ประสิทธิภาพในการใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพดภายใต้การใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน[1/]

The efficiency of phosphorus utilization by maize under different fertilizer applications1[1/]

ผู้ทำสัมมนา **นางสาวนารีรัตน์ บุญเชิญ[2/]**

อาจารย์ที่ปรึกษา [redacted][3/]

บทคัดย่อ

ฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด แต่การใช้ประโยชน์มักถูกจำกัดด้วยกระบวนการตรึงในดินและอัตราการแพร่กระจายที่ต่ำ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus use efficiency; PUE) ในข้าวโพด (*Zea mays* L.) ภายใต้รูปแบบการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกัน จากการรวบรวมและวิเคราะห์งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสถูกควบคุมโดยปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Olsen P), อัตราการใส่ปุ๋ย, วิธีการใส่ปุ๋ย และสมบัติทางเคมีของดินระดับ Olsen P ในดินเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญ โดยพบว่า PUE จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับ Olsen P เริ่มต้นในดินสูงขึ้น แต่จะแปรผกผันกับอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ตัวอย่างเช่น ในดินดำ (black soil) อัตราการใส่ปุ๋ยที่ 44 kg P_2O_5 ha^{-1} และระดับ Olsen P ที่ 28 mg kg^{-1} เป็นค่าวิกฤตที่เพียงพอต่อการให้ผลผลิตสูงสุดควบคู่กับการเพิ่ม PUE วิธีการใส่ปุ๋ยเป็นอีกปัจจัยที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ โดยการใส่ปุ๋ยแบบแถบลึก (deep band) ช่วยเพิ่ม PUE ได้มากกว่าการหว่านหรือการโรยข้าง เนื่องจากช่วยส่งเสริมให้รากเข้าถึงแหล่งสารอาหารในชั้นดินที่มีความชื้นได้ดีขึ้น นอกจากนี้การได้รับไนโตรเจนในอัตราที่เหมาะสมยังมีส่วนช่วยส่งเสริมการดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ และประเภทของปุ๋ยมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดี เช่น ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) จะให้ค่า PUE สูงกว่าหินฟอสเฟต (RP) อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงดินด้วยปูนเพื่อเพิ่มค่า pH อาจส่งผลกระทบเชิงลบโดยลดการแพร่กระจายของฟอสฟอรัสและการสะสมฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดิน นอกจากนี้ พันธุ์ข้าวโพดที่แตกต่างกันยังมีผลต่อความสามารถในการใช้ฟอสฟอรัส โดยสรุป การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสในข้าวโพดจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนจากการหว่านปุ๋ยแบบทั่วไป มาเป็นการจัดการธาตุอาหารเฉพาะจุดร่วมกับการพิจารณาค่าวิกฤตฟอสฟอรัสและค่า pH ในดิน

คำสำคัญ: ข้าวโพด; ฟอสฟอรัส; ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส; การใส่ปุ๋ยแบบแถบลึก

[1/]เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนา

[2/] นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[3/]อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. บทนำ

ข้าวโพด (*Zea mays* L.) จัดเป็นพืชธัญญาหารที่มีความสำคัญเป็นอันดับต้นของโลก ทั้งในแง่ของความมั่นคงทางอาหารและการเป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดคือการจัดการธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะ ฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยา ทั้งการถ่ายโอนพลังงานในรูป ATP การสังเคราะห์ด้วยแสง และการพัฒนาของระบบราก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; Ibrahim et al., 2021) แม้ว่าฟอสฟอรัสจะมีความสำคัญ แต่ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสในระบบการปลูกพืชส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากฟอสฟอรัสมีคุณสมบัติในการเคลื่อนที่ได้น้อยในดิน และมักถูกตรึง อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งในดินที่เป็นกรดและดินที่เป็นด่าง เช่น ถูกตรึงกับเหล็กและอะลูมิเนียมในดินกรด หรือจับกับแคลเซียมในดินด่าง ทำให้พืชสามารถดูดใช้ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; Ning et al., 2023)

ปัญหาการสะสมฟอสฟอรัสในดินจนเกินความจำเป็น หรือการขาดแคลนฟอสฟอรัสในพื้นที่เกษตรกรรม ล้วนส่งผลกระทบต่อความยั่งยืนของระบบนิเวศและการผลิตพืช การจัดการระดับความต้องการฟอสฟอรัสที่เหมาะสม จึงเป็นวิธีที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารและลดการสูญเสียสู่สิ่งแวดล้อม (Ibrahim et al., 2021) นอกจากระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในดินแล้ว วิธีการจัดการปุ๋ย ยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร โดยเฉพาะการทำงานร่วมกัน ระหว่างไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ซึ่งการให้ปุ๋ยในตำแหน่งที่เหมาะสม เช่น การใส่ปุ๋ยแบบแถบลึก สามารถกระตุ้นการขยายตัวของรากในแนวดิ่งและเพิ่มการสะสมฟอสฟอรัสในมวลชีวภาพได้ดีกว่าการหว่าน (Sharifi et al., 2024)

นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมของดิน โดยเฉพาะ ความเป็นกรด-ด่าง และการปรับปรุงดินด้วยการใช้ปูน (liming) ยังส่งผลโดยตรงต่อการละลายได้ของฟอสฟอรัสในดิน รวมถึงประเภทของปุ๋ยฟอสฟอรัส และความแตกต่างทางพันธุกรรมของสายพันธุ์ข้าวโพด ซึ่งมีการตอบสนองต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันในสภาวะจำกัด (Ning et al., 2023) ดังนั้น สัมมนาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพดภายใต้การใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน

2. ข้าวโพด

2.1 ข้าวโพด (*Zea mays* L.) (มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, ม.ป.ป)

ข้าวโพดเป็นธัญพืชสำคัญอย่างหนึ่งของโลก รองจากข้าวเจ้าและข้าวสาลีนับเป็นพืชอาหารหลักที่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในต่างประเทศ เช่น เม็กซิโก อินเดีย อินโดนีเซีย อิตาลี ประชาชนรับประทานข้าวโพดเป็นอาหารประจำวันในรูปต่างกัน นอกจากใช้เป็นอาหารมนุษย์ และสัตว์โดยตรงแล้ว เมล็ดข้าวโพดและส่วนอื่นๆ เช่น ต้น ใบ และซัง ยังใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้หลากหลาย มีประมาณกว่า 500 ชนิด สำหรับในประเทศไทย ข้าวโพดที่ผลิตได้เกือบทั้งหมด ส่งไปจำหน่ายต่างประเทศ การใช้ข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์ และอาหารมนุษย์ สามารถปลูกได้อย่างกว้างขวางทั่วโลกตั้งแต่ละติจูดที่ 58 องศา

ในประเทศแคนนาดาผ่านเขตโซนร้อนลงมาจนถึงเขตตอนใต้ประมาณละติจูดที่ 35-40 ข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตได้ดีบนพื้นที่ซึ่งมีระดับเดียวกับน้ำทะเลไปจนถึงพื้นที่ระดับสูงกว่าน้ำทะเล 3,000-3,900 เมตร ในประเทศเปรู และเม็กซิโก แหล่งผลิตข้าวโพดสำคัญๆ เรียงตามปริมาณการผลิตมากไปหาน้อย คือ สหรัฐอเมริกา สหภาพโซเวียตรุสเซีย เม็กซิโก สหภาพแอฟริกาใต้ อาร์เจนตินารูมาเนีย ยูโกสลาเวีย อินเดีย อิตาลี ฝรั่งเศษ และอินโดนิเซีย แต่สำหรับในประเทศไทยอาจกล่าวได้ว่า ข้าวโพดสามารถปลูกได้ดีทุกภาค จังหวัดที่ผลิตข้าวโพดมากในแต่ละภาค เรียงตามปริมาณการผลิตมากไปหาน้อย ดังนี้

ภาคกลาง มี เพชรบูรณ์ ลพบุรี นครสวรรค์ สระบุรี พิษณุโลก พิจิตร สุโขทัย และปราจีนบุรี
ภาคเหนือ มี แพร่ น่าน เชียงราย และเชียงใหม่
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มี นครราชสีมา ศรีสะเกษ อุบลราชธานี ขอนแก่น และชัยภูมิ
ภาคใต้ มี สงขลา สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช

จากข้อมูลของระบบสารสนเทศการผลิตผลทางด้านเกษตร กรมวิชาการเกษตร (ตารางที่ 1) รายงานว่าพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศส่วนใหญ่กระจายอยู่มากบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือภาคเหนือ

ตารางที่ 1 รายงานสถานการณ์การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2567 และ2568

ลำดับ	พื้นที่	เนื้อที่ปลูก(ไร่)		ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ (กิโลกรัม)		ราคาที่เกษตรกรขายได้ (บาท/กิโลกรัม)	
		2567	2568	2567	2568	2567	2568
1	กาญจนบุรี	64,793.00	68,999.75	54,654,054.00	52,958,676.00	8.76	7.04
2	กาฬสินธุ์	150.00	-	150,000.00	-	10.00	-
3	กำแพงเพชร	35,722.75	43,159.75	34,107,630.00	68,832,685.00	7.83	6.60
4	ขอนแก่น	2,325.00	3,720.00	2,067,800.00	2,658,000.00	8.62	6.27
5	จันทบุรี	5,795.00	10,724.00	4,592,500.00	9,156,248.00	8.15	4.94
6	ฉะเชิงเมรา	205.00	5.00	45,000.00	-	847	-
7	ชัยนาท	11,620.00	11,295.50	12,555,666.00	11,567,181.50	7.24	6.37
8	ชัยภูมิ	53,490.00	38,670.00	45,171,400.00	36,486,422.00	8.65	8.49
9	เชียงราย	126,593.42	96,889.92	89,711,350.02	74,842,080.80	6.10	5.89
10	เชียงใหม่	126,593.00	203,218.00	198,174,400.00	166,929,160.00	6.39	5.59

ที่มา: ระบบสารสนเทศการผลิตผลทางด้านเกษตร (2568)

