ข้อจำกัดและแนวทางการจัดการการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์[1/]

Limitations and management strategies of organic fertilizer application in corn production[1/]

ผู้ทำสัมมนา **นางสาวสุภาวดี หารลี[2/]**

อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่มีบทบาทต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ของประเทศไทย โดยในปีการผลิต 2565/66 มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 6.81 ล้านไร่ ลดลงจากปี 2564/65 ประมาณ 0.05 ล้านไร่ ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการลดลงของพื้นที่เพาะปลูกคือราคาปัจจัยการผลิตที่เพิ่มขึ้น เช่น ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แต่ราคาที่เพิ่มสูงของปุ๋ยเคมีทำให้เกษตรกรเริ่มหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากมีศักยภาพในการปรับปรุงสมบัติของดิน เพิ่มอินทรียวัตถุ และส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดิน ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อดีหลายด้าน แต่ยังมีข้อจำกัด คือ ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่ต่ำ เมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีในหน่วยน้ำหนักที่เท่ากัน หากพืชต้องการได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอจำเป็นต้องใช้ในปริมาณมาก ส่งผลให้ค่าแรงและค่าขนส่งเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งการปลดปล่อยธาตุอาหารช้าและไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่ตรงกับความต้องการธาตุอาหารของพืชในแต่ละระยะ ราคาปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาดอาจสูงกว่าปุ๋ยเคมี นอกจากนี้ ปุ๋ยอินทรีย์บางชนิดอาจปนเปื้อนเชื้อโรค เมล็ดวัชพืช หรือโลหะหนัก หากไม่ได้ผ่านกระบวนการหมักที่ถูกต้อง ทำให้เกิดปัญหาในการจัดการแปลงเพราะปลูกและลดผลผลิตในระยะยาว การจัดการข้อจำกัดสามารถดำเนินการได้ผ่านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตและการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง โดยมุ่งเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหารต่อหน่วยน้ำหนัก ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารให้เหมาะสมกับระยะการเจริญเติบโตของพืช และลดความเสี่ยงการปนเปื้อน เช่น การหมักด้วยอุณหภูมิและจุลินทรีย์ที่เหมาะสม รวมถึงการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร ดังนั้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพต้องมีการจัดการที่เหมาะสมทั้งด้านการผลิต อัตราและช่วงเวลาในการใส่ รวมถึงการบูรณาการกับระบบการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสาน เพื่อจัดการข้อจำกัดของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ให้การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืน

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์; ความอุดมสมบูรณ์ของดิน; ธาตุอาหาร

[1/]เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนาพืชไร่

[2/]นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อภาคการเกษตรของประเทศไทย เนื่องจากเป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) ในปีการผลิต 2565/66 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวน 6.81 ล้านไร่ ลดลงจาก 6.86 ล้านไร่ ในปี 2564/65 โดยสาเหตุสำคัญมาจากราคาปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ยเคมีและน้ำมันเชื้อเพลิงที่ปรับตัวสูงขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของเกษตรกรเพิ่มขึ้น ประกอบกับราคาของพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น เช่น อ้อยและมันสำปะหลังที่อยู่ในระดับดี ทำให้เกษตรกรบางส่วนปรับเปลี่ยนพื้นที่เพาะปลูกไปสู่พืชที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566)

“ปุ๋ย” เป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช และหมายถึงสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ ซึ่งใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดิน (โสพส, 2559) ปุ๋ยสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพ ในปัจจุบันมีแนวโน้มการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด เนื่องจากมีคุณสมบัติในการปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุที่ช่วยเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดิน ช่วยปรับโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น ส่งผลให้ดินโปร่ง ร่วนซุย และมีการระบายน้ำและอากาศดีขึ้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2565) ปุ๋ยอินทรีย์ยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุที่พืชต้องการในการเจริญเติบโต แม้ปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดจะน้อยกว่าปุ๋ยเคมี (ธงชัย, 2546) เมื่อปุ๋ยอินทรีย์ได้รับความชื้นที่เหมาะสม ธาตุอาหารจะถูกปลดปล่อยออกมาผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (mineralization) โดยจุลินทรีย์ เปลี่ยนจากรูปสารประกอบอินทรีย์ที่พืชไม่สามารถใช้ได้โดยตรง ให้เป็นรูปอนินทรีย์ที่พืชสามารถดูดซึมได้ กระบวนการนี้มีลักษณะการปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าและสม่ำเสมอ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยและการตอบสนองของพืชต่อธาตุอาหาร อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อจำกัดที่สำคัญ โดยเฉพาะปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่มีอยู่น้อย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; ยงยุทธ และคณะ, 2551) หากต้องการให้พืชได้รับปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอ จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณมาก ส่งผลให้สิ้นเปลืองแรงงานและค่าใช้จ่ายในการขนย้ายสูง (ธงชัย, 2546; อำนาจ, 2548) ถึงแม้ว่าจะมีจุลธาตุอยู่ในระดับเพียงพอหรือเกือบเพียงพอต่อความ

ต้องการของพืช แต่ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักที่ต่ำยังเป็นอุปสรรคต่อการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อย่างแพร่หลายในระบบการผลิตเชิงพาณิชย์ ดังนั้น การทำความเข้าใจทั้ง ข้อดี และ ข้อจำกัดของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ตลอดจนหา แนวทางการจัดการที่เหมาะสม จึงเป็นประเด็นสำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้สอดคล้องกับแนวคิดการเกษตรที่ยั่งยืนและลดต้นทุนของเกษตรกรในระยะยาว

2. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.1 สถานการณ์การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และมีความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) โดยสถานการณ์การผลิตของไทยในปี 2567/68 เนื้อที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อยู่ที่ 6.46 ล้านไร่ ปริมาณผลผลิต 4.76 ล้านตัน ในปี 2567 ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีปริมาณ 8.54 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 8.37 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ปริมาณการนำเข้า 2.1 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปริมาณ 1.33 ล้านตัน ในปี 2566 ราคาที่เกษตรกรขายได้ ความชื้นไม่เกิน 14.5 เปอร์เซ็นต์ กิโลกรัมละ 8.37 บาท ราคาข้าวโพดมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของจำนวนประชากรสัตว์ในภาคอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะไก่เนื้อ ไก่ไข่ และสุกร เป็นต้น ทำให้ความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567)

ตารางที่ 1 ปริมาณความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปี 2566 - 2568

ปี	ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ล้านตัน)
2566	8.37
2567	8.54
2568	8.71

หมายเหตุ: ข้อมูลประมาณการ ณ เดือนธันวาคม 2565
ที่มา: สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย (2565)

2.2 ปัญหาในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.2.1 แหล่งน้ำ การขาดแคลนน้ำเป็นอุปสรรคสำคัญที่สำคัญ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีการพึ่งพาน้ำฝนเป็นหลักหรือแหล่งผิวน้ำหน้าดิน ปริมาณน้ำไม่เพียงพอตลอดฤดูกาล และการเกิดภาวะฝนทิ้ง

หากไม่มีการจัดการน้ำที่ดี อาจทำให้ข้าวโพดไม่ได้รับน้ำอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ส่งผลให้ผลผลิตของข้าวโพดลดลง หรือเสียหายได้

2.2.2 การเลือกพื้นที่ การเลือกพื้นที่ไม่เหมาะสมนำไปสู่ปัญหาเรื่องดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินเป็นกรดหรือเป็นด่างเกินไป มีปัญหาน้ำท่วมขัง และชนิดของดินปลูกไม่เหมาะสมจะทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น

2.2.3 การวางแผนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การวางแผนที่ไม่รอบคอบ เช่น การกำหนดช่วงเวลาในการปลูกไม่เหมาะสมกับสภาพอากาศและปริมาณน้ำ การไม่มีการวางแผนการปลูกตามความต้องการของตลาด การประเมินความต้องการของตลาดผิดพลาดหรือคาดการณ์คำนวนต้นทุนและผลตอบแทนที่ไม่แม่นยำอาจจะทำให้เกษตรกรขาดทุน

2.2.4 พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การเลือกพันธุ์ไม่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และสภาพอากาศ หรือพันธุ์ไม่ต้านทานต่อโรคและแมลงในท้องถิ่น อาจจะส่งผลให้ผลผลิตต่ำ และเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ยังมีราคาสูง

2.2.5 การเตรียมเมล็ดพันธุ์ ปัญหาเมล็ดพันธุ์ไม่มีคุณภาพ เปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำ หรือมีการปนเปื้อนจากศัตรูพืช ส่งผลให้การงอกไม่สม่ำเสมอ ต้นกล้าไม่แข็งแรงอาจจะนำไปสู่ปัญหาโรคแมลงได้

2.2.6 การเตรียมดิน ปัญหาในการเตรียมดินที่ไม่ดี ดินแข็ง อัดแน่น วัชพืชมาก หรือขาดอินทรีย์วัตถุ จะขัดขวางการเจริญเติบโตของรากข้าวโพด ทำให้การดูดซึมน้ำและธาตุอาหารไม่มีประสิทธิภาพส่งผลให้ผลผลิตลดลง

2.2.7 การปลูกและดูแลรักษาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การปลูกที่ผิดวิธี เช่น ระยะห่างระหว่างต้นหรือระหว่างแถวไม่เหมาะสม ความลึกในการปลูกไม่ถูกต้อง รวมถึงปัจจัยในการผลิต เช่น ปุ๋ยเคมี สารเคมีที่ใช้กำจัดศัตรูพืชและแมลงที่มีราคาสูง

2.2.8 การให้น้ำ การให้น้ำไม่สม่ำเสมอ ให้น้ำน้อยเกินไปในช่วงเวลาที่พืชต้องการมาก หรือให้น้ำมากเกินไปจนท่วมขัง ค่าใช้จ่ายในการให้น้ำมีต้นทุนสูง และการขาดแคลนวัสดุอุปกรณ์ระบบให้น้ำ

2.2.9 การป้องกันกำจัดวัชพืชในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ วัชพืชเป็นคู่แข่งสำคัญของข้าวโพดในการแย่งชิงน้ำ ธาตุอาหาร แสงแดด หากไม่มีการกำจัดจะทำให้ผลผลิตลดลง และสารเคมีป้องกันกำจัดวัชพืชมีราคาแพง

