อิทธิพลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว[1/]

Effect of Phosphorus Fertilization on the Growth and Yield of Rice [1/]

ผู้ทำสัมมนา **นาย ธรณ์เทพ แสงเพ็ง[2/]**

บทคัดย่อ

ข้าว (Oryza sativa L.) เป็นพืชอาหารหลัก โดยเฉพาะในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่ปัญหาสำคัญของการผลิตข้าวในประเทศไทยคือผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำกว่าประเทศคู่แข่งอย่างเวียดนามและจีน หนึ่งในปัจจัยจำกัดที่สำคัญคือการตรึงฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว เนื่องจากฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาราก การแตกกอ การสร้างรวง และกระบวนการสังเคราะห์พลังงานของพืช จากศึกษาหลายงานพบว่า การใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส เช่น Triple Super Phosphate (TSP) ในระดับที่เหมาะสม (112 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) สามารถเพิ่มความสูง จำนวนกอที่มีประสิทธิผล และผลผลิตเมล็ดข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ในดินชนิดต่าง ๆ เช่น ดินแดงและดินดำ พบว่าการใช้ Ammonium Polyphosphate (APP) และ TSP มีศักยภาพสูงสุดในการเพิ่ม PUE และการสะสมธาตุอาหาร ส่งผลให้ได้ผลผลิตสูงกว่าเมื่อเทียบกับปุ๋ยชนิดอื่น อย่างไรก็ตาม การใส่ฟอสฟอรัสเกินความจำเป็นไม่เพียงแต่เพิ่มต้นทุนการผลิต แต่ยังอาจก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เช่น การชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ และต้นทุนการผลิตดังนั้นการจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างถูกต้องตามชนิดดินและพันธุ์ข้าวจึงเป็นหัวใจสำคัญในการผลิตข้าวอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

คำสำคัญ ปุ๋ยฟอสฟอรัส การเจริญเติบโตและผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส

[1/]เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนา

[2/]นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[3/]อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1บทนำ

ข้าว (Oryza sativa L.) เป็นพืชอาหารหลักของประชากรโลกกว่า 3 พันล้านคน โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีการบริโภคข้าวเป็นหลักในชีวิตประจำวัน รายงานขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO, 2023) ระบุว่าผลผลิตข้าวของโลกในปี 2022 มีมากกว่า 780 ล้านตัน โดยมีประเทศผู้ผลิตหลัก ได้แก่ จีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ และเวียดนาม ซึ่งรวมกันแล้วคิดเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 80 ของผลผลิตข้าวทั้งหมดของโลก (FAO, 2023)

สำหรับประเทศไทย แม้จะเป็นประเทศผู้ส่งออกข้าวอันดับต้น ๆ ของโลก และถือเป็น “ครัวของโลก” ที่มีชื่อเสียงด้านคุณภาพข้าวหอมมะลิ แต่เมื่อพิจารณาในเชิงผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่แล้ว พบว่ายังอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับประเทศคู่แข่ง จากการศึกษาของ (Wongchai et al., 2018)พบว่าผลผลิตข้าวเฉลี่ยของประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 484 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่เวียดนามมีผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าชัดเจนคือประมาณ 874 กิโลกรัมต่อไร่ สะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างด้านประสิทธิภาพการผลิตระหว่างสองประเทศผู้ส่งออกข้าวสำคัญในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Wongchai et al., 2018)

หนึ่งในปัญหาหลักที่กระทบต่อศักยภาพการผลิตข้าวของไทยคือ ปัญหาดินเสื่อมโทรมและการตรึงฟอสฟอรัสในดิน โดยเฉพาะพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นแหล่งผลิตข้าวสำคัญ มีลักษณะดินร่วนปนทรายและมีความเป็นกรดสูง ส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในรูปของปุ๋ยอนินทรีย์ถูกตรึง (fixation) อย่างรวดเร็วกับแร่เหล็ก (Fe^{3+}) และอะลูมิเนียม (Al^{3+}) จนทำให้ข้าวไม่สามารถดูดใช้ได้เต็มที่ (กรมการข้าว, 2566) ในทางกลับกันดินที่มีความเป็นด่างสูง เช่น บางพื้นที่ภาคกลาง ฟอสฟอรัสก็จะถูกตรึงร่วมกับแคลเซียม (Ca^{2+}) ทำให้เกิดปัญหาเช่นเดียวกัน ผลการศึกษาของ (Liu et al.2022) รายงานว่าประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus Use Efficiency: PUE) ของเกษตรกรไทยอยู่เพียง10–20% ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของโลกที่ประมาณ 25–30% ดังนั้น ความจำเป็นของการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในนาข้าวไทยจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณการใส่เพียงอย่างเดียวแต่ต้องพิจารณา “วิธีการจัดการที่เหมาะสม” ควบคู่ไปด้วย เนื่องจากฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญต่อหลายกระบวนการทางสรีรวิทยาของข้าว ได้แก่ การพัฒนาราก การแตกกอ การสร้างรวงและเมล็ด รวมถึงการสังเคราะห์สารพลังงาน (ATP) ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตทั้งหมด การจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างถูกวิธี เช่น การใส่แบบแบ่งครั้ง (split application) การใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ที่ช่วยลดการตรึงในดิน หรือการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่มีประสิทธิภาพในการใช้ฟอสฟอรัสสูง ล้วนเป็นแนวทางสำคัญที่จะช่วยยกระดับประสิทธิภาพการผลิตข้าวไทยให้สูงขึ้น ลดต้นทุน และรักษาสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไป

2.ความสำคัญของข้าว

ข้าวถือเป็นพืชที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อชีวิตมนุษย์และระบบเศรษฐกิจโลก เนื่องจากเป็นพืชที่หล่อเลี้ยงประชากรโลกมากกว่าครึ่งหนึ่ง โดยเฉพาะในเอเชียที่ข้าวเป็นอาหารหลักในทุกมื้ออาหาร ความสำคัญของข้าวจึงไม่ได้จำกัดอยู่เพียงด้านโภชนาการ แต่ยังครอบคลุมถึงด้านเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม ในระดับโลก ข้าวจัดเป็นสินค้าเกษตรที่มีมูลค่าการซื้อขายสูงที่สุดชนิดหนึ่ง โดยตลาดการค้าข้าวระหว่างประเทศมีมูลค่ามากกว่า 20,000 ล้านเหรียญสหรัฐต่อปี (FAO, 2023) ข้าวจึงไม่เพียงแต่เป็นอาหารหลัก แต่ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างรายได้และความมั่นคงทางเศรษฐกิจให้แก่ประเทศผู้ผลิตและผู้ส่งออก