2.2 ชนิดของข้าวโพด

2.2.1 การจำแนกทางพฤกษศาสตร์

การจำแนกทางพฤกษศาสตร์ สามารถแบ่งออกได้ 7 ชนิดดังต่อไปนี้

1) ข้าวโพดหัวบุบ (dent corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซีเมย์สอินเดนทาทา (Zea maysindentata) เมล็ดตอนบนมีรอยบุ๋มเนื่องจากตอนบนมีแป้งอ่อนและตอนข้างๆ เป็นแป้งชนิดแข็ง เมื่อตากเมล็ดให้แห้งแป้งอ่อนจะยุบหดตัวลงจึงเกิดลักษณะหัวบุบดังกล่าวขนาดของลำต้น ความสูงเหมือนข้าวไร่ทั่วไป สีของเมล็ดอาจเป็นสีขาว สีเหลือง หรือสีอื่นๆ แล้วแต่พันธุ์ นิยมปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา

2) ข้าวโพดหัวแข็ง (flint corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซีเมยส์อินดูราทา (Zea mays in durata) เมล็ดมีแป้งแข็งห่อหุ้มโดยรอบหัวเรียบไม่บุบเมล็ดค่อนข้างกลม มีปลูกกันมากในเอเชียและอเมริกาใต้ ข้าวโพดไร่ของคนไทยมีนิยมปลูกกันอยู่เป็นชนิดนี้ทั้งสิ้นสีของเมล็ดอาจเป็นสีขาว สีเหลือง สีม่วง หรือสีอื่นแล้วแต่ชนิดของพันธุ์

3) ข้าวโพดหวาน (sweet corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ซีเมย์สแซคคาราทา (Zea mays saccharata) นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายเพื่อรับประทานฝักสดเพราะฝักมีน้ำตาลมากทำให้มีรสหวาน เมื่อแก่เต็มที่หรือแห้ง เมล็ดจะหดตัวเหี่ยวย่น

4) ข้าวโพดคั่ว (pop corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ซีเมย์สอีเวอร์ทา (Zea mays everta) เมล็ดมีขนาดค่อนข้างเล็กมีแป้งประเภทแข็งอยู่ในภายนอกห่อหุ้มด้วยเยื่อที่เหนียวและยืดตัวได้เมล็ดมีความชื้นภายในอยู่พอสมควรเมื่อถูกความร้อนจะเกิดแรงดันภายในเมล็ดระเบิดตัวออกมาเมล็ดอาจมีลักษณะกลมหรือหัวแหลมก็ได้ มีสีต่างๆ กัน เช่น เหลือง ขาว ม่วง

5) ข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy corn) ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ซีเมย์เซอราทินา (Zea maysceratina) เมล็ดมีแป้งอ่อนคล้ายแป้งมันสำปะหลังนิยมปลูกเพื่อรับประทานฝักสดคล้ายข้าวโพดหวานแม้จะไม่หวานมากแต่เมล็ดนิ่ม รสอร่อย ไม่ติดฟัน เมล็ดมีสีต่างๆ กัน เหลือง ขาว ส้ม ม่วง หรือมีหลายสีในฝักเดียวกัน

6) ข้าวโพดแป้ง (flour corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ซีเมย์สอะมิโลเซีย (Zea mays amylocea) เมล็ดประกอบด้วยแป้งชนิดอ่อนมากเมล็ดค่อนข้างกามหัวไม่บุบหรือบุบเล็กน้อยนิยมปลูกในอเมริกาใต้ อเมริกากลาง และสหรัฐอเมริกา ชาวอินเดียนแดงนิยมปลูกไว้รับประทานเป็นอาหาร

7) ข้าวโพดป่า (pod corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซีเมย์สทูนิกา (Zea mays tunica) มีลักษณะใกล้เคียงข้าวโพดพันธุ์ป่ามีลำต้นและฝักเล็กกว่าข้าวโพดธรรมดาขนาดเมล็ดค่อนข้างเล็กเท่าๆ กับเมล็ดข้าวโพดมีขั้วเปลือกหุ้มทุกเมล็ดและยังมีเปลือกหุ้มฝักอีกชั้นหนึ่งเหมือนข้าวโพดธรรมดาทั่วๆ ไป เมล็ดมีลักษณะต่างๆ กัน ข้าวโพดชนิดนี้ไม่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจปลูกไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

2.2.2 การจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการปลูก

การจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการปลูก สามารถแบ่งออกได้ 4 ชนิดดังต่อไปนี้

1) ข้าวโพดใช้เมล็ด (grain corn) ปลูกเพื่อเก็บเมล็ดแก่ใช้เป็นอาหารสัตว์ และมนุษย์ หรือทำอุตสาหกรรมอย่างอื่น

2) ข้าวโพดหมัก (silage corn) ปลูกเพื่อตัดต้นสดมาหมักใช้เป็นอาหารสัตว์

3) ข้าวโพดอาหารสัตว์ (fodder corn) ปลูกเพื่อตัดต้นสดไปใช้เลี้ยงสัตว์

4) ข้าวโพดฝักอ่อน (baby corn) ในประเทศไทยนิยมปลูกเพื่อเก็บฝักอ่อนไปใช้ในการปรุงอาหาร

2.3 การปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

2.3.1 การตรียมดิน

การไถพรวน ทำให้ดินมีความร่วนซุยและระบายน้ำได้ดี ช่วยให้รากข้าวโพดหาอาหารได้ไกล ทำให้เมล็ดข้าวโพดงอกได้ดี ซึ่งควรไถอย่างน้อย 2 ครั้ง คือ

1) ไกดะ คือไถครั้งแรกด้วยผาน 3 หรือผาน 4 ควรไถให้ลึกประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อพลิกหน้าดิน ช่วยให้ระบายน้ำได้ดีขึ้น และช่วยในการกำจัดวัชพืชและเศษซากพืชต่างๆ ในดินทำความสะอาดแปลงไปด้วยในตัว หลังจากไถดะเสร็จแล้ว ควรตากดินไว้ระยะหนึ่ง

2) ไถแปร ควรไถด้วยผาน 7 เพื่อย่อยดินก้อนใหญ่ ให้แตกและร่วนซุยมากยิ่งขึ้น ถ้ามีความจำเป็น อาจมีการพรวนซ้ำ เพื่อให้ดินละเอียดเหมาะแก่การปลูกข้าวโพด

2.3.2 การปลูกและระยะปลูก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

1) ปลูกด้วยเครื่องปลูก หลังจากไถแปรจนดินมีความร่วนซุยดีแล้ว ควรรอให้ฝนตกดีก่อนทำการปลูก(ฝนตกอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร) ปลูกขณะดินขึ้นซึ่งจะทำให้เมล็ดข้าวโพดงอกได้ดี ในการปลูกควรปรับเครื่องปลูกให้มีระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระยะระหว่างหลุมประมาณ20-25 เซนติเมตร ปลูกลึก 4-5 เซนติเมตร

2) ใช้แรงคนปลูก หลังจากไถแปรแล้ว ต้องรอให้ฝนตกอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร ดินจะมีความชื้น ให้ทำการชักร่องซึ่งอาจใช้ วัว-ควาย รถไถก็ได้ โดยชักร่องให้มีระยะระหว่างร่อง 75 เซนติเมตร แล้วใช้คนหยอดเมล็ดลงในร่องให้มีระยะระหว่างหลุม 25 เซนติเมตร แล้วกลบดินหนา

2.3.3 การใส่ปุ๋ยเพื่อการผลิตข้าวโพด

การใส่ปุ๋ยสำหรับการปลูกข้าวโพดมีคำแนะนำสำหรับเกษตรกร จากหลายภาคส่วนได้แก่ กรมส่งเสริมการเกษตร. (2558) แนะนำการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ดังนี้

ครั้งที่ 1 ปุ๋ยรองพื้น ควรใส่รองกันหลุมหรือโรยเป็นแถวแล้วกลบพร้อมปลูก ถ้าใช้เครื่องปลูกจะมีถังสำหรับใส่ปุ๋ยพร้อมอยู่แล้ว ถ้าปลูกด้วยมือ ควรหยอดปุ๋ยที่กันหลุมแล้วกลบดินบางๆ ก่อนหยอดเมล็ด ไม่ควรให้ปุ๋ยสัมผัสกับเมล็ดโดยตรง เพราะอาจทำให้เมล็ดเน่าได้

ปุ๋ยรองพื้นที่ใช้ อาจใช้สูตร 16-20-0, 15-15-15,20-20-0 หรือสูตรอื่นๆ ตามความเหมาะสม ถ้าเป็นไปได้ควรมีการวิเคราะห์ดิน เพื่อหาสูตรปุ๋ยที่เหมาะกับพื้นที่ โดยปุ๋ยรองพื้นควรใส่อัตราประมาณ 25-30 กิโลกรัม/ไร่

ครั้งที่ 2 ปุ๋ยแต่งหน้า หลังจากปลูกประมาณ 25-30 วันควรมีการใส่ปุ๋ยอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) โรยข้างต้นในอัตรา 20-25 กิโลกรัม/ไร่ ใส่ขณะดินมีความชื้น หรือใส่แล้วกลบด้วยเครื่องทำรุ่น พูนโคน

การใส่ปุ๋ยข้าวโพดความค่าวิเคราะห์ดิน (ดังตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่	วิธีการใส่ปุ๋ย
1.อินทรียวัตถุ <1	ปุ๋ย N 20 กก./ไร่	ใส่ปุ๋ย N1/2 ส่วน รองก้นหลุมตอนปลูก และส่วนที่
(OM,%) 1-2	ปุ๋ย N 15 กก./ไร่	เหลือใส่เมื่อข้าวโพดอายุได้ 30 วัน
>2	ปุ๋ย N 5 กก./ไร	
2.ฟอสฟอรัส <10	ปุ๋ย P_2O_5 10 กก./ไร่	
(P, มก./กก.)10-15	ปุ๋ย P_2O_5 10 กก./ไร่	ใส่ปุ๋ย P รองก้นร่องตอนปลูก
>15	ปุ๋ย P_2O_5 5 กก./ไร	
3.โพแทสเซียม <60	ปุ๋ย K_2O 10 กก./ไร่	
(K, มก./กก.) 60-100	ปุ๋ย K_2O 10 กก./ไร่	ใส่ปุ๋ย K รองก้นร่องตอนปลูก
>100	ปุ๋ย K_2O 5 กก./ไร	