2.2.10 การป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช เช่น หนอนกระทู้ข้าวโพด โรคไหม้แผลใหญ่ หรือโรคราสนิม สามารถสร้างความเสียหายต่อผลผลิตได้ ปัญหาในการป้องกันสารเคมีกำจัดโรคและแมลงศัตรูของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีราคาแพง

2.2.11 การเก็บเกี่ยว การเก็บเกี่ยวที่ผิดช่วงเวลา เช่น การเก็บเกี่ยวเร็วเกินไปทำให้เมล็ดลีบน้ำหนักเบา หรือเก็บช้าเกินไปทำให้เมล็ดร่วงเสียหาย หรือมีความชื้นสูงเสี่ยงต่อการเกิดเชื้อรา อาจทำให้คุณภาพผลผลิตลดลง

ประเด็นปัญหาที่สำคัญในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรไทยส่วนใหญ่ มักเกิดขึ้นในหลายด้านของกระบวนการผลิต โดยเฉพาะในด้านการปลูกและการดูแลรักษา โดยเฉพาะในเรื่องของการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นปัจจัยการผลิตที่มีราคาสูง ส่งผลให้ต้นทุนการเพาะปลูกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (สมพงษ์, 2565)

2.3 ความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์และมีความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในดินแทบทุกเนื้อดิน แต่ดินที่มีความเหมาะสมควรเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีปริมาณธาตุอาหารพืชที่อุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง ระบายน้ำดี ค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมกับการผลิตข้าวโพดมีความเป็นกรดเล็กน้อย มีค่า pH อยู่ในช่วง 5.5-7.5 ถึงแม้ชุดดินในพื้นที่จะมีความอุดมสมบูรณ์พอควร แต่ด้วยการปลูกในพื้นที่เดิมเป็นเวลานานทำให้สภาพดินมีความสมบูรณ์ลดลง การจัดการดินด้วยการไถกลบเศษซากข้าวโพด เพื่อให้ธาตุอาหารกลับคืนสู่ดิน ช่วยรักษาดินไม่ให้เสื่อมโทรม สามารถใช้ในการผลิตพืชได้อย่างยั่งยืน โดยปริมาณธาตุอาหารในเศษซากต้นและใบข้าวโพดที่ให้ผลผลิต 1 ตันต้อไร่ มีปริมาณคาร์บอน 600 กิโลกรัม C/ไร่ ไนโตรเจน 5 กิโลกรัม N/ไร่ ฟอสฟอรัส 0.6 กิโลกรัม P/ไร่ (1.4 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่) โพแทสเซียม 4 กิโลกรัม K/ไร่ (4.8 กิโลกรัม K_2O/ไร่) คิดเป็นต้นทุนธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี 330 บาท/ไร่ ซึ่งความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดที่ดูดใช้เพื่อสร้างผลผลิต 1 ตัน/ไร่ คือ ไนโตรเจน 18 กิโลกรัม N/ไร่ ฟอสฟอรัส 3.5 กิโลกรัม P/ไร่ (8 กิโลกรัม P_2O_5 /ไร่) โพแทสเซียม 9 กิโลกรัม K/ไร่ (11 กิโลกรัม K_2O/ไร่) ทั้งนี้การแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2563) เรื่องช่วงเวลาการใส่ปุ๋ย มีดังต่อไปนี้ (พรนภา และคณะ, 2561; กรมวิชาการเกษตร, 2563)

1) คลุกเมล็ดด้วยปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 500 กรัม ต่อเมล็ด 3-5 กิโลกรัม
2) ใส่ปุ๋ยรองพื้นพร้อมปลูก ด้วยปุ๋ยที่มีครบทั้ง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพื่อให้พืชตั้งตัวได้ดี
3) ระยะเริ่มงอกพืชใช้ธาตุอาหารปริมาณน้อย จึงใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อายุ 20-30 วัน เพื่อเตรียมต้นให้สมบูรณ์พร้อมในการออกดอก ซึ่งระยะออกดอกและติดฝักพืชเจริญเติบโตสูงสุดการดูดใช้ธาตุอาหารเริ่มลดน้อยลง

อย่างไรก็ตามพื้นที่ปลูกกับปริมาณการใส่ปุ๋ยต่างก็มีความสัมพันธ์กัน โดยดินแต่ละชนิดมีความอุดมสมบูรณ์ของดินไม่เท่ากัน การใส่ปุ๋ยอย่างถูกต้องโดยใช้ให้ถูกสูตร ถูกเวลา ถูกวิธี และถูกปริมาณการจัดการปุ๋ยให้สอดคล้องกับช่วงเวลา ซึ่งหลักการใช้ปุ๋ยเหล่านี้มีความสำคัญสำหรับการใส่ปุ๋ยให้ต้น

ข้าวโพด การใช้ปุ๋ยตามลักษณะเนื้อดินสำหรับข้าวโพด โดยแบ่งกลุ่มของเนื้อดินออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ดินร่วนเหนียวสีดำ ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์สูง ดินเหนียวสีแดง และดินร่วนเหนียว มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และดินร่วนปนทราย มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำนั้น มีคำแนะนำการใช้ปุ๋ยจากกรมวิชาการเกษตร (2564) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การใช้ปุ๋ยกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตามลักษณะเนื้อดิน

เนื้อดิน	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 รองพื้นพร้อมปลูก	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่อข้าวโพดอายุ 25-30 วัน
ดินเหนียวสีดำ	ใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่	ใส่ปุ๋ย 21-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หรือใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่
ดินเหนียวสีแดง ดินร่วนเหนียว	ใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่	ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่
ดินร่วนปนทราย	ใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 60 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยอินทรีย์ 500 – 1000 กิโลกรัมต่อไร่	ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2564)

2.4 ธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (กรมวิชาการเกษตร, 2564; กลุ่มอารักขาพืช สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร, 2567)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต้องการธาตุอาหารที่หลากหลาย เพื่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่เหมาะสม โดยเฉพาะธาตุอาหารหลักที่จำเป็นในปริมาณมาก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม นอกจากธาตุอาหารหลักแล้ว ข้าวโพดยังต้องการธาตุอาหารรองและจุลธาตุในปริมาณที่น้อยกว่า แต่ก็ยังมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด เช่น แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), กำมะถัน (S), และ โบรอน (B) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 ธาตุไนโตรเจน มีบทบาทสำคัญต่อข้าวโพดตลอดอายุการเจริญเติบโต ตั้งแต่ระยะแรกของการเจริญเติบโตจนถึงระยะสร้างเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งระยะออกดอก หากต้นข้าวโพดที่ขาดไนโตรเจนจะมีอาการชะงักการเจริญเติบโต ต้นเตี้ย แคระแกรน ใบเปลี่ยนเป็นสีเหลืองซีด โดยเริ่มจากเส้นใบหลักแล้วจึงขยายไปปลายใบเป็นรูปตัววี เนื้อเยื่อตายจากปลายใบ (ภาพที่ 1) และผลผลิตลดลง

ที่มา : กลุ่มอารักขาพืช สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร (2567)

ภาพที่ 1 อาการขาดธาตุไนโตรเจนในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.4.2 ธาตุฟอสฟอรัส มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากและช่วยเสริมสร้างความอุดมสมบูรณ์ให้กับต้นและเมล็ด หากต้นข้าวโพดที่ขาดฟอสฟอรัส ในระยะต้นกล้า ใบจะมีสีม่วงจากปลายใบและขอบใบของใบล่าง เติบโตช้า ต้นเตี้ย และไม่แข็งแรง รากไม่เจริญหรือไม่พัฒนา ออกดอกช้ากว่าปกติ ลำต้นและฝักโค้งงอ เมล็ดบอดเบี้ยว การติดเมล็ดไม่สมบูรณ์หรือมีเมล็ดลีบมาก (ภาพที่ 2)

ที่มา : กลุ่มอารักขาพืช สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร (2567)

ภาพที่ 2 อาการขาดธาตุฟอสฟอรัสในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.4.3 ธาตุโพแทสเซียม มีบทบาทสำคัญในการสร้างการเจริญเติบโต ความแข็งแรงของลำต้นและการสร้างเมล็ด หากต้นข้าวโพดที่ขาดโพแทสเซียม ต้นข้าวโพดจะมีลักษณะเตี้ย แคระแกร็น ปล้องสั้นเติบโตช้า ลำต้นอ่อนแอหักล้มง่าย ใบแก่ขอบใบจะมีสีเหลืองซีด โดยเริ่มจากปลายใบลุกลาม

เข้าสู่เส้นกลางใบ หากมีอาการรุนแรงขอบใบจะแห้งมีสีน้ำตาลไหม้บริเวณปลายใบ ปลายฝักเรียว เมล็ดมีอาการเหี่ยวย่นหรือบิดเบี้ยว (ภาพที่ 3)

ที่มา : กลุ่มอารักขาพืช สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร (2567)

ภาพที่ 3 อาการขาดธาตุโพแทสเซียมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.4.4 ธาตุแมกนีเซียม มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด องค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ สำคัญต่อการสังเคราะห์แสง เป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการสร้างแป้งช่วยในการลำเลียงธาตุอาหารในพืช หากต้นข้าวโพดที่ขาดแมกนีเซียม ใบมีรอยแผลแต้มสีแดง และม่วงพร้อมกับมีรอยเป็นริ้วระหว่างเส้นใบ ใบเหลืองระหว่างเส้นใบและมีรอยริ้ว (ภาพที่ 4)

ที่มา : กลุ่มอารักขาพืช สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร (2567)

ภาพที่ 4 อาการขาดธาตุแมกนีเซียมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.4.5 ธาตุกำมะถัน มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด มีความจำเป็นต่อการสร้างโปรตีนในพืช จำเป็นสำหรับการสร้างสีเขียวของพืช ช่วยให้เกิดการหายใจของพืช หากต้น

ข้าวโพดที่ขาดกำมะถันใบอ่อนเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อนหรือสีเหลือง ใบมีขนาดเล็กลง ต้นอ่อนเติบโตช้าและชะงัก ลำต้นแข็งเรียว หรือเล็ก (ภาพที่ 5)

ที่มา : กลุ่มอารักขาพืช สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร (2567)

