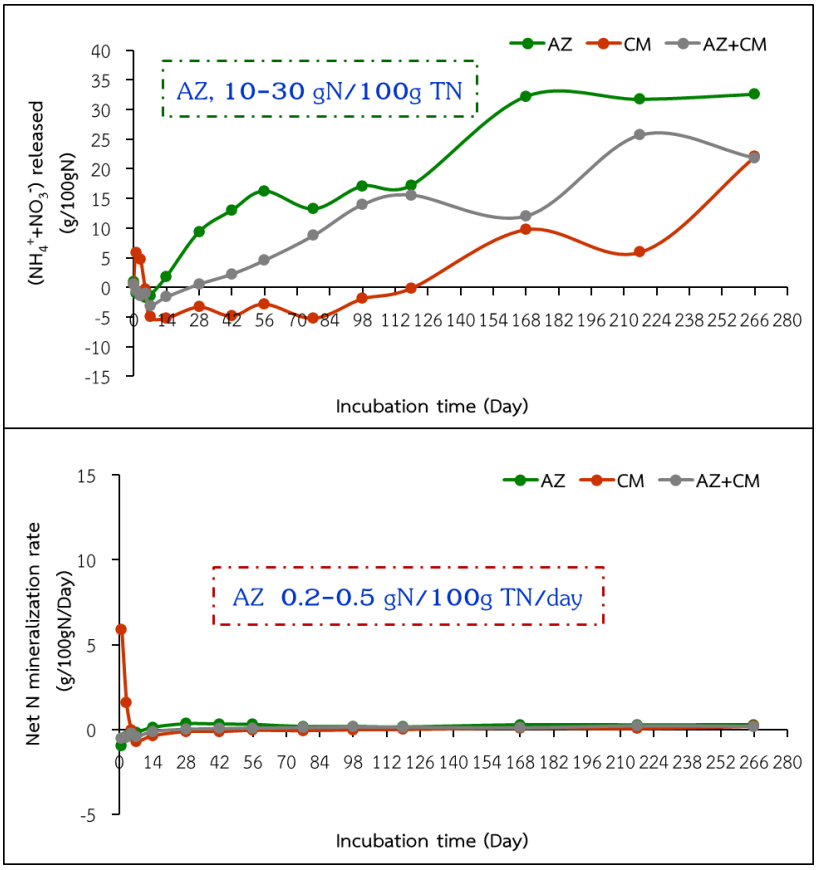
ภาพที่ 4 การปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจนจากการบ่มมูลไก่แกลบในดินร่วน

ที่มา: สมฤทัย ตันเจริญ และแววตา พลกุล โครงการวิจัยและพัฒนาการจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ประโยชน์ทรัพยากรชีวภาพจากจุลินทรีย์และชีวมวลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัย

3.4 การปลดปล่อยไนโตรเจนของแหนแดงแห้ง และแหนแดงแห้งผสมมูลวัว

จากการบ่มแหนแดงแห้งในดินร่วน พบว่า ปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 30 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ และเกิด immobilization ในสัปดาห์แรกของการบ่ม (ภาพที่ 5) จากนั้นการปลดปล่อยจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งแหนแดงแห้งปลดปล่อยไนโตรเจนเฉลี่ย 0.2–0.5 กรัม N ต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมดต่อวัน แต่เมื่อนำมูลวัวที่มีค่า C:N มากกว่า 20 มาผสมกับแหนแดงแห้ง อัตรา 1:1 สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 23 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ และมีอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนเฉลี่ย 0.2–0.5 กรัม N ต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมดต่อวันเกิด ซึ่งการใช้มูลวัวที่มี C:N > 20 ผสมกับแหนแดงแห้ง ที่มี C:N ประมาณ 14 (ตารางที่ 1) สามารถลดการเกิด immobilization จาก 16 สัปดาห์ เหลือเพียง 3 สัปดาห์

ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้แหนแดงแห้งเกิด immobilization ในสัปดาห์แรกของการบ่ม ดังนั้นจึงควรใส่และไถกลบทิ้งไว้อย่างน้อย 1 สัปดาห์ก่อนปลูกพืช ส่วนทางเลือกหนึ่งหากมูลวัวที่นำไปใช้มี C:N มากกว่า 20 สามารถนำแหนแดงแห้งมาผสมในอัตรา 1:1 เพื่อลดระยะเวลาการเกิด immobilization ลง และการนำไปใช้ในแปลงควรใส่และไถกลบทิ้งไว้ประมาณ 3 สัปดาห์ก่อนปลูก เพราะหากใส่พร้อมปลูกพืชจะทำให้พืชขาดไนโตรเจนได้



ภาพที่ 5 การปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจนจากการบ่มแหนแดงแห้ง (AZ) มูลวัว (CM) และแหนแดงแห้งผสมมูลวัว (AZ+CM) ในดินร่วน

ที่มา: กมลชนก เจริญศรี โครงการวิจัยและพัฒนาการจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ประโยชน์ทรัพยากรชีวภาพจากจุลินทรีย์และชีวมวลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัย

เอกสารอ้างอิง

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 2566. ประเมินการปลดปล่อยธาตุอาหารของชีวมวล. โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัย. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 10 หน้า.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพฯ. 547 หน้า.

ปัทมา วิตยากร อรรณพ พุทธโส สมชาย บุตรนันท์ ภาณุเดช กมลมานิทย์ เบ็ญจพร กุลนิตย์ และรติกร แสงห้าว. 2556. การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินทรายโดยใช้สารอินทรีย์: การศึกษาเชิงกระบวนการ. *วารสารแก่นเกษตร,* 41 ฉบับพิเศษ 2: 1-12.

สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 2548. วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยคอกในพื้นที่การเกษตร. เอกสารวิชาการลำดับที่ 19/2548 กรมวิชาการเกษตร. พิมพ์ที่ ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ. 216 หน้า.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี สมฤทัย ตันเจริญ ภาวนา ลิกขนานนท์ และสุปราณี มั่นหมาย. 2553. ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยผสมอินทรีย์เคมีภายใต้สภาพความชื้นสนาม: การทดลองย่อย ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก. ***ใน*** ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2553. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. หน้า 333-343.

Antil, R.S., A. Bar-Tal, P. Fine, and A. Hadas, 2011. Predicting nitrogen and carbon mineralization of compost manure and sewage sludge in soil. *Comp. Sci. Uti*. 19 (1): 33-43.

Chae, Y.M. and M.A. Tabatabai. 1986. Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes. *Environ. Qual*. 15: 193-198.

Terry, R.E., D.W. Nelson, and L.E. Sommers. 1981. Nitrogen transformation in sewage sludge amended soil as affected by soil environmental factors. *Soil. Sci. Soc. Am.* 45: 506-513.

ภาคผนวก

วิธีการประเมินศักยภาพการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์และชีวมวล

1. ศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก มูลวัว มูลไก่แกลบ และแหนแดงแห้ง โดยวิธีการบ่มวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดกับดินในห้องปฏิบัติการ ชั่งดินที่บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร 10 กรัม ใส่ลงขวดพลาสติกขนาด 120 มิลลิลิตร ชั่งชีวมวล 0.2 กรัม ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากับดินแล้วเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับความชื้นให้ได้ 60 เปอร์เซ็นต์ของความจุอุ้มน้ำของดิน ปิดฝานำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0, 1, 3, 5, 7, 14, 28, 42, 56, 77, 98, 119, 168, 217 และ 266 วัน (Antil *et al.,* 2011) นำขวดตัวอย่างที่บ่มในแต่ละระยะ ไปสกัดด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 2 โมลาร์ นำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) โดยวิธีกลั่นด้วยไอน้ำ (Keeney, 1982 และในแต่

ละสัปดาห์นำขวดตัวอย่างที่เหลือมาชั่ง ตรวจสอบความชื้นที่สูญหายไป และเติมน้ำกลั่น เพื่อรักษาความชื้นให้อยู่เท่าระดับเดิม

2. คำนวณปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนในแต่ละระยะตามขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณ NH_4^+ หรือ NO_3^- ในดินที่ใช้ในการบ่ม

สารละลาย 20 มิลลิลิตร มี NH_4^+ = (A-B) x C X 14 มิลลิกรัม N

ดังนั้น ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร มี $NH_4^+ = \frac{(A-B) \times C \times 14 \times 100}{20}$ มิลลิกรัม N

ขั้นตอนที่ 2 สารละลาย 100 มิลลิลิตร ได้จากการสกัดดิน 10 กรัม

ดิน 10 กรัม มี $NH_4^+ = \frac{(A-B)xCx14x100}{20}$ มิลลิกรัม N/ดิน 10 กรัม (1)

ดังนั้น ดิน 1,000 กรัม มี $NH_4^+ = \frac{(A-B)xCx14x100x1,000}{20x10}$ มิลลิกรัม N/ดิน 1 กิโลกรัม (2)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณปริมาณ NH_4^+ ในดิน+ชีวมวล

ดิน+ชีวมวล 10.2 กรัม มี $NH_4^+ = \frac{(A-B)xCX14x100}{20}$ มิลลิกรัม N/ดิน+ชีวมวล 10.2 กรัม (3)

ดิน+ชีวมวล 1,000 กรัม มี $NH_4^+ = \frac{(A-B)xCX14x1000}{20x10.2}$ มิลลิกรัม N/ดิน+ชีวมวล 1 กิโลกรัม (4)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณปริมาณการปลดปล่อย NH_4^+ หรือ NO_3^- จากชีวมวล

ชีวมวล 0.2 กรัม ปลดปล่อย NH_4^+ = (3)-(1) (5)

ดังนั้น ชีวมวล 100 กรัม ปลดปล่อย $NH_4^+ = \frac{(3)-(1)x100}{0.2}$ กรัม N/ชีวมวล 100 กรัม (6)

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณปริมาณการปลดปล่อย NH_4^+ ต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ของชีวมวล

ตัวอย่าง ชีวมวลมี TN 2.8 เปอร์เซ็นต์ หมายถึง ชีวมวล 100 กรัม มี TN 2.8 กรัม

ชีวมวล 100 กรัม ปลดปล่อย NH_4^+ = ... (6) ..... กรัม N

TN ชีวมวล 2.8 กรัม ปลดปล่อย NH_4^+ = (6)

ดังนั้น TN ชีวมวล 100 กรัม ปลดปล่อย $NH_4^+ = \frac{(6)x100}{2.8}$ กรัม N /100 กรัม TN

เมื่อ

A = มิลลิลิตรของ Standard H_2SO_4 ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของ Standard H_2SO_4 ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง Blank

C = ความเข้มข้นของ Standard H_2SO_4

14 = น้ำหนักสมมูล (equivalent weight) ของไนโตรเจน

100 = ปริมาตรน้ำยาสกัด

ตารางผนวก 1 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในมูลสัตว์ชนิดต่างๆ

วัสดุอินทรีย์/มูลสัตว์	ไนโตรเจน (N, %)	ฟอสฟอรัส (P, %)	โพแทสเซียม (K, %)	คาร์บอนอินทรีย์ (C, %)	C:N ratio
มูลแพะ	3.01	0.72	2.16	32.9	10.9
มูลสุกร	0.96-2.44	0.54-4.98	0.94-1.37	26.1-42.4	11.7-27.0
มูลไก่	1.57-2.76	1.51-5.45	1.34-3.54	19.8-30.8	7.6-19.6
มูลเป็ด	1.30-1.53	1.27-1.28	0.92-1.19	14.8-45.2	9.6-34.6
มูลวัว	0.64-1.72	0.21-0.85	1.35-2.13	12.2-35.6	16.7-26.5
มูลกระบือ	1.26-1.27	0.23-0.69	0.22-1.84	12.4-19.5	9.7-15.4

ที่มา: สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร (2548)

ตารางผนวก 2 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในวัสดุอินทรีย์ชนิดต่างๆ

วัสดุอินทรีย์/มูลสัตว์	ไนโตรเจน (N, %)	ฟอสฟอรัส (P, %)	โพแทสเซียม (K, %)	คาร์บอนอินทรีย์ (C, %)	C:N ratio
ฟางข้าว	0.56	0.08	1.30	38.2	68.6
แกลบ	0.37-0.50	0.06-1.13	0.54-0.59	36.5	73.1-98.7
ตอซังข้าว	0.57	0.06	0.11	11.4	77.6
ใบข้าวโพด	1.81-2.38	0.23-0.37	1.31-2.22	43.8-46.2	18.3-25.5
ต้นข้าวโพด	1.19-1.33	0.22-0.7	1.73-2.23	45.9-46.9	34.5-35.2
ซังข้าวโพด	0.43-0.52	0.04-0.13	0.59-0.91	32.2-49.3	61.7-114.5
ใบมันสำปะหลัง	2.98-4.61	0.44-0.54	0.81-1.49	38.6-46.2	10.0-13.0
ต้นมันสำปะหลัง	0.74-0.78	0.07-0.32	0.69-1.10	47.6-48.4	60.8-65.2
ซากต้น+ใบถั่วลิสง	1.82	0.09	0.94	44.9	24.6
ถั่วฮามาต้า	2.96	0.18	1.51	46.6	15.7
ต้นถั่วเขียว+ใบ	2.89	0.14	1.16	38.00	13.1
ต้น+เปลือกถั่วเหลือง	1.74-2.62	0.12-0.23	1.10-1.68	46.4-46.8	17.7-26.8
ใบไผ่	2.77	0.45	2.51	46.9	16.9
ใบมะขาม	2.41	0.17	0.51	48.0	19.9
ใบอ้อย	1.07	0.26	1.28	48.8	45.8
กากอ้อย	0.13-0.33	0.04-0.86	0.11-0.21	36.4-50.3	112-390
เปลือกทุเรียน	1.37	0.42	2.52	47.2	34.4
เปลือกกาแฟ	2.07	0.17	2.37	42.5	20.5
ขุยมะพร้าว	1.32	0.07	1.57	87.8	66.3
ทะลายปาล์ม	0.51	0.04	1.05	47.1	92.3
ผักตบชวา	1.68	0.26	4.05	41.5	24.6

ที่มา: สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร (2548)

การจัดการธาตุอาหารพืชในการผลิตข้าวโพดหวาน

สมฤทัย ตันเจริญ แววตา พลกุล ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล และ นุชนาฏ ตันวรรณ

---

1. บทนำ

ข้าวโพดหวาน *(Zea mays Line var Saccharata)* เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย และส่งออกเป็นอันดับ 1 ของโลก ในปี 2566 ประเทศไทยส่งออกข้าวโพดหวานในรูปของการแปรรูปเป็นข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องและข้าวโพดหวานแช่แข็งเป็นปริมาณ 264,641 ตัน คิดเป็นมูลค่า 10,476 ล้านบาท (Thai Food Processors' Association: TFPA, 2024) ประเทศไทยสามารถปลูกข้าวโพดหวานได้ตลอดทั้งนี้ เนื่องจากมีสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวโพดหวาน (ทวีศักดิ์, 2540) อีกทั้งยังมีศักยภาพในการผลิตข้าวโพดหวานที่มีคุณภาพ และมีรสชาติดี จึงทำให้ข้าวโพดหวานของประเทศไทยเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ ปี 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวาน 213,565 ไร่ ผลผลิตรวม 450,358 ตัน ผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 2,109 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566)

การผลิตข้าวโพดหวานเพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณภาพตามต้องการ จะต้องมีการจัดการดินและธาตุอาหารพืช ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานในการผลิตพืช มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าวโพดหวาน การจัดการธาตุอาหารพืชในการผลิตพืชจำเป็นต้องใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของพืช สภาพพื้นที่และสมบัติของดิน การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินในแต่ละพื้นที่เป็นแนวทางให้สามารถวางแผนการจัดการธาตุอาหารให้เหมาะสมต่อการปลูกพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยเพิ่มศักยภาพการผลิตพืชให้ได้ผลผลิตและคุณภาพตามมาตรฐาน และเป็นแนวทางการลดต้นทุนได้อีกทางหนึ่ง

2. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวโพดหวาน

2.1 สภาพพื้นที่และสมบัติของดินที่เหมาะสม

ดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวโพดหวานเป็นดินที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทราย และดินร่วนปนนทราย ดินมีความโปร่งร่วนซุย มีการระบายน้ำดี ความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในช่วง 5.5-6.8 ดินควรมีความอุดมสมบูรณ์สูง โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ ก่อนปลูกควรใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายตัวดีแล้ว เช่น มูลวัว มูลไก่ อัตรา 1 ตันต่อไร่ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2553) หากดินมีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกัน ก็จะมีผลต่อความสามารถในการให้ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตพืช ถ้าดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จะไม่สามารถผลิตพืชให้ได้ผลผลิตและคุณภาพตามความต้องการได้ เนื่องจากพืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ

นอกจากนี้ความเป็นกรด-ด่างของดินยังมีความสำคัญต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน ดินที่มีความเป็นกรดรุนแรงหรือเป็นด่าง ธาตุอาหารบางธาตุจะละลายออกมามาก เช่น เหล็ก อะลูมินั่ม และแมงกานีส ซึ่งการละลายออกมามากเกินไป บางธาตุอาจเป็นพิษต่อพืช และบางธาตุอาจถูกชะล้างสูญหายออกไปจากดิน ในทางตรงกันข้าม ธาตุบางธาตุอาจละลายออกมาได้น้อย ทำให้พืชดูดใช้ได้น้อย เกิดการขาดแคลนได้ ถึงแม้จะมีธาตุอาหารนั้นในดินอยู่มากก็ตาม อีกทั้งความเป็นกรด-ด่างของดินยังส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน โดยถ้าดินมีความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม จุลินทรีย์ในดินจะเจริญเติบโตและ

สามารถทำกิจกรรมต่างๆ ได้ดี โดยเฉพาะการย่อยสลายเศษซากพืช การเปลี่ยนรูปของสารประกอบต่างๆ ในดิน และการเพิ่มธาตุอาหารบางธาตุ (ไนโตรเจน) ให้แก่ดิน แต่ถ้าดินมีสภาพเป็นกรดรุนแรงหรือเป็นด่าง จุลินทรีย์ในดินจะมีกิจกรรมต่างๆ น้อยลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ในการผลิตข้าวโพดหวาน หากดินมีความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 5.5 ควรปรับปรุงดินโดยการใส่ปูนขาวหรือปูนโดโลไมท์ อัตรา 100-200 กิโลกรัมต่อไร่ โดยการใส่ปูนขาวหรือปูนโดโลไมท์ นอกจากจะช่วยปรับปรุงความเป็นกรด-ด่างของดินแล้ว ยังให้ธาตุอาหารแคลเซียมที่เป็นประโยชน์แก่พืช

2.2 สภาพภูมิอากาศ

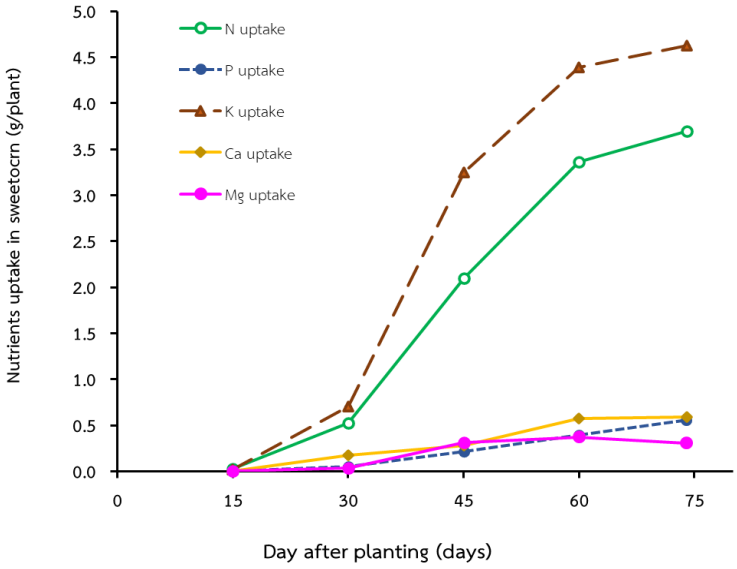
ข้าวโพดหวานเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24-35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิดินที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดควรอยู่ในช่วง 26-30 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิดินต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส จะทำให้ระยะเวลาการงอกยาวนานขึ้น 2-4 วัน

2.3 ฤดูปลูก

ข้าวโพดหวานสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีทุกฤดูหากพื้นที่มีแหล่งน้ำเพียงพอ แต่นิยมปลูกมากในช่วงต้นฤดูฝน เนื่องจากจะให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกปลายฤดูฝน สำหรับการปลูกข้าวโพดหวานในฤดูแล้ง ข้าวโพดหวานจะอาจเสี่ยงต่อการได้รับอุณหภูมิสูงในช่วงออกดอก ซึ่งมีผลต่อการผสมเกสร ทำให้ไม่ติดเมล็ด และได้ผลผลิตต่ำ

3. ความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน

ข้าวโพดหวานสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตจำเป็นต้องรับธาตุอาหารในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการ ข้าวโพดหวานสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้มาหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะปัจจัยด้านดินและปุ๋ย ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืช ดังนั้นการจัดการดินและธาตุอาหารพืชถือเป็นพื้นฐานในการสร้างความสมบูรณ์ของพืช หากปฏิบัติได้อย่างถูกต้องเหมาะสมพืชจะมีความสมบูรณ์แข็งแรง สามารถให้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพ ในการผลิตพืชแต่ละฤดูปลูกจะมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกจากพื้นที่ โดยจะมีธาตุอาหารพืชสูญหายติดไปกับผลผลิต การจะรักษาระดับผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตให้คงที่ จำเป็นต้องมีการจัดการธาตุอาหารให้สมดุลกับปริมาณธาตุอาหารที่สูญหายออกไปและให้เพียงพอกับความต้องการของพืช ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและพืชต้องการใช้ในปริมาณมาก ส่วนหนึ่งได้มาจากอากาศได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) อีกส่วนพืชดูดได้จากดินโดยตรงได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) สำหรับในส่วนที่พืชต้องการในปริมาณน้อยและดูดได้จากดินได้แก่ เหล็ก (Fe) โบรอน (B) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) คลอรีน (Cl) และ โมลิดีนัม (Mo) ส่วนธาตุอื่นๆ จัดเป็นธาตุอาหารที่ไม่จำเป็นกับพืชชั้นสูงแต่มีความสำคัญสำหรับพืชบางชนิด เช่น โซเดียม (Na) ซิลิกอน (Si) และโคบอลต์ (Co) นอกจากนี้พืชแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์ยังมีความต้องการธาตุอาหารในปริมาณและสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน พืชต้องการธาตุอาหารที่มีสัดส่วนสมดุลกัน ธาตุอาหารที่มากเกินจะเป็นสาเหตุให้พืชชะงักการเจริญเติบโต มีการเจริญเติบโตผิดปกติ หรือเป็นพิษกับพืชได้ แต่หากพืชได้รับธาตุอาหารไม่พอเพียงหรือขาดแคลนจะทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมาก (วิจิตร, 2550) โดยปกติพืชดูดธาตุอาหารจากดินติดต่อกันตลอดช่วงชีวิต และต้องการธาตุอาหารจำนวนมากขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1) พืชที่ได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอและสมดุลจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตข้าวโพดหวานจำเป็นต้องเข้าใจบทบาทและความสำคัญของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต รวมทั้งต้องทราบถึงปริมาณความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน เพื่อให้สามารถจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตข้าวโพดหวานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 1 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต
ที่มา: *สมฤทัย ตันเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์)

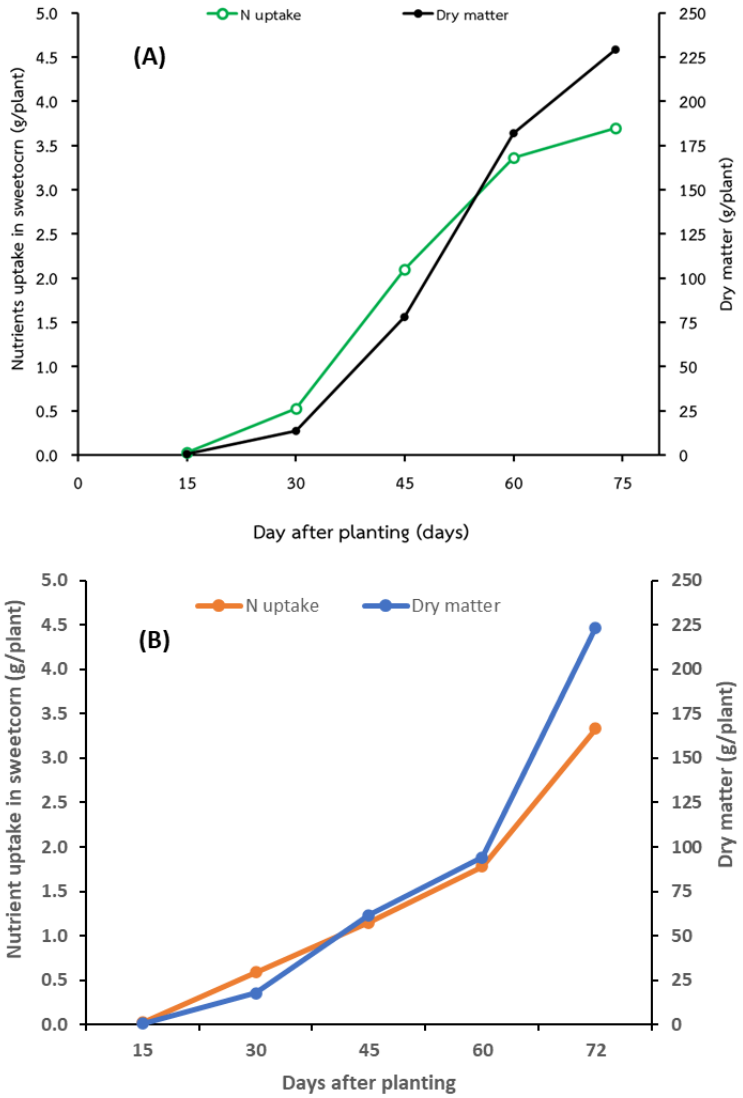
3.1 การดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวโพดหวาน

ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของใบและลำต้น ช่วยให้พืชตั้งตัวได้เร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต อีกทั้งยังเป็นธาตุอาหารสำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ในพืช ช่วยกระตุ้นการพัฒนาของเซลล์และเนื้อเยื่อพืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบ และกิ่งก้าน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) พืชที่ได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอ จะทำให้พืชออกดอกและติดผลที่สมบูรณ์ ในขณะเดียวกันเมื่อพืชได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่มากเกิน อาจทำให้เกิดผลเสียแก่พืชได้ แต่ถ้าพืชขาดไนโตรเจนหรือได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอ จะทำให้พัฒนาการของใบลดลง และทำให้ใบแก่เร็วขึ้น ซึ่งในระยะต้นอ่อนหากข้าวโพดหวานขาดไนโตรเจน ใบล่างจะเป็นสีเหลืองคล้ายกับอาการขาดน้ำ แต่ไม่เหี่ยว ส่งผลให้การเจริญเติบโตชะงัก และหากขาดไนโตรเจนในระยะที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ข้าวโพดหวานจะแสดงอาการชัดเจนมาก โดยใบแก่หรือใบล่างจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองรูปตัววี (V) เริ่มจากปลายใบเข้าสู่ส่วนแกนกลางของใบและลุกลามขึ้นสู่ใบบน หากขาดไนโตรเจนอย่างรุนแรงส่วนใบที่สีเหลืองจะแห้ง และใบจะร่วงหล่นจากลำต้น ในข้าวโพดหวานอาจพบสีม่วงที่โคนใบและกาบใบ เนื่องจากมีการสะสมของสารแอนโทไซยานินเกิดขึ้น ลำต้นผอมสูง และอาจโค้งงอ นอกจากนี้ยังทำให้สัดส่วนระหว่างรากและต้นเพิ่มขึ้น การออกดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียช้าลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกดอกตัวเมียจะเลื่อนออกไปทำให้ค่า ASI (Anthesis-Silking Index) ค่อนข้างสูง (Banzinger *et al*., 2000) การติดเมล็ดบนฝักไม่สมบูรณ์ สาเหตุการขาดไนโตรเจนมักจะเกิดจากสภาพแปลงปลูกที่ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ การสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ไม่สมบูรณ์ ดินชื้นแฉะหลังน้ำท่วมขัง ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินไม่ว่าจะมาจากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยชีวภาพ จะต้องถูกแปรสภาพให้มาอยู่ในรูปแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4^+-N) ในดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี จุลินทรีย์ในดินจะแปรสภาพแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ให้มาเป็น ไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3^--N) พืชจะดูดไนโตรเจนจากดินทั้งในรูป NH_4^+ และ NO_3^- แต่เนื่องจากการแปรสภาพของ NH_4^+ และ NO_3^- เกิดอย่างรวดเร็วในดิน

เกษตร ดังนั้นพืชจึงดูดไนโตรเจนจากดินในรูป NO_3^- เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากพืชต้องการไนโตรเจนในปริมาณมาก พืชที่มีระบบรากแผ่กว้างจะสามารถดูดใช้ไนโตรเจนได้อย่างไม่จำกัด ซึ่งพืชที่มีรากอยู่ในดินแน่นอาจแสดงอาการขาดไนโตรเจนได้ แม้ว่าดินนั้นจะมีไนโตรเจนอย่างเพียงพอ

ข้าวโพดหวานต้องการไนโตรเจนในปริมาณมากตั้งแต่ระยะแรกของการเจริญเติบโตจนถึงการสร้างเมล็ด (ภาพที่ 2A) ระยะที่ข้าวโพดต้องการไนโตรเจนมากที่สุดคือ ระยะที่ข้าวโพดออกดอกตัวผู้และตัวเมีย (สันติ, 2545) ดังนั้นการให้ไนโตรเจนอย่างเหมาะสมแก่ข้าวโพดหวานในระยะแรกของการเจริญเติบโต จะส่งเสริมให้เมล็ดข้าวโพดหวานมีความหวาน เมื่อประเมินความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน GAP สำหรับใช้สร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก พบว่าข้าวโพดหวานมีการดูดใช้ไนโตรเจน 25-29 กิโลกรัม N ต่อไร่ (ตารางที่ 1) สำหรับความต้องการไนโตรเจนของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต จะเห็นว่าข้าวโพดหวานมีความต้องการไนโตรเจนสูงในทุกระยะการเจริญเติบโต โดยที่ระยะ 15 30 45 60 และ 71-77 วันหลังปลูก พบว่า ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้ไนโตรเจน 0.02-0.03, 0.52-0.65, 2.10-2.34, 2.78-3.36 และ 3.57-3.71 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 2A) โดยในช่วง 30 วันหลังปลูกไนโตรเจนจะสะสมอยู่ในใบมากที่สุด และมีความเข้มข้นของไนโตรเจนอยู่ในช่วง 3.78-3.93 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) ซึ่งความเข้มข้นดังกล่าวอยู่ในระดับเพียงพอกับความต้องการของข้าวโพดหวาน ตามรายงานของยงยุทธ (2548) ที่ความเข้มข้นของไนโตรโตรเจนในใบข้าวโพดหวานระดับเพียงพอควรอยู่ในช่วง 2.7-3.5 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นความเข้นข้นของไนโตรเจนในใบของข้าวโพดจะลดลง เพราะมีการเคลื่อนย้ายไปสะสมอยู่ในส่วนของเมล็ด

ส่วนความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวานอินทรีย์สำหรับใช้สร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก พบว่าข้าวโพดหวานที่ปลูกแบบอินทรีย์มีการดูดใช้ไนโตรเจน 12 กิโลกรัม N ต่อไร่ (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาถึงความต้องการไนโตรเจนในแต่ละระยะการเจริญเติบโต คือ 15 30 45 60 และ 72 วันหลังปลูก ข้าวโพดหวานอินทรีย์ดูดใช้ไนโตรเจน 0.02, 0.59, 1.15, 1.78 และ 3.33 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 2B) และในช่วง 45 วันหลังปลูก พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบข้าวโพดหวานอินทรีย์มีเพียง 2.03 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) อยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอกับความต้องการของข้าวโพดหวาน (ยงยุทธ, 2548) ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบข้าวโพดหวานที่ปลูกแบบอินทรีย์มีความเข้มข้นต่ำกว่าในใบข้าวโพดหวานที่ปลูกแบบ GAP ทั้งนี้เพราะข้าวโพดหวานที่ปลูกแบบ GAP ได้รับไนโตรเจนโดยตรงจากปุ๋ยเคมี ซึ่งพืชสามารถดูดใช้ได้โดยตรงและมีประสิทธิภาพสูงกว่าไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนการปลูกข้าวโพดหวานอินทรีย์ต้องรอวัสดุอินทรีย์หรือปุ๋ยอินทรีย์ย่อยสลายและปลดปล่อยไนโตรเจนให้ข้าวโพดดูดใช้ ซึ่งการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งของธาตุอาหาร โดยเฉพาะไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ต้องผ่านกระบวนการมิเนอราลไลเซชั่นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จึงสามารถปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนให้พืชนำไปใช้ได้ อีกทั้งปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนให้พืชนำไปใช้ได้ร้อยละ 20-30 ขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2566) ดังนั้นการปลูกข้าวโพดหวานอินทรีย์ 1 ฤดูปลูก จะต้องใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณมาก 3-5 ตันต่อไร่ ถึงจะมีปริมาณไนโตรเจนที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพดหวาน ฉะนั้นในระบบการผลิตพืชแบบอินทรีย์ควรเพิ่มเติมไนโตรเจนให้เพียงพอกับความต้องการของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและคุณภาพดีเป็นที่ต้องการของตลาด



ภาพที่ 2 น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต (A) ข้าวโพดหวาน GAP และ (B) ข้าวโพดหวานอินทรีย์

ที่มา: *สมฤทัย ตันเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์)
แววตา พลกุล (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานอินทรีย์ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดกาญจนบุรี)

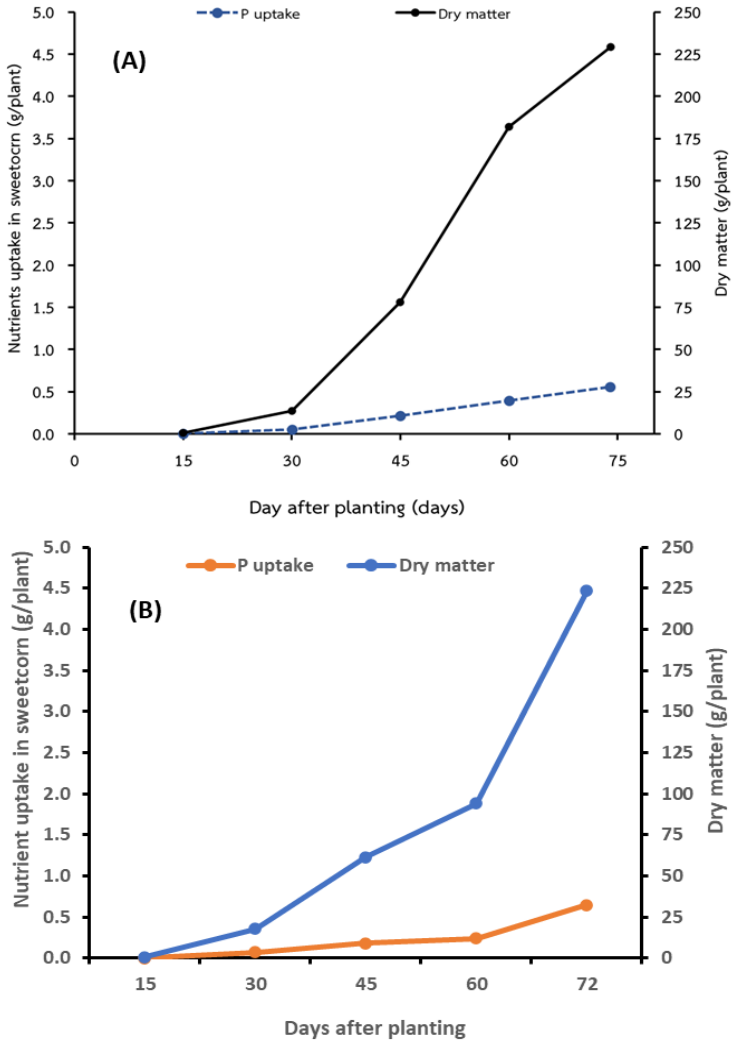
3.2 การดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพดหวาน

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช เป็นองค์ประกอบของสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่างๆ เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง และการหายใจ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ข้าวโพดหวานต้องการฟอสฟอรัสสำหรับการเจริญเติบโตไม่น้อยไปกว่าไนโตรเจน จากการศึกษาในช่วงระยะ 2 สัปดาห์หลังงอกข้าวโพดต้องการฟอสฟอรัสมากกว่าในระยะอื่นๆ เนื่องจากฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของราก ซึ่งระยะนี้ข้าวโพดมีระบบรากค่อนข้างเล็ก จึงมีการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยมากกว่าจากดิน จนกระทั่งรากเจริญเติบโตเต็มที่จึงดูดใช้ธาตุอาหารฟอสฟอรัสจากดินค่อนข้างมาก ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตจึงแนะนำให้ใส่ทั้งหมดตั้งแต่ตอนปลูก

หากข้าวโพดขาดธาตุฟอสฟอรัสในระยะนี้จะทำให้ใบล่างมีสีม่วงจากปลายใบและขอบใบ ต้นข้าวโพดเติบโตช้า ต้นเตี้ย และไม่แข็งแรง รากไม่เจริญหรือไม่พัฒนา หากขาดธาตุนี้ก่อนออกดอกจะทำให้ออกดอกช้ากว่าปกติ ลำต้นและฝักโค้งงอ เมล็ดบิดเบี้ยว การติดเมล็ดไม่สมบูรณ์ หรือมีเมล็ดลีบมาก (สันติภาพ, 2545) การขาดฟอสฟอรัสส่วนใหญ่พบในพื้นที่ดินทราย ดินกรดจัด ดินด่างจัด ดินแห้งหรือเปียกเกินไป หรืออากาศเย็นอุณหภูมิดินต่ำเกินไป ทำให้การเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสจากรากสู่ส่วนต่างๆ ของต้นข้าวโพดช้ากว่าปกติ การได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพียงพอจะทำให้ผลผลิตด้านความยาวฝักของข้าวโพดเพิ่มขึ้น (เบ็ญจพร และคณะ, 2560)

ข้าวโพดหวานต้องการฟอสฟอรัสตั้งแต่ระยะแรกของการเจริญเติบโตจนถึงการสร้างเมล็ด (ภาพที่ 3A) ระยะออกไหมข้าวโพดหวานต้องการฟอสฟอรัสมากถึง 36 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดหวานดูดใช้ทั้งฤดูปลูก รองลงมาคือระยะที่มีพัฒนาการด้านการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และระยะสร้างเมล็ด ที่มีข้าวโพดมีความต้องการและดูดใช้ฟอสฟอรัส 27 และ 25 เปอร์เซ็นต์ (วิจิตร, 2550) เมื่อประเมินความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน GAP สำหรับใช้สร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก พบว่าข้าวโพดหวานมีการดูดใช้ฟอสฟอรัส 4.3-5.0 กิโลกรัม P ต่อไร่ (ตารางที่ 1) หรือเทียบเท่าปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5) 9.9-11.5 กิโลกรัม สำหรับความต้องการฟอสฟอรัสของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต จะเห็นว่าข้าวโพดหวานมีความต้องการฟอสฟอรัสสูงในช่วง 45 60 และ 71-77 วันหลังปลูก และมีปริมาณการดูดใช้ 0.20-0.65, 0.39-0.51 และ 0.56-0.73 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 3A) โดยในช่วง 45 วันหลังปลูก ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบข้าวโพดหวานอยู่ในช่วง 0.29-0.57 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) ถือว่าอยู่ในระดับที่พอเพียงกับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวโพดหวาน สอดคล้องกับยงยุทธ (2548) ที่รายงานว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบของข้าวโพดระดับที่พอเพียงควรอยู่ในช่วง 0.2-0.4 เปอร์เซ็นต์

สำหรับความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวานอินทรีย์สำหรับใช้สร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้ฟอสฟอรัส 3.5 กิโลกรัม P ต่อไร่ (ตารางที่ 1) หรือเทียบเท่าปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5) 8 กิโลกรัม เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต จะเห็นว่าข้าวโพดหวานมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงในช่วง 45 60 และ 72 วันหลังปลูก 0.18, 0.24 และ 0.65 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 3B) ซึ่งในช่วง 45 วันหลังปลูก ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบของข้าวโพดหวานอยู่ในช่วง 0.34 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) ถือว่าอยู่ในระดับที่พอเพียงกับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวโพดหวาน



ภาพที่ 3 น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต (A) ข้าวโพดหวาน GAP และ (B) ข้าวโพดหวานอินทรีย์

ที่มา: *สมฤทัย ตันเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์)
แววตา พลกุล (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานอินทรีย์ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดกาญจนบุรี)