ที่มา: ดัดแปลจาก กรมวิชาการเกษตร. (2553)

2.3.4 การกำจัดวัชพืช

การปลูกข้าวโพดเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงที่สุดจำเป็นต้องให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปลอดจากวัชพืชตลอดช่วง 1 เดือนแรกตั้งแต่ปลูก การปลูกข้าวโพดในกรณีที่ไม่มีวัสดุคลุมดินหรือการไถพรวนดินต้องมีการกำจัดวัชพืชด้วยสารเคมีก่อนปลูกหรือใช้สารคุมวัชพืชประเภทก่อนงอก สารอะลาคอร์ใช้คลุมวัชพืชก่อนงอกสำหรับวัชพืชใบแคบ เช่น หญ้าตีนกา หญ้าปากควาย หญ้าตีนนก หญ้าขจรจบ เป็นต้น สารอะทราซีน ใช้คลุมวัชพืชก่อนงอกสำหรับวัชพืชใบกว้าง เช่น ผักโขม เทียนนา กะเม็ง ผักบุ้งยาง เป็นต้น จากนั้นดายหญ้าหรือทำรุ่นอีกครั้งหนึ่งพร้อมกับการใส่ปุ๋ยรองพื้น สำหรับแปลงที่มีวัชพืชไม่มาก การดายหญ้าเพียงครั้งเดียวพร้อมกับการใส่ปุ๋ยรองพื้นก็เพียงพอแล้ว (ดังตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การใช้สารป้องกันและกำจัดวัชพืชในแปลงข้าวโพดอาหารสัตว์

วัชพืช	**สารกำจัดวัชพืช***	**อัตราการใช้/น้ำ 20 ลิตร**	**วิธีใช้/ข้อควรระวัง**
วัชพืชฤดูเดียว	อะลาคลอร์ (40% อีซี) อะทราซีน (40% อีซี)	125 – 150 มิลลิลิตร 80 – 120 มิลลิเมตร	พ่นคลุมดินหลังปลูก ก่อนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และวัชพืชงอก ขณะพ่นดินต้องมีความชื้น
	พาราควอท (27.6% อีซี)	75 – 110 มิลลิเมตร	พ่นก่อนเตรียมดิน 3 – 7 วันหรือพ่นระหว่างแถวหลังปลูก 20 – 25 วัน ขณะที่วัชพืชออกดอก/ระวังละอองสารเคมีสัมผัสใบและต้นข้าวโพด
วัชพืชฤดูเดียว วัชพืชข้ามปี	ไกลโฟเซต (48% เอสแอล) ไกลโฟซิเนตแอมโมเนียม (15% เอสแอล)	120 – 160 มิลลิลิตร 300 – 400 มิลลิลิตร	ใช้ในแหล่งที่พบวัชพืชหนาแน่น โดยพ่อก่อนปลูกหรือก่อนเตรียมดิน 7 – 15 วัน

หมายเหตุ: * ในวงเล็บ คือเปอร์เซ็นต์สารออกฤทธิ์และสูตรของสารกำจัดวัชพืช

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร. (2547)

2.3.5 การให้น้ำ

ข้าวโพดต้องการน้ำตลอดฤดูปลูกประมาณ 500 - 600 มิลลิเมตร หรือปริมาณน้ำที่ต้องการในแต่ละครั้งของการปลูกประมาณ 700 ลบ.ม./ไร่ การให้น้ำอาจให้สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง ขึ้นกับความชื้นของดิน และสภาวะอากาศในแต่ละฤดูกาล วิธีการให้น้ำแก่ข้าวโพด ได้แก่ การให้น้ำแบบท่อฝอยหรือระบบสปริงเกอร์ และการให้น้ำแบบร่อง (ภาพตัวอย่างการให้น้ำดังภาพที่ 1)

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร. (2563)

ภาพที่ 1 ให้น้ำด้วยระบบการให้น้ำแบบสปริงเกลอร์

ตารางที่ 4 แสดงความต้องการน้ำในแต่ละอายุของข้าวโพด

ระยะการเจริญเติบโต	อายุนับจากการงอก	ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้
ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ	15-35 วัน	2-4 มม./วัน
ระยะช่อดอกตัวผู้เริ่มโผล่และออกไหม	40-50 วัน	4-6 มม./วัน
ระยะออกดอกและสร้างเมล็ด	60-70 วัน	8-15 มม./วัน
ระยะแป้งเริ่มแข็ง	70 วันขึ้นไป	4-6 มม./วัน

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร. (2547)

2.3.6 การเก็บเกี่ยว กรมส่งเสริมการเกษตร. (2558)

ข้าวโพดพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทย มีอายุเก็บเกี่ยวระหว่าง 100-120 วัน ซึ่งการเก็บเกี่ยวควรเก็บเมื่อข้าวโพดแก่เต็มที่ กาบหุ้มผักแห้ง ใบแห้ง (เมล็ดควรมีความชื้นไม่เกิน 30% เมื่อเก็บเกี่ยว) ทำได้ทั้งใช้แรงงานคน หรือใช้เครื่องเก็บเกี่ยว โดยการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวถ้าใช้แรงงานคนเก็บเกี่ยวข้าวโพดเป็นฝัก อาจสีข้าวโพดแล้วขายทันที หรือถ้าต้องการเก็บข้าวโพดไว้รอขายเมื่อราคาดี ควรเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ความชื้นต่ำ แล้วเก็บไว้ในยุ้งฉางที่มีการระบายอากาศดี หมั่นตรวจดูว่าผักข้าวโพดมีราเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้าเริ่มมีรา ต้องนำฝักข้าวโพดออก ตากแดดทันที

3. ฟอสฟอรัส (phosphorus)

3.1 ความสำคัญของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักและองค์ประกอบของน้ำตาลฟอสเฟต กรดนิวคลีอิค นิวคลีโอไทด์ โคเอ็นไซม์ ฟอสโฟไลปิด DNA RNA และมีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยายาที่มี ATP เกี่ยวข้องและการเคลื่อนย้ายพลังงาน โดยฟอสฟอรัสในดินที่พืชดูดใช้จะอยู่ในรูปของฟอสเฟตไอออน คือ H_2PO^{4-} และ HPO_4^{2-} และดินต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่หว่าง pH 6-7 ซึ่งเป็นระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการละลายและเป็นประยชน์ได้ของฟอสเฟต ถ้าพืชขาดจะเกิดอาการใบมีสีเขียวเข้มหรืออาจจะมีสีแดงหรือสีม่วงที่ก้านใบหรือที่ใบซึ่งจะเกิดที่ใบแก่ก่อน (นีรนุช, 2568) ในระยะต้นกล้าใบจะมีสีม่วงจากปลายใบและขอบใบของใบล่าง ต้นข้าวโพดหวานเติบโตช้า ต้นเตี้ย และไม่แข็งแรง รากไม่เจริญหรือไม่พัฒนา หากขาดธาตุฟอสฟอรัสก่อนออกดอกจะทำให้ออกดอกช้ากว่าปกติลำต้นและฝักโค้งงอเมล็ดบิดเบี้ยวการติดเมล็ดไม่สมบูรณ์ หรือมีเมล็ดลีบมาก ส่วนใหญ่พบในพื้นที่ดินทราย ดินกรดจัด ดินด่างจัด ดินแห้งหรือเปียกเกินไป หรืออากาศเย็นอุณหภูมิดินต่ำเกินไป ทำให้การเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสจากรากสู่ส่วนต่างๆ ของต้นข้าวโพดช้ากว่าปกติ โดยอาการของต้นข้าวโพดที่ขาดฟอสฟอรัสมีลักษณะอาการ (ดังภาพที่ 2) (ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์, ม.ป.ป.) ซึ่งฟอสเฟตจะช่วยส่งเสริมการเจริญของราก และเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ลำต้น กระตุ่นการออกดอก และการสร้างเมล็ดของพืช

ที่มา: ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์. (ม.ป.ป.)

ภาพที่ 2 อาการขาดธาตุฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพด

4. การคำนวณการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช (นีรนุช, 2568)

การคำนวณการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช (nutrient uptake) สามารถคำนวณได้จากปริมาณธาตุอาหารในต้นพืชและน้ำหนักแห้งของพืชดังนี้

การคำนวณการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช (nutrient uptake) หน่วยเป็น กิโลกรัมธาตุอาหารต่อไร่

$$\frac{\%\text{ธาตุอาหารในตัวอย่างพืช} \times \text{น้ำหนักแห้งของพืช}}{100}$$

การคำนวณประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชสามรถทำได้หลายวิธีดังนี้

1) Agronomic Use Efficiency (AUE) หมายถึง ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยต่อปริมาณปุ๋ยที่ใส่

$$\text{AUE} = \frac{\text{ผลผลิต(ใส่ปุ๋ย)} - \text{ผลผลิต (ไม่ใส่ปุ๋ย)}}{\text{ปริมาณธาตุอาหารที่ใส่}}$$

2) ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารเชิงสรีระ (Internal nutrient use efficiency: IE) บ่งชี้ให้เห็นถึงศักยภาพในการนำธาตุอาหารที่พืชดูดไปใช้สร้างผลผลิต

$$\text{IE} = \frac{\text{ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)}}{\text{ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมดในพืช (กิโลกรัมต่อไร่)}}$$

3) ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยบางส่วน (Partial factor productivity: PEP) บ่งบอกให้เห็นถึงประสิทธิภาพการนำปุ๋ยไปใช้ในการสร้างผลผลิต

$$PFP = \frac{\text{ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)}}{\text{ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ (กิโลกรัมต่อไร่)}}$$

4) การคำนวณหาค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสดังต่อปนี้

$$\text{Total P (\%)} = \frac{\text{ppm P std. curve} \times B \times D \times 10\text{-}4}{A \times C}$$

โดย

A คือ น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ใช้ย่อย (0.20 กรัม)

B คือ ปริมาตรที่ปรับหลังการย่อยตวอย่าง (100 มิลลิลิตร)

C คือ ปริมาตรที่ปิเปตไปใช้ develop สี (2.5 มิลลิลิตร)

D คือ ปริมาตรสุดท้ายที่ปรับหลังการ develop สี (12.5 มิลลิลิตร)

ppm P จาก std. curve = (ค่า Abs./ ค่า Y จากสมการ linear regression

5. การดูดใช้ฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพด

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสไปสะสมอยู่ในส่วนของต้น ใบ กาบฝัก เมล็ด และซัง รวมเฉลี่ย 3.6 กิโลกรัม P ต่อตันผลผลิต ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในเมล็ด เฉลี่ย 2.9 กิโลกรัม P ต่อตันผลผลิต เทียบเท่ากับปริมาณฟอสเฟต 6.9 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ต่อฤดูปลูก หรือเทียบเท่าปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ ฟอสเฟต (0-46-0) 15 กิโลกรัมต่อตันผลผลิต

ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสไปสะสมในส่วนของต้นและใบ เมล็ด ซัง และกาบฝัก รวมเฉลี่ย 1.7 กิโลกรัม P ต่อตันผลผลิต ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในต้นและใบ เฉลี่ย 0.9 กิโลกรัม P ต่อตันผลผลิต ดังนั้นเมื่อนำต้นและใบ เมล็ด ซัง และกาบฝักออกไปจากพื้นที่ทำให้ฟอสฟอรัสสูญหายออกไปเฉลี่ย 1.7 กิโลกรัม P ต่อตันผลผลิต เทียบเท่ากับปริมาณฟอสเฟต 3.9 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อตันผลผลิตต่อฤดูปลูก หรือเทียบเท่าปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) 8.4 กิโลกรัมต่อตันผลผลิต (ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์, ม.ป.ป.)