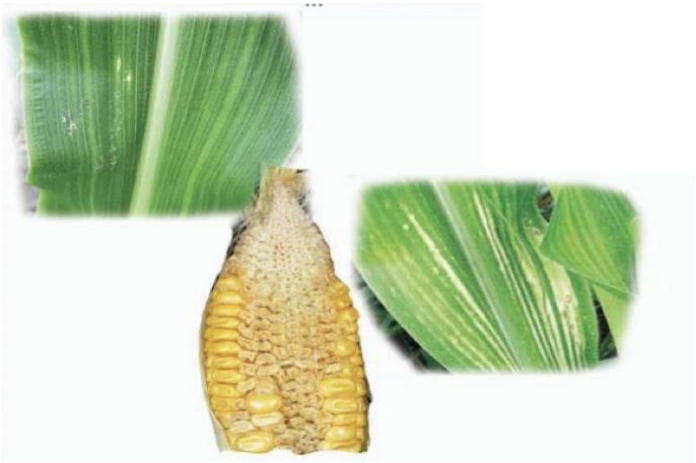
ภาพที่ 5 อาการขาดธาตุกำมะถันในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.4.6 ธาตุแคลเซียม มีบทบาทสำคัญต่อการแบ่งเซลล์ และการผสมสมเกสร เสริมสร้างความแข็งแรงให้กับพืชเพื่อเป็นเกราะป้องกันโรคแมลง หากต้นข้าวโพดขาดแคลเซียมใบอ่อนปลายใบแสดงจุดสีเขียวอ่อนหรือสีขาวหรือมีรอยเป็นริ้ว และมักงอไปข้างหลัง (ภาพที่ 6)

ที่มา : กลุ่มอารักขาพืช สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร (2567)

ภาพที่ 6 อาการขาดธาตุแคลเซียมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.4.7 ธาตุโบรอน มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด จำเป็นสำหรับช่วงที่กำลังเจริญเติบโตเช่น แตกใบอ่อน การเจริญของยอดและรากเกี่ยวข้องต่อการทำงานของฮอร์โมน หากต้นข้าวโพดขาดเกิดจุดสีเหลืองหรือขาวบนใบที่มีริ้วมันสีน้ำตาลการเจริญเติบโตชะงัก ต้นแคระแกร็น มีข้อปล้องสั้น (ภาพที่ 6)



ที่มา : กลุ่มอารักขาพืช สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร (2567)

ภาพที่ 7 อาการขาดธาตุโบรอนในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

3. ปุ๋ยและบทบาทต่อการผลิตพืช

ปุ๋ย คือ วัสดุที่มีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบ หรือสิ่งมีชีวิตที่ก่อให้เกิดธาตุอาหารพืช เมื่อใส่ลงไปในดินแล้วจะปลดปล่อย หรือสังเคราะห์ธาตุอาหารที่จำเป็นให้แก่พืช

3.1 ปุ๋ยเคมี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559)

ปุ๋ยเคมี คือสารประกอบอนินทรีย์ที่ให้ธาตุอาหารพืช เป็นสารประกอบที่ผ่านกระบวนการผลิตทางเคมี เมื่อใส่ลงไปในดินที่มีความชื้นที่เหมาะสม ปุ๋ยเคมีจะละลายให้พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว ปุ๋ยเคมีแบ่งเป็น 2 ประเภท

3.1.1 ปุ๋ยเดี่ยวหรือแม่ปุ๋ย คือ ปุ๋ยที่มีธาตุอาหาร คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เป็นองค์ประกอบอยู่หนึ่งหรือสองธาตุแล้วแต่ละชนิดของสารประกอบที่เป็นแม่ปุ๋ยนั้นๆ มีปริมาณของธาตุอาหารที่คงที่ และมีความเข้มข้นสูง มักนำมาใช้ผสมเป็นสูตรต่างๆ ได้แก่ ยูเรีย (46-0-0) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และ โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)

3.1.2 ปุ๋ยผสม ได้แก่ ปุ๋ย ที่มีการนำเอาแม่ปุ๋ยหลายชนิดมาผสมรวมกัน เพื่อให้ปุ๋ยที่ผสมได้ปริมาณและสัดส่วนของธาตุอาหาร N P และ K ตามที่ต้องการเพื่อให้ได้ปุ๋ยที่เหมาะสมที่จะใช้กับพืชและชนิดดินที่แตกต่างกัน

3.1.3 ข้อดีและข้อจำกัดของปุ๋ยเคมี

ข้อดีปุ๋ยเคมี มีปริมาณธาตุอาหารสูงใช้ในปริมาณน้อยก็เพียงพอ ยังปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้อย่างรวดเร็ว พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที มีราคาถูกเมื่อเทียบต่อหน่วยกับธาตุอาหารพืช หาซื้อได้ง่ายและสะดวกแต่การนำไปใช้

ข้อเสียปุ๋ยเคมี ปุ๋ยบางชนิดเช่นปุ๋ยแอมโมเนียม หากใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานอาจจะทำให้ดินเป็นกรด ไม่ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ความโปร่งร่วนซุย การระบายน้ำ การถ่ายเทอากาศ ปุ๋ยเคมีมีความเข้ม หากใส่มากเกินไปอาจจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณและคุณภาพผลผลิต ทำให้ดินเสื่อมโทรมลง

3.2 ปุ๋ยอินทรีย์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559)

ปุ๋ยอินทรีย์ คือสารประกอบที่ได้จากสิ่งที่มีชีวิต ได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการผลิตทางธรรมชาติปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย ระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี ทำให้รากพืชชอนไชไปหาธาตุอาหารได้ง่าย

ปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุอาหารน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี และธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ พืชไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินก่อนแล้วจึงปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปแบบของสารประกอบอนินทรีย์พืช จึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ ปุ๋ยที่ได้มาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสมบูรณ์ดจุลินทรีย์แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ มี 3 ประเภท ได้แก่

3.2.1. ปุ๋ยคอก (animal manure) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากมูลสัตว์ที่ขับถ่าย เช่น โค กระบือ สุกร เป็ด ไก่ และสะสมอยู่ตามพื้นคอกรวมทั้งวัสดุรองพื้นคอก โดยอาจจะใช้ในรูปปุ๋ยคอกแบบแห้งหรือนำไปหมักให้เกิดการย่อยสลายก่อนแล้วค่อยนำไปใช้

ที่มา : กรมการพัฒนาชุมชน (2560)

ภาพที่ 8 ปุ๋ยคอก

3.2.2 ปุ๋ยหมัก (compost) ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งได้จากการนำวัสดุอินทรีย์จากพืชและสัตว์ทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น หญ้าแห้ง ใบไม้ ฟางข้าว ซังข้าวโพด กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบจากโรงสีข้าว ขี้เลื่อยจากโรงงานแปรรูปไม้ เป็นต้น นำมาหมักในรูปของการกองรวมกัน แล้วปล่อยให้ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้อินทรีย์วัตถุที่มีลักษณะพรุน ยุ่ยและร่วนซุย มีสีดำหรือสีน้ำตาล ไม่มีกลิ่นเหม็น ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชและเป็นแหล่งอินทรียวัตถุให้แก่ดิน

ที่มา : ธีระพงษ์ (2564)

ภาพที่ 9 การทำปุ๋ยหมัก

3.2.3 ปุ๋ยพืชสด (green manure) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการปลูกพืชลงไปในพื้นที่แล้วไถกลบขณะพืชยังสดอยู่ ปุ๋ยพืชสดที่ดีมีลักษณะเป็นพืชตระกูลถั่วในระยะช่วงออกดอก จนถึงดอกบานเต็มที่ ซึ่งเป็นช่วงที่มีธาตุไนโตรเจนในลำต้นสูง แล้วปลดปล่อยให้เน่าเปื่อยผุพัง ย่อยสลายเป็นธาตุอาหารแก่พืช ปุ๋ยสดที่กรมพัฒนาที่ดินส่งเสริม มี 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วพร้า ปอเทือง โสนอัฟริกัน และถั่วมะแฮะ นอกจากให้ธาตุไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักแก่พืชแล้วยังให้ธาตุอาหารรองอื่นๆ ที่จำเป็นแก่พืชด้วย ประโยชน์ของปุ๋ยพืชสด เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชและเป็นแหล่งอินทรียวัตถุให้แก่ดิน

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

ภาพที่ 10 ปุ๋ยพืชสด ปอเทือง

3.2.4 ข้อดีและข้อจำกัดของปุ๋ยอินทรีย์

ข้อดีปุ๋ยอินทรีย์ ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น ปุ๋ยอินทรีย์อยู่ในดินนาน จะค่อยๆปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชอย่างต่อเนื่อง ช่วยส่งเสริมให้สิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ในดิน เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะเสริมให้ปุ๋ยเคมีเป็นประโยชน์แก่พืชมากขึ้น

ข้อเสียปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณธาตุอาหารหลักอยู่น้อย ใช้เวลานานในการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่พืช เมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์เทียบกับปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์จะมีราคาแพงกว่า และยังหาซื้อได้ยากต้องใช้ในปริมาณมากไม่สะดวกต่อการนำไปใช้

3.3 ปุ๋ยแบบผสมผสาน (โสพส, 2559)

ปุ๋ยแบบผสมผสาน คือการนำปุ๋ยหลายชนิดมาผสมรวมกัน เพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารที่ครบถ้วนเหมาะสมกับความต้องการพืชแต่ละชนิด ซึ่งอาจจะรวมถึงการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เช่นปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี หรือการใส่ปุ๋ยเคมีหลายสูตรผสมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย ลดต้นทุน และปรับปรับปรุงคุณภาพดิน การใช้ปุ๋ยต่างชนิดกันทำให้ได้ระบบการจัดการดินที่ดี 2 ระบบคือ 1) ระบบเกษตรอินทรีย์ใช้ปุ๋ยผสมผสานกับปุ๋ยชีวภาพ และ 2) ระบบที่ใช้ปุ๋ยเคมีผสมผสานกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ โดยใช้ปุ๋ยแต่ละอย่างในแต่ละช่วงเวลา และวิธีการที่เหมาะสมกับแต่ละพืช ความอุดมสมบูรณ์ของดินมีความสัมพันธ์กับการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานโดยปกติดินมีอินทรีย์วัตถุสูง จะปลดปล่อยไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ได้ค่อนข้างมาก ยังมีศักยภาพในการให้ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ค่อนข้างดี ซึ่งหลายธาตุเพียงพอสำหรับพืช หากใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเสริมบางธาตุก็ใช้ในอัตราที่ต่ำ ดังนั้นยังสามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินได้แก่ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงในดินย่อมมีผลทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