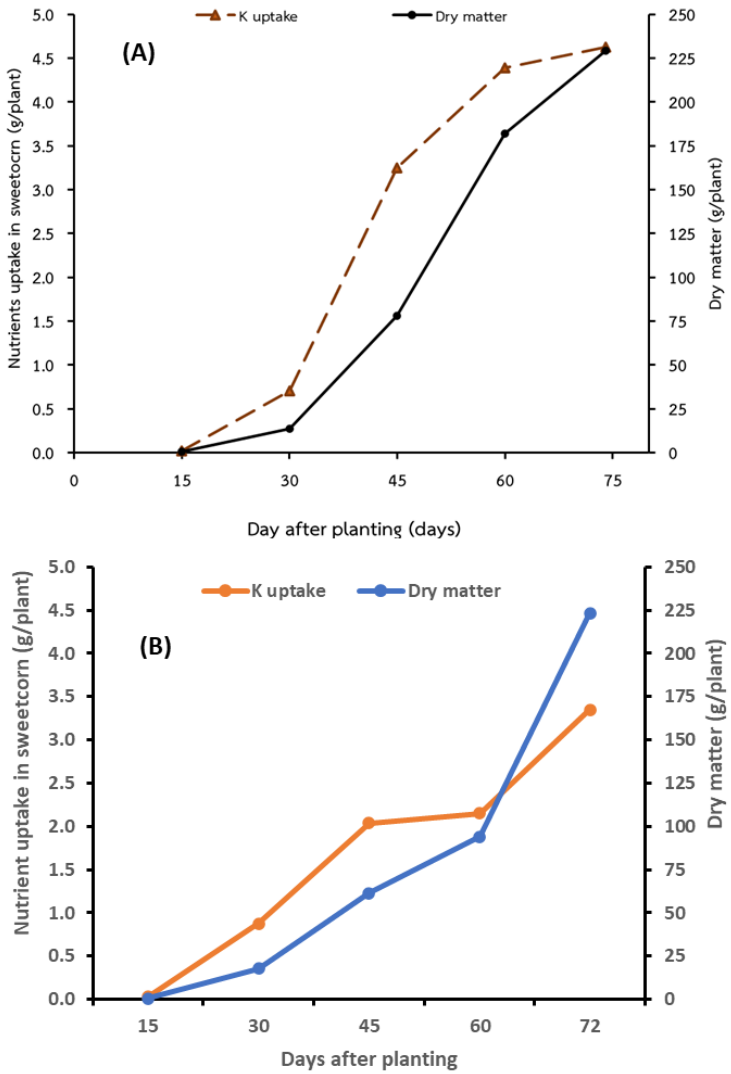
3.3 การดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวาน

โพแทสเซียม มีบทบาทสำคัญในการสร้างความเจริญเติบโต ทำให้พืชเจริญเติบโตเร็ว สร้างความแข็งแรงของลำต้น และการสร้างเมล็ด ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลจากใบไปยังผล ช่วยในการสังเคราะห์แป้ง น้ำตาล และโปรตีน เพิ่มขนาดของผลผลิต และปรับปรุงคุณภาพของผลผลิต (Devlin and Witham, 1986) ซึ่งการใส่ปุ๋ยโพแทชที่เพิ่มขึ้นทำให้ช่อดอกตัวผู้และไหมของข้าวโพดหวานออกเร็วขึ้น 3-7 วัน และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝักเพิ่มขึ้น (Simic *et al.* 2011)

ข้าวโพดหวานต้องการโพแทสเซียมปริมาณมากตลอดระยะการเจริญเติบโตจนถึงออกไหม โดยข้าวโพดหวานดูดใช้โพแทสเซียม 70-80 เปอร์เซ็นต์ ในระยะสร้างไหม และ 100 เปอร์เซ็นต์ ถูกดูดใช้ในระยะ 3-4 สัปดาห์หลังระยะสร้างไหม การเคลื่อนย้ายของโพแทสเซียมจากใบและลำต้นไปยังเมล็ดมีน้อย

กว่าฟอสฟอรัส และไนโตรเจน ดังนั้นช่วงระยะเวลาการสร้างเมล็ดไม่ใช่ช่วงวิกฤติสำหรับการให้ปุ๋ยโพแทช (วิจิตร, 2550) เมื่อประเมินความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน GAP สำหรับใช้สร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก พบว่าข้าวโพดหวานมีความต้องการและดูดใช้โพแทสเซียม 31.3-38.8 กิโลกรัม K ต่อไร่ (ตารางที่ 1) หรือเทียบเท่าปุ๋ยโพแทช (K_2O) 37.6-46.6 กิโลกรัม สำหรับความต้องการโพแทสเซียมของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ในช่วง 45 60 และ 71-77 วันหลังปลูก ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้โพแทสเซียม 3.25-3.57, 3.58-4.39 และ 4.63-5.50 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 4A) และในช่วง 45 วันหลังปลูก ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบข้าวโพดหวานอยู่ในช่วง 3.08-3.77 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) ซึ่งสูงกว่าระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่พอเพียงในใบข้าวโพดที่อยู่ในช่วง 1.7-2.5 เปอร์เซ็นต์ (ยงยุทธ, 2548) แต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพืชมีความผันแปรระหว่าง 1.0-6.0 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (วิจิตร, 2550)

ส่วนความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวานอินทรีย์สำหรับใช้สร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก พบว่าข้าวโพดหวานมีการดูดใช้โพแทสเซียม 14.2 กิโลกรัม K ต่อไร่ (ตารางที่ 1) หรือเทียบเท่าปุ๋ยโพแทช (K_2O) 17 กิโลกรัม เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานอินทรีย์ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ในช่วง 45 60 และ 72 วันหลังปลูก ข้าวโพดหวานดูดใช้โพแทสเซียม 2.04, 2.15 และ 3.35 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 4B) ซึ่งในช่วง 45 วันหลังปลูก ใบของข้าวโพดหวานอินทรีย์มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม 3.05 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) ถือว่าอยู่ในระดับที่พอเพียงกับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวโพดหวาน (ยงยุทธ, 2548)



ภาพที่ 4 น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต (A) ข้าวโพดหวาน GAP และ (B) ข้าวโพดหวานอินทรีย์

ที่มา: *สมฤทัย ตันเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์)
แววตา พลกุล (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานอินทรีย์ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดกาญจนบุรี)

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน GAP ที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง และดินร่วน ต.พันลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ และข้าวโพดหวานอินทรีย์ที่ปลูกในดินร่วนปนทราย ต.เกาะสำโรง อ.เมืองกาญจนบุรี จ.กาญจนบุรี สำหรับสร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก

ส่วนของพืช	น้ำหนักแห้ง	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร (%)					ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหาร (กก./ไร่)				
	(กก./ไร่)	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (ข้าวโพดหวาน GAP)											
ผลผลิตฝักสด	3,049										
ต้น	496	0.62	0.18	2.65	0.21	0.17	3.13	0.88	13.26	1.06	0.87
ใบ	617	2.05	0.37	2.98	0.48	0.20	12.82	2.27	18.61	2.98	1.22
กาบฝัก	155	0.80	0.22	0.96	0.07	0.12	1.27	0.35	1.49	0.10	0.18
เมล็ด	300	2.14	0.40	1.25	0.007	0.13	6.44	1.20	3.77	0.02	0.40
ซัง	123	0.79	0.25	1.36	0.03	0.10	0.97	0.31	1.66	0.03	0.12
รวม	**1691**						**25**	**5.0**	**38.8**	**4.2**	**2.8**
ดินร่วน (ข้าวโพดหวาน GAP)											
ผลผลิตฝักสด	3,020										
ต้น	518	0.98	0.09	1.91	0.25	0.3	5.10	0.48	9.89	1.31	1.57
ใบ	486	2.19	0.3	2.63	0.63	0.32	10.67	1.46	12.84	3.07	1.57
กาบฝัก	150	1.04	0.18	0.98	0.09	0.16	1.55	0.27	1.46	0.13	0.24
เมล็ด	445	2.19	0.37	1.10	0.01	0.15	9.77	1.67	4.87	0.04	0.64
ซัง	192	0.99	0.23	1.12	0.04	0.12	1.91	0.43	2.22	0.07	0.24
รวม	**1791**						**29**	**4.31**	**31.3**	**4.6**	**4.3**
ดินร่วนปนทราย (ข้าวโพดหวานอินทรีย์)											
ผลผลิตฝักสด	2,093										
ต้น	447	0.84	0.13	1.79	0.28	0.22	1.58	1.07	4.24	0.69	0.83
ใบ	452	1.99	0.29	2.06	0.68	0.18	3.57	1.15	5.88	1.73	0.73
กาบฝัก	117	0.96	0.36	0.79	0.12	0.12	0.78	0.23	0.88	0.12	0.13
เมล็ด	119	1.04	0.22	0.83	0.04	0.09	4.86	0.76	2.05	0.05	0.27
ซัง	205	2.73	0.27	0.95	0.03	0.13	1.17	0.33	1.15	0.04	0.11
รวม	**1,340**						**12**	**3.54**	**14.2**	**2.6**	**2.1**

ที่มา: *สมฤทัย ตันเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์)
นุชนาฏ ตันวรรณ (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดนครสวรรค์)
แววตา พลกุล (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวาน อินทรีย์ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดกาญจนบุรี)

ตารางที่ 2 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน GAP ที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง และดินร่วน ต.พันลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ และข้าวโพดหวานอินทรีย์ ที่ปลูกในดินร่วนปนทราย ต.เกาะสำโรง อ.เมืองกาญจนบุรี จ.กาญจนบุรี

ระยะเวลาหลังปลูก	ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหาร (กรัม/ต้น)				
(วัน)	N	P	K	Ca	Mg
ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (ข้าวโพดหวาน GAP)					
15	0.05	0.004	0.003	0.006	0.003
30	0.82	0.09	1.03	0.09	0.07
45	2.38	0.58	3.31	0.44	0.29
60	2.47	0.48	3.80	0.50	0.61
71	3.70	0.72	5.58	0.58	0.39
ดินร่วน (ข้าวโพดหวาน GAP)					
15	0.03	0.02	0.02	0.003	0.002
30	0.53	0.06	0.71	0.07	0.06
45	2.1	0.22	3.25	0.36	0.27
60	3.58	0.43	4.57	0.59	0.61
71-77	3.71	0.58	4.62	0.59	0.46
ดินร่วนปนทราย (ข้าวโพดหวานอินทรีย์)					
15	0.021	0.002	0.029	0.003	0.001
30	0.59	0.07	0.88	0.10	0.05
45	1.15	0.18	2.04	0.25	0.17
60	1.78	0.24	2.15	0.30	0.22
72	3.33	0.65	3.35	0.60	0.39

ที่มา: *สมฤทัย ตันเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์)
นุชนาฏ ตันวรรณ (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดนครสวรรค์)
แววตา พลกุล (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวาน อินทรีย์ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดกาญจนบุรี)

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน GAP ที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง และดินร่วน ต.พันลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ และข้าวโพดหวานอินทรีย์ ที่ปลูกในดินร่วนปนทราย ต.เกาะสำโรง อ.เมืองกาญจนบุรี จ.กาญจนบุรี

ระยะเวลาหลังปลูก (วัน)	ส่วนของพืช	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร (%)				
		N	P	K	Ca	Mg
ข้าวโพดหวาน GAP						
15	ต้น+ใบ	4.99-5.36	0.41-0.48	4.70-4.72	0.62-0.64	0.36-0.40
30	ต้น	4.49-4.51	0.44-0.45	7.89-8.18	0.57-0.58	0.42-0.68
	ใบ	3.78-3.93	0.39-0.40	4.65-4.98	0.47-0.50	0.30-0.39
45	ต้น	2.58-2.69	0.26-0.58	4.19-4.92	0.31-0.40	0.29-0.46
	ใบ	2.74-2.79	0.29-0.57	3.08-3.77	0.46-0.50	0.23-0.29
60	ต้น	0.77-1.42	0.15-0.22	2.39-2.60	0.18-0.26	0.30-0.39
	ใบ	2.49-2.60	0.29-0.35	2.98-3.28	0.51-0.56	0.34-0.43
	ฝัก	2.41-2.56	0.38-0.39	1.39-1.64	0.05-0.08	0.27-0.36
	กาบฝัก	1.52-1.56	0.25-0.42	1.33-1.52	0.05-0.08	0.25-0.38
71-77	ต้น	1.01-1.18	0.11-0.16	2.73-2.90	0.22-0.26	0.25-0.29
	ใบ	2.28-2.35	0.32-0.37	2.94-3.12	0.48-0.63	0.28-0.31
	กาบฝัก	1.04-1.09	0.18-0.23	0.97-1.03	0.07-0.08	0.15-0.16
	เมล็ด	2.14-2.19	0.39-0.40	1.08-1.23	0.01	0.14-0.15
	ซัง	1.00-1.02	0.23-0.27	1.16-1.45	0.03-0.04	0.11-0.12
ข้าวโพดหวานอินทรีย์						
15	ต้น+ใบ	3.7	0.40	5.24	0.60	0.26
30	ต้น+ใบ	3.24	0.40	4.94	0.51	0.27
45	ต้น	1.38	0.29	3.96	0.33	0.39
	ใบ	2.03	0.34	3.05	0.40	0.23
60	ต้น	1.09	0.26	2.16	0.19	0.24
	ใบ	1.77	0.30	2.52	0.47	0.24
	ฝัก	3.23	0.30	1.41	0.11	0.10
	กาบฝัก	1.04	0.22	1.11	0.08	0.07
71	ต้น	0.8	0.21	1.86	0.25	0.25
	ใบ	1.77	0.39	1.93	0.61	0.21
	กาบฝัก	0.93	0.24	0.83	0.03	0.13
	เมล็ด	2.55	0.32	0.94	0.03	0.12
	ซัง	0.97	0.27	0.85	0.11	0.09

ที่มา: *สมฤทัย ตันเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์)
นุชนาฏ ตันวรรณ (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดนครสวรรค์)
แววตา พลกุล (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวาน อินทรีย์ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดกาญจนบุรี)

4. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับข้าวโพดหวาน

4.1 การใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับข้าวโพดหวาน

การปลูกข้าวโพดหวานควรเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร มาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินและการจัดการปุ๋ยสำหรับข้าวโพดหวานตามระดับความอุดมสมบูรณ์ (กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2564) โดยแบ่งเกณฑ์ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับข้าวโพดหวานมีค่าวิกฤติของอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ดังนี้ คือ อินทรียวัตถุ 1 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับข้าวโพดหวาน

รายการวิเคราะห์	ค่าที่วิเคราะห์ได้	ปริมาณธาตุอาหารแนะนำ
อินทรียวัตถุ	<1	30 (25*) กิโลกรัม N/ไร่
(%)	1-2	20 กิโลกรัม N/ไร่
	>2	15 กิโลกรัม N/ไร่
ฟอสฟอรัส	<10	10 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่
(มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	10-15	8 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่
	>15	6 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่
โพแทสเซียม	<60	20 กิโลกรัม K_2O/ไร่
(มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	60-100	15 กิโลกรัม K_2O/ไร่
	>100	10 กิโลกรัม K_2O/ไร่

หมายเหตุ (*) อัตราปุ๋ยไนโตรเจนกรณีดินมีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 1% ควรใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

1) หากดินมี pH ต่ำกว่า 5.5 ควรปรับปรุงดินด้วยปูน เช่น โดโลไมท์ อัตรา 100-200 กิโลกรัมต่อไร่ โดยหว่านให้ทั่วแปลงก่อนการไถเตรียมดิน
2) กรณีดินมี pH มากกว่า 7.3 ควรใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0 + 24%S) แทนการใช้ปุ๋ยยูเรีย แต่ให้เพิ่มอัตราเป็น 2 เท่าจากอัตราแนะนำการใช้ปุ๋ยยูเรีย
3) การใส่ปุ๋ยเคมีสำหรับข้าวโพดหวาน ควรแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดย ครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยรองพื้นที่พร้อมปลูก ให้มีธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัส และปุ๋ยโพแทสเซียมทั้งหมดตามอัตราแนะนำ ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยเมื่อข้าวโพดหวานอายุ 25-30 วันหลังปลูก โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราแนะนำที่เหลือ
4) การใส่ปุ๋ยควรใส่ขณะที่ดินมีความชื้น หรือให้น้ำหลังการใส่ปุ๋ย

4.2 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์สำหรับข้าวโพดหวาน

การปลูกข้าวโพดหวาน หากดินมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำกว่า 1% ควรปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ แต่สำหรับการปลูกข้าวโพดหวานอินทรีย์ ควรปรับปรุงดินโดยการใช้วัสดุอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง และใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 3-5 ตันต่อไร่ โดยหว่านให้ทั่วแปลงแล้วไถพรวนกลบก่อนปลูกข้าวโพดหวาน 2-4 สัปดาห์

4.3 การใช้ปุ๋ยชีวภาพสำหรับข้าวโพดหวาน

การใช้ปุ๋ยชีวภาพอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยรองก้นหลุมอัตรา 5 กรัมต่อหลุม พร้อมหยอดเมล็ดข้าวโพดหวาน เพื่อช่วยดูดธาตุอาหารจากภายนอกรากพืชสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2567. ระบบตรวจรับรองแหล่งผลิตพืชอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: www.organic.go.th (4 มิถุนายน 2567).

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 122 หน้า

กรมวิชาการเกษตร. 2567. GAP DOA Online. แหล่งที่มา. http://gap.doa.go.th/ (4 มิถุนายน 2567).

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 2564. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 102 หน้า.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพฯ. 547 หน้า.

ทวีศักดิ์ ภู่หลำ. 2540. ข้าวโพดหวาน การปรับปรุงพันธุ์และการปลูกเพื่อการค้า. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 87 หน้า

เบ็ญจพร กุลนิตย์ กัลยรัตน์ มณีประดิษฐ์ ปัญญ์ศิริ บุ้งทอง วิทยา อามาตย์มนตรี ศิริลักษณ์ พลลาภ ศิริญาธร ทองนอก สันติ ภูลายขาว สุดารัตน์ บุสำโรง สุนิสา ธงภักดิ์ อภิชญา. 2560. อิทธิพลของอัตราฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียว. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ครั้งที่ 13. หน้า 489-497.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2548. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ.

วิจิตร วังใน. 2550. ธาตุอาหารกับการผลิตพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. ISBN 978-974-660-001-9. 371 น.

สันติ ธีราภรณ์. 2545. เอกสารวิชาการเรื่องดินและธาตุอาหารพืชกับข้าวโพดฝักสด. กลุ่มงานวิจัยความอุดสมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. 114 น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. ข้าวโพดหวาน: เนื้อที่เพาะปลูก เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ รวมทั้งประเทศ ปี 2565. แหล่งที่มา. https://oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/sweet%20corn65.pdf (4 มิถุนายน 2567).

Banziger, M., G.O. Edmeades, D. Beck and M. Bellon. 2000. Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to Practice. Mexico, D.F. CIMMYT.

Devlin, R.M. and F.H. Witham. 1986. Plant Physiology. CBS Publishers, New Delhi. 558 p.

Simic, B., J. Cosic, V. Duvnjak, L. Andric and I. Liovic. 2011. Influence of fertilization on sweet corn characteristics. Sjemenarstvo. 27 (3/4): 133-137.

Thai Food Processors' Association: TFPA, 2024. TFPA Export to World in January – December 2023. Available: https://thaifood.org/main/ebook/Monthly-Report/2023/Dec-2023/mobile/index.html. Accessed: June 4th, 2024.

การจัดการธาตุอาหารพืชในการผลิตกระชาย

ชัชธนพร เกื้อหนุน และ ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล

---

1. บทนำ

กระชาย ชื่อสามัญ Galingale, Fingerroot, Chinese ginger หรือ Chinese keys ชื่อวิทยาศาสตร์ *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. เป็นพืชในวงศ์ขิง (Zingiberaceae) (จุฑามาศ, 2567) เช่นเดียวกับขิง และ ขมิ้นชัน กระชายแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ กระชายเหลือง กระชายแดง และกระชายดำ องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญมีน้ำมันหอมระเหย (volatile oil) ซึ่งเป็นสารโบเซนเบอจินเอ (boesenbergin A) โบเซนเบอจินบี (boesenbergin B) แพนดูราทินเอ (panduratin A) แพนดูราทินบี (panduratin B) พินอสโตรบิน (pinostrobin) และอนุพันธ์ของฟลาโวนอยด์ (flavonoids) กลุ่มชาลโคน (chalcone) และฟลาโวน (flavone) **(**สถาบันการแพทย์แผนไทย, ม.ป.ป.)