โดยจากการทดลองของ Sharifi et al., (2024) ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่แตกต่างกันของอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเนและฟอสฟอรัส และวิธีการวางปุ๋ยต่อการสะสมของฟอสฟอรัสในข้าวโพด โดยทำการดำเนินการในช่วงสองฤดูกาลเพาะปลูก ตั้งแต่วันที่ 29 พฤษภาคม ถึง 15 กันยายน 2018 และ 15 พฤษภาคม ถึง 28 สิงหาคม 2019 สถานที่ทำการทดลองในเรือนกระจกที่ตั้งอยู่ที่ฐานตรวจสอบความอุดมสมบูรณ์ของดินสีม่วงและประสิทธิภาพปุ๋ยแห่งชาติ (NMBPSFFE) มหาวิทยาลัยตะวันตกเฉียงใต้ เมืองฉงชิง ประเทศจีน โดยวางแผนการทดลองแบบ randomized split-plot design ทำการปลูกในกระถาง โดยกระถางมีขนาด 57 ซม. x 23 ซม. x 27 ซม. (ยาว x กว้าง x สูง) บรรจุด้วยดินสีม่วง 26 กก. และใช้

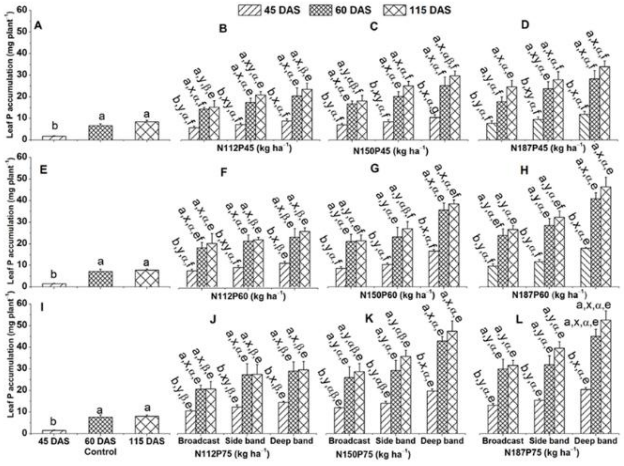
ข้าวโพดลูกผสมสองสายพันธุ์ ได้แก่ Xida-789 และ Xida-211 ในการทดลองประกอบด้วยปัจจัย 2 ปัจจัย ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้ โดยปัจจัยที่ 1 วิธีการใส่ปุ๋ย ได้แก่ การหว่าน การใส่ปุ๋ยข้างแปลง การใส่ปุ๋ยลึก ปัจจัยที่ 2 อัตราการใส่ปุ๋ย ได้แก่ N ที่ 112, 150, 187 กก. N ha^{-1}และ P ที่ 45, 60, 75กก.P ha^{-1} รวมทั้งหมด9 ชุด ได้แก่ N112P45; N112P60; N112P75; N150P45; N150P60; N150P75; N187P45; N187P60; N187P75 พบว่าการใส่ปุ๋ยในแบบลึกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส และทำให้ผลผลิตสูงขึ้น เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยแบบหว่านและแบบข้างดิน (ดังตารางที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยก่อนหน้านี้ที่แสดงให้เห็นว่าการวางฟอสฟอรัสใกล้กับบริเวณเมล็ดหรือรากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช่ฟอสฟอรัสได้สูง ในขณะที่ลดอัตราการใส่ฟอสฟอรัสเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยแบบหว่าน ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ไม่เคลื่อนที่ในดินและตรึงตัวกับอนุภาคดินได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อหว่านบนผิวดิน แต่การใส่ปุ๋ยลึกจะช่วยลดปฏิกิริยาการตรึงฟอสฟอรัสเนื่องจากความพร้อมใช้งาน ซึ่งช่วยเพิ่มการได้รับฟอสฟอรัสและส่งผลให้ประสิทธิภาพการฟื้นตัวก่อนการใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้นการศึกษารายงานว่าค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัส โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 5–10% เท่านั้นเมื่อใส่ปุ๋ยแบบหว่าน แต่จะเพิ่มขึ้นอย่างมากเป็น 30–35% เมื่อใส่ปุ๋ยลึกและมีกราฟแสดงผลการสะสมฟอสฟอรัสในใบ ลำต้น ราก และเมล็ด ในระยะ45, 60, 115 วัน (ดังภาพที่ 4-7)

ตารางที่ 5 ผลกระทบของอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) และตำแหน่งการใส่ปุ๋ยต่อประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (PAE, kg kg−1), ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (PUE, %) และผลผลิตฟอสฟอรัสบางส่วน (PFP_P, kg kg−1P) ของข้าวโพด

NP Rate	Placement	(PAE, kg kg−1)	(PUE, %)	(PFP_P, kg kg−1P)
	Broadcast	35.4±9.2 (a,x,e)	7.7±1.3 (b,x,e)	76.4±5.4 (a,x,e)
N112P45	Side band	34.3±5.7 (a,x,e)	8.0±0.6 (a,x,e)	63.9±3.0 (a,y,e)
	Deep band	23.3±6.0 (a,x,e)	6.2±1.0 (a,x,e)	48.9±2.8 (a,z,e)
	Broadcast	37.3±4.8 (a,x,e)	8.9±1.1 (a,x,e)	78.0±4.4 (a,x,e)
N150P45	Side band	38.5±7.5 (a,x,e)	11.3±1.7 (a,x,e)	81.3±3.0 (a,x,e)
	Deep band	43.5±9.1 (a,x,e)	13.6±1.9 (a,x,e)	84.1±5.9 (a,x,e)
	Broadcast	39.3±8.2 (a,x,e)	11.5±1.7 (a,x,e)	79.8±4.6 (a,x,e)
N187P45	Side band	42.3±7.7 (a,x,e)	13.6±1.6 (a,x,e)	84.5±6.6 (a,x,e)
	Deep band	45.9±7.5 (a,x,e)	15.6±1.4 (a,x,e)	86.1±3.2 (a,x,e)
	Broadcast	37.1±7.2 (a,x,e)	10.0±1.4 (ab,x,f)	80.1±3.0 (a,x,e)
N112P60	Side band	34.4±7.8 (a,x,e)	9.0±1.4 (a,x,e)	65.6±3.4 (a,y,e)
	Deep band	25.9±6.0 (a,x,f)	7.8±1.1 (a,x,f)	51.0±3.6 (a,z,f)
	Broadcast	36.2±4.4 (a,x,e)	9.1±0.9 (a,y,ef)	65.5±3.9 (b,y,e)
N150P60	Side band	38.3±4.4 (a,x,e)	10.7±1.0 (a,y,e)	69.0±4.2 (b,xy,e)
	Deep band	49.5±4.5 (a,x,ef)	15.2±1.2 (a,x,e)	77.6±3.2 (a,x,e)
	Broadcast	37.3±3.5 (a,y,e)	10.3±0.5 (a,y,e)	66.5±3.2 (b,y,e)
N187P60	Side band	40.5±5.4 (a,xy,e)	12.5±1.0 (a,y,e)	70.9±4.5 (a,xy,e)
	Deep band	51.5±3.5 (a,x,e)	17.0±0.9 (a,x,e)	79.2±3.4 (a,x,e)
	Broadcast	41.7±8.0 (a,x,e)	11.7±1.2 (a,x,e)	82.5±4.4 (a,x,e)
N112P75	Side band	36.9±5.6 (a,x,e)	10.2±1.2 (a,x,f)	66.7±3.1 (a,y,e)

	Deep band	31.4±6.6 (a,x,e)	9.1±0.8 (a,x,f)	53.5±3.2 (a,z,f)
	Broadcast	25.2±6.0 (a,y,e)	7.6±0.9 (a,z,e)	50.5±3.5 (c,y,e)
N150P75	Side band	27.4±2.5 (a,y,e)	9.5±0.4 (a,y,ef)	52.3±3.2 (c,y,e)
	Deep band	44.0±3.0 (a,x,e)	14.5±0.5 (a,x,e)	64.4±3.2 (b,x,e)
	Broadcast	25.9±4.1 (a,y,e)	8.5±1.0 (a,z,e)	51.1±2.8 (c,y,e)
N187P75	Side band	31.0±2.2 (a,y,e)	10.8±0.4 (a,y,e)	55.4±3.5 (b,y,e)
	Deep band	46.3±4.6 (a,x,e)	15.9±0.4 (a,x,e)	66.4±3.9 (b,x,e)