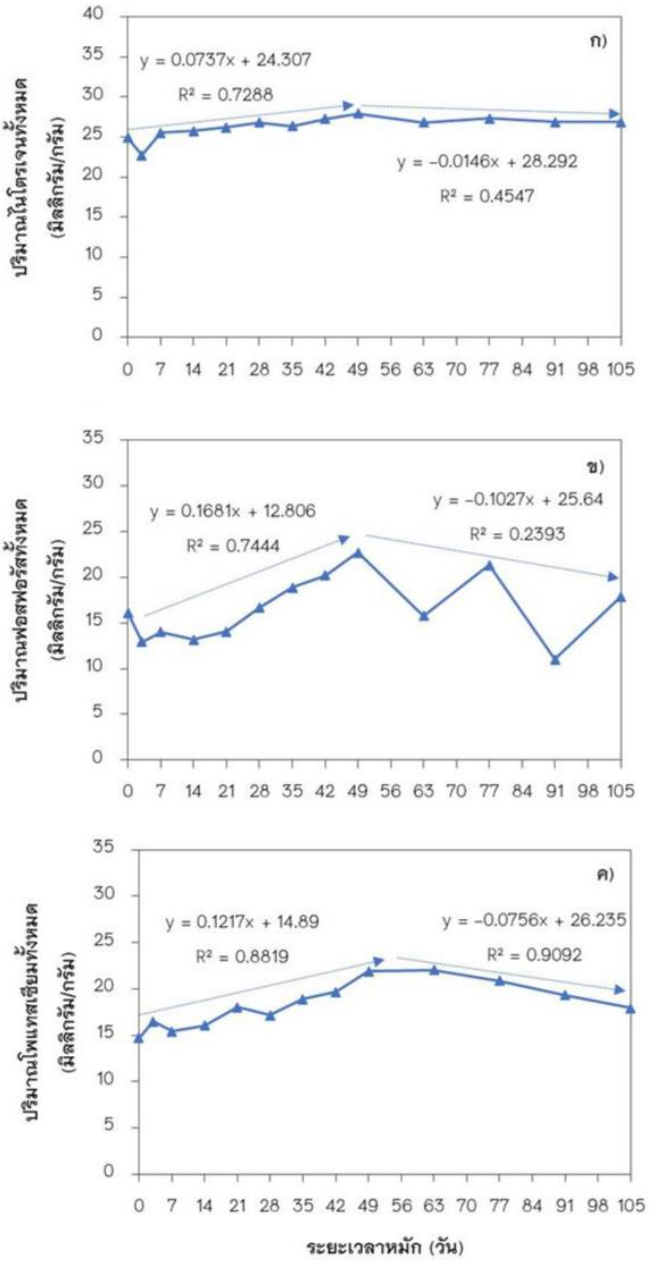
4. ข้อจำกัดและแนวทางการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชที่มีความต้องการธาตุอาหารในปริมาณสูงและต้องได้รับอย่างเหมาะสมในแต่ละระยะการเจริญเติบโต (กรมวิชาการเกษตร, 2564; กลุ่มอารักขาพืช สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร, 2567) การใช้ปุ๋ยเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มผลผลิต โดยในปัจจุบันเกษตรกรเริ่มมีการใช้ “ปุ๋ยอินทรีย์” มากขึ้น เนื่องจากช่วยปรับปรุงสมบัติของดิน เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ และเป็นแหล่งของธาตุอาหารที่จำเป็นหลายชนิด แม้ปุ๋ยอินทรีย์จะเป็นแหล่งธาตุอาหารที่หลากหลาย แต่ก็มีข้อจำกัดที่สำคัญ เช่น ปริมาณธาตุอาหารหลักต่อหน่วยน้ำหนักต่ำกว่าปุ๋ยเคมี การปลดปล่อยธาตุอาหารช้าและไม่สอดคล้องกับความต้องการของพืชในช่วงวิกฤติ นอกจากนี้ยังมีความเสี่ยงจากการปนเปื้อนเชื้อโรค เมล็ดวัชพืช หรือโลหะหนัก

4.1 การปลดปล่อยธาตุอาหารช้าและไม่แน่นอน

เมื่อปุ๋ยอินทรีย์อยู่ในสภาพแวดล้อมในดินที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ การระบายอากาศ ความชื้น และความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสม ปุ๋ยจะถูกปลดปล่อยออกมาและถูกนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ ในขณะเดียวกันอินทรียสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและง่ายต่อการเข้าทำลาย จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว ส่วนสารที่มีโมเลกุลค่อนข้างซับซ้อนย่อยสลายช้า ๆ มีลักษณะ aromatic ring อาจจะรวมตัวกันเป็นประจุต่าง ๆ เกิดเป็นสารฮิวมัส ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของอินทรียวัตถุในดิน การปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยอินทรีย์เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและแตกต่างจากปุ๋ยเคมีอย่างมาก ธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ ซึ่งพืชไม่สามารถดูดซึมไปใช้โดยตรงได้ จำต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่เรียกว่า mineralization เพื่อเปลี่ยนเป็นธาตุอาหารอนินทรีย์ที่พืชดูดซึมได้ เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+), ไนเตรท (NO_3^-), และฟอสเฟต (PO_4^-) กระบวนการนี้เป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้ไม่สามารถควบคุมอัตราส่วนและจังหวะการปลดปล่อย เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีแล้ว การปลดปล่อยธาตุอาหารช้าและสม่ำเสมอมากกว่า จึงทำให้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงและพืชตอบสนองได้ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบการใช้ต่อหน่วยมีปริมาณธาตุอาหารหลักมีน้อยกว่าปุ๋ยเคมี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; ยงยุทธ และคณะ, 2551) ดังนั้นควรให้ปุ๋ยอินทรีย์มีการสลายตัวอย่างสมบูรณ์ก่อนนำไปใช้ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปจะไม่พบว่าผลตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์มีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

นัทธีรา และคณะ (2566) ศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมภายใต้สภาวะการหมักในกระสอบที่สามารถระบายอากาศได้ซึ่งมีวัตถุดิบหมักประกอบด้วยมูลสุกร มูลโค กากน้ำตาล รำละเอียด น้ำหมักปลา และมูลค้างคาว ในสัดส่วนร้อยละ 53.89 37.50 3.43 3.15 1.14 และ 0.94 ตามลำดับ ทำการหมักเป็นระยะเวลา 105 วัน โดยเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักในวันที่ 0 3 7 14 21 28 35 42 49 63 77 91 และ 105 จากการศึกษาปุ๋ยหมักแบ่งตามอุณหภูมิได้เป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะเริ่มผสม (วันที่ 0) ระยะอุณภูมิสูง (1-27) และระยะที่ปุ๋ยหมักพัฒนาเต็มที่ตั้งแต่วันที่ 28 เป็นต้นไป พบว่าการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงสัมพันธ์กับระยะเวลาการหมักอย่างมีนัยสำคัญ ($r=-0.387$, $P<0.05$ และ $r=-0.630$, $P<0.01$ ตามลำดับ) และปริมาณธาตุอาหารไอออนที่มีประจุเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและสัมพันธ์กับระยะเวลาหมัก ($r=0.895$, $P<0.01$) โดยอินทรียวัตถุที่ถูกย่อยสลายปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 0.0737 0.1681 และ 0.1217 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ และมีค่าสูงสุดวันที่ 49 จากนั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก นอกจากนี้ในช่วงท้ายของการหมักปุ๋ยมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่ามาตรฐานกรมวิชาการเกษตรเล็กน้อย จึงไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 63 วัน จะทำให้คุณภาพของปุ๋ยหมักมีแนวโน้มลดลงและไม่เหมาะแก่การนำไปใช้



ที่มา : นัทธีรา และคณะ (2566)

ภาพที่ 11 ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดข) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และ ค) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

เกียรติศักดิ์ และชัยสิทธิ์ (2561) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 8 ตำรับทดลอง ได้แก่ ตำรับทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ตำรับควบคุม) ตำรับทดลองที่

2 ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (IF_{DOA}) ตำรับทดลองที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวอัตรา 500 ลิตรต่อไร่ (LOF_{500}) ตำรับทดลองที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลว อัตรา 500 ลิตรต่อไร่ ($IF_{LOF-500}$) ตำรับทดลองที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวอัตรา 250 ลิตรต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลว อัตรา 250 ลิตรต่อไร่ (LOF_{250}+ $IF_{LOF-250}$) ตำรับทดลองที่ 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวอัตรา 1,000 ลิตรต่อไร่(LOF_{1000}) ตำรับทดลองที่ 7 ใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวอัตรา 1,000 ลิตรต่อไร่ ($IF_{LOF-1000}$) และตำรับทดลองที่ 8 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวอัตรา 500 ลิตรต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวอัตรา 500 ลิตรต่อไร่ (LOF_{500}+ $IF_{LOF-500}$) ผลการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวอัตรา 500 ลิตรต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลว อัตรา 500 ลิตรต่อไร่ (LOF_{500} + $IF_{LOF-500}$) มีผลให้ความสูงต้น ความสูงคอใบสุดท้าย และค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวอัตรา 1,000 ลิตรต่อไร่ ($IF_{LOF-1000}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวอัตรา 1,000 ลิตรต่อไร่ (LOF_{1000}) นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวอัตรา 500 ลิตรต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลว อัตรา 500 ลิตรต่อไร่ (LOF_{500} + $IF_{LOF-500}$) มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลว อัตรา 1,000 ลิตรต่อไร่ ($IF_{LOF-1000}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวอัตรา 1,000 ลิตรต่อไร่ (LOF_{1000}) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักฝัก และน้ำหนักฝักแบบปลอกเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Treatments	Number of ear per plant[1/]	Ear weight[1/] (g)	Ear without husk weight[1/] (g)
T_1 = control	0.70e	168.38d	132.36d
T_2 = IF_{DOA}	1.33c	230.54b	184.45ab
T_3 = LOF_{500}	1.00d	212.41c	167.53c
T_4 = $IF_{LOF-500}$	1.33c	225.31b	172.24c
T_5 = LOF_{250}+ $IF_{LOF-250}$	1.33c	228.46b	176.37bc
T_6 = LOF_{1000}	1.50b	236.46ab	186.29ab
T_7 = $IF_{LOF-1000}$	1.67a	243.50a	190.38a
T_8 =LOF_{500}+ $IF_{LOF-500}$	1.67a	248.23a	195.36a
F-test	**	**	**
CV (%	14.21	13.05	13.05