กระชายเป็นพืชที่มีศักยภาพในการเป็นสมุนไพรเชิงเศรษฐกิจและเป็นพืชเครื่องเทศสำคัญ ปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกระชายประมาณ 11,823 ไร่ ผลผลิตรวม 11,596 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 2,500 กิโลกรัมต่อไร่ จังหวัดนครปฐมมีพื้นที่ปลูกกระชายมากที่สุด 5,185 ไร่ ผลผลิตรวม 5,744 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 2,800 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2566) กระชายสามารถปลูกได้ในทุกพื้นที่ แต่การปลูกแล้วให้ผลผลิตและคุณภาพที่ได้มาตรฐานอาจแตกต่างกันออกไป เนื่องจากข้อจำกัดของสภาพพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ พืชแต่ละชนิดหรือแม้เป็นพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ก็มีความต้องการธาตุอาหารในปริมาณที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้น การจัดการปุ๋ยสำหรับกระชายต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพของพื้นที่และเพียงพอกับความต้องการในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชจักช่วยให้พืชเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์และให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ

2. ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

การเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะธาตุอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อในปริมาณมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละชนิดเพราะถูกควบคุมด้วยปัจจัยต่างๆ ในดิน จึงต้องใส่เพิ่มเติมในรูปของปุ๋ยให้แก่พืช หากธาตุอาหารในดินที่เป็นประโยชน์ไม่เพียงพอตามที่พืชต้องการ สามารถจำแนกธาตุอาหารตามปริมาณความต้องการของพืช โดยธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) พืชมักจะขาดธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม จึงรียกว่า ธาตุอาหารหลัก ส่วนธาตุแคลเซียม แมกนีเซียมและกำมะถัน พืชต้องการในปริมาณมากเช่นกัน แต่มักพบว่าในดินไม่ขาดหรือไม่พบอาการขาดที่รุนแรง แต่มักพบการขาดในดินที่มีปัญหา จึงเรียกว่า ธาตุอาหารรอง ส่วนธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl) เรียกว่า ธาตุอาหารเสริม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ธาตุอาหารที่มักพบการขาดในวงศ์ขิง (Zingiberaceae) ที่สำคัญ ได้แก่

(1) ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน ฮอร์โมนพืช ได้แก่ ออกซิน และไซโตไคนิน ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ ไนโตรเจนจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง ส่งเสริมการเติบโต การแตกใบอ่อน การออกดอก มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพผลผลิต การ

ให้ไนโตรเจนที่มากเกินไป พืชเฝือใบ ผลผลิตต่ำและมีผลต่อคุณภาพสารสำคัญ พืชอวบน้ำและอ่อนแอต่อโรค แต่ถ้าพืชขาดไนโตรเจนหรือได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอ ใบล่างมีสีเขียว-เหลือง แต่เส้นใบยังเขียวอยู่ การเจริญเติบโตช้า แคระแกร็น พืชแตกใบน้อย ใบเล็กกว่าปกติ และผลผลิตต่ำ พืชมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 0.5-5.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อของพืชซึ่งจัดว่าเพียงพอ 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ยงยุทธ, 2546)

ไนโตรเจนอาจได้จากหลายแหล่ง เช่น ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) ปุ๋ยแคลเซียมไนเตรท (15-0-0) ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท (34-0-0) เป็นต้น การเลือกรูปของปุ๋ยขึ้นอยู่กับสภาพของการใช้ กรณีดินที่เป็นดินด่าง ควรเลือกใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเพราะการใส่ปุ๋ยยูเรียในดินด่าง แอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4^+-N) จะสูญเสียโดยการระเหิดได้ง่าย ปุ๋ยในรูปไนเตรท (NO_3^--N) จะถูกรากพืชดูดใช้ได้ทันที แต่อนุภาคของดินดูดซับได้น้อยจึงถูกชะล้างได้ง่าย ปุ๋ยไนโตรเจนเน้นให้ทางดินเป็นหลัก สามารถแบ่งใส่หลายครั้งได้ ทุกครั้งที่ใส่ปุ๋ย ต้องให้น้ำทันที การให้ปุ๋ยไนโตรเจนทางใบก็ต่อเมื่อพืชแสดงอาการขาดเพราะการให้ปุ๋ยทางดินอาจไม่ทันการณ์ โดยให้ใช้ตามอัตราแนะนำ ดัง**ตารางที่ 1** อีกทางเลือกอื่น โดยทั่วไประดับความเข้มข้นของยูเรียที่ฉีดพ่นทางใบที่เหมาะสมสำหรับพืชผักหรือพืชที่มีต้นขนาดเล็ก คือ 0.5-2.0%Urea หรือใช้ความเข้มข้นระดับ 1%Urea ก็ได้ ดังนั้น หากต้องการเตรียม 1.0%Urea ให้ละลายยูเรีย อัตรา 100 กรัม/น้ำ 100-200 ลิตร ฉีดพ่น 2 ครั้งต่อสัปดาห์

(2) ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยมาก แต่จำเป็นสำหรับพืช ปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในพืชประมาณ 0.1-0.4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งน้อยกว่าไนโตรเจนประมาณ 10 เท่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อของพืชซึ่งจัดว่าเพียงพอ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของสารพลังงานสูง หรือ อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) (ยงยุทธ, 2546) ที่จำเป็นต่อการสร้างสารสำคัญ การดูดและลำเลียงธาตุอาหารในพืช การหายใจ การแบ่งเซลล์และพัฒนาการของราก การให้ฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากเกินไป พืชจะขาดสังกะสี ทองแดง เหล็ก และแมงกานีส การขาดฟอสฟอรัสทำให้ใบมีสีเขียวเข้มและมีขนาดเล็ก ต้นแคระแกร็น การเจริญเติบโตของรากไม่ดี

ฟอสฟอรัสได้จากหลายแหล่ง เช่น ปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) ปุ๋ยโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (12-60-0) ปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (0-52-34) เป็นต้น ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ไม่เคลื่อนย้ายในดินหรือได้ในระยะใกล้มาก ประมาณ 1- 5 เซนติเมตรจากจุดใส่ปุ๋ย การใส่บนผิวดินทำให้ความเป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำและถูกดูดยึดไว้ในดินได้ง่าย หากมีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดิน ประสิทธิภาพการดูดใช้ในพืช ประมาณ 10-25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือจะถูกตรึงไว้ในดิน พืชดูดใช้ไม่ได้ ดังนั้น วิธีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงมีความสำคัญยิ่ง โดยทั่วไป เน้นการใส่รองพื้นพร้อมปลูกหรือการใส่ใกล้ๆรากพืช เนื่องจากพืชต้องการฟอสฟอรัสในช่วงแรกๆ ของการเจริญเติบโต การฉีดพ่นทางใบในขณะต้นยังเล็กและพื้นที่ผิวใบน้อย อาจทำให้ใบไหม้ได้ การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบเป็นวิธีการเสริมเมื่อพืชแสดงอาการขาด เพราะการให้ทางดินอาจช้าเกินไปและไม่ทันการณ์ โดยให้ใช้ตามอัตราแนะนำ ดัง**ตารางที่ 1** หรือ ให้ละลายปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต (0-20-0) อัตรา 6 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่นทุกๆ 15 วัน หรือจนกระทั่งอาการขาดธาตุฟอสฟอรัสหายไป

(3) โพแทสเซียม

ความเป็นกรด-ด่างของดินมีผลต่อการละลายได้และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน ถ้า pH ต่ำกว่า 5.5 หรือสูงกว่า 8.5 ความเป็นประโยชน์ต่อพืชของโพแทสเซียมจะลดต่ำลงจนพืชแสดงอาการ

ขาดได้ โพแทสเซียมไม่ได้เป็นองค์ประกอบในสารประกอบอินทรีย์ของพืชดังเช่นไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แต่เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ที่สังเคราะห์โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต การเคลื่อนย้ายน้ำตาลไปเลี้ยงยอดอ่อน และดอก ควบคุมการปิด-เปิดของปากใบ ปริมาณและคุณภาพผลผลิตของพืช ช่วยให้พืชต้านทานต่อโรค โดยช่วยให้ผนังเซลล์ของพืชหนาและยากต่อการเข้าทำลายของโรค การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้พืชขาดแคลเซียม แมกนีเซียมและแอมโมเนียม พืชจึงเจริญเติบโตช้า การให้โพแทสเซียมไม่เพียงพอ ทำให้เนื้อเยื่อใบตายเป็นจุดๆ ขอบใบและปลายใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและไหม้ การเจริญเติบโตลดลง ผลผลิตและคุณภาพต่ำ โพแทสเซียมมีอยู่ในพืชประมาณ 1.25-3.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของโพแทสเซียมซึ่งจัดว่าเพียงพอ 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ยงยุทธ, 2546)

แหล่งของปุ๋ยโพแทสเซียมที่สำคัญ เช่น ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต (0-0-50) ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรท (13-0-46) ปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (0-52-34) เป็นต้น การเลือกรูปของปุ๋ยขึ้นอยู่กับสภาพของการใช้ กรณีดินที่มีปัญหาความเค็ม ห้ามใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) เพราะจะเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินสูงขึ้นและคลอไรด์อาจเป็นพิษกับพืช แต่ควรเลือกใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต (0-0-50) นอกจากนี้ ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของไนเตรทและคลอไรด์จะเคลื่อนที่ได้ดีในดิน ส่วนปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของซัลเฟตจะถูกดูดจับกับคอลลอยด์ของดินได้ดีกว่า ปุ๋ยโพแทสเซียมเน้นให้ทางดินเป็นหลัก สามารถแบ่งใส่หลายครั้งได้ ทุกครั้งที่ใส่ปุ๋ยต้องให้น้ำทันที กรณีที่พืชแสดงอาการขาดโพแทสเซียม ให้ใส่โพแทสเซียมซัลเฟต อัตรา 14 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ช่วงอายุ 2 3 และ 4 เดือนหลังปลูก การให้ปุ๋ยโพแทสเซียมทางใบก็ต่อเมื่อพืชแสดงอาการขาดเพราะการให้ปุ๋ยทางดินอาจไม่ทันการณ์ โดยให้ใช้ตามอัตราแนะนำ ดัง**ตารางที่ 1** หรือ ใช้สารละลายเข้มข้น 1.0% K_2SO_4 โดยให้ละลายปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) อัตรา 0.5-1.0 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร ฉีดพ่นทุกๆ 14 วัน

(4) แคลเซียม

แคลเซียมเคลื่อนที่ได้ดีทางดินแต่เคลื่อนย้ายทางท่ออาหารได้ยาก เมื่อสะสมในเนื้อเยื่อพืชจึงไม่ค่อยเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่น แม้อัตราการซาบซึมเข้าสู่ใบเร็ว โดยทั่วไป อัตราการดูดใช้แคลเซียมในพืชจะช้ากว่าโพแทสเซียม แต่การกระตุ้นการคายน้ำในพืช จะช่วยทำให้น้ำพาแคลเซียมเคลื่อนที่ไปยังใบและส่วนที่กำลังเจริญเติบโตได้ แคลเซียมมีหน้าที่เกี่ยวกับความแข็งแรงของเนื้อเยื่อและเซลล์พืช จำเป็นต่อการแบ่งเซลล์และการเจริญเติบโตของเซลล์ การปฏิสนธิในดอก การเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต และการสังเคราะห์แป้งและน้ำตาลในพืช ปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืช โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชซึ่งจัดว่าเพียงพอ 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ยงยุทธ, 2546) ความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของแคลเซียมต่อพืช โดยถ้า pH ต่ำกว่า 5.5 หรือสูงกว่า 8.5 ความเป็นประโยชน์ต่อพืชของแคลเซียมจะลดต่ำลงจนพืชแสดงอาการขาดได้

ดินเนื้อหยาบหรือดินทรายจัดและดินกรด มีโอกาสที่จะขาดแคลเซียมได้ง่าย ดินที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงหรือการใส่โพแทสเซียมมากเกินไปก็ส่งเสริมการขาดแคลเซียมเช่นกัน หากพืชได้รับแคลเซียมในปริมาณที่มากเกินไป พืชจะขาดแมกนีเซียมและโพแทสเซียม แต่หากพืชได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอ ใบอ่อนมีลักษณะห่อม้วนคล้าย Parachute ส่วนใบแก่ขอบใบแสดงอาการเป็นจุดไหม้สีเหลือง-น้ำตาล ขอบใบมีสีเหลือง เส้นกลางใบสีเขียวเข้ม ปลายรากและปลายยอดมีการแบ่งเซลล์ผิดปกติ ทำให้แห้งตาย

พืชได้รับแคลเซียมจากหลายแหล่งด้วยกัน เช่น การใส่ปูนขาว ปูนโดโลไมท์ และยิปซัมในการปรับความเป็นกรด-ด่างของดิน ปุ๋ยแคลเซียมไนเตรท แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมซัลเฟต และซูเปอร์ฟอสเฟต เป็นต้น การปรับความเป็นกรด-ด่างของดินทำให้พืชได้รับแคลเซียม ซึ่งหากแคลเซียมที่ได้จากปูนเพียงพอแล้ว ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมอีก หรือถ้าปฏิกิริยาของดินอยู่ที่ระดับ 5.5-6.5 แล้ว ไม่ต้องใส่ปูนลงไปในดินอีกหรือใส่เพียงเล็กน้อยได้ด้วยยิปซัม นอกจากนี้ ปูนที่ใช้ต้องเลือกให้เหมาะสม กรณีดินเป็นดินกรดให้ใช้ปูนโดโลไมท์ซึ่งพืชจะได้รับทั้งธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมและห้ามใส่ปูนโดโลไมท์ในดินที่เป็นดินด่าง ส่วนปูนขาวนั้นมีราคาถูก แต่ปฏิกิริยารุนแรงต้องระมัดระวังในการใช้ การให้ปุ๋ยแคลเซียมทางใบเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลเซียมเล็กน้อยหรือป้องกันการขาด โดยอัตราการใช้ทางใบ คือ แคลเซียมคลอไรด์ 300-500 กรัมต่อน้ำ 100 ลิตร ฉีดพ่นทุกๆ 15 วัน

(5) แมกนีเซียม

แมกนีเซียมพบในพืชประมาณ 0.2-0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งและด้วยข้อจำกัดของความเป็นกรด-ด่างของดิน ซึ่งถ้า pH ต่ำกว่า 5.5 หรือสูงกว่า 8.5 ความเป็นประโยชน์ต่อพืชของแมกนีเซียมจะลดต่ำลงจนพืชแสดงอาการขาดได้ แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ได้ดีมากในพืช ปริมาณความเข้มข้นของแมกนีเซียมในพืชที่มีอายุต่างกันจึงแตกต่างกันมาก แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์หรือการสังเคราะห์ด้วยแสง มีบทบาทเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายน้ำตาลในพืช (ยงยุทธ, 2546) การเคลื่อนย้ายและการดูดใช้ฟอสฟอรัสภายในพืช พืชที่ได้รับแมกนีเซียมมากเกินไปก่อให้เกิดการขาดแคลเซียมและโพแทสเซียม แต่หากให้แมกนีเซียมไม่เพียงพอ ขอบใบจะเหลืองหรือเนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบเหลือง โคนใบเป็นรูปสามเหลี่ยม (triangular arrowhead at the base of the leaf near stalk) กรณีอาการขาดรุนแรง ทั้งแผ่นใบจะเหลือง ใบแก่หลุดร่วงได้ง่าย ต้นพืชแคระแกร็น นอกจากนี้ การขาดแมกนีเซียมพบเห็นได้บ่อยเนื่องจากความไม่สมดุลระหว่างโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมในพืช

พืชได้รับแมกนีเซียมจากหลายแหล่ง เช่น ปูนโดโลไมท์จากการใช้ปรับความเป็นกรด-ด่างของดิน ปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟต (คีเซอร์ไรด์) ปุ๋ยแมกนีเซียมไนเตรท ปุ๋ยแมกนีเซียมไนเตรท เป็นต้น การปรับความเป็นกรด-ด่างของดินทำให้พืชได้รับแมกนีเซียม ซึ่งหากแมกนีเซียมที่ได้จากปูนเพียงพอแล้ว ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมอีก กรณีที่ดินขาดแมกนีเซียม ให้ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟต (คีเซอร์ไรด์) อัตรา 1.5-3.0 กิโลกรัมต่อไร่ การให้ปุ๋ยแมกนีเซียมทางใบเพื่อแก้ปัญหาการขาดแมกนีเซียมเล็กน้อยหรือป้องกันการขาดให้ใช้ตามอัตราแนะนำ ดัง**ตารางที่ 1** หรือใช้สารละลายเข้มข้น 0.5%$MgSO_4$ โดยให้ละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) อัตรา 0.5-1.0 กิโลกรัมต่อน้ำ 200 ลิตร ฉีดพ่นทุกๆ 15 วัน

(6) แมกนีเซียม

พืชดูดใช้ในรูปซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) เป็นส่วนใหญ่ ความเข้มข้นในเนื้อเยื่อพืชประมาณ 0.15-0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างโปรตีนและกรดอะมิโนบางชนิดและเป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ (Coenzyme) (ยงยุทธ, 2546) การสร้างคลอโรฟิลล์ จำเป็นต่อการสังเคราะห์น้ำมันในพืช (oil synthesis) หรือสารที่ระเหยได้ (volatile oil) เป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ในพืช อาการขาดจึงปรากฏที่ใบอ่อนหรือส่วนที่กำลังเจริญเติบโต ใบอ่อนจะมีสีเหลืองบริเวณระหว่างเส้นกลางใบ (pale yellow) พืชที่ขาดจะโตช้า แคระแกร็น กรณีอาการขาดที่รุนแรง ทั้งแผ่นใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (chlorosis symptoms) ซึ่งระดับซัลเฟอร์ที่เหมาะสมในใบขมิ้นชันที่ช่วยให้เจริญเติบโตดีและผลผลิตที่มีคุณภาพ คือ 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์ (Singh *et al*., 1999) สอดคล้องกับ Perni (2005) มีค่าอยู่ในช่วง 0.23-0.28 เปอร์เซ็นต์

อาการขาดในพืชไม่พบบ่อยเนื่องจากมีการใช้ปุ๋ยที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) หรือโพแทสเซียมซัลเฟต (0-0-50) ดินที่ขาดกำมะถัน ได้แก่ ดินเนื้อหยาบหรือบริเวณฝนตกชุกจะมีการสูญเสียซัลเฟตไอออนโดยการชะละลายได้มาก ซัลเฟอร์อาจถูกดูดยึดโดยแร่ดินเหนียวบางชนิดรวมทั้งไฮดรัสออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัม

แหล่งของปุ๋ยซัลเฟอร์ที่สำคัญ เช่น ปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟต ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) หรือโพแทสเซียมซัลเฟต (0-0-50) เป็นต้น ส่วนมากในดินมักไม่ค่อยขาด ซึ่งการให้ปุ๋ยเพื่อแก้ปัญหาการขาดแมกนีเซียม อาจให้ซัลเฟอร์แก่พืชเพียงพอ หรือกรณีที่พืชยังแสดงอาการขาด การให้ปุ๋ยซัลเฟอร์ทางใบเพื่อแก้ปัญหาการขาดซัลเฟอร์เล็กน้อยหรือป้องกันการขาดได้ โดยใช้สารละลายเข้มข้น 0.5%$MgSO_4$ โดยให้ละลายปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) อัตรา 0.5-1.0 กิโลกรัมต่อน้ำ 200 ลิตร ฉีดพ่นทุกๆ 15 วัน

(7) สังกะสี

พืชต้องการสังกะสีในปริมาณน้อยมาก แต่ขาดไม่ได้ เป็นธาตุอาหารไม่เคลื่อนที่ในพืช มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ทริปโตเฟน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์สาร indole acetic acid (IAA) ซึ่งเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการยืดของลำต้นและการขยายขนาดของใบ การสังเคราะห์โปรตีนและกรดนิวคลีอิก คุณภาพสารสำคัญ ช่วยในการดูดใช้ฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในพืช และการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช สังกะสีอยู่ในเนื้อเยื่อพืชประมาณ 15-50 ส่วนในล้านส่วน แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในพืชประมาณ 15 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งระดับสังกะสีในใบที่เหมาะสมที่ทำให้ขมิ้นชันเจริญเติบโตดีและผลผลิตที่มีคุณภาพ คือ 41.1-93.2 มิลลิกรัม Zn/กิโลกรัม (Kumar *et al*., 2003) ซึ่งสอดคล้องกับ Perni (2005) พืชที่ได้รับสังกะสีมากเกินไปจะขาดทองแดง แต่การขาดสังกะสีส่งผลให้การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ในพืชไม่ได้ ทำให้ใบยอดเหลือง ใบเรียวเล็กไม่โตและแข็งกระด้างเพราะการสังเคราะห์ออกซินไม่เพียงพอ ช่อใบเป็นกระจุก (bushy appearance) การขาดสังกะสีมักพบในดินที่มีปริมาณของฟอสฟอรัสสูงหรือดินด่างที่มีปฏิกิริยาดินมากกว่า 7.0