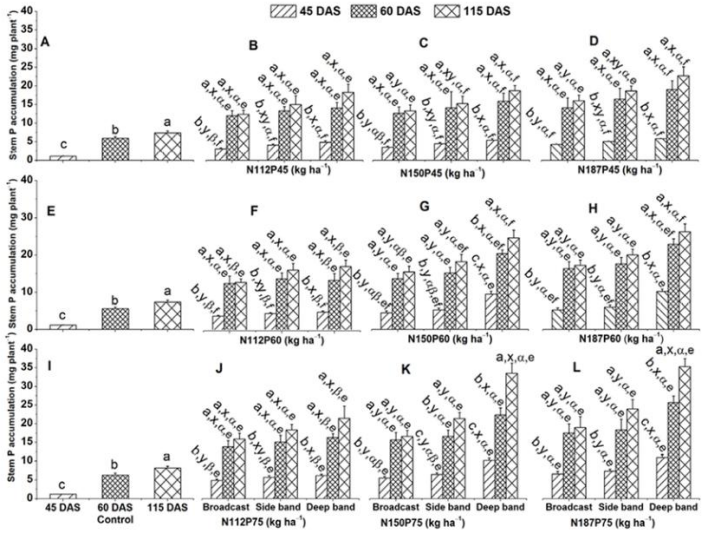
ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Sharifi et al., (2024)



ที่มา: Sharifi et al. (2024)

ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าการสะสมฟอสฟอรัสในใบ ที่อยู่ในระยะอายุพืชที่ 45, 60, 115 วัน

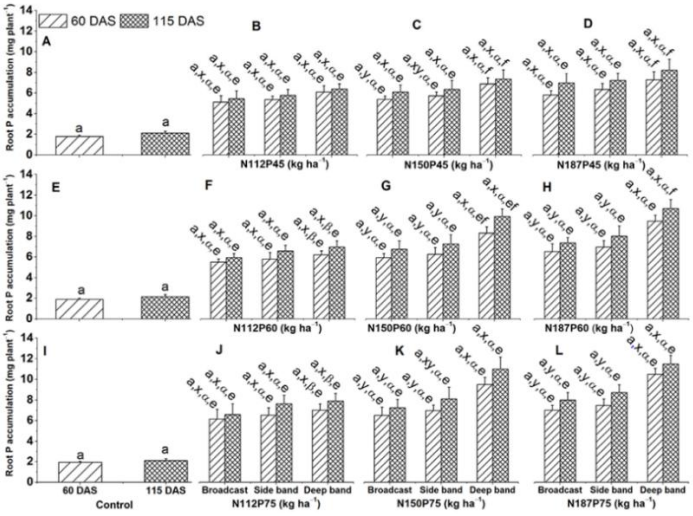
หมายเหตุ: อิทธิพลของอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสและวิธีการใส่ปุ๋ยที่มีผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสในใบข้าวโพด ณ ช่วงอายุต่างๆ หลังปลูก (DAS) โดยกลุ่มภาพ A, E, I : คือข้อมูลของกลุ่มควบคุม (Control - ไม่ใส่ปุ๋ย) และกลุ่มภาพ B-D, F-H, J-L : แสดงข้อมูลของระดับปุ๋ยฟอสฟอรัส P45, P60 และ P75 ตามลำดับภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและวิธีการวางปุ๋ยที่แตกต่างกันความหมายของตัวอักษรกำกับ (นัยสำคัญทางสถิติ):มีดังต่อไปนี้ (a, b) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวันที่อายุพืช 45, 60, 115 วันหลังปลูก ภายใต้ที่อัตราปุ๋ยN และP วิธีการใส่ปุ๋ยคงที่ (x, y) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวิธีการใส่ปุ๋ยต่างกัน ภายใต้วันที่ของวันที่อายุพืช 45, 60, 115 วันหลังปลูก และอัตราปุ๋ยN และP คงที่ (α, β) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราปุ๋ยN ภายใต้อัตราปุ๋ยP และวิธีการใส่ปุ๋ย วันที่อายุพืช 45, 60, 115 วันหลังปลูกคงที่ (e, f) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราปุ๋ย P ภายใต้อัตราปุ๋ยN และวิธีการใส่ปุ๋ย วันที่อายุพืช 45, 60, 115 วันหลังปลูกคงที่ ($p<0.05$)



ที่มา: Sharifi et al. (2024)

ภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าการสะสมฟอสฟอรัสในลำต้น ที่อยู่ในระยะอายุพืชที่ 45, 60, 115 วัน

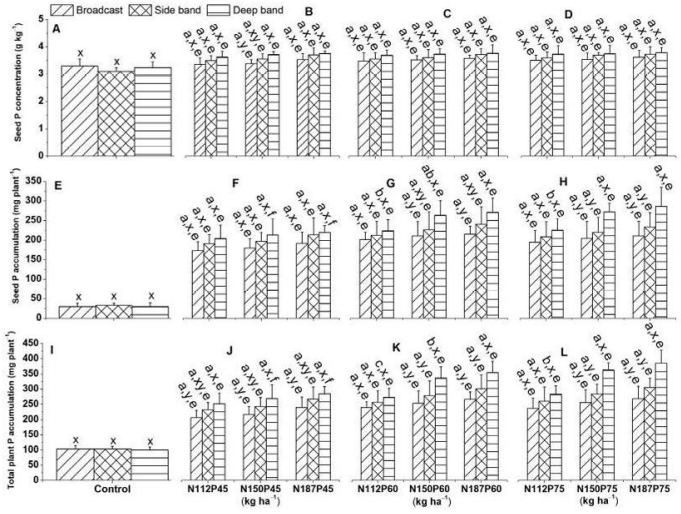
หมายเหตุ: อิทธิพลของอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสและวิธีการใส่ปุ๋ยที่มีผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสในลำต้นข้าวโพด ณ ช่วงอายุต่างๆ หลังปลูก (DAS) โดยกลุ่มภาพ A, E, I : คือข้อมูลของกลุ่มควบคุม (Control - ไม่ใส่ปุ๋ย) และกลุ่มภาพ B-D, F-H, J-L : แสดงข้อมูลของระดับปุ๋ยฟอสฟอรัส P45, P60 และ P75 ตามลำดับภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและวิธีการวางปุ๋ยที่แตกต่างกันความหมายของตัวอักษรกำกับ (นัยสำคัญทางสถิติ):มีดังต่อไปนี้ (a, b, c) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวันที่อายุพืช 45, 60, 115 วันหลังปลูก ภายใต้ที่อัตราปุ๋ยN และP วิธีการใส่ปุ๋ยคงที่ (x, y) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวิธีการใส่ปุ๋ยต่างกัน ภายใต้วันที่ของวันที่อายุพืช 45, 60, 115 วันหลังปลูก และอัตราปุ๋ยN และP คงที่ (α, β) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราปุ๋ยN ภายใต้อัตราปุ๋ยP และวิธีการใส่ปุ๋ย วันที่อายุพืช 45, 60, 115 วันหลังปลูกคงที่ (e, f) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราปุ๋ยP ภายใต้อัตราปุ๋ยN และวิธีการใส่ปุ๋ย วันที่อายุพืช 45, 60, 115 วันหลังปลูกคงที่ ($p<0.05$)



ที่มา: Sharifi et al. (2024)

ภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าการสะสมฟอสฟอรัสในราก ที่อยู่ในระยะอายุพืชที่ 60, 115 วัน

หมายเหตุ: อิทธิพลของอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสและวิธีการใส่ปุ๋ยที่มีผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสในรากข้าวโพด ณ ช่วงอายุต่างๆ หลังปลูก (DAS) โดยกลุ่มภาพ A, E, I : คือข้อมูลของกลุ่มควบคุม (Control - ไม่ใส่ปุ๋ย) และกลุ่มภาพ B-D, F-H, J-L : แสดงข้อมูลของระดับปุ๋ยฟอสฟอรัส P45, P60 และ P75 ตามลำดับภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและวิธีการวางปุ๋ยที่แตกต่างกัน ความหมายของตัวอักษรกำกับ (นัยสำคัญทางสถิติ):มีดังต่อไปนี้ (a) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวันที่อายุพืช 60, 115 วันหลังปลูก ภายใต้ที่อัตราปุ๋ยN และP วิธีการใส่ปุ๋ยคงที่ (x, y) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวิธีการใส่ปุ๋ยต่างกัน ภายใต้วันที่ของวันที่อายุพืช 60, 115 วันหลังปลูก และอัตราปุ๋ยN และP คงที่ (α, β) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราปุ๋ยN ภายใต้อัตราปุ๋ยP และวิธีการใส่ปุ๋ย วันที่อายุพืช 60, 115 วันหลังปลูกคงที่ (e, f) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราปุ๋ยP ภายใต้อัตราปุ๋ยN และวิธีการใส่ปุ๋ย วันที่อายุพืช 60, 115 วันหลังปลูกคงที่ ($p<0.05$)



ที่มา: Sharifi et al. (2024)

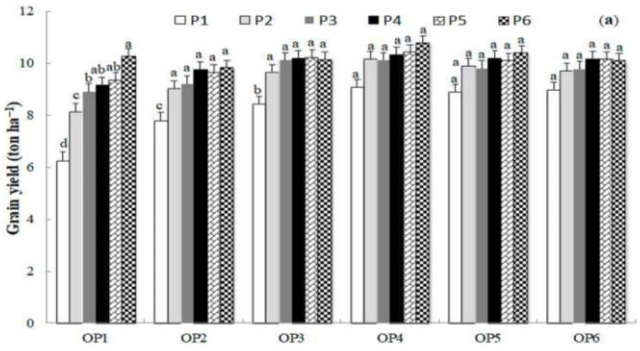
ภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่าการสะสมฟอสฟอรัสในเมล็ด