สำหรับประเทศไทย ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่มีบทบาทต่อทั้งเกษตรกรและประเทศชาติ โดยมีเกษตรกรกว่าหลายล้านครัวเรือนประกอบอาชีพทำนา และพื้นที่ปลูกข้าวครอบคลุมมากกว่า 60 ล้านไร่ (กรมการข้าว, 2566) ข้าวยังเป็นสินค้าส่งออกที่สร้างรายได้เข้าประเทศปีละกว่าแสนล้านบาท โดยเฉพาะ “ข้าวหอมมะลิไทย” ที่เป็นที่ยอมรับในตลาดโลกด้านคุณภาพ กลิ่น และรสชาติ ส่งผลให้ประเทศไทยได้รับการยอมรับว่าเป็นหนึ่งในผู้นำด้านการส่งออกข้าวมายาวนาน นอกเหนือจากด้านเศรษฐกิจแล้ว ข้าวยังมีความสำคัญในด้านสังคมและวัฒนธรรมของไทยมาแต่โบราณ ข้าวเป็นสัญลักษณ์ของความอุดมสมบูรณ์ ความมั่นคง และการดำรงชีวิตของชุมชนไทย สะท้อนผ่านพิธีกรรมและความเชื่อต่าง ๆ เช่น พิธีแรกนาขวัญ และการบูชาแม่โพสพ ซึ่งแสดงถึงความผูกพันระหว่างเกษตรกรกับข้าวในฐานะพืชที่เป็นเสาหลักของวิถีชีวิตไทย ดังนั้น ข้าวจึงมีความสำคัญหลายมิติ ไม่เพียงแต่เป็นอาหารหลัก หากแต่เป็นหัวใจของความมั่นคงทางอาหาร เศรษฐกิจ และวัฒนธรรมของประเทศ การวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวจึงมีความจำเป็นต่อการรักษาบทบาทและความสำคัญของข้าวในอนาคต

2.1ยะการเจริญเติบโตของข้าว

การเจริญเติบโตของข้าวแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะหลัก ได้แก่ (กรมการข้าว, 2557)

1. ระยะเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative stage)เริ่มตั้งแต่การงอกจนถึงการเริ่มสร้างช่อดอก ในระยะนี้ข้าวจะสร้างราก ใบ และลำต้น ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญต่อการสร้างอาหารและการแตกกอ การจัดการไนโตรเจนมีความสำคัญมาก เนื่องจากช่วยกระตุ้นการแตกกอและการสร้างพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI) ที่เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงและรองรับการเจริญเติบโตในระยะต่อไป

2. ระยะสืบพันธุ์ (Reproductive stage)เริ่มตั้งแต่การสร้างช่อดอก (panicle initiation) จนถึงการผสมเกสร ระยะนี้เป็นช่วงการกำหนด ศักยภาพผลผลิต (yield potential) ของข้าว เพราะเป็นช่วงที่เกิดการสร้างรวงและช่อดอก ปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ความร้อนหรือความแห้งแล้ง หากเกิดขึ้นในช่วงนี้จะส่งผลให้อัตราการติดเมล็ดลดลง และทำให้ผลผลิตต่ำกว่าที่ควรได้

3. ระยะสุกแก่ (Ripening stage) เริ่มตั้งแต่หลังการผสมเกสรจนถึงการสุกเต็มที่ ระยะนี้เป็นช่วงของการสะสมคาร์โบไฮเดรตในเมล็ด ทำให้เมล็ดมีน้ำหนักและคุณภาพ การจัดการน้ำและธาตุอาหารในระยะนี้จึงมีความสำคัญ เพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดลีบ และเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูงสุด

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว

นอกจากระยะการเจริญเติบโตแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิต ได้แก่ (กรมการข้าว, 2557)

1. พันธุ์ข้าว ลักษณะทางพันธุกรรมเป็นตัวกำหนดการแตกกอ ความสูง อายุเก็บเกี่ยว และความทนทานต่อสิ่งแวดล้อม
2. สิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ แสง ความชื้น และคุณภาพของดิน มีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการสะสมอาหาร
3. การจัดการธาตุอาหาร การใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในอัตราที่เหมาะสมช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิต
4. การจัดการน้ำ ข้าวต้องการน้ำอย่างเพียงพอ โดยนิยมใช้วิธีปลูกแบบน้ำขัง หรือแบบสลับเปียกสลับแห้ง (Alternate Wetting and Drying: AWD) เพื่อประหยัดน้ำและรักษาคุณภาพดิน
5. โรคและแมลงศัตรูพืช โรคไหม้ โรคกาบใบเน่า และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เป็นปัญหาสำคัญ หากไม่ได้ควบคุมอย่างเหมาะสมอาจทำให้ผลผลิตลดลงอย่างรุนแรง

2.2 ความต้องการปุ๋ยฟอสฟอรัสในข้าว

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว ฟอสฟอรัสช่วยส่งเสริมการเจริญของรากแขนงและรากฝอยในระยะแรกของการเจริญเติบโต (Inthasan, 2014) เพิ่มความแข็งแรงให้ลำต้น รวมถึงมีผลต่อการออกดอกและการสร้างตัวของเมล็ด สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวมีระดับค่าวิกฤติ 10-17 ppm. (Wattakawigran, 2009) ความต้องการธาตุฟอสฟอรัสของข้าวในแต่ละชนิดหรือสายพันธุ์มักมีความต้องการในปริมาณที่ต่างกัน ถ้าหากได้รับมากหรือน้อยเกินไปอาจส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของข้าวได้ โดยข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไป ส่งผลให้ข้าวขาดธาตุอาหารอื่น โดยเฉพาะจุลธาตุและยังรบกวนกระบวนการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนอีกด้วย (Foipikul, 1993) ส่วนข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสน้อยเกินไปหรือเกิดการขาดฟอสฟอรัส รากเจริญช้า ลำต้นแคระแกร็น แตกกอน้อย (Dobermann & Fairhurst, 2000) และการแก้ไขปัญหาฟอสฟอรัส โดยการใส่ปุ๋ยไม่สามารถแก้ปัญหาการขาดฟอสฟอรัสได้โดยตรง เนื่องจากฟอสฟอรัสที่ใสลงไปในดินมักถูกตรึงด้วยธาตุอาหารอื่น ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ข้าวไม่สามารถดูดไปใช้ได้ในกรณีดินมีค่า pH ต่ำหรือเป็นกรดฟอสฟอรัสจะถูกตึงด้วยปฏิกิริยาของ