[1/]ตัวอักษรที่เหมือนกันหลังค่าเฉลี่ยภายในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติด้วยการวิเคราะห์แบบ DMRT; ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ที่ $p < 0.01$

ที่มา : เกียรติศักดิ์ และชัยสิทธิ์ (2561)

Abbas *et al.* (2024) ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้วัสดุปรับปรุงดินอินทรีย์ต่อผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สมบัติดิน และส่วนต่าง ๆ ของคาร์บอนในดินที่ขาดอินทรียวัตถุ โดยรายงานว่าการลดลงของความอุดมสมบูรณ์ของดินจากการเพาะปลูกอย่างเข้มข้น การใช้ปุ๋ยไม่สมดุล และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นความเสี่ยงต่อความมั่นคงทางอาหารในอนาคต ไบโอชาร์ (biochar; BC) เป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีความคงตัวและเป็นที่ยอมรับมากขึ้นว่า สามารถปรับปรุงสมบัติของดินและเพิ่มผลผลิตพืชได้ ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของปุ๋ยหมัก (compost; CM) ที่อัตรา 0.5% และ 1% (w/w) และมูลสัตว์ (animal manure; AM) ที่อัตรา 0.5% และ 1% (w/w) ทั้งในรูปแบบเดี่ยวและร่วมกับไบโอชาร์ 3% (w/w) ต่อสมบัติดิน คาร์บอนในดิน และการเจริญเติบโตของข้าวโพดในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยทำการทดลองแบบกระถาง (pot experiment) มีทั้งหมด 10 ตำรับการทดลอง (T0–T9) T0 (Ck) ชุดควบคุม (ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์) , T1 (CM-0.5) ปุ๋ยหมัก (compost) 0.5% , T2 (CM-1) ปุ๋ยหมัก 1%, T3 (BC-3) ไบโอชาร์ (biochar) 3% , T4 (BC-3+CM-0.5) ไบโอชาร์ 3% + ปุ๋ยหมัก 0.5% , T5 (BC-3+CM-1) ไบโอชาร์ 3% + ปุ๋ยหมัก 1% , T6 (AM-0.5) มูลสัตว์ (animal manure) 0.5% , T7 (AM-1) มูลสัตว์ 1% , T8 (BC-3+AM-0.5) ไบโอชาร์ 3% + มูลสัตว์ 0.5% , T9 (BC-3+AM-1) ไบโอชาร์ 3% + มูลสัตว์ 1% ในแต่ละกระถางบรรจุดิน 18 กิโลกรัม และใส่ปุ๋ย NPK ตามอัตราแนะนำ (220:160:120 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ลงไปผสมในดิน โดยใช้ยูเรีย ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และซัลเฟตออฟโพแทช เป็นแหล่งของธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ไบโอชาร์ 3% ร่วมกับปุ๋ยหมัก 1% ทำให้ความสูงของพืชเพิ่มขึ้น 46% น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นเพิ่มขึ้น 106% และ 114% ตามลำดับ น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ดเพิ่มขึ้น 40% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น 69% ดัชนีคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น 70% และชีวมวลจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้น 11% ภายใต้การใช้ไบโอชาร์ร่วมกับปุ๋ยหมัก (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลของปุ๋ยหมัก ไบโอชาร์ และมูลสัตว์ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ตำรับการทดลอง	ความสูงต้น (cm)	น้ำหนักต้นสดต่อกระถาง (g)	น้ำหนักต้นแห้งต่อกระถาง (g)	พื้นที่ใบ	ความยาวฝัก (cm)	น้ำหนัก 1000 เมล็ด (g)
T0	84 ± 6.99f	124 ± 9.75f	44 ± 1.89f	198 ± 24.79f	3.6 ± 0.36e	299.0 ± 11.2e
T1	104 ± 4.29de	157 ± 15.61ef	52 ± 2.52e	246 ± 30.55def	4.5 ± 0.50cde	326.1 ± 23.4e
T2	116 ± 9.17cd	186 ± 5.05de	73 ± 2.52d	299 ± 41.56dcd	4.9 ± 0.60bcd	345.6 ± 32.9cde
T3	124 ± 3.95bc	209 ± 8.54bcd	88 ± 2.78c	326 ± 6.53abc	5.3 ± 0.29abc	394.9 ± 31.6abcd
T4	136 ± 3.08b	226 ± 16.78abc	96 ± 2.47b	353 ± 12.27ab	5.8 ± 0.29ab	397.9 ± 14.1abcd
T5	156 ± 5.19a	257 ± 10.33a	114 ± 2.86a	362 ± 11.82a	6.2 ± 0.29a	411.8 ± 10.0ab
T6	90 ± 3.97e	155 ± 9.10ef	46 ± 3.50ef	213 ± 11.27ef	3.8 ± 0.21de	339.2 ± 35.0de
T7	100 ± 12.3def	170 ± 14.13e	53 ± 2.65e	269 ± 26.46cde	4.3 ± 0.29cde	351.3 ± 18.4bcde

T8	108 ± 2.93cd	203 ± 12.72cd	88 ± 2.52c	303 ± 12.71abcd	4.4 ± 0.53cde	405.3 ± 13.2abc
T9	116 ± 5.55cd	239 ± 7.53ab	96 ± 1.61b	323 ± 10.83abc	4.7 ± 0.29dec	418.9 ± 11.0a

ข้อมูลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และตัวอักษรเหมือนกัน (s) ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น (p = 0.05)

หมายเหตุ: T0 = Ck T1 = CM-0.5, T2 = CM-1, T3 = BC-3, T4 = BC-3+CM-0.5, T5 = BC-3+CM-1, T6 = AM-0.5, T7 = AM-1, T8 = BC-3+AM-0.5, and T9 = BC-3+AM-1.

ที่มา : Abbas *et al.* (2024)

Dungan *et al.* (2024) ศึกษาผลระยะสั้นของการใส่มูลโคนมในปริมาณมากต่อค่าชี้วัดทางเคมีและชีวภาพของดินในระบบการปลูกพืชแบบกึ่งแห้งแล้งที่มีการให้น้ำชลประทาน โดยการทดลองดำเนินการในแปลงพืชหมุนเวียน 2 ปี (ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และข้าวบาร์เลย์) การทดลองนี้เป็นการทดลองภาคสนามในระบบการปลูกพืชแบบกึ่งแห้งแล้งที่มีการชลประทานในเมืองคิมเบอร์ลี รัฐไอดาโฮ สหรัฐอเมริกา โดยศึกษาการใส่ปุ๋ยคอกมูลโคนมในปริมาณมาก (220 Mg ha^{-1}) เพียงครั้งเดียวก่อนปลูกและการไถพรวนเพื่อผสมปุ๋ยคอกลงไปที่ความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร และทำการปลูกพืชหมุนเวียนสองชนิดคือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีที่ 1 และข้าวบาร์เลย์ในปีที่ 2 โดยตำรับการทดลองประกอบด้วย 4 ตำรับการทดลอง ได้แก่ T1 (control) ควบคุม ซึ่งไม่มีการใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี, T2 (fertilizer) ใส่ปุ๋ยเคมี, T3 (manure) ใส่ปุ๋ยคอกมูลโคนมปริมาณ 220 Mg ha^{-1} และ T4 (manure + fertilizer) ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี ผลการศึกษาพบว่าผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ปีที่ 1) ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกต่ำกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี ในขณะที่ผลผลิตข้าวบาร์เลย์ (ปีที่ 2) ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีมีค่าใกล้เคียงกันทางสถิติ แม้ว่าการใส่มูลโคนมครั้งเดียวจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพของดิน (เช่น เพิ่มอินทรียวัตถุ กิจกรรมเอนไซม์ และไนโตรเจนอนินทรีย์) แต่ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีแรกต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี อย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลโคนม) เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถตอบสนองความ ต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ทันทีส่งผลให้ผลผลิตต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในระยะสั้น

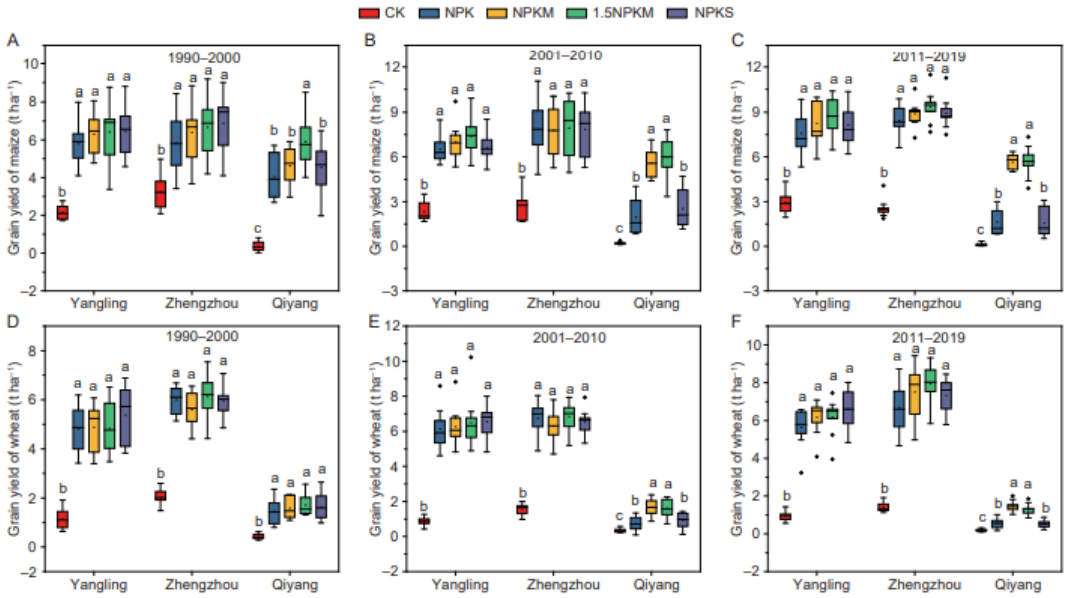
ตารางที่ 5 น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของพืชทดลองในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	**ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ปี ค.ศ. 2019) (Mg ha^{-1})**	**ข้าวบาร์เลย์ (ปี ค.ศ. 2020) (Mg ha^{-1})**
T1	15.5b	3.5b
T2	17.3a	7.4a
T3	15.9b	8.0a
T4	15.1b	7.4a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่มีตัวอักษรเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$); T1=ชุดควบคุม; T2=ปุ๋ยเคมี; T3=ปุ๋ยคอก; T4=ปุ๋ยคอก+ปุ๋ยเคมี