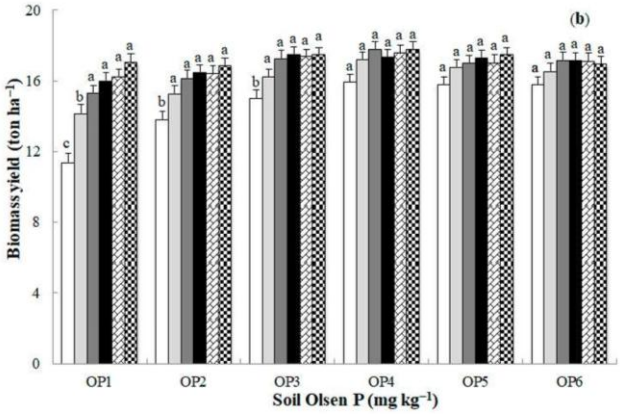
หมายเหตุ: อิทธิพลของอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสและวิธีการใส่ปุ๋ยที่มีผลต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในข้าวโพด กลุ่มภาพ (A–D) การสะสมฟอสฟอรัสในเมล็ด กลุ่มภาพ (E–H) และการสะสมฟอสฟอรัสรวมในพืช (ใบ + ลำต้น + เมล็ด + ราก) ของข้าวโพดเมื่อเก็บเกี่ยว กลุ่มภาพ (I–L)ความหมายของตัวอักษรกำกับ (นัยสำคัญทางสถิติ): (a, b) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราการใส่ปุ๋ยN ภายใต้อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และวิธีการใส่ปุ๋ยคงที่ (x, y) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวิธีการใส่ปุ๋ย ภายใต้อัตราการใส่ปุ๋ยN เดียวคงที่ (e, f) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราการใส่ปุ๋ยP ภายใต้อัตราการใส่ปุ๋ยNคงที่ และวิธีการใส่ปุ๋ยคงที่ที่ ($p < 0.05$)

Ibrahim et al., (2021) ได้ทำการศึกษาการหาปริมาณฟอสฟอรัสในดินตามวิธี Olsen และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ข้าวโพดดูดซึมฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในดินดำ ดำเนินการทดลองในปี 2017 2018 และ2019 ที่แปลงทดลอง Gongzhuling ในมณฑลจี๋หลิน ตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ randomized complete block design RCBD มี 3 ซ้ำ และมี 3แปลงหลัก ขนาดแปลงทดลอง 15 x 4.2 เมตร แต่ละแปลงมี 6 แถวปลูก โดยในการทดลองนี้เลือกใช้ระดับ OP 6 ระดับ ได้แก่ OP1, OP2, OP3, OP4, OP5 และ OP6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16, 20, 28, 38, 43 และ 49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และศึกษาปฏิสัมพันธ์ของระดับ OP เหล่านี้กับอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสคือ ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (P2O5) ได้แก่ P1, P2, P3, P4, P5 และ P6 ซึ่งมีค่าเท่ากับกับ 0, 22, 44, 59, 73 และ 117 กิโลกรัม P2O5 ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังใส่ธาตุอาหารอื่นร่วมด้วยได้แก่ ไนโตรเจน (N) ถูกใส่ในรูปของยูเรีย (CH_4N_2O) ในอัตรา 100 กก. N ต่อเฮกตาร์ และโพแทสเซียมในรูปของโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ในอัตรา 100 กก. K2O ต่อเฮกตาร์ สำหรับทุกกรรมวิธี ใส่ปุ๋ยทั้งหมดทุกกรรมวิธีลงไปในดินก่อนปลูกข้าวโพด พบว่าระดับวิกฤตของ OP แตกต่างกันตามชนิดของดิน ชนิดของพืช และสภาพภูมิอากาศตลอดช่วงเวลาการทดลอง ค่า PUE มีการเพิ่มขึ้นในพื้นที่ศึกษา โดยในช่วงแรกมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ต่อมามีการลดลงอย่างเห็นชัดเจน นอกจากนี้ ยังใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (correlation) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง PUE กับระดับ OP ของดินอัตราการเปลี่ยนแปลงซึ่งแยกได้ค่อนข้างยาก แสดงให้เห็นว่าค่า PUE เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือคงที่ เมื่อระดับ OP ของดินเพิ่มขึ้น ในการทดลองส่วนใหญ่ พบว่าเมื่อระดับ OP ของดินสูงมาก ค่า PUE จะลดลง ทำให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรฟอสฟอรัส และก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น ภาวะยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ ดังนั้นระดับ OP ของดินควรถูกควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จากข้อมูลการทดลองภาคสนาม ระยะเวลา 3 ปี พบว่าเพื่อให้ได้ค่า PUE สูงๆ, ผลผลิตพืชสูง และความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ดี ระดับ Olsen P ที่เหมาะสมคือ 28 mg kg^{-1} (ดังภาพที่ 12) และสามารถดูผลการทดลองตามลำดับต่อไปนี้

1)การตอบสนองของผลผลิตเมล็ดและชีวมวลเหนือดินต่อระดับ Olsen P และอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ภาพที่ 8a และ 8b แสดงค่าเฉลี่ยของ ผลผลิตเมล็ดและชีวมวลเหนือดินของข้าวโพด ในช่วงเวลาการศึกษา (2017, 2018 และ 2019) ภายใต้ระดับ OP 6 ระดับ และ อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับ P1 (แปลงควบคุม) พบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทุกระดับ เพิ่มผลผลิตเมล็ดและชีวมวลเหนือดินอย่างมีนัยสำคัญ ตลอดช่วงการศึกษาผลผลิตเมล็ดในชุดทดลอง P1 เพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปเมื่อระดับ OP เพิ่มจาก OP1 ถึง OP3 และจากนั้นคงที่ตั้งแต่ OP4 (38 mg kg^{-1}) ถึง OP6 (49 mg kg^{-1}) แม้ว่าระดับ Olsen P จะยังเพิ่มขึ้นเมื่อ ความอุดมสมบูรณ์ของดินดีขึ้น ผลของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตจะลดความชัดเจนลง และไม่พบความแตกต่างของผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส เพิ่มผลผลิตพืชอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะในแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ดังที่แสดงใน ภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่าการขาดฟอสฟอรัสมีผลอย่างมากต่อผลผลิตเมล็ดของข้าวโพดในการศึกษานี้ พบว่าผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้น 42.6% ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้น 42.6% ชีวมวลเหนือดินเพิ่มขึ้น 36.0% เมื่อเปรียบเทียบกับ P1 (แปลงควบคุม) โดยเฉพาะค่าเฉลี่ยของ ผลผลิตเมล็ดและชีวมวลเหนือดิน ในการทดลอง P6 ที่มีระดับ OP สูง (OP6) สูงกว่า 38.6% และ 32.5% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ แปลงควบคุม (P1)





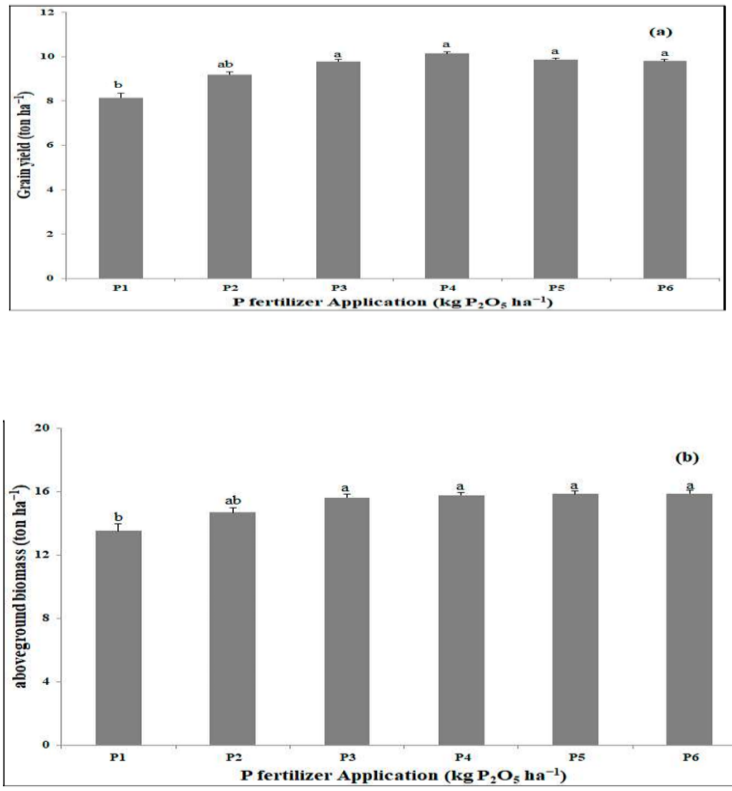
ที่มา: Ibrahim et al. (2021)

ภาพที่ 8 (a) ค่าเฉลี่ยของ ผลผลิตเมล็ด และ(b) ค่าเฉลี่ยของ ผลผลิตชีวมวลเหนือดิน ของข้าวโพด ภายใต้ระดับ Olsen P 6 ระดับ และ อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ในดินดำที่เมือง Gongzhuling ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน ในช่วงการศึกษา ปี 2017, 2018 และ 2019

หมายเหตุ: ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันเหนือแท่งกราฟ (a, b และc) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างผลผลิตเมล็ดและชีวมวลเหนือดินในแต่ละระดับ Olsen P OP หมายถึงระดับ Olsen P ได้แก่OP1, OP2, OP3, OP4, OP5 และ OP6ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16, 20, 28, 38, 43 และ 49 mg kg^{-1} ตามลำดับ P หมายถึงอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ได้แก่P1, P2, P3, P4, P5 และ P6 ซึ่งเท่ากับ 0, 22, 44, 59, 73 และ 117 kg P_2O_5 ha^{-1} ตามลำดับ

2)การตอบสนองของผลผลิตเมล็ดและชีวมวลเหนือดินต่ออัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ภาพที่ 9a และ 9b แสดงค่าเฉลี่ยของ ผลผลิตเมล็ดและชีวมวลเหนือดินของข้าวโพดในช่วงการศึกษา ปี 2017, 2018 และ 2019 ภายใต้อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 6 ระดับเราได้เปรียบเทียบ P1 (แปลงควบคุม) ซึ่งมีผลผลิตเมล็ดและชีวมวลเหนือดินเฉลี่ย 8.1 และ 13.5 t ha^{-1} กับปุ๋ยฟอสฟอรัสระดับอื่น ๆ ได้แก่ P2, P3, P4, P5 และ P6 ซึ่งให้ผลผลิตเมล็ดเท่ากับ 9.2, 9.8, 10, 9.9 และ 9.8 t ha^{-1} และให้ผลผลิตชีวมวลเหนือดินเท่ากับ 14.7, 15.6, 15.8, 15.8 และ 15.9 t ha^{-1} ตามลำดับ พบว่า ผลผลิตเมล็ดและชีวมวลเหนือดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตลอดช่วงการศึกษา ผลผลิตเมล็ดใน P1 (แปลงควบคุม) เพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปเมื่อ อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มจาก P1 ถึง P3 และหลังจากนั้นคงที่ตั้งแต่ P4 (59 kg P_2O_5 ha^{-1}) ถึง P6 (117 kg P_2O_5 ha^{-1}) แม้ว่าอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นก็ตาม