อะลูมินัม (Al) และเหล็ก (Fe) ในขณะที่ดินมีค่า PH สูงหรือเป็นด่างฟอสฟอรัสมักถูกตรึงด้วยปฏิกิริยาของแคลเซียม (Ca) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในนาข้าวมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวเป็นอย่างยิ่ง (ปรียาภรณ์ และ เนตรนภา, 2553)

3.ความสำคัญของปุ๋ยฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวและเป็นปัจจัยจำกัดการผลิตในหลายพื้นที่ของโลก รวมทั้งประเทศไทย โดยฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืช เช่น การสร้างกรดนิวคลีอิก การสังเคราะห์พลังงานในรูปของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) และการสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ในรูปของฟอสโฟลิพิด การมีฟอสฟอรัสเพียงพอจึงช่วยส่งเสริมให้ต้นข้าวมีการแตกรากและแตกกอได้ดี สามารถดูดซึมธาตุอาหารและน้ำได้มากขึ้น ส่งผลต่อการสร้างรวงและจำนวนเมล็ดต่อรวงโดยตรง ข้าวที่ได้รับฟอสฟอรัสเพียงพอจะมีการเจริญเติบโตแข็งแรง ออกดอกสม่ำเสมอ และมีอัตราการสร้างเมล็ดเต็มสูงกว่า ขณะที่ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัสจะมีการเจริญเติบโตชะงักช้า ใบมีสีเขียวเข้มหรือม่วง และให้ผลผลิตต่ำกว่าอย่างชัดเจน (Hemwong et al., 2020; Rahman et al., 2021) อย่างไรก็ตาม แม้ฟอสฟอรัสจะเป็นธาตุอาหารจำเป็น แต่การดูดใช้ในระบบนาข้าวมักเผชิญข้อจำกัดเนื่องจากสมบัติทางเคมีของดิน โดยเฉพาะในดินกรดที่พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปมักถูกตรึงร่วมกับเหล็กและอะลูมิเนียม ทำให้ละลายออกมาให้พืชใช้ได้ต่ำ ในทางกลับกันดินที่เป็นด่างซึ่งมีปริมาณแคลเซียมสูงก็สามารถตรึงฟอสฟอรัสได้เช่นกัน ผลการศึกษาของ (Liu et al,2022) ชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส (Phosphorus Use Efficiency: PUE) ของข้าวในหลายพื้นที่มีเพียง 15–20% เท่านั้น นั่นหมายความว่าปุ๋ยที่ใส่ลงไปส่วนใหญ่ไม่ถูกพืชนำไปใช้จริง แต่สูญเสียไปกับการตรึงในดินและการชะล้าง การจัดการฟอสฟอรัสในระบบนาข้าวจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มผลผลิตให้ได้เต็มศักยภาพ

ความสำคัญของฟอสฟอรัสยังสะท้อนออกมาในเชิงเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม การใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากเกินไปนอกจากจะไม่ช่วยเพิ่มผลผลิตแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การชะล้างลงสู่แหล่งน้ำและการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ที่เป็นปัญหาต่อระบบนิเวศน้ำ การวิจัยของ (Wang et al,2021) พบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสแบบแบ่งครั้ง (split application) สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวและลดการสูญเสียธาตุอาหารเมื่อเทียบกับการใส่ครั้งเดียว ขณะที่งานของ(Cherdchoong,2020) ที่ศึกษาในดินเสื่อมโทรมของไทยรายงานว่าการจัดการฟอสฟอรัสร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินและเพิ่มผลผลิตข้าว

หอมมะลิได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่าการจัดการฟอสฟอรัสอย่างยั่งยืนไม่เพียงเพิ่มผลผลิตเท่านั้น แต่ยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมและคุณภาพดินในระยะยาวด้วย

นอกจากนี้ความสำคัญของปุ๋ยฟอสฟอรัสยังสัมพันธ์กับการรักษาความมั่นคงทางอาหารในระดับประเทศและระดับโลก เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นทรัพยากรที่ได้จากแหล่งฟอสเฟตธรรมชาติซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด และมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนในอนาคต การใช้ฟอสฟอรัสอย่างมีประสิทธิภาพจึงไม่ใช่เพียงปัญหาด้านการผลิตข้าวเท่านั้น แต่ยังเป็นประเด็นด้านการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติที่ต้องคำนึงถึง ความท้าทายนี้ทำให้นักวิจัยและเกษตรกรต้องร่วมกันพัฒนาแนวทางการใช้ฟอสฟอรัสที่คุ้มค่า เช่น การใช้พันธุ์ข้าวที่มีระบบรากแข็งแรงและสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ดี การผสมผสานปุ๋ยอินทรีย์กับอินทรียวัตถุ และการปรับปรุงโครงสร้างดินเพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของฟอสฟอรัส กล่าวโดยสรุป ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีความสำคัญต่อการผลิตข้าวในทุกมิติ ตั้งแต่ระดับเซลล์ของพืชไปจนถึงระดับเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมของประเทศ การใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างเหมาะสมจึงเป็นหัวใจสำคัญของการผลิตข้าวอย่างยั่งยืน ที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพข้าว ลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และรักษาทรัพยากรให้คงอยู่ต่อไปสำหรับการเกษตรในอนาคต

3.1 ชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัส

ปุ๋ยฟอสฟอรัสเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช เนื่องจากมีบทบาทโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของราก การแตกกอ การออกดอก และการสะสมผลผลิต ปุ๋ยฟอสฟอรัสสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มหลักตามคุณสมบัติการละลายและความสามารถที่พืชจะนำไปใช้ได้ (Singh, 2021) ได้แก่

1. ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ (Water-soluble P fertilizers)