ที่มา : Dungan *et al.* (2024)

Wang *et al.* (2025) รายงานว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเป็นหนึ่งในแนวทางสำคัญที่ช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว งานวิจัยนี้เป็นการทดลองภาคสนามระยะยาว 29 ปี (ค.ศ. 1991–2019) ในระบบการปลูกข้าวโพด–ข้าวสาลีในประเทศจีน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อดัชนีความยั่งยืนของผลผลิต (sustainable yield index; SYI) ดัชนีความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility index; SFI) และสมดุลธาตุอาหารในดิน การทดลองประกอบด้วย 5 วิธีการใส่ปุ๋ย ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) 2) ใส่ปุ๋ยเคมี (NPK) 3) ใส่ NPK ร่วมกับปุ๋ยคอก (NPKM) 4) ใส่ NPK ในปริมาณสูงร่วมกับปุ๋ยคอก (1.5NPKM) และ 5) ใส่ NPK ร่วมกับเศษพืช (NPKS) ผลการทดลองพบว่าการใช้ NPKM และ 1.5NPKM ให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อเทียบกับ NPK และ NPKS (ภาพที่ 12) อีกทั้งยังช่วยเพิ่มคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) และปรับปรุงค่าความเป็นกรด–ด่างของดินได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว



ที่มา: Wang *et al.* (2025)

ภาพที่ 12 ผลผลิตเมล็ดของข้าวโพด (A, B และ C) และข้าวสาลี (D, E และ F) ภายใต้การใส่ปุ๋ยในรูปแบบต่าง ๆ ในช่วงเวลา 3 ช่วง ที่พื้นที่ทดลองระยะยาว 3 แห่งในประเทศจีน โดย CK หมายถึง แปลงควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ย, NPK หมายถึง การใส่ปุ๋ยเคมี, NPKM หมายถึง การใส่ NPK ร่วมกับมูลสัตว์,

1.5NPKM หมายถึง การใส่ NPK ร่วมกับมูลสัตว์ในปริมาณสูง (1.5 เท่าของอัตรา NPKM), NPKS หมายถึง การใส่ NPK ร่วมกับเศษพืช ตัวอักษรพิมพ์เล็กต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P < 0.05$.

4.2 ค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูง

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์นั้น ปริมาณที่ต้องใช้ในแต่ละครั้งจะสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี ความแตกต่างคือมีปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองต่อหน่วยน้ำหนักในปุ๋ยอินทรีย์มีอยู่น้อย แต่จุลธาตุมี พอเพียงหรือเกือบพอเพียงกับความต้องการของพืช หากต้องการให้พืชได้รับปริมาณธาตุอาหารหลักที่เพียงพอจะต้องใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณมาก ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งปุ๋ยอินทรีย์จำนวนมากไปยังแปลงเพาะปลูกในปริมาณที่สูงกว่าปุ๋ยเคมี การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณมากต้องใช้แรงงานคน หรือเครื่องจักรกลช่วยในการใส่ปุ๋ยในแปลง ซึ่งทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายมากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; ธงชัย, 2546; อำนาจ, 2548) ดังนั้น เพื่อให้พืชได้รับปริมาณธาตุอาหารที่ครบถ้วนและเพียงพอต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุด จึงควรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยหมักหรือการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมียังสามารถรักษาระดับผลผลิตได้ดีกว่าใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว

บูรนา และคณะ (2548) ดำเนินการทดลอง 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ดำเนินการในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาการปลดปล่อยปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของดินหมักร่วมกับมูลไก่อัตรา 0 กก.N/ไร่ (ควบคุม), 3.75 กก.N/ไร่ และ 7.5 กก.N/ไร่ ที่ระยะเวลา 0, 3, 5, 7, 14, 21, 28, และ 35 วัน โดยหมักมูลไก่ (3.75 กก.N/ไร่ และ 7.5 กก.N/ไร่) ร่วมกับดิน 200 กรัมที่ระดับความชื้นความจุสนาม ผลการตรวจสอบปริมาณไนโตรเจนเป็นประโยชน์ ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์และโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้พบว่า ดินหมักร่วมกับมูลไก่อัตรา 7.5 กก.N/ไร่ มีปริมาณมากกว่าในดินหมักร่วมกับมูลไก่อัตรา 3.75 กก.N/ไร่ และมากกว่าตำรับควบคุม โดยปริมาณฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์มีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 ของการหมักและโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้มีค่ามากที่สุดในวันที่ 3 ของการหมัก ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนเป็นประโยชน์จะปลดปล่อยช้าและมีค่ามากที่สุดในวันที่ 35 ของการหมัก สำหรับการทดลองที่ 2 ดำเนินการในพื้นที่แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ซึ่งประเมินปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่ใส่ตามค่าวิเคราะห์ดินและความต้องการของพืชได้เท่ากับ 15 กก.N/ไร่, 0 กก.P_2O_5/ไร่ และ 5 กก.K_2O/ไร่ เพื่อศึกษาผลของการจัดการดินด้วยวัสดุอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พันธุ์สุวรรณ 4452 ตลอดจนศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ภายในกลุ่ม (randomized complete block design; RCRD) จำนวน 7 ตำรับการทดลอง 3 ซ้ำ ดังนี้ ตำรับที่ 1 ไม่มีการจัดการ+ไม่ปลูกพืช ตำรับที่ 2 ตำรับควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) ตำรับที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมี

อัตรา 15-0-5 ตำรับที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 11.25-0-5 +มูลไก่ 3.75 กก.N/ไร่ ตำรับที่ 5 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 11.25-0-5 +มูลไก่ 3.75 กก.N/ไร่ +ปุ๋ยพืชสด ตำรับที่ 6 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 7.5-0-5 + มูลไก่ 7.5 กก.N/ไร่ และตำรับที่ 7 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 7.5-0-5 +มูลไก่ 7.5 กก.N/ไร่+ปุ๋ยพืชสด ผลการทดลองพบว่า ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและกลุ่มตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มีความสูงของต้นข้าวโพดสูงกว่าตำรับควบคุม ในส่วนของน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดนั้นพบว่ากลุ่มตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มีน้ำหนักแห้งมากกว่าตำรับปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและมากกว่าตำรับควบคุม ตำรับการทดลองที่มีผลผลิตมากที่สุดคือตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 11.25-0-5 + มูลไก่ 3.75 กก.N/ไร่ + ปุ๋ยพืชสด (T5) (ตารางที่ 6) ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการให้ผลผลิตจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน หลังเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะที่ผิวดิน (0-15 ซม.) ของกลุ่มตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มีค่ามากกว่าตำรับแปลงดินเปล่าซึ่งไม่ปลูกพืชและไม่มีการใส่ปุ๋ย (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 น้ำหนักฝัก น้ำหนักฝักที่ปลอกเปลือกแล้ว น้ำหนักเปลือกและซัง และน้ำหนักเมล็ด

Treatments	Weight (kg/rai)			
	Ear	Ear without husk	Husk and cob	Grain
1. Follow	-	-	-	-
2. Control	1,368.00 d	1202.33 d	166.00 c	1,021.00 c
3. F15 kgN/rai	2,063.00bc	1802.33 bc	261.00 b	1,553.67 b
4. F11.2 kgN/rai +CM 3.75 kgN/rai	2,324.33ab	1995.33 ab	329.00 a	1,697.00 ab
5. F11.25kgN/rai + CM 3.75 kgN/rai + GM	2,529.33 a	2188.67 a	340.67 a	1,876.67 a
6. F7.5 kgN/rai +CM 7.5 kgN/rai	1,976.33 c	1687.00 c	289.33 ab	1,499.33 b
7. F7.5kgN/rai +CM 7.5 kgN/rai + GM	2,385.00 ab	2061.67 ab	323.33 a	1,781.33 a
F-test	**	**	**	**
%CV	19.77	19.55	23.66	19.35

หมายเหตุ : F = ปุ๋ยเคมี; CM = มูลไก่; GM = ปุ๋ยพืชสด; ตัวอักษรที่เหมือนกันหลังค่าเฉลี่ยภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$); ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ที่ $p < 0.01$

ที่มา : บูรณา และคณะ (2548)

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการให้ผลผลิต (agronomic efficiency) ของปุ๋ยไนโตรเจน

Treatment	Agronomic efficiency of N fertilizer (kg corn grain/kgN
1. Follow	-
2. Control	0
3. F 15 kgN/rai	35.50
4. F 11.25 kgN/rai + CM 3.75 kgN/rai	45.06
5. F 11.25 kgN/rai + CM 3.75 kgN/rai + GM	57.03
6. F 7.5 kgN/rai + CM 7.5 kgN/rai	31.86
7. F 7.5 kgN/rai +CM 7.5 kgN/rai + GM	50.65

หมายเหตุ : F = ปุ๋ยเคมี; CM = มูลไก่; GM = ปุ๋ยพืชสด

ที่มา : บูรณา และคณะ (2548)