แหล่งปุ๋ยที่ให้สังกะสีที่สำคัญ เช่น สังกะสีซัลเฟต สังกะสีคีเลต สังกะสีออกไซด์ และ Zn-EDTA เป็นต้น โดยทั่วไป พืชมักไม่ค่อยขาดสังกะสี ยกเว้นในดินที่มีปัญหา การให้สังกะสีทางดินเพื่อแก้ปัญหาการขาดสังกะสีเล็กน้อยหรือป้องกันการขาดแต่อาจไม่ทันการณ์ เพราะพืชต้องการในปริมาณต่ำและถูกตรึงในดินได้ง่าย นอกจากนี้ ถ้าดินมีฟอสฟอรัสสูง การให้สังกะสีทางดินจะไม่ได้ผล ดังนั้น การให้ปุ๋ยทางใบเพื่อแก้ปัญหาการขาดสังกะสีเล็กน้อยหรือป้องกันการขาดจะดีกว่า โดยฉีดพ่นด้วยสังกะสีซัลเฟต อัตรา 300-500 กรัมต่อน้ำ 100 ลิตร (**ตารางที่ 1**) เพียง 1-2 ครั้ง ก็เพียงพอ

(8) เหล็ก

ความเข้มข้นของเหล็กในพืชประมาณ 50-100 ส่วนในล้านส่วน เหล็กเป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซิน (ferridoxin) ซึ่งเป็นสารสำคัญในขบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของพืช เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง องค์ประกอบที่จำเป็นของเอนไซม์ การสร้างโปรตีน กรดอะมิโน และสารที่ระเหยได้ (volatile oil) ในพืช การให้เหล็กที่ไม่เพียงพอ พืชแสดงอาการขาดในใบอ่อนเพราะเหล็กเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้ายในพืช เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบมีสีเหลืองโดยที่เส้นใบยังเขียวอยู่ ส่งผลให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ใบหนา เล็กและหยาบกระด้าง จากนั้นอาการปรากฏไปทั่วทั้งแผ่นใบ (over the entire leaf) การขาดที่รุนแรง ใบจะเปลี่ยนเป็นสีขาว พืชต้องการเหล็กในปริมาณมากและมักจะละลายยากในดิน โดยเฉพาะในดินด่างหรือดินที่มีฟอสฟอรัสและแมงกานีสสูง อาการขาดแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ซึ่งระดับเหล็กที่เหมาะสมในใบขมิ้นชันที่ช่วยให้เจริญเติบโตดีและผลผลิตที่มีคุณภาพ คือ

143-1,568 มิลลิกรัม Fe ต่อกิโลกรัม (Kumar *et al*., 2003) แตกต่างกับ Singh *et al*. (1999) พบว่าอยู่ในช่วง 50-250 มิลลิกรัม Fe ต่อกิโลกรัม

แหล่งปุ๋ยที่ให้ธาตุเหล็กที่สำคัญ เช่น เหล็กซัลเฟต เหล็กคีเลต เหล็กออกไซด์ Fe-EDTA เป็นต้น การให้เหล็กทางดินเพื่อแก้ปัญหาการขาดเล็กน้อยหรือป้องกันการขาด ด้วยเหล็กซัลเฟต อัตรา 4.8 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการให้ปุ๋ยทางใบ ด้วยเฟอรัสซัลเฟต อัตรา 0.6-1.2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร ฉีดพ่นที่ช่วงอายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก **(ตารางที่ 1)**

ตารางที่ 1 ชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยทางใบเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหาร	แหล่งธาตุอาหาร	อัตราการใช้ทางใบต่อน้ำ 100 ลิตร
ไนโตรเจน (N)	ปุ๋ย 46-0-0	500-1,000 กรัม
ฟอสฟอรัส (P)	ปุ๋ย 0-52-34	125-250 กรัม
โพแทสเซียม (K)	ปุ๋ย 0-0-50, 0-0-60	300-500 กรัม
แคลเซียม (Ca)	แคลเซียมคลอไรด์	300-500 กรัม
แมกนีเซียม (Mg)	แมกนีเซียมซัลเฟต	600-2,000 กรัม
แมงกานีส (Mn)	แมงกานีสซัลเฟต	200-400 กรัม
เหล็ก (Fe)	เฟอรัสซัลเฟต	600-1,200 กรัม
สังกะสี (Zn)	ซิงค์ซัลเฟต	300-500 กรัม
ทองแดง (Cu)	คอปเปอร์ซัลเฟต	100-200 กรัม
โบรอน (B)	โซเดียมบอเรต	50-100 กรัม

3. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการผลิตกระชาย

(1) สภาพพื้นที่และสมบัติของดินที่เหมาะสม

กระชายมีความเหมาะสมในการปลูกในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับทะเล 450-900 เมตร ควรปลูกในดินที่เป็นดินร่วน ร่วนปนทราย และร่วนเหนียว ไม่ปลูกในดินเหนียวหรือดินลูกรัง ค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (คณาธิปและคณะ, 2561) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) 6.0-6.5 ถ้าความเป็นกรด-ด่างของดินมากกว่า 8.0 จะชะลอการเจริญเติบโตของพืช อินทรียวัตถุในดินมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 20-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่สกัดได้ 100-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียมที่สกัดได้ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียมที่สกัดได้ 60-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กำมะถันที่สกัดได้ 10-14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสีที่เป็นประโยชน์ 0.5-2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Harder *et* al., 2007) ดินควรมีการระบายน้ำและอากาศดี หน้าดินลึก 30 เซนติเมตร พื้นที่ราบหรือความลาดเอียงของพื้นที่ในระดับ 5-10 เปอร์เซ็นต์

(2) สภาพภูมิอากาศ

กระชายเป็นพืชในวงศ์เดียวกับขมิ้นชัน สภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมในการปลูกขมิ้นชันจึงสามารถนำมาใช้กับการปลูกกระชายได้ ควรมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่พืชต้องการนั้นแตกต่างกันในแต่ละช่วงพัฒนาการของพืช (1) ช่วงการงอกเป็นต้นอ่อน ต้องการอุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส (2) ช่วงการแตกกอ ต้องการอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส (3) ช่วงการเริ่มสร้างหัว (เหง้า) ต้องการอุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส (4) ช่วงการแตกแขนง (แง่ง) ต้องการอุณหภูมิ 18-20 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝน 1,000- 2,000 มิลลิเมตรต่อปี การกระจายตัวของฝนสม่ำเสมอในช่วง 100-120 วัน ชอบอากาศร้อนชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 เปอร์เซ็นต์ หรือโดยเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์ (สถาบันพืชสวน, 2566)

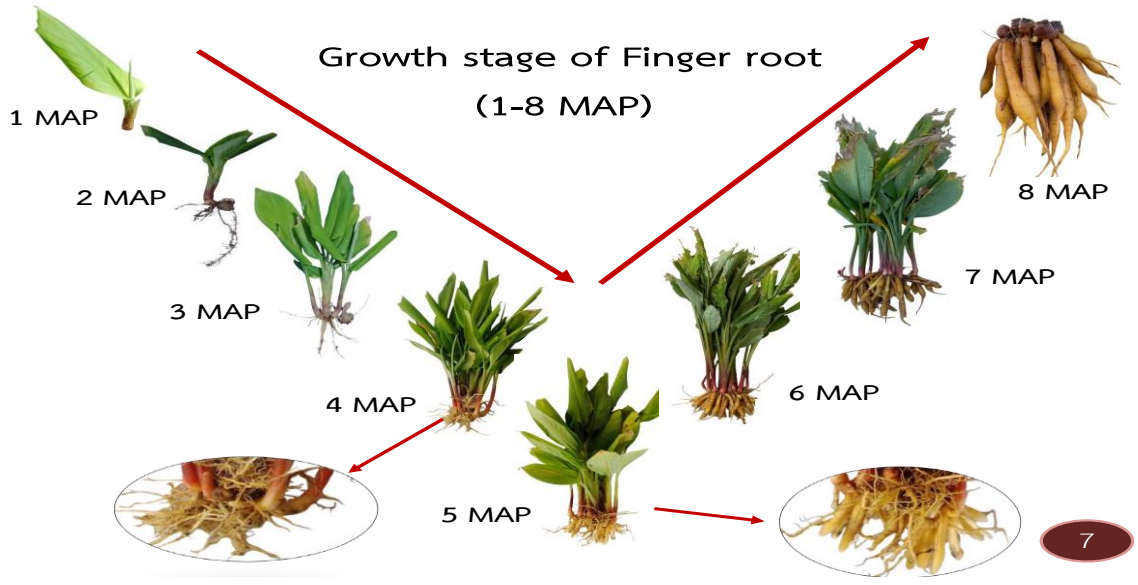
(3) ฤดูกาลปลูก

ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปลูกกระชาย คือ ควรปลูกในช่วงต้นฤดูฝน ประมาณปลายเดือนเมษายนถึงปลายเดือนพฤษภาคม การปลูกในช่วงที่อุณหภูมิร้อนเกินไปจะมีผลต่อการงอกของกระชายและอาจทำให้เหง้าพันธุ์กระชายฝ่อ แห้งตายได้

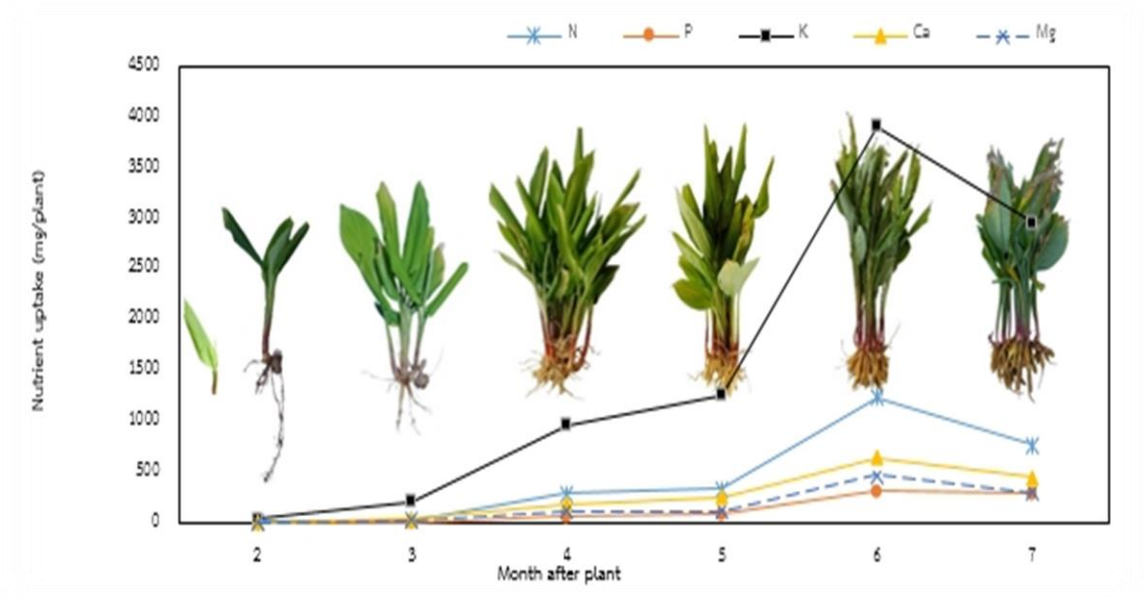
4. ความต้องการธาตุอาหารของกระชาย

ระยะการเจริญเติบโตของกระชายสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ คือ (1) ปลูก-ระยะตั้งตัว (Planting to establishment stage) (2) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative stage) (3) ระยะแตกเหง้า (Rhizome initiation stage) และ (4) ระยะชราภาพ (Rhizome maturation stage) (Tamil Nadu Agricultural University (TNAU) Agritech Portal, 2013) กระชายมีความต้องการธาตุอาหารที่แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ซึ่งการทราบข้อมูลพืชเกี่ยวกับระยะการเจริญเติบโตทำให้สามารถกำหนดสัดส่วนของธาตุอาหารที่ต้องปรับใส่ให้ได้ตามที่ต้องการของพืช ซึ่งเป็นการให้ธาตุอาหารที่ไม่มากหรือน้อยจนเกินไป แต่เป็นการใส่ให้ในส่วนที่พืชขาดและไม่เพียงพอในพืชเท่านั้น การให้ธาตุอาหารที่ถูกสูตรและถูกจังหวะของความต้องการธาตุอาหารชนิดนั้นๆ ย่อมส่งเสริมพัฒนาการของพืชให้ได้ผลผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพที่ได้มาตรฐาน จึงช่วยยกระดับการผลิต เพิ่มศักยภาพการผลิตพืชของดินในระยะยาวและลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยเคมีซึ่งเป็นปัจจัยที่ต้องนำเข้าได้

จาก**ภาพที่ 1** กระชายเริ่มแตกรากสะสมอาหารที่ช่วงอายุ 4 เดือนหลังปลูก จึงทำให้ตั้งแต่ช่วงอายุ 2-4 เดือนหลังปลูก พืชต้องมีการสะสมอาหารให้ได้อย่างเพียงพอต่อการนำไปสร้างผลผลิตหรือการสร้างรากสะสมอาหาร สอดคล้องกับกับ**ภาพที่ 2** จะเห็นว่า กระชายเริ่มมีการดูดใช้ธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ช่วงอายุ 2 เดือนหลังปลูกและที่ช่วงอายุ 5 ถึง 6 เดือนหลังปลูก กระชายมีความต้องการธาตุอาหารสูงมาก ทำให้ลักษณะของเส้นกราฟการดูดใช้ธาตุอาหารเป็นเส้นตรงชัน ซึ่งหากปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อไม่เพียงพอ ย่อมส่งผลให้ปริมารผลผลิตลดต่ำได้ อย่างไรก็ตาม หลังอายุ 6 เดือนเป็นต้นไป ความต้องการธาตุอาหารของกระชายเริ่มลดต่ำลง เพราะเป็นระยะที่พืชเริ่มเข้าสู่ระยะชราภาพ ลำต้นใต้ดินหยุดการพัฒนา แต่ลำต้นเหนือดินเริ่มแห้งเหี่ยวและใบร่วง จึงกล่าวได้ว่า การทราบระยะการเจริญเติบโตของพืช ช่วยให้สามารถจัดการธาตุอาหารได้อย่างแม่นยำและเหมาะสมตามความต้องการของพืช



ภาพที่ 1 ระยะการเจริญเติบโตของกระชาย ที่ช่วงอายุ 1 ถึง 8 เดือนหลังปลูก



ภาพที่ 2 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของกระชายที่ช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูก

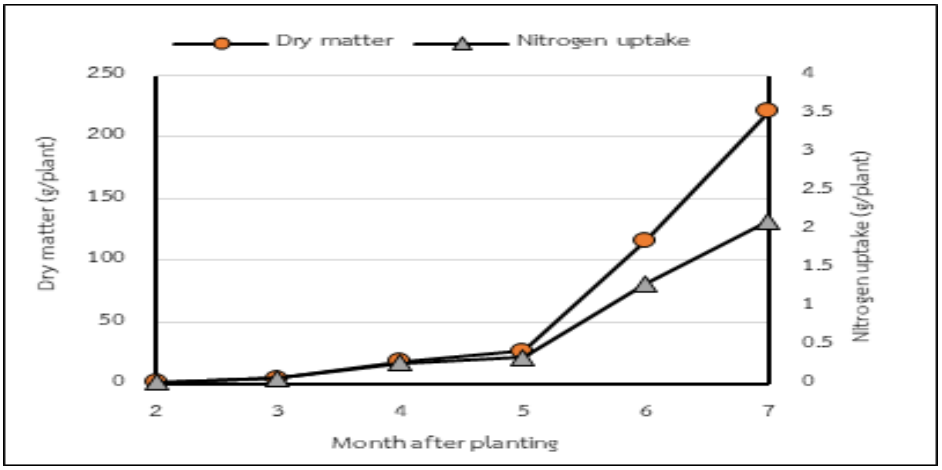
หากมีการจัดการดินและธาตุอาหารที่เป็นพื้นฐานของการเสริมสร้างความสมบูรณ์ของพืชได้อย่างถูกต้อง จักช่วยยกระดับผลผลิตให้ได้ตามเป้าหมายและเป็นที่ต้องการของตลาด กระชายจึงจำเป็นต้องได้รับธาตุอาหารอย่างสมดุลและเพียงพอกับความต้องการ เพราะการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกจากแปลงปลูกในแต่ละฤดูกาลผลิตจะมีธาตุอาหารพืชจำนวนหนึ่งติดออกไปเสมอ การชดเชยธาตุอาหารแต่ละชนิดที่สูญเสียจึงจะช่วยให้ศักยภาพการผลิตพืชของดินเกิดความยั่งยืน ด้วยธาตุอาหารแต่ละชนิดมีบทบาทหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไปและไม่สามารถทำหน้าที่ทดแทนกันได้ พืชดูดดึงธาตุอาหารมาสะสมในเนื้อเยื่อในปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน เพราะความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินถูกควบคุมด้วยปัจจัยหลายชนิด จึงจำเป็นต้องใส่เพิ่มเติมให้แก่พืชในรูปของปุ๋ยในสภาวะที่ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดินไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช แต่หากพืชดูดธาตุอาหารใดมากเกินจะเป็นสาเหตุให้พืชชะงักการเจริญเติบโต มีการเจริญเติบโตผิดปกติ หรือเป็นพิษกับพืชได้ แต่หากพืชได้รับธาตุอาหารไม่พอเพียงหรือขาดแคลนจะทำให้ผลผลิตลดลง ดังนั้น การจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตกระชายจำเป็นต้องเข้าใจบทบาทและความสำคัญของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต รวมทั้งต้องทราบถึงปริมาณความต้องการธาตุอาหารของกระชาย เพื่อให้สามารถจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตกระชายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของกระชาย

(1) ไนโตรเจน

กระชายมีความต้องการไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต ในช่วงอายุ 4 เดือนหลังปลูก กระชายมีการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินสูงสุด ดังนั้นการให้ไนโตรเจนอย่างเพียงพอแก่ความต้องการของกระชายในช่วง 1-4 เดือนหลังปลูก จะส่งเสริมให้กระชายเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและมีพัฒนาการของรากสะสมอาหารสมบูรณ์ ในช่วง 2-3 เดือนหลังปลูก ไนโตรเจนจะสะสมอยู่ในใบมากที่สุด และมีความเข้มข้นของไนโตรเจนอยู่ในช่วง 2.11-2.36 เปอร์เซ็นต์ (**ตารางที่ 3**) เมื่อประเมินความต้องการและการดูดใช้ไนโตรเจนของกระชายในแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่าที่ระยะ 5 เดือนหลังปลูก กระชายดูดใช้ไนโตรเจน 0.34 กรัมต่อต้น ส่วนในช่วงอายุ 6 เดือนหลังปลูก ที่กระชายมีการเจริญเติบโตของส่วนใต้ดิน

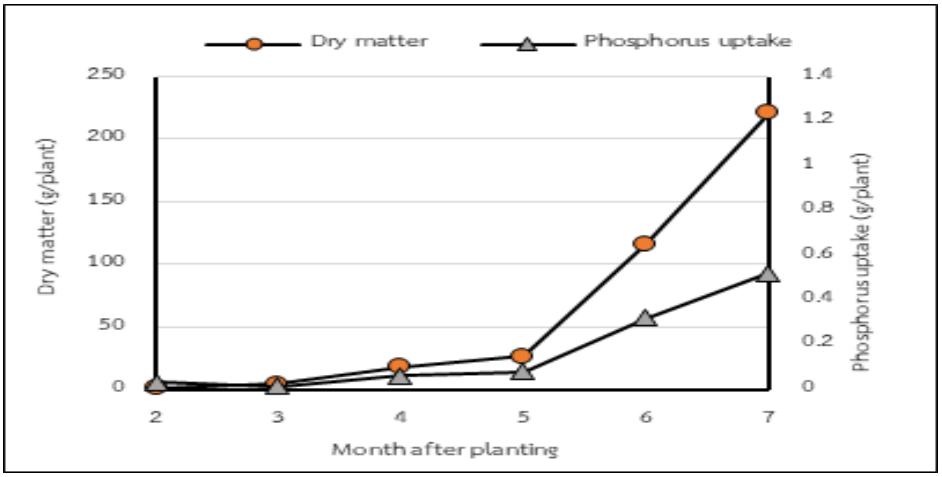
หรือพัฒนาการของรากสะสมอาหารสูงสุด กระชายดูดใช้ไนโตรเจน 1.3 กรัมต่อต้น และมีความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบ 1.85 เปอร์เซ็นต์ **(ตารางที่ 2)** ซึ่งอยู่ในระดับที่เพียงพอเมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่พอเหมาะของไนโตรเจนในใบขมิ้นชันซึ่งอยู่ที่ระดับ 1.22-2.75 เปอร์เซ็นต์ (Kumar *et al*., 2003) ในช่วง 7 เดือนหลังปลูกหรือระยะเก็บเกี่ยว ในระยะนี้กระชายยังมีส่วนใบ จึงยังคงมีความต้องการและดูดใช้ไนโตรเจนถึง 2.11 กรัมต่อต้น (**ตารางที่ 2 และภาพที่ 3)**