เป็นปุ๋ยที่สามารถละลายน้ำได้ง่าย ทำให้พืชดูดซึมไปใช้ได้โดยตรง เหมาะสำหรับดินที่มีค่า pH เป็นกลางถึงด่าง ตัวอย่าง ได้แก่

- ซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Single Superphosphate: SSP): มี P_2O_5 ประมาณ 16–18% และมีธาตุกำมะถัน (S) ร่วมด้วย
- ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Triple Superphosphate: TSP): มี P_2O_5ประมาณ 46–48% เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้นสูง
- โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (Monoammonium Phosphate: MAP): มีไนโตรเจนประมาณ 11% และ P_2O_5ประมาณ 48%
- ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium Phosphate: DAP): มีไนโตรเจนประมาณ 18% และ P_2O_5ประมาณ 46% เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด

2. ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ละลายในกรดซิตริก (Citric-acid soluble P fertilizers)

มีความสามารถในการละลายน้ำจำกัด แต่สามารถละลายในกรดอินทรีย์ได้ เหมาะสำหรับใช้ในดินกรด ตัวอย่าง ได้แก่

- เบสิกสแลก (Basic Slag): มี P_2O_5ประมาณ 14–18%
- ไดแคลเซียมฟอสเฟต (Dicalcium Phosphate): มี P_2O_5ประมาณ 34–39%
- เรนาเนียฟอสเฟต (Rhenania Phosphate): มี P_2O_5ประมาณ 23–26%
- กระดูกป่น (Bone Meal): มีฟอสฟอรัสบางส่วนที่ละลายได้ในกรดซิตริก

3. ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำและกรดซิตริก (Insoluble P fertilizers)

เป็นปุ๋ยที่ไม่สามารถละลายน้ำโดยตรงได้ ต้องอาศัยการละลายทางเคมีในดินก่อนที่พืชจะสามารถนำไปใช้ เหมาะสำหรับดินกรดจัด ตัวอย่าง ได้แก่

- ร็อกฟอสเฟต (Rock Phosphate: RP): มี P_2O_5 ประมาณ 20–40% แต่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ
- กระดูกป่นดิบ (Raw Bone Meal): มี P_2O_5 ประมาณ 20–25% และมีไนโตรเจน 3–4%
- กระดูกป่นนึ่ง (Steamed Bone Meal): มี P_2O_5ประมาณ 22%

ตารางที่ 1 ปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสในปุ๋ยแต่ละแบบ

1. ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้	
ซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต	16–18% P_2O_5
ดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต	32% P_2O_5
ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต	46–48% P_2O_5
แอมโมเนียมฟอสเฟต	N 20% + $P_2O_5$20% หรือ N 16% + $P_2O_5$20%
2. ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ละลายในกรดซิตริก	
เบสิกสแลก	14–18% P_2O_5
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	34–39% P_2O_5
เรนาเนียฟอสเฟต	23–26% P_2O_5
กระดูกป่นดิบหรือกระดูกป่นนึ่ง	P_2O_5บางส่วนละลายในกรดซิตริก
3. ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำและกรดซิตริก	
ร็อกฟอสเฟต	20–40% P_2O_5
กระดูกป่นดิบ	20–25% P_2O_5 และ N 3–4%
กระดูกป่นนึ่ง	22% P_2O_5

ที่มา: (Singh, 2021)

4. อิทธิพลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าว

จากงานวิจัยของ (Goswami et al.,2019) ได้ทำการศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูป Triple Super Phosphate (TSP) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ BRRI dhan29 และ BRRI dhan58 ในช่วงฤดูปลูกข้าว Boro ระหว่างเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 2016 ถึงพฤษภาคม ค.ศ. 2017 โดยใช้แบบแผนการทดลอง Randomized Complete Block Design (RCBD) ที่มี 3 ซ้ำ และใช้ระดับการใส่ TSP 6 ระดับ ได้แก่ 0 (ควบคุม), 82,85,97, 112, 127 และ 142 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การใส่ฟอสฟอรัสในรูป TSP มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวในทุกลักษณะสำคัญ ไม่ว่าจะเป็น ความสูงต้นข้าว จำนวนกอที่มีประสิทธิผล (effective tillers) พื้นที่ใบ และการออกดอก โดยเฉพาะการใส่ TSP ในระดับ 112 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งเป็นระดับที่แนะนำโดย Fertilizer Recommendation Guide ของ BARC ให้ผลการเจริญเติบโตสูงที่สุด ต้นข้าวมีจำนวนกอที่มีประสิทธิผลเฉลี่ย 12.0 ต่อต้นที่ให้ผลผลิตจริงต่อกอข้าว ในขณะที่การปฏิบัติของเกษตรกรทั่วไปให้เพียง 7.2 ต่อต้นที่ให้ผลผลิตจริงต่อกอข้าว แสดงถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านผลผลิตเมล็ดข้าว พบว่าการใส่ TSP ในระดับ 112 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ให้ผลผลิตเมล็ดข้าวสูงสุด 8.80 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ขณะที่การปฏิบัติของเกษตรกรทั่วไปได้ผลผลิตเพียง 7.40 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ นอกจากนี้ การเพิ่มระดับปุ๋ยสูงกว่า 112 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ไม่ได้ทำให้ผลผลิตสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่กลับเพิ่มต้นทุนการผลิตโดยไม่จำเป็น แสดงว่าระดับ 112 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เป็นอัตราที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพิ่มผลผลิตข้าวในสภาพพื้นที่ Haor ที่มีข้อจำกัดด้านธาตุอาหาร เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าว พบว่า BRRI dhan58 มีศักยภาพการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสสูงกว่า BRRI dhan29 โดยให้ผลผลิตเฉลี่ย 8.92 ตันต่อเฮกตาร์ เทียบกับ 7.27 ตันต่อเฮกตาร์ สะท้อนว่าการจัดการธาตุอาหารควบคู่กับการเลือกใช้พันธุ์ที่เหมาะสมมีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตอย่างยั่งยืน จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูป TSP มีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว โดยเฉพาะในสภาพพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีปัญหาการขาดฟอสฟอรัสในดิน การใส่ในอัตรา 112 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ถือเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากช่วยเพิ่มจำนวนกอที่มีประสิทธิผลและผลผลิตเมล็ดข้าวโดยไม่เพิ่มต้นทุนเกินความจำเป็น ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ถูกต้องตามคำแนะนำทางวิชาการ เพื่อให้สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