ธวัชชัย และคณะ (2563) ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนาที่ปลูกในชุดดินกาแพงแสนต่อการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ โดยวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 9 ตำรับการทดลอง ได้แก่ ตำรับการทดลองที่ 1 (control) ไม่ใส่ปุ๋ย ตำรับการทดลองที่ 2 (IF_{DOA}) ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอัตรา 10-5-5กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2553 อ้างถึงใน ธวัชชัย และคณะม 2563) ตำรับการทดลองที่ 3 (TMF) ปุ๋ยสั่งตัดอัตรา 8-1.5-2 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ โดยใช้โปรแกรม Simcorn (ทัศนีย์, 2555 อ้างถึงใน ธวัชชัย และคณะ, 2563) ตำรับการทดลองที่ 4 (IF_{LDD}) ปุ๋ยรายแปลงอัตรา 5-0.1-0.06 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ โดยใช้โปรแกรม Onfarm ThaiLDD (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2553 อ้างถึงใน ธวัชชัย และคณะ, 2563) ตำรับการทดลองที่ 5 (IF_{CR}) ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิตคือ 15.6-2.9-3.8 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ (ยงยุทธ และคณะ, 2554 อ้างถึงใน ธวัชชัย และคณะ, 2563) และคาดการณ์ปริมาณผลผลิตที่ 1,000กก./ไร่ ขณะที่ตำรับการทดลองที่ 6 ถึง 9 (IF_{DOA}+OF, TMF+OF, IF_{LDD}+OF, IF_{CR}+OF ตามลำดับ) เป็นการใช้ปุ๋ยเคมีรูปแบบต่างๆร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 50 กก./ไร่ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิตส่งผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก (2,134.55 กก./ไร่) น้ำหนักฝักปอกเปลือก(1,736.28กก./ไร่) น้ำหนักเปลือก (398.26กก./ไร่) และน้ำหนักเมล็ด (1,491.22กก./ไร่) สูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 6 การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (น้ำหนักฝักทั้งเปลือก 2,070.20 กก./ไร่ น้ำหนักฝักปอกเปลือก 1,723.94 กก./ไร่ และน้ำหนักเมล็ด 1,464.72 กก./ไร่) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยเคมีทั้งที่ใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์

ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูก มีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูก ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร การใช้ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าวโพดที่ติดไปกับผลผลิตมีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (benefit-cost ratio; BCR) สูงที่สุด (3.23) ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลของการใส่ปุ๋ยต่อต้นทุนการผลิตและอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Treatments	Fertilizer value (Baht/rai)		Labor and other costs	Unhusked ear yield (kg/rai)	Yield value (Baht/rai)	Economic return over fertilizer cost (Baht/rai)	Benefit-Cost Ratio (BCR)
	Chemical fertilizer	Organic fertilizer					
Control	-	-	4,100.00	1,376.74	12,005.17	7,905.17	2.92
IF_{DOA}	532.93	-	4,632.93	1,524.96	13,297.65	8,664.72	2.87
TMF	298.97	-	4,398.97	1,366.15	11,912.82	7,513.85	2.70
IF_{LDD}	130.37	-	4,230.37	1,390.95	12,129.08	7,898.71	2.86
IF_{CR}	579.12	-	4,679.12	1,736.28	15,140.36	10,461.24	3.23
IF_{DOA} + OF	532.93	300	4,932.93	1,723.94	15,032.75	10,099.82	3.04
TMF + OF	298.97	300	4,698.97	1,347.03	11,746.10	7,047.13	2.49
IF_{LDD} + OF	130.37	300	4,530.37	1,583.26	13,806.02	9,275.65	3.04
IF_{CR} + OF	579.12	300	4,979.12	1,640.32	14,303.59	9,324.47	2.87

หมายเหตุ: ยูเรีย (46-0-0) 579 บาท/กระสอบ (50 กิโลกรัม); ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) 917 บาท/กระสอบ (50 กิโลกรัม); โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) 787 บาท/กระสอบ (50 กิโลกรัม); ราคาเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อ้างอิงตามสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561) ราคา 8.72 บาท/กก.
ที่มา : ธวัชชัย และคณะ (2563)

4.3 การปนเปื้อนเชื้อโรคและเมล็ดพืช

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ โดยเฉพาะปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมัก หรือการจัดการที่เหมาะสมก่อน อาจทำให้มีความเสี่ยงที่จะมีการปนเปื้อนของเชื้อโรค เมล็ดวัชพืช และแมลงศัตรูพืชติดมาด้วย ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เชื้อโรคที่ปนเปื้อนมากับปุ๋ยอินทรีย์สามารถก่อให้เกิดโรคได้ และเมล็ดวัชพืชที่ปนเปื้อนจะแข่งขันแย่งชิงทรัพยากร (น้ำ ธาตุอาหาร แสง) ซึ่งจะทำให้การเจริญเติบโตลดลง และผลผลิตข้าวโพดลดลงอย่างเห็นได้ชัด (อำนาจ, 2548) ดังนั้น ควรมีการหมักหรือผ่านกระบวนการหมัก การจัดการที่เหมาะสมก่อน การหมักด้วยความร้อนในกองปุ๋ย หลังจากกองปุ๋ยหมัก 2 – 3 วัน อุณหภูมิในกองปุ๋ยจะสูงประมาณ 50 – 60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจะสูงอยู่ในระดับนี้ระยะหนึ่งแล้วจึงค่อยๆ ลดลงจนกระทั่ง

ใกล้เคียงกับภายนอกกองปุ๋ย จึงเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ เพื่อแปรสภาพอินทรียสารเดิมในมูลสัตว์ให้เป็นสารฮิวมิกมากขึ้นและได้ปุ๋ยที่เหมาะแก่การใช้ (โสพส, 2559)

Iowa State University (2022) ได้รายงานเกี่ยวกับพระราชบัญญัติการปรับปรุงความปลอดภัยด้านอาหาร (The Food Safety Modernization Act; FSMA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีผลบังคับใช้ในปี 2011 โดยเป้าหมายหลักของ FSMA คือการป้องกันโรคที่เกิดจากอาหาร และรวมถึงข้อบังคับสำหรับกาที่รเกษตรที่ปลูกพืชผักสด และโรงงานที่แปรรูปอาหารด้วย ซึ่งมาตรฐานส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินสามารถพบได้ใน Subpart F: มาตรฐานสำหรับการปรับปรุงดินทางชีวภาพจากมูลสัตว์และของเสียจากมนุษย์ สำหรับการทำปุ๋ยหมัก (composting) ได้ถูกนิยามไว้ว่า “กระบวนการผลิตปุ๋ยหมักที่มีการหมักสมบูรณ์ โดยที่วัสดุอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง (thermophilic) เป็นระยะเวลาที่กำหนด (เช่น 3 วัน) ที่อุณหภูมิที่กำหนด (เช่น 131°F หรือ 55°C) แล้วตามด้วยขั้นตอนการบ่ม (curing) ภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่า” ส่วนการบ่ม (curing) ถูกนิยามว่าเป็น “ขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการหมัก ซึ่งจะดำเนินการหลังจากที่สารชีวภาพที่ย่อยสลายได้ง่ายส่วนใหญ่ถูกย่อยแล้ว โดยกระบวนการนี้จะเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าช่วง thermophilic เพื่อช่วยลดเชื้อโรคให้มากยิ่งขึ้น ส่งเสริมการย่อยสลายของเซลลูโลสและลิกนินเพิ่มเติม และทำให้ปุ๋ยหมักมีความคงตัวมากขึ้น”

การหมักแบบอุณหภูมิสูง (thermophilic composting) จะมีอุณหภูมิ เป็นวิธีหลักในการลดเชื้อโรค และระยะเวลาในการหมัก ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านการจัดการ เช่น การให้อากาศ การกลับกอง การคลุม ความชื้น และชนิดของมูลสัตว์ ซึ่งกระบวนการหมักที่ได้รับการตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์แล้วเท่านั้น ที่สามารถยืนยันได้ว่าช่วยลดเชื้อโรคได้จริง

4.4 สารเคมีหรือโลหะหนักตกค้าง

ส่วนใหญ่ปุ๋ยอินทรีย์จะถูกมองว่าเป็นทางเลือกที่ปราศจากสารเคมีสังเคราะห์ แต่ก็ยังมีความเสี่ยงจากการปนเปื้อนสารเคมีตกค้าง โดยเฉพาะโลหะหนักที่ติดมา ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำมาจากขยะของวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และครัวเรือนที่ไม่มีการคัดแยกวัตถุที่มีโลหะหนักออก จะทำให้ปุ๋ยอินทรีย์มีโอกาสที่จะมีธาตุโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ติดมาได้ เมื่อพืชดูดปุ๋ยไปใช้ คนหรือสัตว์ที่บริโภคพืชจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวอาจเกิดอันตรายได้ และโลหะหนักนั้นสามารถสะสมอยู่ในดิน นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่อาจมีธาตุอาร์เซนิคปะปน เนื่องจากมีการใช้สารเร่งการเจริญเติบโตของไก่ที่มีธาตุอาร์เซนิคเป็นส่วนประกอบอยู่ การใช้มูลไก่และมูลสุกรอาจมีโซดาไฟติดมาจากการใช้โซดาไฟในการทำความสะอาดพื้นคอก ซึ่งมีผลเสียต่อสมบัติของดิน (วิชาการกรมเกษตร, 2548; อำนาจ, 2548)

Buthnoo and Sungthong (2025) ศึกษาการจำแนกทางเคมีและการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศของโลหะหนักในตะกอนน้ำเสียจากเทศบาลกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย โดยพบว่าตะกอนน้ำเสีย

จากระบบบำบัดน้ำของเทศบาลเป็นแหล่งวัสดุปรับปรุงดินที่มีศักยภาพ เนื่องจากอุดมไปด้วยอินทรียวัตถุและธาตุอาหารสำคัญ อย่างไรก็ตาม การนำกลับมาใช้ใหม่มักถูกจำกัดด้วยปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนัก งานวิจัยนี้ได้ประเมินปริมาณโลหะหนัก 6 ชนิด (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb และ Zn) ในตะกอนน้ำเสียที่เก็บจากโรงบำบัดน้ำเสียรวม 7 แห่งในกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย (ตารางที่ X2) โดยทำการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์เคมี ความเข้มข้นรวมของโลหะ และรูปแบบทางเคมีของโลหะเหล่านี้ นอกจากนี้ยังใช้ดัชนีความเสี่ยงทางนิเวศ 3 ประเภท ได้แก่ ดัชนีการสะสมเชิงภูมิธรณี (geo-accumulation index; I_{geo}), รหัสการประเมินความเสี่ยง (risk assessment code; RAC) และดัชนีความเสี่ยงทางนิเวศที่อาจเกิดขึ้น (potential ecological risk index; PERI) เพื่อประเมินสถานะการปนเปื้อน ความเคลื่อนที่ของโลหะ และความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ ผลการวิเคราะห์พบว่าตะกอนน้ำเสียมีปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารสำคัญในระดับสูง (ตารางที่ X2) แสดงถึงศักยภาพในการนำกลับมาใช้ในการเกษตร อย่างไรก็ตาม พบค่าการนำไฟฟ้า (EC) สูงในบางพื้นที่ ซึ่งอาจสร้างความเสี่ยงด้านความเค็มของดินหากไม่มีการจัดการอย่างเหมาะสม การวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีชี้ว่าตะกอนน้ำเสียที่เก็บจากโรงบำบัดน้ำเสียบางพื้นที่พบว่ามีปริมาณทองแดงเกินมาตรฐานตามที่มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง) ของกรมพัฒนาที่ดินกำหนด