ที่มา: Ibrahim et al. (2021)

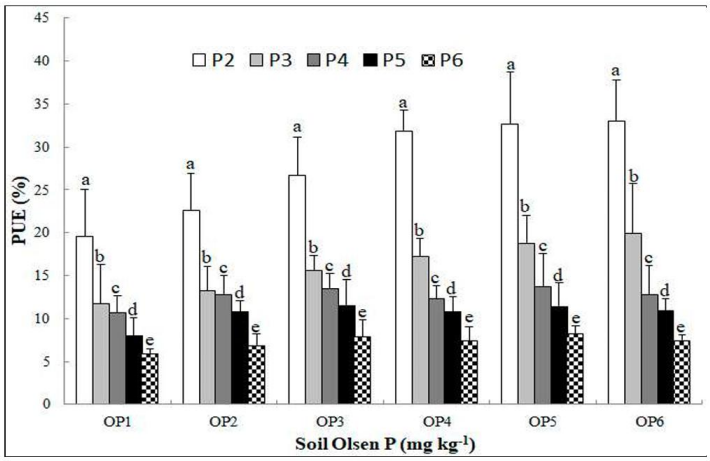
ภาพที่ 9 (a) ค่าเฉลี่ยของผลผลิตเมล็ด และ(b) ค่าเฉลี่ยของผลผลิตชีวมวลเหนือดินของข้าวโพดภายใต้อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินดำที่เมือง Gongzhuling ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีนในช่วงการศึกษา ปี 2017, 2018 และ 2019

หมายเหตุ: ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันเหนือแท่งกราฟ (a, b) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างผลผลิตเมล็ดและชีวมวลเหนือดินในแต่ละระดับของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ได้แก่ P1, P2, P3, P4, P5 และ P6 ซึ่งเท่ากับ0, 22, 44, 59, 73 และ 117 kg P_2O_5 ha^{-1} ตามลำดับ

3)การตอบสนองของประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus-Use Efficiency: PUE) ต่อระดับ OP ของดินและอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ภาพที่10 แสดงค่า PUE (%) ของข้าวโพดภายใต้ระดับ OP ของดิน 6 ระดับ และ อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ในช่วงการศึกษา ปี 2017, 2018 และ 2019 พบว่าค่า PUE (%) เพิ่มขึ้นเมื่อระดับ OP ของดินเพิ่มขึ้น แต่มีการลดลงเมื่ออัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น (ดังแสดงในภาพที่ 10) เมื่อเปรียบเทียบค่า PUE ที่ระดับ OP ต่ำ (OP1) กับ ระดับ OP สูง (OP6) ภายใต้อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเท่ากัน (P2)

พบว่าPUE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับ OP ของดินเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นที่ระดับ OP สูง (OP6) อยู่ในช่วง 32.4–49.5% เมื่อเทียบกับค่า PUE ที่ระดับ OP ต่ำ (OP1) ในช่วงการศึกษา ปี 2017, 2018 และ 2019 ในช่วงการศึกษาเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบค่า PUE ที่อัตราการใส่ปุ๋ยต่ำ (P2) กับค่า PUE ที่อัตราการใส่ปุ๋ยสูง (P6) ภายใต้ระดับ OP เดียวกัน พบว่าค่า PUE ลดลงอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง 62.8–78.7% ค่า PUE สูงสุด ในช่วงการศึกษาคือ33.0% ซึ่งพบที่ระดับ OP6 ภายใต้อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่ำ (P2) ส่วนค่า PUE ต่ำสุด คือ 5.9% ซึ่งพบที่ระดับ OP1 ภายใต้อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสสูง (P6) ดังที่แสดงใน ภาพที่10



ที่มา: Ibrahim et al. (2021)

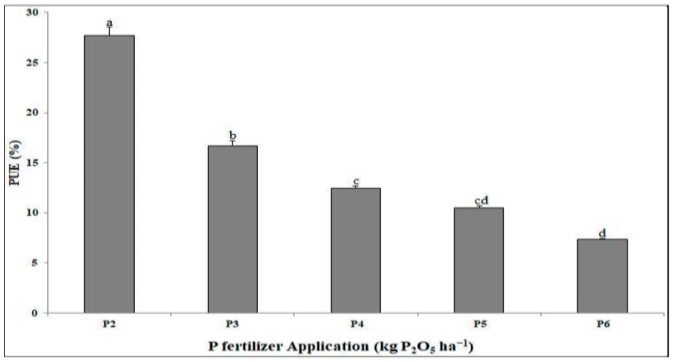
ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus-Use Efficiency: PUE) ของข้าวโพด ภายใต้ ระดับ Olsen P ของดิน 6 ระดับ และ อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ในดินดำที่เมือง Gongzhuling ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน ในช่วงการศึกษา ปี 2017, 2018 และ 2019

หมายเหตุ: OP1, OP2, OP3, OP4, OP5 และ OP6 หมายถึงระดับ Olsen P ของดิน 6 ระดับ คือ16, 20, 28, 38, 43 และ 49 mg kg^{-1} P2, P3, P4, P5 และ P6 หมายถึงอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 22, 44, 59, 73 และ 117 kg P_2O_5 ha^{-1} ตามลำดับตัวอักษรพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน (a, b และc) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสภายในระดับ Olsen P เดียวกัน ($p < 0.05$)

4)การตอบสนองของประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสต่ออัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ภาพที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ย PUE (%) ของข้าวโพด ภายใต้อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 6 ระดับ ในช่วงการศึกษา ปี 2017, 2018 และ 2019พบว่าค่า PUE (%) มีการลดลงเมื่ออัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่า PUE ที่อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่ำ (P2 = 22 kg P_2O_5 ha^{-1}) กับค่า PUE ที่อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสสูง (P6 = 117 kg P_2O_5 ha^{-1}) พบว่าค่า PUE ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออัตรา

การใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้น ในช่วงเวลาการศึกษาในช่วงการทดลองนี้ค่า PUE สูงสุด = 28% พบในระดับ P2 ค่า PUE ต่ำสุด = 7% พบในระดับ P6 (ดังภาพที่ 11)



ที่มา: Ibrahim et al. (2021)

ภาพที่ 11 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus-Use Efficiency: PUE) ของข้าวโพด ภายใต้อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 6 ระดับ ในดินสีดำที่เมือง Gongzhuling ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน ในช่วงปี ค.ศ. 2017, 2018 และ 2019

หมายเหตุ: อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสกำหนดเป็น P1, P2, P3, P4, P5 และ P6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0, 22, 44, 59, 73 และ 117 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อเฮกตาร์ (kg P_2O_5 ha^{-1}) ตามลำดับตัวอักษรพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันเหนือแท่งกราฟ (a, b และc) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

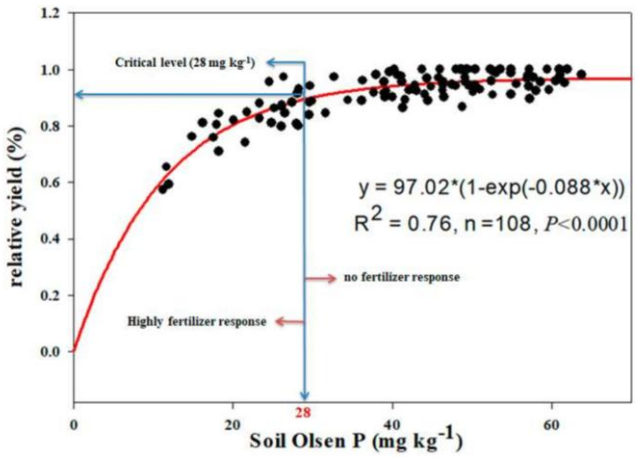
5)ระดับวิกฤตทางเกษตรของ Olsen P สำหรับข้าวโพดในดินดำ

ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลผลิตสัมพัทธ์ (relative yield) และ ระดับ Olsen P ของดิน (OP) ถูกวิเคราะห์โดยใช้สมการ Michaelis (ดังภาพที่12) ผลผลิตสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเมื่อ ระดับ OP ของดินเพิ่มขึ้น การตอบสนองของผลผลิตสัมพัทธ์ต่อระดับ OP สามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง

ช่วงที่ 1 เมื่อระดับ OP ต่ำกว่า 28 mg kg^{-1} ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระดับ OP เพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ ปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่

ช่วงที่ 2 เมื่อระดับ OP สูงกว่า 28 mg kg^{-1} พืช ไม่ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่ม ดังนั้นผลผลิตจึง คงที่ แม้ว่าระดับ OP จะเพิ่มขึ้น

ดังนั้น จุดเปลี่ยนระหว่างสองช่วงนี้ จึงถือว่าเป็นระดับวิกฤตทางการเกษตร (Agronomic Critical Level) ของ Olsen P



ที่มา: Ibrahim et al. (2021)

ภาพที่ 12 ผลผลิตสัมพัทธ์ของข้าวโพดภายใต้ระดับ Olsen P ของดิน 6 ระดับ ในดินสีดำที่เมืองกงจู๋หลิง ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน ในช่วงระยะเวลาการศึกษา ปี 2017, 2018 และ 2019.