ตารางที่ 1 ผลกระทบของพันธุ์ข้าวและระดับการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตชนิด TSP ต่อความสูงของต้นข้าวบอร์โร๊ในช่วงวันหลังการปักดำ (DAT) ที่แตกต่างกัน ภายใต้สภาพพื้นที่เฮาเออร์

Treatment	ความสูงของพืช (cm)					
	15วัน	30วัน	45วัน	60วัน	75วัน	At harvest
พันธ์ข้าว						
BRRI dhan29	26.65b	35.84b	49.50b	64.32b	83.13	91.14b
BRRI dhan58	28.28a	43.66a	56.95a	72.01a	84.28	94.97a
LS	**	**	**	**	NS	**
อัตราปุ๋ย TSP (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์)						
F_1 (85)	25.34b	38.38b	50.45c	64.31	76.05	92.02b
F_2 (142)	28.02a	39.62ab	55.36abc	69.64	85.45	94.03a
F_3 (127)	27.73a	39.89a	52.58abc	68.26	82.73	92.75b
F_4 (112)	28.19a	40.81a	56.35a	70.36	88.37	94.40a
F_5 (97)	27.8a	39.86a	52.95abc	68.31	83.91	92.75b
F_6(82)	27.73a	39.95a	52.05bc	68.14	85.73	92.40b
SX	0.29	0.32	1.23			0.27
LS	**	**	*	NS	NS	**

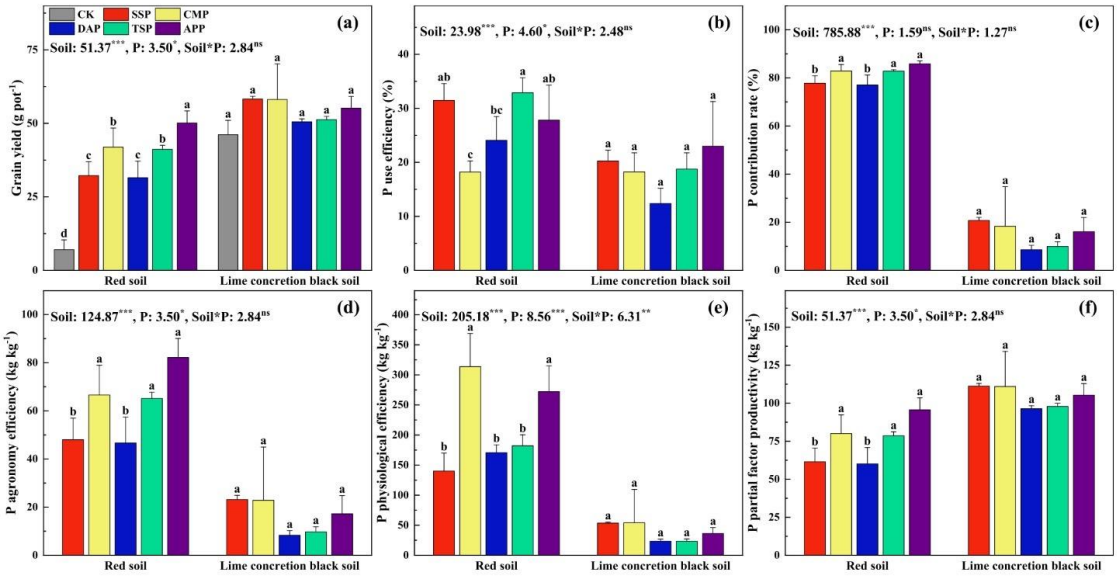
หมายเหตุ ในแต่ละคอลัมน์ ค่าตัวเลขที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าที่มีตัวอักษรต่างกันแสดงว่า แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความน่าจะเป็น 1% *= แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความน่าจะเป็น 5% NS = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ LS = ระดับความแตกต่าง

ที่มา: Rahman et al. (2021)

5. อิทธิพลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตข้าว

จากงานวิจัยของ (Liu et al.2024) ได้ทำการศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของราก ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus Use Efficiency: PUE) และผลผลิตของข้าว โดยใช้การทดลองปลูกในถัง (bucket experiment) ภายใต้สภาพดิน 2 ชนิด ได้แก่ ดินแดง (Red soil, pH 5.9) และ ดินดำแข็ง (Lime concretion black soil, pH 7.8) ซึ่งเป็นดินที่มีปัญหาการขาดความพร้อมใช้ของฟอสฟอรัส โดยทดลองเปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 5 ชนิด

ได้แก่Single Super Phosphate (SSP), Calcium Magnesium Phosphate (CMP), Diammonium Phosphate (DAP), Triple Super Phosphate (TSP), Ammonium Polyphosphate (APP) และชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลชัดเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในทุกตัวแปร ไม่ว่าจะเป็นความยาวรากรวม พื้นที่ผิวราก ความพร้อมใช้ของฟอสฟอรัสในดิน (Olsen-P และ $NaHC_3$-Pi) ค่า PUE รวมถึงผลผลิตเมล็ดข้าว โดยเฉพาะใน ดินแดง พบว่า APP ให้ผลดีที่สุด ทั้งในด้านการเจริญของรากที่มีความยาวรวมสูงสุด การสะสมฟอสฟอรัสในดิน และค่า PUE ที่สูงกว่าแปลงทดลองอื่น ๆ ส่งผลให้ได้ผลผลิตข้าวสูงกว่าการใส่ปุ๋ยชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ ดินดำแข็ง ผลการทดลองพบว่า การใส่ TSP และ APP ให้ผลผลิตสูงสุด โดย TSP ช่วยเพิ่มความยาวรากและพื้นที่ผิวราก ทำให้ข้าวสามารถดูดซับธาตุอาหารได้ดีขึ้น ส่วน APP มีบทบาทเด่นในด้านการเพิ่มค่า PUE ทำให้ข้าวใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งสองปุ๋ยนี้จึงเหมาะสมต่อการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและการผลิตข้าวในสภาพดินที่เป็นด่างสูง ผลการวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วย Random Forest Regression พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตมากที่สุดคือ Residual-P (ฟอสฟอรัสตกค้าง) ในดินแดง และ Olsen-P ในดินดำแข็ง แสดงให้เห็นว่าแต่ละชนิดดินมีความแตกต่างกันในเชิงกลไกการตอบสนองต่อฟอสฟอรัสและการจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติดินเป็นหลัก จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในชนิดและระดับที่เหมาะสมมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว โดย APP เหมาะสมที่สุดในดินแดง เนื่องจากช่วยเพิ่มการเจริญของรากและการใช้ประโยชน์ฟอสฟอรัส ขณะที่ใน ดินดำแข็ง TSP และ APP เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากช่วยเพิ่มทั้งโครงสร้างรากและ PUE โดยไม่ทำให้เกิดการใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็น ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสตามชนิดดินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว



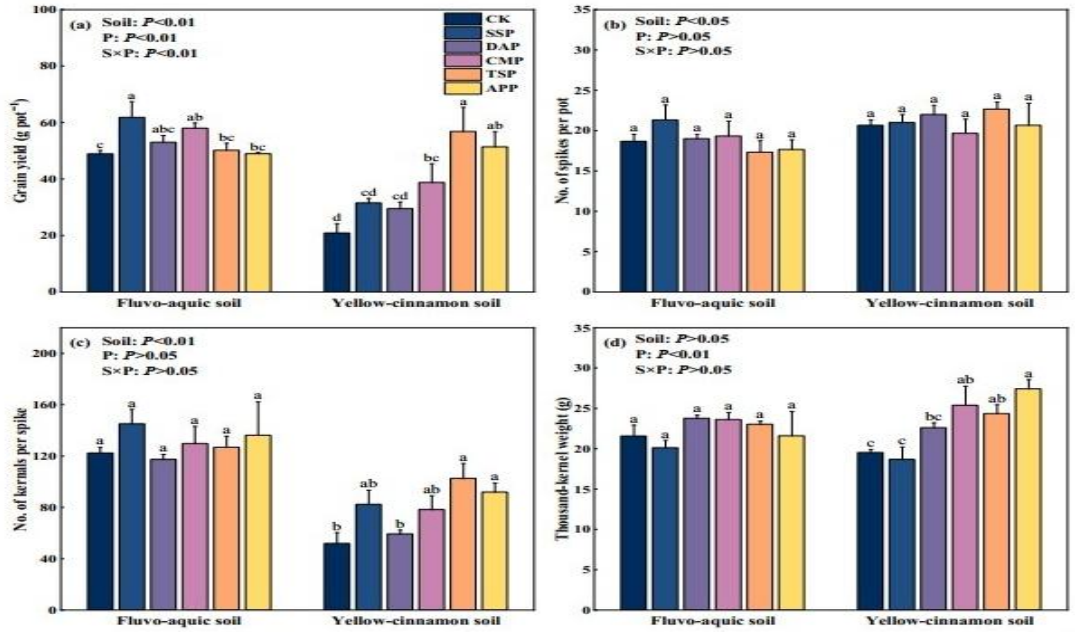
ที่มา: (Liu et al.2024)

รูปที่ 1 ผลผลิตข้าวเปลือก (a), ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (PUE), อัตราการมีส่วนร่วมของฟอสฟอรัส (PCR), ประสิทธิภาพเชิงเกษตรของฟอสฟอรัส (PAE), ประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของฟอสฟอรัส (PPE), และผลผลิตเชิงปัจจัยบางส่วนของฟอสฟอรัส (PPFP) (b-f) สำหรับข้าวที่ได้รับผลกระทบจากชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินแดงและดินดำที่มีการจับตัวของปูน ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำ 6 ครั้ง พร้อมค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ตัวอักษรเล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินชนิดเดียวกัน (LSD, $P < 0.05$) ความน่าจะเป็นของสถิติ F สำหรับผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสจะแสดงไว้ด้านบนของแต่ละรูป “***, **, *, และ ns” หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.001$, $P < 0.01$, $P < 0.05$ และไม่มีนัยสำคัญที่ $P > 0.05$ ตามลำดับ CK = กลุ่มควบคุม, SSP = ซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต, CMP = แคลเซียมแมกนีเซียมฟอสเฟต, DAP = ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต, TSP = ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต, APP = แอมโมเนียมโพลีฟอสเฟต

6. การจัดการปุ๋ยฟอสฟอรัสเพื่อเพิ่มผลผลิตและการใช้ประโยชน์ในข้าว

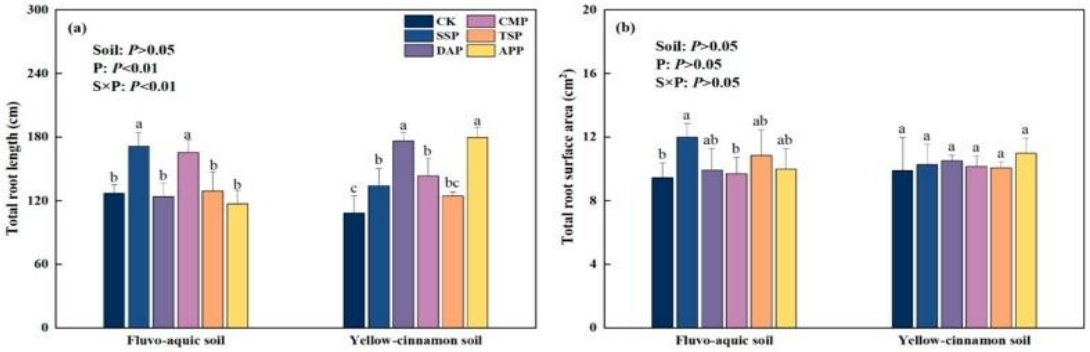
จากงานวิจัยของ (Peng et al., 2025) ฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทั้งในด้านการสร้างราก การแตกกอ และการสร้างรวง โดยการทดลองใช้ดิน 2 ชนิด ได้แก่ Fluvo-aquic soil และ Yellow-cinnamon soil โดยปลูกข้าวในกระถางและใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 5 ชนิด ได้แก่ ซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Single Superphosphate: SSP) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium Phosphate: DAP) แคลเซียมแมกนีเซียมฟอสเฟต(Calcium Magnesium