ตารางที่ 9 ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนน้ำเสียที่เก็บจากโรงบำบัดน้ำเสีย 7 แห่งในกรุงเทพมหานคร

WWTP ID	Concentration (mg/kg DM)					
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
WWTP1	1.70±0.13a	158.323.84c	369.73±4.69 d	84.86±0.74b	19.80±1.87a	911.58 14.93c
WWTP2	4.09±0.02c	184.65±0.40e	432.55 23.74e	161.21 ± 1.21e	23.88±0.50 ab	1948.47±34.56e
WWTP3	3.51±0.05b	130.84±1.66b	125.36±8.33a	73.84±0.28a	28.69±0.83 be	575.79±3.99a
WWTP4	4.10±0.08c	202.12±0.98f	181.83±1.94b	182.80±0.59f	33.103.75 cd	851.61 21.62 b
WWTP5	4.87±0.06d	169.88±3.52 d	1140.97±14.43f	153.30±0.40 d	45.245.09e	1296.26±10.66 d
WWTP6	4.70±0.07 d	165.50±3.27 cd	248.59±2.60c	88.86±0.07c	38.61±2.92 de	878.68±13.07 be
WWTP7	4.18±0.01c	122.52+0.49a	F1124.00±8.21f	75.78±0.59a	25.00±0.94 ab	891.25 15.55 be
Min	1.70	122.52	181.83	73.84	19.80	575.79
Max	4.87	202.12	1.140.97	182.80	45.24	1948.47
Mean	3.88	161.98	517.58	117.24	30.62	1050.52
SD	1.06	28.11	432.89	46.53	8.96	448.30

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a–f) ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างโรงบำบัดน้ำเสีย (WWTPs) ที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$ โดยใช้การทดสอบ Tukey's HSD.

ที่มา : Buthnoo and Sungthong (2025)

ตารางที่ 10 สมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียเทศบาล 7 แห่งในกรุงเทพมหานคร

WWTP ID	Fresh Sludge									
	MC (%)	pH (1:5)	EC (1:5) (dS/m)	OC (%)	OM (%)	TKN (%)	Avail P (g/kg)	Exch K (g/kg)	CEC (cmol(+)/kg)	C:N Ratio
WWTP1	85.76±0.04e	6.53±0.04ab	3.19±0.00c	27.90±0.08e	46.87±0.13e	261±0.04b	0.46±0.00c	1.25±0.03bc	55.54±0.12c	10.69
WWTP2	75.84±0.05b	6.66±0.09c	2.43±0.04a	2206±0.40c	37.07±0.66c	4.17±0.035g	0.56±0.02d	1.30±0.04c	45.81±0.22a	5.29
WWTP3	75.89±0.79b	6.58±0.01bc	3.37±0.05d	20.61±0.16b	3462±0.27b	291±0.02c	0.39±0.01b	1.17±0.01b	5244±0.43b	7.07
WWTP4	85.27±0.08e	6.51±0.02bc	2.74±0.06b	24.43±0.38d	41.04±0.64d	3.47±0.07e	0.75±0.02e	1.46±0.04d	5277±0.11b	7.05
WWTP5	77.56±0.08c	6.49±0.02b	4.34±0.08e	2267±0.11c	38.09±0.20c	3.15±0.04d	0.49±0.01c	0.91±0.04a	51.98±0.06b	7.19
WWTP6	71.78±0.48a	7.24±0.12d	262±0.05b	15.30±0.10a	2570±0.18a	1.86±0.01a	0.34±0.01a	0.96±0.02a	46.44±0.50a	8.23
WWTP7	81.12±0.25d	6.02±0.04a	3.49±0.01d	28.21±0.24e	47.39±0.40e	3.99±0.03f	223±0.02f	3.60±0.04e	57.20±078d	7.07
Min	71.87	6.02	2.43	15.30	25.70	1.86	0.34	0.91	46.44	5.29
Max	85.76	7.24	4.34	28.21	47.39	4.17	2.23	3.60	57.20	10.69
Mean	79.03	6.58	3.17	23.03	38.68	3.17	0.74	1.52	51.74	7.51
SD	5.22	0.36	0.65	4.46	7.49	0.80	0.63	0.89	4.26	1.65

หมายเหตุ: ความชื้น (MC), ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (EC), คาร์บอนอินทรีย์ (OC), อินทรียวัตถุ (OM), ไนโตรเจนทั้งหมดแบบเคลดาห์ล (TKN), ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC), ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail P), โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch K) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a–f) ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างโรงบำบัดน้ำเสีย (WWTPs) ที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$ โดยใช้การทดสอบ Tukey's HSD.

ที่มา : Buthnoo and Sungthong (2025)

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นทางเลือกที่ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในการผลิตทางการเกษตร เนื่องจากมีคุณสมบัติในการปรับปรุงบำรุงดิน ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย และมีการระบายน้ำและอากาศที่ดีขึ้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อดีหลายประการ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้เพราะปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่มีปริมาณธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองอยู่น้อย หากต้องการให้พืชได้รับปริมาณธาตุอาหารหลักที่เพียงพอจะต้องใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณมากทำให้สิ้นเปลืองแรงงาน และค่าใช้จ่ายในการขนย้ายสูง อีกทั้งปุ๋ยอินทรีย์แต่ละแหล่งอาจจะมีคุณภาพธาตุอาหารไม่เท่ากัน อาจมีเชื้อโรค และเมล็ดวัชพืชติดมา ทำให้เกิดการแย่งชิงน้ำ ธาตุอาหาร และแสง อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ การจัดการข้อจำกัดโดยผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง การผสมผสานการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี การผลิตและการเก็บรักษาปุ๋ยทำให้มีคุณภาพเพิ่มขึ้น มีการผลิตที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหาเรื่องปนเปื้อนของเชื้อโรคและเมล็ดวัชพืชในกระบวนการผลิต รวมถึงการเลือกวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ปลอดภัย จะช่วยให้ข้อจำกัดที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ลดน้อยลงหรือแก้ไขข้อจำกัดที่เกิดขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2548. คู่มือ ปุ๋ยอินทรีย์ (ฉบับนักวิชาการ). กระทรวงเกษตรและและสหกรณ์. เอกสารวิชาการลำดับที่ 148 หน้า.

_____. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กรุงเทพมหานคร: กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยาสำนักพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. หน้า 37-42.

_____. 2562. การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนาในเขตพื้นที่ภาคกลาง. เอกสารวิชาการ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2559. การจักลดการดินและปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. 14-27 หน้า.

กลุ่มอารักขาพืช สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร. (ม.ป.ป.). อาการต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร (เอกสารเผยแพร่). พิจิตร: สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร.

เกียรติศักดิ์ สนศรี และ ชัยสิทธิ์ ทองอู่. 2560. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 48(1), 45–54.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 547 หน้า.

ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพ:เทคนิคการผลิต และการใช้ประโยชน์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 300 หน้า.

ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, พิชญา คะเณย์, จิรวัฒน์ พุ่มเพชร และศิริสุดา บุตรเพ. 2563. การตอบสนองของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนา ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสนต่อการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 38(1) : 72 - 81

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. (ม.ป.ป.) ปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกลับกอง. https://www.nstda.or.th/agritec/wp-content/uploads/2021/01/leaftlet-compost.pdf.

บูรนา วงษาราม, อรุณศิริ กำลัง, จันทร์จรัส วีรสาร และรจนา ตั้งกุลบริบูรณ์. 2558.ผลของการจัดการดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 4(2), 2558-2568.

พรนภา ขาวมาก , สุชัญญา เจริญเส็ง , สุภาพร สุภีโส และอรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. 2561. การประเมินอัตราปุ๋ยที่เหมาะสม ในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินตาคลี.วารสารดินและปุ๋ย, 40(2), 39–48.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, และชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 519 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. แนวทางการจัดทำเขตส่งเสริมการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

_____. 2567. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2568. สถานการณ์และแนวโน้มสินค้าเกษตรที่สำคัญ. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

สมพงษ์ พรมที, นารีรัตน์ สีระสาร, และบำเพ็ญ เขียวหวาน. 2565. แนวทางการส่งเสริมการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกร. วารสารวิชาการร้อยแก่นสาร 7 (10): 336-343 หน้า.

โสพส แซ่ลิ้ม. 2559. ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 151-156 หน้า.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2548. ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 156 หน้า.

Aown Abbas, Muhammad Naveed, Khuram Shehzad Khan, Muhammad Ashraf, Manzer H.Siddiqui, Nazar Abbas, Adnan Mustafa, and Liaqat Ali. 2024. The Efficacy of Organic Amendments on Maize Productivity, Soil Properties and Active Fractions of Soil Carbon in Organic-Matter Deficient Soil. Spanish Journal of Soil Science.

Buthnoo, R., & Sungthong, D. 2025. Chemical Speciation and Ecological Risk of Heavy Metals in Municipal Sewage Sludge from Bangkok. Thailand. Sustainability. 17(17): 7572

Dungan, R. S., Acosta-Martinez, V., Lehman, R. M., Manter, D. K., Mikha, M. M., Reardon, C. L., Tarkalson, D. D., Veum, K. S., Weyers, S. L., & White Jr., P. M. (2025). Short-term effects of a heavy dairy manure application on soil chemical and biological indicators in an irrigated semiarid cropping system. Agronomy Journal.

Jinfeng Wang, Xueyun Yang, Shaomin Huang, Lei Wu, Zejiang Cai and Minggang Xu. 2025. Long-term combined application of organic and inorganic fertilizers increases crop yield sustainability by improving soil fertility in maize–wheat cropping systems. Journal of Integrative Agriculture. 24(1): 290–305.

North Central Region Center for FSMA Training, Extension, and Technical Assistance.

2022. FSMA Compliant On-Farm Thermophilic Composting: A Safe Way to Enrich the Soil (FS61). North Central Region Center for FSMA Training, Extension, and Technical Assistance.