ภาพที่ 3 น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนของกระชายในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

(2) ฟอสฟอรัส

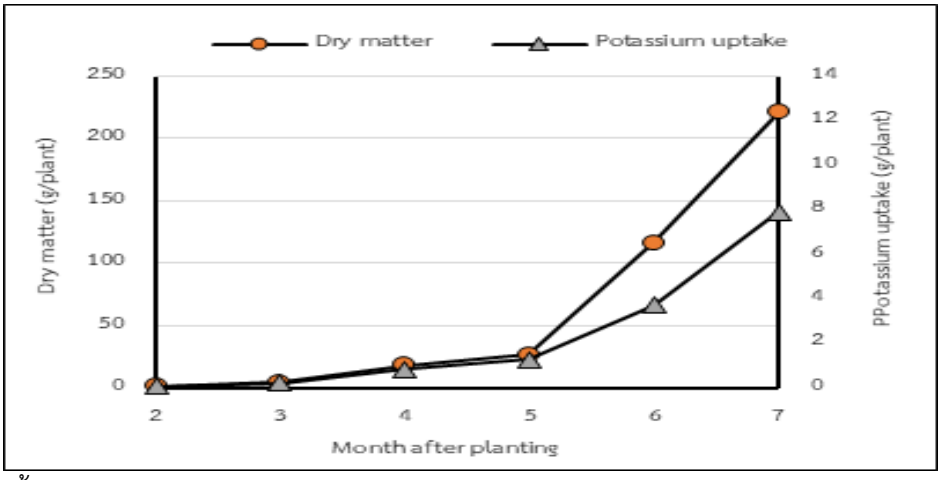
จากการประเมินความต้องการและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของกระชายในแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบกระชายช่วง 2-3 เดือนหลังปลูกอยู่ในช่วง 0.28-0.29 เปอร์เซ็นต์ **(ตารางที่ 3**) ซึ่งระดับฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในใบขมิ้นชันที่ช่วยให้เจริญเติบโตดีและผลผลิตที่มีคุณภาพ คือ 0.36-1.27 เปอร์เซ็นต์ (Kumar *et al*., 2003) ซึ่งแตกต่างกับ Singh *et al.* (1999) พบว่าอยู่ในช่วง 0.2-0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะ 4-5 เดือนหลังปลูก กระชายมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นและสะสมอยู่ในกาบใบมากสุด คิดเป็นปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัส 0.06-0.08 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 2) ส่วนช่วงอายุ 6 เดือนหลังปลูก ซึ่งกระชายมีการเจริญเติบโตของส่วนใต้ดินหรือพัฒนาการของรากสะสมอาหารสูงสุด กระชายดูดใช้ฟอสฟอรัส 0.32 กรัม/ต้น และช่วง 7 เดือนหลังปลูกซึ่งเป็นระยะเก็บเกี่ยว ระยะนี้กระชายยังมีส่วนใบ จึงยังคงมีความต้องการและดูดใช้ฟอสฟอรัสถึง 0.52 กรัมต่อต้น **(ตารางที่ 2 และภาพที่ 4)**



ภาพที่ 4 น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของกระชายในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

(3) โพแทสเซียม

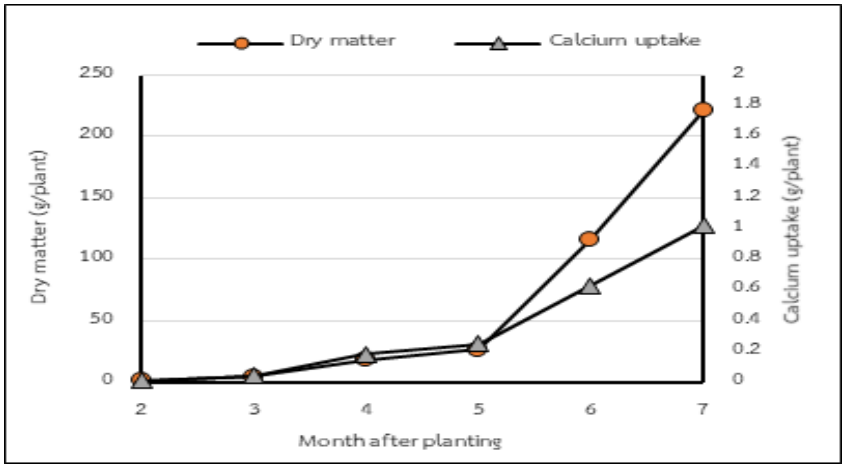
กระชายต้องการโพแทสเซียมปริมาณมากตลอดระยะการเจริญเติบโต และมีความต้องการสูงสุดในช่วงพัฒนาการของรากสะสมอาหาร (**ภาพที่ 3)** จากการประเมินความต้องการและการดูดใช้โพแทสเซียมของกระชายในแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่าในช่วง 2-3 เดือนหลังปลูก กระชายดูดใช้โพแทสเซียม 0.05-0.22 กรัมต่อต้น (**ตารางที่ 2**) และมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบอยู่ในช่วง 3.76-3.79 เปอร์เซ็นต์ (**ตารางที่ 3**) ซึ่งอยู่ในระดับที่เพียงพอเมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่พอเหมาะของโพแทสเซียมในใบขมิ้นชันซึ่งอยู่ที่ระดับ 3.66-6.60 เปอร์เซ็นต์ (Kumar *et al*., 2003) ส่วนในช่วงอายุ 5-6 เดือนหลังปลูก กระชายมีการเจริญเติบโตของส่วนใต้ดินหรือพัฒนาการของรากสะสมอาหารสูงสุด กระชายดูดใช้โพแทสเซียม 1.28-3.71 กรัมต่อต้น และในช่วง 7 เดือนหลังปลูกซึ่งเป็นระยะเก็บเกี่ยว ในระยะนี้กระชายยังมีส่วนใบ จึงยังคงมีความต้องการและดูดใช้โพแทสเซียม 7.88 กรัม/ต้น (**ตารางที่ 2 และภาพที่ 5**)



ภาพที่ 5 น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมของกระชายในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

(4) แคลเซียม

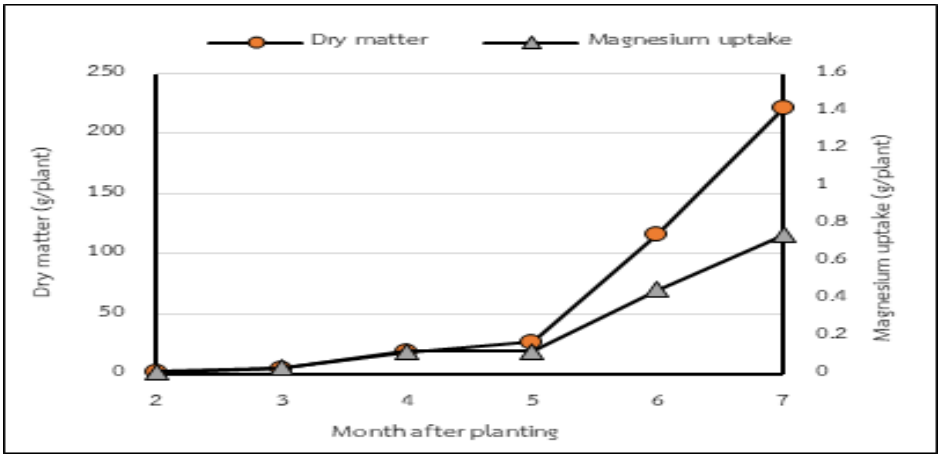
กระชายต้องการแคลเซียมตลอดระยะการเจริญเติบโต แต่ต้องการในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับไนโตรเจน และโพแทสเซียม จากการประเมินความต้องการและการดูดใช้แคลเซียมของกระชายในแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่าในช่วง 2-3 เดือนหลังปลูก กระชายดูดใช้แคลเซียม 0.01-0.04 กรัมต่อต้น (**ตารางที่ 2**) และมีความเข้มข้นของแคลเซียมในใบอยู่ในช่วง 1.15-1.23 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) เป็นระดับที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแคลเซียมในใบขมิ้นชันซึ่งอยู่ที่ระดับ 0.18-0.33 %เปอร์เซ็นต์ (Kumar *et al*., 2003) ซึ่งแตกต่างกับ Singh et al. (1999) พบว่าอยู่ในช่วง 0.1-1.0 เปอร์เซ็นต์ แต่สอดคล้องกับ Perni (2005) มีค่าอยู่ในช่วง 1.20-1.91 เปอร์เซ็นต์ ในระยะ 5-6 เดือนหลังปลูก กระชายมีการดูดใช้และสะสมแคลเซียมอยู่ในใบต่ำกว่าระยะ 7 เดือน โดยมีความเข้มข้นของแคลเซียมอยู่ในช่วง 1.30-1.51 เปอร์เซ็นต์ (**ตารางที่ 3**) หรือมีปริมาณการดูดใช้แคลเซียม 0.25-0.63 กรัมต่อต้น **(ตารางที่ 2**) ซึ่งที่ระยะ 5-6 เดือนหลังปลูกเป็นช่วงที่กระชายมีการเจริญเติบโตของส่วนใต้ดินหรือพัฒนาการของรากสะสมอาหารสูงสุด ส่วนในช่วง 7 เดือนหลังปลูกเป็นระยะเก็บเกี่ยว ในระยะนี้กระชายยังมีส่วนใบ จึงยังคงมีความต้องการและดูดใช้แคลเซียม 1.02 กรัมต่อต้น (**ตารางที่ 2 และภาพที่ 6**)



ภาพที่ 6 น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้แคลเซียมของกระชายในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

(5) แมกนีเซียม

กระชายต้องการแมกนีเซียมตลอดระยะการเจริญเติบโต แต่ต้องการในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับไนโตรเจนและโพแทสเซียม นอกจากนี้ยังมีการดูดใช้แมกนีเซียมต่ำกว่าแคลเซียมอีกด้วย จากการประเมินความต้องการและการดูดใช้แมกนีเซียมของกระชายในแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่าในช่วง 2-3 เดือนหลังปลูก กระชายดูดใช้แมกนีเซียม 0.01-0.03 กรัมต่อต้น (**ตารางที่ 2**) และมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบอยู่ในช่วง 0.64-0.71 เปอร์เซ็นต์ (**ตารางที่ 3**) เป็นระดับที่เพียงพอเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบขมิ้นชันซึ่งอยู่ที่ระดับ 0.61-1.25 เปอร์เซ็นต์ (Kumar *et al*., 2003) และสอดคล้องกับ Perni (2005) มีค่าอยู่ในช่วง 0.35-0.78 เปอร์เซ็นต์ ระยะ 4-5 เดือนหลังปลูก กระชายมีความต้องการและดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเป็น 0.12 กรัมต่อต้น (**ตารางที่ 2**) ส่วนระยะ 6 เดือนหลังปลูกเป็นช่วงที่กระชายมีการเจริญเติบโตของส่วนใต้ดินหรือพัฒนาการของรากสะสมอาหารสูงสุด กระชายต้องการแมกนีเซียมและดูดใช้เพิ่มขึ้นเป็น 0.45 กรัมต่อต้น และในช่วง 7 เดือนหลังปลูกเป็นระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งกระชายยังมีส่วนใบ จึงยังคงมีความต้องการและดูดใช้แมกนีเซียม 0.74 กรัมต่อต้น (**ตารางที่ 2 และภาพที่ 7**)



ภาพที่ 7 น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้แมกนีเซียมของกระชายในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

ตารางที่ 2 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของกระชาย

ระยะเวลาหลังปลูก (เดือน)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)	ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหาร (กรัม/ต้น)				
		N	P	K	Ca	Mg
2	0.81	0.02	0.003	0.05	0.01	0.01
3	4.18	0.07	0.013	0.22	0.04	0.03
4	17.99	0.27	0.06	0.82	0.18	0.12
5	26.4	0.34	0.08	1.28	0.25	0.12
6	116.6	1.30	0.32	3.71	0.63	0.45
7**	221.0	2.11	0.52	7.88	1.02	0.74

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของกระชาย

ระยะเวลาหลังปลูก (เดือน)	ส่วนของพืช	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร (%)				
		N	P	K	Ca	Mg
2	ใบ	2.36	0.28	3.76	1.23	0.71
	กาบใบ	1.77	0.38	8.03	0.72	0.62
	ราก	1.06	0.16	3.30	0.76	0.56
3	ใบ	2.11	0.29	3.79	1.15	0.64
	กาบใบ	1.39	0.39	8.08	0.59	0.52
	ราก	1.02	0.21	4.43	0.76	0.65
4	ใบ	1.92	0.30	3.85	1.29	0.75
	กาบใบ	1.21	0.45	8.44	0.65	0.64
	ราก	1.09	0.23	4.36	0.89	0.63
5	ใบ	1.90	0.25	3.54	1.51	0.64
	กาบใบ	0.85	0.39	7.90	1.01	0.43
	เหง้า	0.77	0.27	2.44	0.30	0.31
	รากสะสมอาหาร	0.92	0.28	4.29	0.12	0.26
6	ใบ	1.85	0.25	2.53	1.30	0.67
	กาบใบ	0.82	0.30	5.94	0.85	0.46
	เหง้า	1.31	0.28	1.31	0.25	0.25
	รากสะสมอาหาร	0.81	0.27	3.42	0.12	0.27
7	ใบ	1.49	0.18	2.31	1.57	0.64
	กาบใบ	0.65	0.21	7.06	0.97	0.44
	เหง้า	1.68	0.34	1.38	0.23	0.25
	รากสะสมอาหาร	0.72	0.23	3.41	0.11	0.26

5. การปลูกและคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับกระชาย

(1) การเตรียมดินกระชาย

ไถพลิกหน้าดินแล้วพึ่งไว้อย่างน้อย 1-2 สัปดาห์ จากนั้นไถพรวนดินอีก 1-2 ครั้ง ยกร่องปลูกขนาดความกว้าง 3 หรือ 4 เมตร ความยาวตามต้องการ พร้อมหว่านปุ๋ยอินทรีย์ เช่น มูลวัว อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วไถพรวนดินเพื่อคลุกเคล้าปุ๋ยอินทรีย์กับดินให้เข้ากันดี ปล่อยทิ้งไว้ 7-14 วัน ก่อนปลูกกระชาย แนะนำให้ใช้ระยะปลูก ขนาด 15x15 เซนติเมตร

(2) การปลูกกระชาย

ใช้เหง้าพันธุ์ที่มีอายุ 8 เดือนขึ้นไป มีตาอย่างน้อย 1-2 ตา ปราศจากโรคและแมลงทำลาย ก่อนนำไปปลูกให้แช่เหง้าหัวพันธุ์ด้วยสารเคมีป้องกันเชื้อราประมาณ 30 นาที แล้วนำไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จึงนำไปวางในหลุมปลูกที่หยอดเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 5 กรัมต่อหลุม แล้วกลบดินลึก 2-3 เซนติเมตร จากนั้นพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดและควบคุมวัชพืชบนแปลงปลูก แล้วคลุมแปลงด้วยฟางข้าวหรือใบอ้อยเพื่อลดการระเหยของน้ำและช่วยกักเก็บความชื้นในดิน ซึ่งจะช่วยให้กระชายงอกได้ดี กระชายสามารถปลูกได้ทั้งที่โล่งแจ้งและที่มีแสงรำไร

(3) การให้ปุ๋ยและการฉีดพ่นสารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

ก่อนปลูกควรเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร วิเคราะห์ปริมาณของธาตุอาหารเพื่อทราบว่าดินมีปริมาณของธาตุอาหารที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากน้อยเพียงใด เพื่อให้มีการจัดการปุ๋ยได้เหมาะสมกับระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน หลักสำคัญของการจัดการธาตุอาหารพืชนั้น ปริมาณของปุ๋ยที่ใส่ต้องเหมาะสมและสมดุลระหว่างธาตุอาหารที่ใส่ ซึ่งรายการวิเคราะห์ดินก็เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ปุ๋ยหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โดยปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (%OM) เพื่อหาว่าอินทรียวัตถุในดินมากพอที่จะปลดปล่อยไนโตรเจนแก่พืชเพียงพอหรือไม่ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และโพแทสเซียมที่สกัดได้ (Extractable K) เพื่อหาว่าดินมีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่กระชายใช้ประโยชน์ มากพอต่อความต้องการของกระชายหรือไม่ หากปริมาณธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณสูง พืชจะไม่แสดงการตอบสนองต่อปุ๋ยที่ใส่ จึงไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยหรือใส่ปุ๋ยในอัตราต่ำเพื่อรักษาสมดุลธาตุอาหารในดิน การวิเคราะห์ดินที่มีปริมาณธาตุอาหารเพียงพอแล้ว ให้ใส่ปุ๋ยตามปกติ แต่หากปริมาณธาตุอาหารในดินต่ำ ให้เพิ่มอัตราปุ๋ยที่ใส่ คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับกระชาย แสดงใน**ตารางที่ 4**

การฉีดพ่นสารสกัดจากสาหร่ายนั้น ให้ฉีดพ่นใต้แผ่นใบจะช่วยให้พืชดูดใช้ได้ดีที่สุดและให้ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการฉีดพ่นสารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จะช่วยทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารในพืชได้ดียิ่งขึ้น ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการฉีดพ่น คือ ช่วงเช้า ก่อน 09.00 น. ช่วงเย็น หลัง 16.00 น. อุณหภูมิอยู่ในช่วง 18-29 องศาเซลเซียส หรือที่เหมาะสม 21 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วลมน้อยกว่า 1 เมตรต่อวินาที หรือสภาพไม่มีลม สามารถฉีดพ่นได้ทั้งช่วงกลางวันและกลางคืน

ตารางที่ 4 การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับกระชาย

รายการวิเคราะห์	ค่าวิเคราะห์	ปริมาณธาตุอาหารอัตราแนะนำ
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)	<1.5	18 กก. N ต่อไร่
	1.5-2.5	12 กก. N ต่อไร่
	>2.5	12 กก. N ต่อไร่
2) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P, มก./กก.)	<10	6 กก. P_2O_5ต่อไร่
	10-20	6 กก. P_2O_5ต่อไร่
	>20	4 กก. P_2O_5ต่อไร่
3) โพแทสเซียมที่สกัดได้ (K, มก./กก.)	<60	24 กก. K_2Oต่อไร่
	60-100	16 กก. K_2Oต่อไร่
	>100	6 กก. K_2Oต่อไร่

หมายเหตุ:

(1) การให้ปุ๋ยกระชาย แบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

ครั้งที่ 1 ที่กระชายอายุ 2 เดือนหลังปลูก ด้วยการใส่ปุ๋ย 1/3N+P+1/2K

ครั้งที่ 2 ที่กระชายอายุ 3 เดือนหลังปลูก ด้วยการใส่ปุ๋ย 1/3N

ครั้งที่ 3 ที่กระชายอายุ 4 เดือนหลังปลุก ด้วยการใส่ปุ๋ย 1/3N+1/2K

(2) การฉีดพ่นสารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ เริ่มฉีดพ่นสารสกัดที่กระชายอายุ 3 เดือนหลังปลูก อัตราการใช้ 100 มิลลิลิตรต่อตารางเมตร โดยฉีดพ่นทุกๆ 15 วัน เป็นจำนวน 5 ครั้งต่อฤดูปลูก

(4) การให้น้ำกระชาย

หลังปลูกเหง้าพันธุ์ควรรดน้ำทันที ให้ชุ่มและมีความชื้นสม่ำเสมอ ซึ่งในช่วง 2 สัปดาห์แรก ให้น้ำวันเว้นวัน วันละประมาณ 30-60 นาทีต่อครั้ง จากนั้นความถี่ในการให้น้ำเริ่มลดลง โดยให้น้ำประมาณ 2-3 วันต่อครั้ง หรือตามความเหมาะสม ที่ระยะอายุ 5-6 เดือนหลังปลูก การให้น้ำกระชายเพียง 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และหยุดการให้น้ำเมื่อกระชายเข้าสู่ระยะพักตัว โดยสังเกตที่กาบใบและลำต้นเริ่มมีสีเหลือง แห้ง และยุบตัวลงจนถึงช่วงอายุการเก็บเกี่ยว ข้อควรระวัง ต้องไม่ให้น้ำจนชื้นแฉะหรือปล่อยให้มีน้ำท่วมขังในแปลงนานๆ จะทำให้ต้นเน่าเสีย การเตรียมแปลงจึงต้องยกร่องแปลงและมีทางระบายน้ำภายในแปลง

(5) การเก็บเกี่ยว

อายุเก็บเกี่ยวมีผลต่อคุณภาพผลผลิต จึงต้องคำนึงอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม การเก็บเกี่ยวเหง้าและรากสะสมอาหารในกระชายเพื่อใช้เป็นเครื่องเทศและพืชสมุนไพร สามารถเริ่มเก็บเกี่ยวตั้งแต่อายุ 7-8 เดือน หรือสังเกตจากใบและกาบใบมีสีเหลือง แห้งและยุบตัวลง (ปริญญา, 2563) แต่ช่วงอายุ 8-9 เดือน จะให้สารสำคัญสูงสุด การเก็บเกี่ยวโดยใช้จอบขุด ควรทำขณะดินมีความชื้น ถ้าดินแห้งควรรดน้ำก่อน เพื่อลดความเสียหายในขณะเก็บเกี่ยว หรือใช้วิธีการใช้น้ำจี้ การเก็บเกี่ยวโดยวิธีนี้จะไม่ทำให้กระชายเสียหาย แล้วนำมาล้างน้ำทำความสะอาด ถ้าต้องการขยายช่วงเวลาเก็บเกี่ยวให้นานขึ้นหรือไว้ทำพันธุ์จะต้องคลุมฟางและรดน้ำเป็นครั้งคราวเพื่อรักษาความชื้นของดินให้เหง้าและรากกระชายเพื่อป้องกันการฝ่อในช่วงแล้ง

ข้อควรพึงระวังในการปลูกกระชาย

1) ต้องไม่ให้น้ำจนชื้นแฉะหรือปล่อยให้มีน้ำท่วมขังในแปลงนานๆ จะทำให้ต้นเน่าเสียและส่งผลต่อผลผลิต

2) ไม่ควรปลูกกระชายในพื้นที่เดิมติดต่อกันเกิน 2-3 ปี และควรเว้นพื้นที่ไว้อย่างน้อย 1 ปี เพื่อป้องกันการสะสมของเชื้อโรค

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2566. ระบบตรวจรับรองแหล่งผลิตพืชอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร แหล่งข้อมูล:: www.organic.go.th, สืบค้นเมื่อ: 12 ตุลาคม 2566.