Phosphate: CMP) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Triple Superphosphate: TSP) แอมโมเนียมโพลีฟอสเฟต (Ammonium Polyphosphate: APP) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (CK) ที่ไม่ใส่ปุ๋ย P จากนั้นวัดผลผลิตข้าว องค์ประกอบผลผลิต ลักษณะราก การสะสม P และค่า PUE แต่เนื่องจากดินในหลายพื้นที่มีการตรึงฟอสฟอรัสที่ไม่เหมือนกัน ทำให้การใช้ประโยชน์จากปุ๋ยฟอสฟอรัสต่ำ การเลือกใช้ปุ๋ย P ให้เหมาะสมกับชนิดของดินจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส (PUE) จากการศึกษาพบว่าการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสชนิดต่าง ๆ มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยผลการทดลองในดิน Fluvo-aquic พบว่าการใช้ SSP และ CMP ให้ผลผลิตสูงกว่าชุดควบคุม (CK) อย่างมีนัยสำคัญ แต่ TSP, DAP และ APP ไม่แตกต่างจาก CK ในขณะที่ในดิน Yellow-cinnamon พบว่าปุ๋ยทุกชนิดช่วยเพิ่มผลผลิตสูงกว่า CK อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะ TSP และ APP ซึ่งเพิ่มผลผลิตมากกว่า SSP ถึง 80–92% และมากกว่า DAP 63–74% พร้อมทั้งเพิ่มจำนวนเมล็ดต่อรวงและน้ำหนักพันเมล็ดได้สูงที่สุด ดังที่แสดงใน (รูปที่ 1) ด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราก (รูปที่ 2) พบว่าในดิน Fluvo-aquic การใช้ SSP และ CMP ช่วยเพิ่มความยาวรากรวมมากที่สุด (32–46%) และ SSP เพิ่มพื้นที่ผิวรากมากกว่า CMP ถึง 23% ส่วนในดิน Yellow-cinnamon พบว่า DAP และ APP ช่วยเพิ่มความยาวรากรวมได้มากที่สุด (22–65%) แต่ไม่แตกต่างกันในด้านพื้นที่ผิวราก แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ปุ๋ย P ไม่เพียงแต่ส่งผลต่อผลผลิต แต่ยังส่งผลต่อการพัฒนารากซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการดูดซับธาตุอาหารด้วย สำหรับการสะสมฟอสฟอรัสในต้นข้าวและประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย (รูปที่ 3) พบว่าในดิน Fluvo-aquic การใช้ SSP ให้ค่า PUE, P agronomy efficiency (PAE) และ P physiological efficiency (PPE) สูงที่สุดเมื่อเทียบกับปุ๋ยชนิดอื่น ส่วนในดิน Yellow-cinnamon การใช้ TSP และ APP ให้ค่า PUE, PAE และ PPE สูงกว่า SSP และ DAP อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างของการตอบสนองต่อปุ๋ย P ระหว่างดินสองชนิด โดยสรุป การเลือกชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมกับชนิดของดินเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มผลผลิตและการใช้ประโยชน์ฟอสฟอรัสอย่างมีประสิทธิภาพ โดย ดิน Fluvo-aquic เหมาะกับการใช้ SSP ขณะที่ ดิน Yellow-cinnamon เหมาะกับการใช้ TSP และ APP ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวยืนยันว่าการจัดการปุ๋ย P แบบจำเพาะต่อชนิดของดินเป็นแนวทางสำคัญในการผลิตข้าวอย่างยั่งยืน



ที่มา:(Peng et al., 2025)

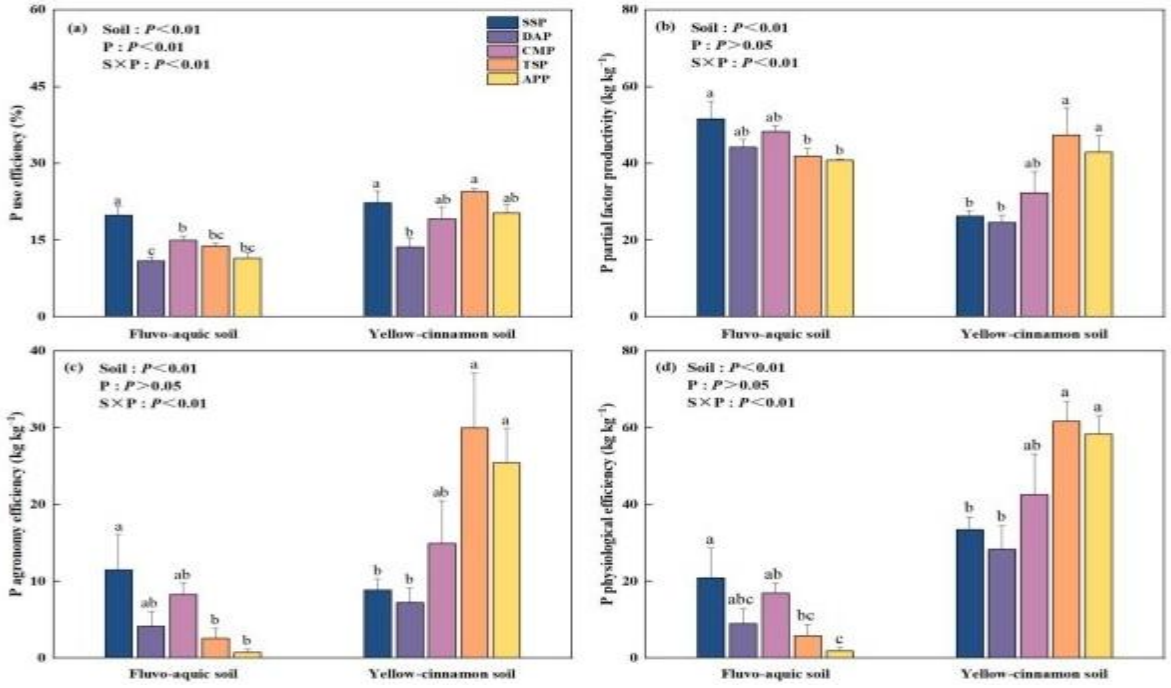
รูปที่ 2 ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัส (P) ต่อผลผลิตเมล็ดข้าว (a) จำนวนรวงต่อกอ (b) จำนวนเมล็ดต่อรวง (c) และน้ำหนักพันเมล็ด (d) ของข้าวในดินชนิด *fluvo-aquic* และ *yellow-cinnamon* ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำ 3 ครั้ง พร้อมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรตัวเล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสภายในดินชนิดเดียวกัน (LSD, $p < 0.05$) ค่าความน่าจะเป็นของสถิติ F สำหรับผลที่มีนัยสำคัญของชนิดดิน (Soil) ชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัส (P) และอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดดินกับชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัส (S × P) แสดงไว้ที่ด้านบนของแต่ละกราฟ