6)ผลของปัจจัยการทดลอง (ปี ระดับ Olsen P และอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส) ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพด

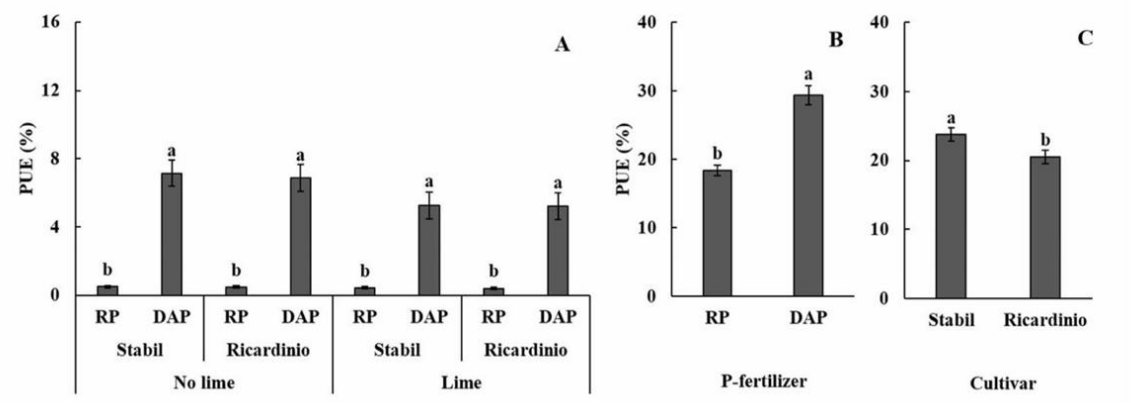
ความสัมพันธ์ร่วมกันของ ปัจจัยทดลอง 3 ปัจจัย ได้แก่ ปี, ระดับ Olsen P (OP) อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (P application) ต่อ ผลผลิตเมล็ด ชีวมวลเหนือดิน และค่า PUE ดังตารางที่ 6พบว่า ผลผลิตเมล็ด และ ชีวมวลเหนือดิน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสูงโดยมีค่า R^2 = 0.97 และ 0.62 ตามลำดับ ($p < 0.01$)สำหรับปัจจัย ปี , OP, อัตราการใส่ปุ๋ย P และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปี × OP สำหรับค่า PUE พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสูง โดยมีค่า R^2 = 0.96 ($p < 0.01$)สำหรับปัจจัยทดลองเกือบทั้งหมด ยกเว้น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปี × OP × P ซึ่ง ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ดังตารางที่ 6) จากผลการทดลองในตารางที่ 6 สามารถสรุปได้ว่าระดับ Olsen P ของดิน (OP) เป็น ปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลผลิตของข้าวโพด (ผลผลิตเมล็ดและชีวมวลเหนือดิน) และค่าประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (PUE) ของข้าวโพด

ตารางที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลกระทบจากปี ระดับ Olsen P และอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ต่อผลผลิตเมล็ด ชีวมวลเหนือดิน และประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (PUE)

ผลผลิตเมล็ด (Grain Yield)			
ปัจจัย	**df**	**Mean Squares**	**ค่า p**
Year Y	2	1486.8	**
Olsen P OP	5	2.4	**
P application p	5	15.9	**
Y x OP	10	1.8	**
Y x P	10	1.9	**
OP x P	25	0.8	*
Y x OP x P	50	0.6	ns
Error	216	0.5	-
R^2=0.97	-	-	-
ชีวมวลเหนือดิน (aboveground biomass yields)			
ปัจจัย	**df**	**Mean Squares**	**ค่า p**
Year Y	2	117.6	**
Olsen P OP	5	16.9	**
P application p	5	68.4	**
Y x OP	10	5.9	**
Y x P	10	2.3	Ns
OP x P	25	2.7	Ns
Y x OP x P	50	1.2	Ns
Error	216	2.4	-
R^2=0.62	-	-	-
ประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัส (phosphorus use efficiency (PUE))			
ปัจจัย	**df**	**Mean Squares**	**ค่า p**
Year Y	2	1208.4	**
Olsen P OP	5	105.0	**
P application p	5	4252.4	**
Y x OP	10	23.7	**
Y x P	10	109.6	**
OP x P	25	34.2	**
Y x OP x P	50	10.0	ns
Error	216	9.9	-
R^2=0.96	-	-	-

หมายเหตุ: ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$), * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

Ning et al., (2021) ได้ทำการศึกษาชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตและการใส่ปูนมีผลต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพดสองสายพันธุ์ ดำเนินการทดลองในปี2020 และ 2021ตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศเยอรมนี ณ สถานีวิจัย Oberer Lindenhof ของมหาวิทยาลัยโฮเฮนไฮม โดยวางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล มี 4 ซ้ำ และมี 8 กรรมวิธี ปัจจัยในการทดลอง ได้แก่:1.ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัส หินฟอสเฟต (RP) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) 2.สายพันธุ์ข้าวโพด ได้แก่ Stabil (สายพันธุ์ที่ใช้ฟอสฟอรัสได้ดีและให้ผลผลิตสูง) Ricardinio (สายพันธุ์ไวต่อการขาดฟอสฟอรัส) 3.การใส่ปูน ได้แก่ไม่ใส่ปูน ใส่ปูนในอัตรา 16,800 กก. $CaCO_3$ ต่อเฮกตาร์ พบว่า RP ทำให้ดัชนีพื้นที่ใบและการรับแสงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ DAP ส่งผลให้ผลผลิตหมักต่ำกว่า 33% และปริมาณฟอสฟอรัสในผลผลิตต่ำกว่า 29% ค่า PUE ของ RP เท่ากับ 18% ซึ่งต่ำกว่า DAP ถึง 37% การใส่ปูนในดินช่วยลดชีวมวลของลำต้น และทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้นลดลง 35% ในระยะใบ 6 ใบสายพันธุ์ Stabil มี ลักษณะการให้ผลผลิตและการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่า



ที่มา: Ning et al., (2021)

ภาพที่ 13 ผลของปุ๋ย P (RP, DAP), พันธุ์ (Stabil, Ricardinio) และการใช้ปูนขาว (No lime, Lime) ต่อประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (PUE, %) ในระยะหกใบ (A) และการเก็บเกี่ยว (B,C) ในปี 2021 RP, หินฟอสเฟต; DAP, ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต; มี (ปูนขาว) และไม่มี (ไม่มีปูนขาว) การใช้ปูนขาวแถบที่นำหน้าด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันอย่างน้อยหนึ่งตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามการทดสอบ LSD ของ Fisher, $p < 0.05$ ใน (A) ตัวอักษรเปรียบเทียบปุ๋ย P ในแต่ละชุดของพันธุ์และการใช้ปูนขาว

6.สรุป

การจัดการธาตุอาหารในข้าวโพด (*Zea mays* L.) การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส ให้เกิดประโยชน์สูงสุดนั้น ขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารที่พืชใช้ประโยชน์ได้ในดินและรูปแบบการใส่ปุ๋ย โดยผลการศึกษาพบว่าการรักษาปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ในดินให้อยู่ในระดับค่าวิกฤตที่ 28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นจุดสมดุลที่ทำให้พืชสามารถให้ผลผลิตสูงสุดและดูดใช้ธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งหากระดับฟอสฟอรัสในดินสูงเกินกว่าค่าวิกฤตนี้ การใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมจะไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิต แต่จะนำไปสู่การสะสมส่วนเกินที่สูญเปล่า ในด้านการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ วิธีการใส่ปุ๋ยแบบแถบลึก (Deep banding) จัดเป็นเทคนิคที่ดีกว่าการใส่ปุ๋ยแบบหว่าน (Broadcast) เนื่องจากช่วยกระตุ้นการขยายตัวของระบบรากในแนวดิ่งเพื่อเข้าถึงแหล่งธาตุอาหารและหนีความแห้งแล้งในชั้นดินบน ส่งผลให้พืชมีการสะสมฟอสฟอรัสในมวลชีวภาพสูงขึ้นตลอดวงจรการเจริญเติบโต นอกจากนี้ การจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสควบคู่กับไนโตรเจนในอัตราที่เหมาะสม ยังเป็นปัจจัยเสริมที่ช่วยส่งเสริมการทำงานร่วมกันของธาตุอาหาร ซึ่งนำไปสู่การยกระดับผลผลิตต่อพื้นที่ ดังนั้น การตรวจวิเคราะห์ดินเพื่อประเมินค่าความต้องการธาตุอาหารร่วมกับการใช้เทคโนโลยีการใส่ปุ๋ยแบบแถบลึก จึงเป็นแนวทางปฏิบัติที่แนะนำสำหรับเกษตรกรและนักวิชาการเกษตรเพื่อเพิ่มความคุ้มค่าและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2547. เอกสารวิชาการข้าวโพดฝักสด. หจก. ไอเดีย สแควร์. 140 หน้า

กรมวิชาการเกษตร. 2563. เทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. แหล่งที่มาhttps://www.doa.go.th/share/attachment.php?aid=2951. สืบค้น ณ วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2569

กรมวิชาการเกษตร.2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. เอกสารวิชาการลำดับที่ 1/2553. 122 หน้า

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2558. ข้าวโพด. แหล่งที่มา http://esc.doae.go.th/wp-content/uploads/2015/05/corn.pd. สืบค้น ณ วันที่ 25 มกราคม 2569

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2568. ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร. แหล่งที่มา https://production.doae.go.th/site/login สืบค้น ณ วันที่ 11 มกราคม 2569

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 547 หน้า.

นีรนุช ผิวแดง. 2568. บทปฏิบัติการการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช (Plant nutrition analysis). คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. ม.ป.ป.. ชนิดของข้าวโพด. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว แหล่งที่มาhttps://saranukromthai.or.th/oldchild/200. สืบค้น ณ วันที่ 20 มกราคม 2569

ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์. (ม.ป.ป.). ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์นครสวรรค์ 3. กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา https://www.doa.go.th/fc/nakhonsawan/?p=3966 สืบค้น ณ วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2569

Ibrahim, K., Wang, Q., Wang, L., Zhang, W., Peng, C., & Zhang, S. 2021. Determining the optimum level of soil Olsen phosphorus and phosphorus fertilizer application for high phosphorus-use efficiency in Zea mays L. in black soil. Sustainability, 13(11), 5983.

Ning, F., Nkebiwe, P. M., Hartung, J., Munz, S., Huang, S., Zhou, S., & Graeff-Henninger, S. 2023. Phosphate fertilizer type and liming affect the growth and phosphorus uptake of two maize cultivars. Agriculture, 13(9), 1771.

Sharifi, S., Shi, S., Obaid, H., Dong, X., & He, X. 2024. Differential effects of nitrogen and phosphorus fertilization rates and fertilizer placement methods on P accumulations in maize. Plants, 13(13), 1778.