กรมส่งเสริมการเกษตร. ม.ป.ป. ขมิ้นชัน. แหล่งข้อมูล: http://www.agriman.doae.go.th/herbal/herbdoae006/khamin%20chan.pdf สืบค้นเมื่อ: 1 มกราคม 2567.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 547 หน้า.

คณาธิป พุ่มทอง วิรัธกานต์ พุ่มทอง ศันสนีย์ อรัญวาสน์ และพรชัย ชัยสงคราม. 2561. แผนที่ความเหมาะสมของที่ดินสำหรับการปลูกพืชสมุนไพร กระชายเหลือง กระวาน ข่า ขิง คำฝอย ตะไคร้ บุก พริกไทย ฟ้าทะลายโจร และว่านชักมดลูก. กลุ่มนโยบายและวางแผนการใช้ที่ดิน กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 232 หน้า.

จุฑามาศ ภิญโญศรี. 2567. ประโยชน์ของกระชาย สมุนไพรไทย. แหล่งข้อมูล: https://news.msu.ac.th/msumagaz/smain/readpost.php? สืบค้นเมื่อ: 12 ตุลาคม 2566

ปริญญา พลจันทร์. 2563. การเจริญเติบโตและผลของ salicylic acid ต่อปริมาณสารทุติยภูมิและแคลเซียมในกระชาย (Boesenbergia rotunda (L.) Mansf.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร) สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 424 หน้า.

สถาบันการแพทย์แผนไทย. ม.ป.ป. กระชาย. แหล่งข้อมูล: https://ittm.dtam.moph.go.th/images/knowleaga/6.pdf สืบค้นเมื่อ: 15 มกราคม 2567

สถาบันพืชสวน. 2566. เอกสารวิชาการ ขมิ้นชัน *Curcuma* Longa L. สถาบันพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. แหล่งข้อมูล: https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2023/02.pdf สืบค้นเมื่อ: 23 พ.ย. 2566.

Harder, N.K., N.C. Shill, M.A. Siddiky, J. Sarkar and R. Gomes. 2007. Response of turmeric to zinc and boron fertilizer. J. of Biological Science. 7(1):182-187.

Kumar G.V.V., M.A. Aariff and H. Begum. 2000. Influence of mineral nutrient composition of turmeric rhizome on curcumin content of different cultivars. Indian Journal of Tropical Agriculture. 18(3): 265-269.

Kumar, P.S.S., S.A. Geetha, P. Savithri, R. Jagadeeswaran and P.P. Mahendran. 2003. Diagnosis of nutrient imbalances and derivation of new RPZI (Reference Population Zero Index) values using DRIS/MDRIS and CND approaches in leaves of turmeric (Curcuma longa var.). Journal of Applied Horticulture, 5:7-10**.**

Perni, J. 2005. Nutrient status of turmeric growing soils in Guntur, A.P. India. Thesis: Master of Science in Agriculture. Acharya N.G. Ranga Agriculture University, India. pp. 199. Retrieved from: https://krishikosh.egranth.ac.in/items/9e28b7d8-aafd-4e6b-9f75-cca62edd91dc Date: March 1, 2024.

Singh, D., P.K. Chhonkar and R.N. Panday. 1999**. Soil Plant and Water Analysis: A method manual.** IARI, New Delhi. pp. 160.

Tamil Nadu Agricultural University (TNAU) Agritech Portal. 2013. Horticulture: Spicy crop, Turmeric. Retrieved from: https://agritech.tnau.ac.in/horticulture/horti_spice%20crops_turmeric.html Date: November 1, 2023.

การจัดการธาตุอาหารพืชในการผลิตกระเจี๊ยบเขียว

ทิพวรรณ แก้วหนู และ ศรีสุดา รื่นเจริญ

---

1. บทนำ

กระเจี๊ยบเขียว ชื่อสามัญ Okra, Lady's finger, Gombo, Gumbo, Bendee, Quimbamto แต่ในอินเดียจะเรียกกระเจี๊ยบเขียวว่า บินดี (Bhindi) ส่วนประเทศในแถบเมดิเตอร์เรเนียนจะเรียกว่า บามี (Bamies) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench จัดอยู่ในวงศ์ Malvaceae กระเจี๊ยบเขียวอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น คาร์โบไฮเดรต เส้นใย โปรตีน โฟเลต แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และวิตามินซี นอกจากนี้ยังมีสารเมือก (mucilage) ซึ่งจะช่วยดูดซับสารพิษและขับถ่ายออกทางอุจจาระ จึงไม่มีสารพิษตกค้างในลำไส้ กระเจี๊ยบเขียวจึงจัดเป็นผักสุขภาพสำหรับผู้ป่วยมะเร็งอีกชนิดหนึ่ง (มูลนิธิหมอชาวบ้าน, 2566)

กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชส่งออกสำคัญเป็นอันดับต้น ๆ ของไทย สถิติการส่งออกกระเจี๊ยบเขียวฝักสดหรือแช่เย็นในปี 2566 มีมูลค่าถึง 226 ล้านบาท และกระเจี๊ยบเขียวแช่แข็ง มูลค่า 119 ล้านบาท (สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2566) เนื่องจากต่างประเทศนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่นมีการนำเข้ากระเจี๊ยบเขียวจากไทยมูลค่าสูงถึง 303 ล้านบาท เป็นกระเจี๊ยบเขียวฝักสดหรือแช่เย็นมูลค่า 184 ล้านบาท และกระเจี๊ยบเขียวแช่แข็งมูลค่า 119 ล้านบาท (สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2566) โดยในปี 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกระเจี๊ยบเขียว จำนวน 6,628 ไร่ ผลผลิต จำนวน 8,019 ตัน มีปริมาณผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 1,210 กิโลกรัมต่อไร่ แหล่งปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่สำคัญส่วนใหญ่อยู่ในภาคกลาง คือ จังหวัดนครปฐม สุพรรณบุรี ราชบุรี และกาญจนบุรี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2567) ขณะที่เกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP มีจำนวน 774 ราย 782 แปลง รวมพื้นที่ทั้งหมด 1,534 ไร่ คิดเป็น 23 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูกกระเจี๊ยบเขียวทั้งหมด (กรมวิชาการเกษตร, 2567)

การผลิตกระเจี๊ยบเขียวให้ได้ผลผลิตสูงและผลผลิตมีคุณภาพตามที่ตลาดต้องการ จำเป็นต้องมีการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพร่วมกันอย่างถูกต้องและเหมาะสมตามชนิดพืชที่ปลูกและคุณภาพของดิน นอกจากนี้ต้องมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะเป็นสิ่งสำคัญต่อการจัดการดินให้อยู่ในสภาพที่ธาตุอาหารในดิน และธาตุอาหารในรูปปุ๋ยที่ใส่ลงไปเป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด ดังนั้น การวิเคราะห์ดินและพืช เพื่อให้ทราบปริมาณธาตุอาหารในดินและพืช รวมทั้งต้องทราบถึงปริมาณความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียว จะสามารถประเมินการใช้ปุ๋ยได้ถูกต้องตามความต้องการของพืชในแต่ระยะการเจริญเติบโต และประหยัดต้นทุนด้านปุ๋ยลงได้

2. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการผลิตกระเจี๊ยบเขียว

2.1 สภาพพื้นที่และสมบัติของดินที่เหมาะสม

พื้นที่เพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่เหมาะสมควรมีความลาดเอียงไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ระบายน้ำดี ไม่มีน้ำท่วมขัง เนื่องจากกระเจี๊ยบเขียวไม่ชอบความชื้นมากเกินไป หน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) 6.5-7.5 ควรเป็นดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

2.2 สภาพภูมิอากาศ

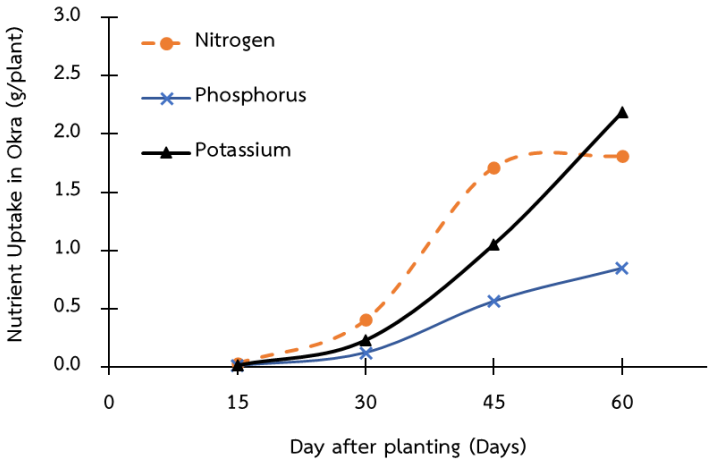
กระเจี๊ยบเขียวเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิกลางวันเฉลี่ย 18-35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกลางคืนควรมากกว่า 19 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดคือ 30-35 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส เมล็ดกระเจี๊ยบเขียวจะงอกได้ช้าลง และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 42 องศาเซลเซียส ดอกจะร่วง เนื่องจากกระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชวันสั้น จึงต้องการความยาวของช่วงวันสำหรับการออกดอกประมาณ 12 ชั่วโมง กระเจี๊ยบเขียวไม่ต้องการน้ำในปริมาณมากแต่ต้องการน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อการพัฒนาของฝักที่ได้คุณภาพ โดยต้องการน้ำประมาณ 8 มิลลิลิตรต่อวัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

2.3 ฤดูกาล

กระเจี๊ยบเขียวสามารถปลูกได้ตลอดปี แต่การปลูกเพื่อการส่งออกต่างประเทศ จะปลูกในช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคมเท่านั้น เนื่องจากตลาดส่งออกหลัก คือ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ประเทศญี่ปุ่นไม่สามารถปลูกกระเจี๊ยบเขียวได้ โดยมากจะหยอดเมล็ดช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม เพื่อเก็บเกี่ยวกระเจี๊ยบเขียวประมาณเดือนตุลาคมถึงเมษายน

3. ความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียว

กระเจี๊ยบเขียวจะเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารสำหรับนำไปใช้สร้างผลผลิตได้มากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะปัจจัยเรื่องดินและปุ๋ยเป็นประเด็นที่สำคัญเพราะเป็นแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืช ดังนั้นการจัดการดินและธาตุอาหารพืชเป็นพื้นฐานของการเสริมสร้างความสมบูรณ์ของพืช ถ้าปฏิบัติได้ถูกต้องเหมาะสม ต้นพืชจะสุขภาพแข็งแรง สามารถให้ผลผลิตดีมีคุณภาพ ซึ่งการผลิตพืชเชิงการค้า จำเป็นต้องรักษาระดับผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตให้คงที่ เพราะการเก็บเกี่ยวพืชผลออกจากแปลงปลูกทุกครั้งจะมีธาตุอาหารพืชจำนวนหนึ่งติดไปพร้อมผลผลิต ดังนั้นการใช้ปุ๋ยจึงจำเป็นต้องนำธาตุอาหารส่วนนี้มาพิจารณาด้วย ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและพืชต้องการใช้ในปริมาณมาก ส่วนหนึ่งได้มาจากอากาศ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) อีกส่วนพืชดูดได้จากดินโดยตรง ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) สำหรับในส่วนที่พืชต้องการในปริมาณน้อยและดูดได้จากดินได้แก่ เหล็ก (Fe) โบรอน (B) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) คลอรีน (Cl) และ โมลิดีนัม (Mo) ส่วนธาตุอื่น ๆ จัดเป็นธาตุอาหารที่ไม่จำเป็นกับพืชชั้นสูงแต่มีความสำคัญสำหรับพืชบางชนิด เช่น โซเดียม (Na) ซิลิกอน (Si) และโคบอลต์ (Co) นอกจากนี้พืชแต่ละชนิด แต่ละสายพันธุ์ยังมีความต้องการธาตุอาหารในปริมาณและสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน พืชต้องการธาตุอาหารที่มีสัดส่วนสมดุลกัน ธาตุอาหารที่มากเกินจะเป็นสาเหตุให้พืชชะงักการเจริญเติบโต มีการเจริญเติบโตผิดปกติ หรือเป็นพิษกับพืชได้ แต่หากพืชได้รับธาตุอาหารไม่พอเพียงหรือขาดแคลนจะทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมาก (วิจิตร, 2550) โดยปกติพืชดูดธาตุอาหารจากดินติดต่อกันตลอดช่วงชีวิต และต้องการธาตุอาหารจำนวนมากขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1) พืชที่ได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอและสมดุลจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตกระเจี๊ยบเขียวจำเป็นต้องเข้าใจบทบาทและความสำคัญของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต รวมทั้งต้องทราบถึงปริมาณความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียว เพื่อให้สามารถจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตกระเจี๊ยบเขียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ



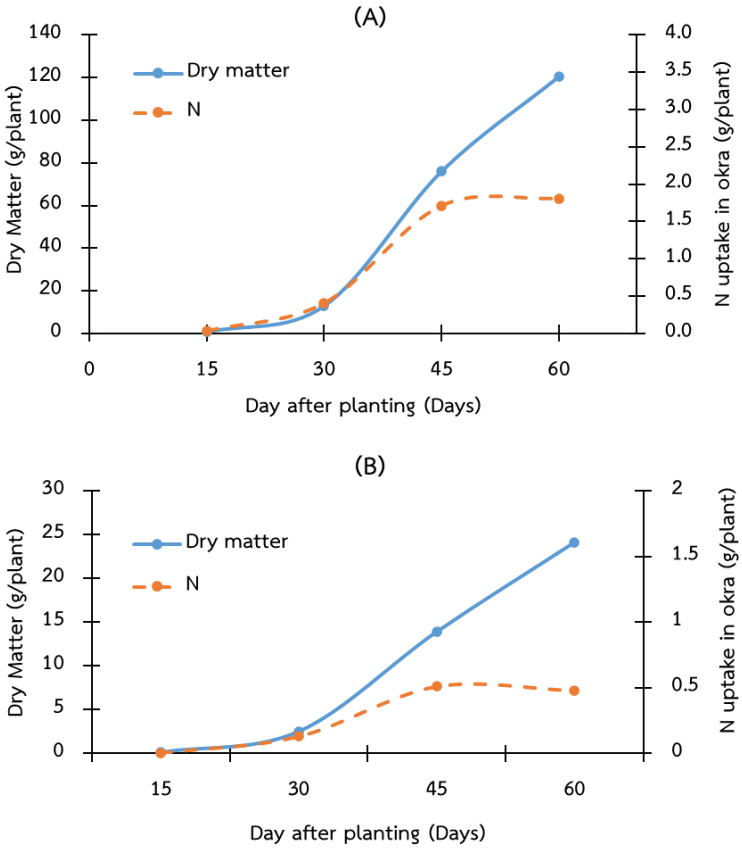
ภาพที่ 1 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต
ที่มา: *ศรีสุดา รื่นเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียว ตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม)

4. ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียว

4.1 ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนของกระเจี๊ยบเขียว

ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของใบและลำต้น ช่วยให้พืชตั้งตัวได้เร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต อีกทั้งยังเป็นธาตุอาหารที่มีหน้าที่สำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึม เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ในพืช ช่วยกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาของเซลล์และเนื้อเยื่อพืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบ และกิ่งก้าน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) พืชที่ได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอ จะทำให้พืชออกดอกและติดผลที่สมบูรณ์ หากพืชได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดผลเสียแก่พืชได้ แต่ถ้าพืชขาดไนโตรเจนหรือได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอ จะทำให้พัฒนาการของใบลดลง และทำให้ใบแก่เร็วขึ้น ปริมาณไนโตรเจนในพืชที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตจะแตกต่างกันตามชนิดของพืช และระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 1-2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งการได้รับไนโตรเจนเพียงพอจะทำให้กระเจี๊ยบเขียวมีการเจริญเติบโตที่ดี ใบมีสีเขียว ออกดอกมากขึ้น และให้ศักยภาพผลผลิตที่สูงขึ้น ต้นกระเจี๊ยบเขียวที่ขาดไนโตรเจนจะมีใบสีเหลืองอ่อน การเจริญเติบโตแคระแกร็น ผลผลิตที่ได้ลดลง (Agribot, 2023) คุณภาพของผลผลิตในเชิงโภชนาการต่ำ แต่ถ้าได้รับไนโตรเจนที่มากเกินไปจะทำให้กระเจี๊ยบเขียวเจริญทางใบมากเกินไป และส่งผลต่อการออกดอกของกระเจี๊ยบเขียว (Lamont, 1999)

จากการประเมินความต้องการธาตุไนโตรเจนของกระเจี๊ยบเขียว GAP สำหรับใช้สร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก พบว่า กระเจี๊ยบเขียวมีการดูดใช้ไนโตรเจน 14-29 กิโลกรัม N ต่อไร่ (ตารางที่ 1) ในขณะที่คำแนะนำการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับกระเจี๊ยบเขียวของกรมส่งเสริมการเกษตรแนะนำไว้ที่ 38 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) สำหรับความต้องการไนโตรเจนของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต จะเห็นว่ากระเจี๊ยบเขียวมีความต้องการไนโตรเจนสูงในทุกระยะการเจริญเติบโต ที่ระยะ 15 30 45 และ 60 วันหลังปลูก พบว่ากระเจี๊ยบเขียวดูดใช้ไนโตรเจน 0.003-0.03, 0.10-0.40, 0.47-1.71 และ 0.53-1.81 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 2) โดยในช่วง 45 วันหลังปลูกไนโตรเจนจะสะสมอยู่ในใบมากที่สุด และมีความเข้มข้นของไนโตรเจน 3.06-4.06 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 2 น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียว (A) ปลูกในดินร่วน และ (B) ปลูกในดินร่วนเหนียว

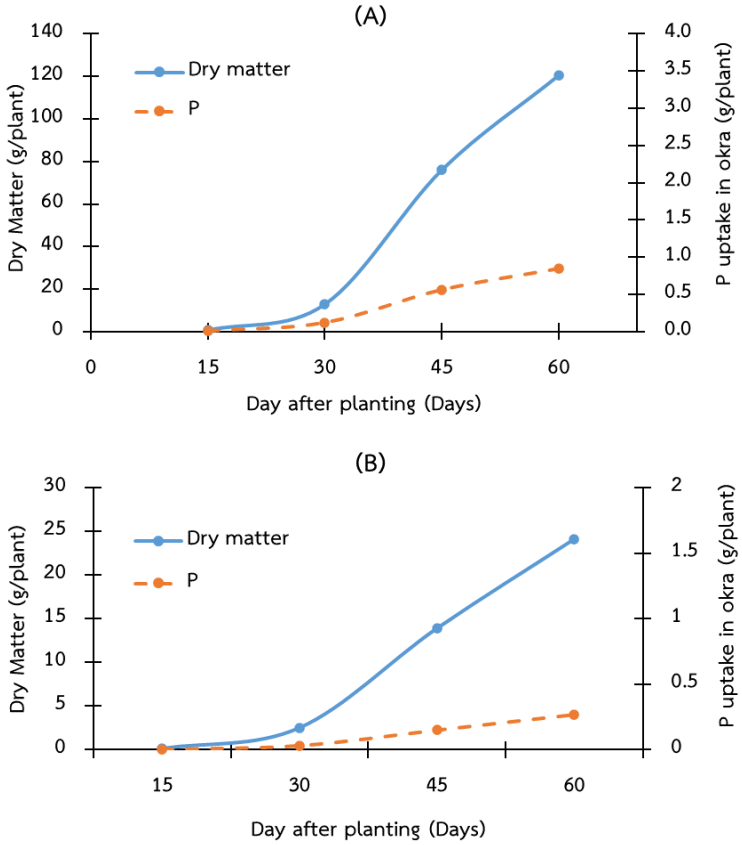
ที่มา: *ศรีสุดา รื่นเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม)
ทิพวรรณ แก้วหนู (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรี)

4.2. ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของกระเจี๊ยบเขียว

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทในการช่วยสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช เป็นองค์ประกอบของสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่างๆ เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังเกี่ยวข้องกับการเสริมสร้างการเจริญเติบโต เพิ่มความแข็งแรงของลำต้น กระตุ้นพัฒนาการของราก ช่วยในการสร้างดอกและการผลิตเมล็ด ทำให้พืชผลแก่เร็วและสม่ำเสมอมากขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2567) ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของพืช 0.2-0.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดนิวคลิอีก เอนไซม์ โคเอนไซม์ นิวคลีโอไทด์ และฟอสโฟลิปิด การขาดฟอสฟอรัสจะมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์อย่างมาก เช่น ออกดอกช้า จำนวนดอก ผล และเมล็ด ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตต่ำ (Berry and Miller, 1989)

จากการประเมินความต้องการธาตุฟอสฟอรัสของกระเจี๊ยบเขียว GAP สำหรับใช้สร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก พบว่า กระเจี๊ยบเขียวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัส 7-10 กิโลกรัม P ต่อไร่ (ตารางที่ 1) เทียบเท่าปริมาณปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5) 16-23 กิโลกรัม ในขณะที่คำแนะนำการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตสำหรับกระเจี๊ยบเขียว

ของกรมส่งเสริมการเกษตรแนะนำไว้ที่ 28 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) สำหรับความต้องการฟอสฟอรัสของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ที่ระยะ 15 30 45 และ 60 วันหลังปลูก พบว่ากระเจี๊ยบเขียวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัส 0.001-0.01, 0.03-0.12, 0.14-0.56 และ 0.28-0.84 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 3) ซึ่งในช่วง 45-60 วันหลังปลูกฟอสฟอรัสจะสะสมอยู่ในฝักมากที่สุด และมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.90-1.06 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 3 น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียว (A) ปลูกในดินร่วน และ (B) ปลูกในดินร่วนเหนียว

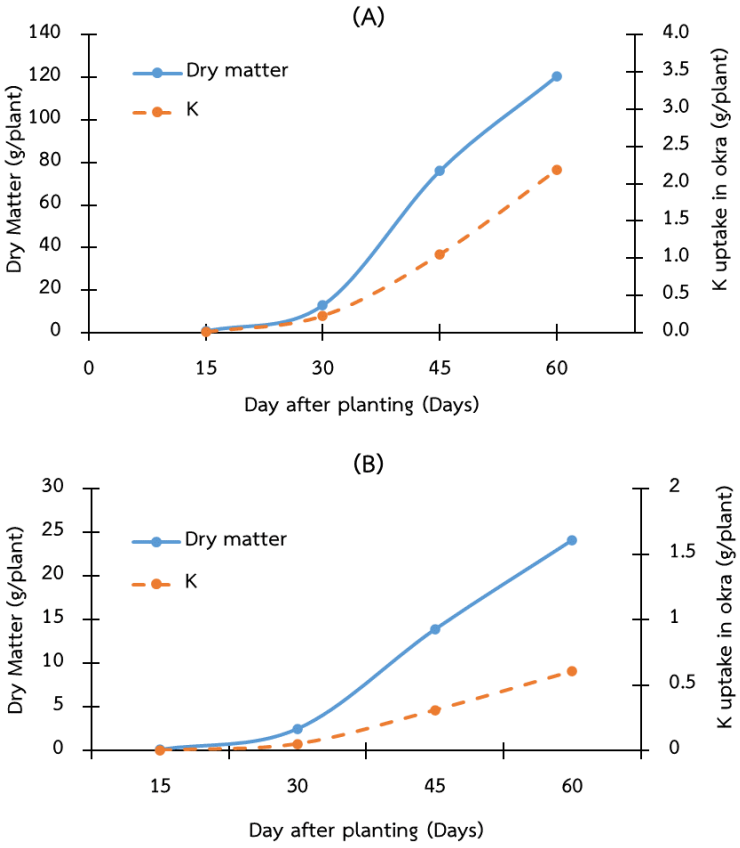
ที่มา: *ศรีสุดา รื่นเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม)
ทิพวรรณ แก้วหนู (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรี)

4.3 ปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมของกระเจี๊ยบเขียว

พืชแต่ละชนิดมีความต้องการโพแทสเซียมในปริมาณที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพืชอยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) โพแทสเซียมมีบทบาทในการช่วยสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลจากใบไปยังผล ช่วยให้ผลเจริญเติบโตเร็ว พืชแข็งแรง การได้รับโพแทสเซียมเพียงพอทำให้กระเจี๊ยบเขียวให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 15.8 เปอร์เซ็นต์ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระเจี๊ยบเขียวเพิ่มขึ้นประมาณ 36

เปอร์เซ็นต์มีความต้านทานต่อโรคบางชนิด แต่ในทางกลับกันการขาดโพแทสเซียมจะทำให้ขนาดฝักลดลง เพิ่มความไวต่อการเข้าทำลายจากโรคและแมลง (Hemmannuella *et al.*, 2019)

จากการประเมินความต้องการธาตุโพแทสเซียมของกระเจี๊ยบเขียว GAP สำหรับใช้สร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก พบว่า กระเจี๊ยบเขียวมีการดูดใช้โพแทสเซียม 18-20 กิโลกรัม K ต่อไร่ (ตารางที่ 1) เทียบเท่าปริมาณปุ๋ยโพแทช (K_2O) 22-24 กิโลกรัม ในขณะที่คำแนะนำการใช้ปุ๋ยโพแทชสำหรับกระเจี๊ยบเขียวของกรมส่งเสริมการเกษตรแนะนำไว้ที่ 46 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) สำหรับความต้องการโพแทสเซียมของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ที่ระยะ 15 30 45 และ 60 วันหลังปลูก พบว่ากระเจี๊ยบเขียวมีการดูดใช้โพแทสเซียม 0.001-0.01, 0.04-0.23, 0.29-1.05 และ 0.66-2.19 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 4) ซึ่งในช่วง 60 วันหลังปลูกโพแทสเซียมสะสมอยู่ในฝักมากที่สุด และมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 1.81-2.93 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 4 น้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียว (A) ปลูกในดินร่วน และ (B) ปลูกในดินร่วนเหนียว

ที่มา: *ศรีสุดา รื่นเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม)
ทิพวรรณ แก้วหนู (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรี)

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียว GAP ที่ปลูกในดินร่วน ต.ทุ่งลูกนก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม และในดินร่วนเหนียว ต.สระยายโสม อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี สำหรับใช้สร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก

ส่วนของพืช	น้ำหนักแห้ง	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร (%)			ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหาร (กก./ไร่)		
	(กก./ไร่)	N	P	K	N	P	K
ดินร่วน							
ผลผลิตรวม	3,443						
ต้น	244	1.06	0.62	2.06	2.59	1.51	5.03
ใบ	557	3.06	0.92	1.62	17.04	5.12	9.02
ฝัก	323	2.80	1.01	1.81	9.04	3.26	5.85
รวม	**1,124**				**28.67**	**9.89**	**19.90**
ดินร่วนเหนียว							
ผลผลิตรวม	2,935						
ต้น	142	0.90	0.82	2.77	1.28	1.16	3.93
ใบ	190	3.02	1.50	2.63	5.74	2.85	5.00
ฝัก	311	2.14	0.90	2.93	6.65	2.80	9.11
รวม	**643**				**13.67**	**6.81**	**18.04**

ที่มา: *ศรีสุดา รื่นเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม)
ทิพวรรณ แก้วหนู (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรี)

ตารางที่ 2 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียว GAP ที่ปลูกในดินร่วน ต.ทุ่งลูกนก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม และในดินร่วนเหนียว ต.สระยายโสม อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี

ระยะเวลาหลังปลูก	ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหาร (กรัม/ต้น)		
(วัน)	N	P	K
ดินร่วน			
15	0.03	0.01	0.01
30	0.40	0.12	0.23
45	1.71	0.56	1.05
60	1.81	0.84	2.19
ดินร่วนเหนียว			
15	0.003	0.001	0.001
30	0.10	0.03	0.04
45	0.47	0.14	0.29
60	0.53	0.28	0.66

ที่มา: *ศรีสุดา รื่นเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม)
ทิพวรรณ แก้วหนู (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรี)

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียว GAP ที่ปลูกในดินร่วน ต.ทุ่งลูกนก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม และในดินร่วนเหนียว ต.สระยายโสม อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี

ระยะเวลาหลังปลูก (วัน)	ส่วนของพืช	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร (%)		
		N	P	K
15	ต้น+ใบ	3.83-3.97	1.05-1.30	1.38-1.47
30	ต้น	2.69	0.63	2.24
	ใบ	3.18	1.02	1.64
45	ต้น	1.06-1.70	0.62-0.84	1.80-2.66
	ใบ	3.06-4.06	0.84-1.05	1.16-2.17
	ฝัก	2.54-2.90	0.94-1.06	0.87-1.59
60	ต้น	0.63-1.10	0.50-0.82	2.06-2.77
	ใบ	2.34-3.02	0.82-0.92	1.62-2.77
	ฝัก	2.14-2.80	0.90-1.01	1.81-2.93

ที่มา: *ศรีสุดา รื่นเจริญ* (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม)

ทิพวรรณ แก้วหนู (การทดลองศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรี)

5. การปลูกและคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับกระเจี๊ยบเขียว

5.1 การเตรียมดินปลูกกระเจี๊ยบเขียว

การเตรียมดินให้เหมาะสมสำหรับกระเจี๊ยบเขียวมีความสำคัญมาก เนื่องจากกระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชที่มีอายุในการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ยาวนานต่างจากพืชผักทั่ว ๆ ไป โดยการไถตากดินไว้อย่างน้อย 15 วัน เพื่อช่วยฆ่าเชื้อโรคในดิน จากนั้นไถพรวนดินให้ดินร่วนซุย ยกร่องปลูกให้มีขนาดความกว้าง 80-100 เซนติเมตร ซึ่งการไถยกร่องจะช่วยให้การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดีขึ้น พร้อมใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอกที่สลายตัวแล้วอัตรา 1 ตันต่อไร่ และไถพรวนคลุกเคล้าลงดินทิ้งไว้อย่างน้อย 7-14 วันก่อนปลูกกระเจี๊ยบเขียว

5.2 การปลูกกระเจี๊ยบเขียว

การปลูกแบบหยอดเมล็ดโดยตรงในแปลงปลูกเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกระเจี๊ยบเขียว ทำให้รากกระเจี๊ยบเขียวไม่กระทบกระเทือน โดยใช้ระยะระปลูกระหว่างต้น 20-30 เซนติเมตร จากนั้นใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซารองก้นหลุมอัตรา 3 กรัมต่อหลุม พร้อมหยอดเมล็ดพันธุ์กระเจี๊ยบเขียว 1-2 เมล็ดต่อหลุม โดยอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์กระเจี๊ยบเขียวต่อไร่ ประมาณ 1 กิโลกรัมต่อไร่ และฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืชในแปลงปลูก เมื่อกระเจี๊ยบเขียวอายุได้ 15 วัน ควรถอนแยกกระเจี๊ยบเขียวให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม เพื่อไม่ให้เกิดการแก่งแย่งธาตุอาหารของพืชของต้นกระเจี๊ยบเขียวที่อาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้

5.3 การให้ปุ๋ย

ก่อนปลูกควรเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร เพื่อทราบปริมาณธาตุอาหารในดินสำหรับนำมาใช้ในการให้ปุ๋ยกระเจี๊ยบเขียว โดยอาศัยระดับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (%OM) เทียบเท่าเป็นอัตราการปุ๋ยใช้ไนโตรเจน และใช้ระดับ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable K) เทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทช โดยคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับกระเจี๊ยบเขียว แสดงใน**ตารางที่ 4**

ตารางที่ 4 การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับกระเจี๊ยบเขียว (กรมวิชาการเกษตร, 2553)

รายการวิเคราะห์	ค่าวิเคราะห์	ปริมาณธาตุอาหารอัตราแนะนำ
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)	<1.5	24 กก. N ต่อไร่
	1.5-2.5	18 กก. N ต่อไร่
	>2.5	12 กก. N ต่อไร่
2) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P, mg/kg)	<10	16 กก. P_2O_5 ต่อไร่
	10-20	8 กก. P_2O_5 ต่อไร่
	>20	4 กก. P_2O_5 ต่อไร่
3) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K, mg/kg)	<60	16 กก. K_2O ต่อไร่
	60-100	12 กก. K_2O ต่อไร่
	>100	6 กก. K_2O ต่อไร่

หมายเหตุ: การให้ปุ๋ยกระเจี๊ยบเขียว แบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ ดังนี้

ครั้งที่ 1 กระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 15 วันหลังปลูก ด้วยการใส่ปุ๋ย 1/2N+P+K

ครั้งที่ 2 กระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 30 วันหลังปลูก ด้วยการใส่ปุ๋ย 1/2N

โดยใส่ข้างแถวปลูกพร้อมพรวนดินกลบและให้น้ำทันที

5.4 การให้น้ำกระเจี๊ยบเขียว

หลังปลูกกระเจี๊ยบเขียวควรให้น้ำทันที กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชที่ชอบความชื้นปานกลาง ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนควรให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ อย่าปล่อยให้ดินแห้ง โดยเฉพาะในช่วงออกดอกและติดฝัก (อายุ 45 วันหลังปลูก) อาจให้น้ำวันเว้นวัน วันละประมาณ 30-60 นาทีต่อครั้ง การให้น้ำอย่างสม่ำเสมอจะทำให้การเจริญเติบโตดีและผลผลิตมีคุณภาพ ข้อควรระวัง ต้องไม่ให้น้ำจนชื้นแฉะหรือปล่อยให้มีน้ำท่วมขังในแปลง จะทำให้ต้นเน่าเสียได้

5.5 การเก็บเกี่ยวกระเจี๊ยบเขียว

การเก็บเกี่ยวฝักกระเจี๊ยบเขียวควรเก็บในเวลาเช้าตรู่ ประมาณ 6.00-9.00 น. ฝักกระเจี๊ยบเขียวจะเกิดการเหี่ยวหรือชอกช้ำได้ง่าย เนื่องจากเก็บเกี่ยวในระยะฝักอ่อน มีอัตราการหายใจสูง จึงควรใช้มีดเล็กหรือกรรไกรตัดแต่งกิ่งที่มีความคมสำหรับตัดขั้วฝักให้ตรง มีก้านติดไม่เกิน 1 เซนติเมตร (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) การเก็บเกี่ยวกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกต้องมีความยาวฝัก 7.5-11.5 เซนติเมตร จึงจำเป็นต้องหมั่นเก็บเกี่ยวทุกวันเพื่อไม่ให้ขนาดฝักกระเจี๊ยบเขียวยาวเกินค่ามาตรฐาน รูปร่างฝักเป็น 5 เหลี่ยม ฝักจะต้องตรง ไม่หงิกงอ ไม่มีตำหนิจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง โดยเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่อายุ 45 วันหลังปลูก และเก็บเกี่ยวได้ทุกวันจนกระทั่งหมดอายุการให้ผลผลิต โดยทั่วไปจะสามารถเก็บเกี่ยวกระเจี๊ยบเขียวได้ถึง 80-100 วันหลังปลูก ในแปลงที่กระเจี๊ยบเขียวที่มีการเจริญเติบโตดีและมีใบมากเกินไป ทำให้แสงแดดส่องไม่ถึงฝักด้านล่าง ฝักจะมีสีซีด ควรตัดใบทิ้งบ้างเพื่อให้ต้นโปร่ง ช่วยให้การถ่ายเทอากาศดีขึ้น ป้องกันการเกิดโรคจากเชื้อรา และแมลงรบกวน การตัดใบทำได้ในระหว่างเก็บเกี่ยว คือ ให้

ตัดใบทิ้งทีละใบพร้อม ๆ กับการตัดฝักทุกครั้ง อย่างไรก็ตามการตัดใบมากเกินไป จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้นและฝักกระเจี๊ยบเขียว การตัดใบจึงขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วย

ข้อควรพึงระวังในการปลูกกระเจี๊ยบเขียว

1. หมั่นสำรวจโรคและแมลงอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันไม่ให้กระเจี๊ยบเขียวถูกทำลายซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพผลผลิตกระเจี๊ยบเขียวเป็นอย่างมาก
2. ควรพักดินสำหรับการปลูกกระเจี๊ยบเขียวในฤดูปลูกถัดไปอย่างน้อย 3-4 เดือน หรือปลูกพืชหมุนเวียนต่อจากกระเจี๊ยบเขียวเพื่อลดการระบาดของโรคและแมลง

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2567. ธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช. แหล่งข้อมูล: http://osl101.ldd.go.th/easysoils/s_prop_nutri01.htm. สืบค้นเมื่อ: 16 มกราคม 2567.

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการลำดับที่: 001/2553 ISBN 978-974-436-749-5. 122 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2567. Gap online: กระเจี๊ยบเขียว. แหล่งข้อมูล: https://gap.doa.go.th/. สืบค้นเมื่อ: 4 มิถุนายน 2567.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร: กระเจี๊ยบเขียว. แหล่งข้อมูล: https://shorturl.asia/MnGNZ สืบค้นเมื่อ: 4 มิถุนายน 2567.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2567. ระบบให้บริการข้อมูลสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร. แหล่งข้อมูล: https://production.doae.go.th/service/site/login สืบค้นเมื่อ: 4 มิถุนายน 2567.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 9. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 528 หน้า.

มูลนิธิหมอชาวบ้าน. 2566. 7 ประโยชน์กระเจี๊ยบเขียว ที่คุณอาจไม่รู้. แหล่งข้อมูล: https://empowerliving.doctor.or.th/case/1034. สืบค้นเมื่อ: 4 มิถุนายน 2567.

วิจิตร วังใน. 2550. ธาตุอาหารกับการผลิตพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. ISBN 978-974-660-001-9. 371 หน้า.

สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. 2567. ตลาดส่งออกสำคัญของไทยรายสินค้า. แหล่งข้อมูล: https://shorturl.asia/4K2BL สืบค้นเมื่อ: 17 มกราคม 2567.

Agribot. 2023. Nutrient Management in Okra. Available at: https://agri.bot/docs/nutrient-management-in-okra/. Accessed: June 4, 2024.

Barry, D.A. J. and M.H. Miller. 1989. Phosphorus nutrition requirement of maize seedlings for maximum yield. Agronomy Journal. 81: 95-99.

Hemmannuella, C. S., Emmanuel, M. P., Rafael, L. S.M., Paulo M. A. C., and E. P. Walter. 2019. Production and quality of okra produced with mineral and organic fertilization. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental. 23(2): 97-102.

Lamont, W.J. 1999. Okra – a versatile vegetable crop. Hort. Tech. 9 (2): 179-184.

AMPUT
ELECTRONIC SCALE
70.05