ที่มา:(Peng et al., 2025)

รูปที่ 3 ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัส (P) ต่อ ความยาวรากรวม (a) และ พื้นที่ผิวราก (b) ของข้าวในดิน *fluvo-aquic* และ *yellow-cinnamon* ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำ 3 ครั้ง พร้อมค่า

เบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรตัวเล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินชนิดเดียวกัน (LSD, $p < 0.05$)



ที่มา:(Peng et al., 2025)

รูปที่ 4 ผลของชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัย(P) ต่อ P agronomy efficiency (PAE) (a) และ P physiological efficiency (PPE) (b) ของข้าวในดิน *fluvo-aquic* และ *yellow-cinnamon* ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำ 3 ครั้ง พร้อมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรตัวเล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดปุ๋ยฟอสฟอรัสภายในดินชนิดเดียวกัน (LSD, $p < 0.05$)

สรุป

ฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุอาหารหลักที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบราก การแตกกอ การสร้างรวง การสร้างเมล็ด รวมถึงการสังเคราะห์พลังงานในรูปของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานในการดำรงชีวิตของพืช อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบอย่างกว้างขวางในพื้นที่ปลูกข้าวของประเทศไทยและในหลายประเทศ คือการตรึงฟอสฟอรัสในดิน ทั้งในดินกรดที่ฟอสฟอรัสถูกตรึงร่วมกับเหล็ก (Fe) และอะลูมิเนียม (Al) และในดินด่างที่ฟอสฟอรัสถูกตรึงร่วมกับแคลเซียม (Ca) ทำให้ธาตุฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปไม่สามารถถูกดูดใช้ได้อย่างเต็มที่ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus Use Efficiency: PUE) ต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ยของโลกอย่างมาก โดยเกษตรกรไทยมี PUE เพียง 10–20%

ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของโลกอยู่ที่ 25–30% งานวิจัยจำนวนมากยืนยันว่าชนิดและอัตราของปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวอย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น การใส่ปุ๋ย Triple Super Phosphate (TSP) ในอัตรา 112 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามคำแนะนำของ BARC ช่วยเพิ่มจำนวนกอที่มีประสิทธิผล ความสูงต้น และผลผลิตเมล็ดข้าวได้สูงสุดโดยไม่เพิ่มต้นทุนเกินความจำเป็น นอกจากนี้ยังพบว่าพันธุ์ข้าวต่างกันมีความสามารถในการตอบสนองต่อฟอสฟอรัสไม่เท่ากัน โดยพันธุ์ BRRI dhan58 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ BRRI dhan29 อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยต้องทำควบคู่กับการเลือกพันธุ์ที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาความแตกต่างของดิน พบว่าการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้ผลต่างกันในแต่ละชนิดดิน งานวิจัยในดินแดง (Red soil, pH ~5.9) พบว่า Ammonium Polyphosphate (APP) ให้ผลดีที่สุดต่อการเจริญของราก การสะสม P และค่า PUE ส่งผลให้ได้ผลผลิตสูงที่สุด ในขณะที่ในดินดำที่มีการจับตัวของปูน (Lime concretion black soil, pH ~7.8) พบว่า TSP และ APP เหมาะสมที่สุด โดย TSP ช่วยเพิ่มความยาวรากและพื้นที่ผิวราก ส่วน APP มีบทบาทเด่นในการเพิ่มค่า PUE ซึ่งทำให้ข้าวสามารถใช้ธาตุอาหารได้คุ้มค่าที่สุด การทดลองของ Peng et al. (2025) ที่ใช้ดิน Fluvo-aquic และ Yellow-cinnamon soil ก็ยืนยันผลลัพธ์ในทำนองเดียวกัน โดยพบว่า SSP เหมาะกับดิน Fluvo-aquic ขณะที่ TSP และ APP เหมาะกับดิน Yellow-cinnamon เนื่องจากสามารถเพิ่มทั้งผลผลิตและค่า PUE ได้สูงสุด งานวิจัยเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า “ไม่มีสูตรสำเร็จตายตัว” สำหรับการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส แต่จำเป็นต้องพิจารณาความแตกต่างของดินและพันธุ์ข้าวเป็นหลัก นอกจากประเด็นด้านผลผลิตแล้ว ยังมีมิติด้านสิ่งแวดล้อมที่ต้องคำนึงถึง การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเกินความจำเป็นไม่เพียงแต่เพิ่มต้นทุนการผลิตโดยไม่ให้ผลตอบแทน แต่ยังอาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การชะล้างฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำและการเกิดยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ซึ่งกระทบต่อระบบนิเวศน้ำ การจัดการที่เหมาะสม เช่น การใส่ปุ๋ยแบบแบ่งครั้ง (split application) การใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ หรือการใช้พันธุ์ที่มีประสิทธิภาพการใช้ P สูง จึงเป็นแนวทางที่จะช่วยลดความสูญเสีย เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย และรักษาสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไป

กล่าวโดยสรุป ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญทั้งในมิติทางสรีรวิทยาของข้าว เศรษฐกิจการผลิต และความมั่นคงทางอาหารในระดับประเทศ การเลือกชนิด อัตรา และวิธีการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมร่วมกับการคัดเลือกพันธุ์ข้าวและการจัดการดินที่ถูกต้อง จึงเป็นกุญแจสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน และรักษาความยั่งยืนของการผลิตข้าวในระยะยาว การใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีประสิทธิภาพไม่เพียงตอบโจทย์ทางวิชาการด้านการเกษตร แต่ยังเป็นประเด็นเชิงกลยุทธ์ของความมั่นคงทางอาหารของประเทศด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2557. *คู่มือการผลิตข้าวอย่างมีประสิทธิภาพ*. กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมการข้าว. 2566. *รายงานสถานการณ์การผลิตข้าวของประเทศไทย ปี 2566*. กระทรวงเกษตรปและสหกรณ์.

ปรียาภรณ์ แสงเรือน และเนตรนภา อินสลุด.2553.ระดับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชิวแม่จัน. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 24(2), 725–730.

Cherdchoong, T.2020. Phosphorus management for improving yield of Jasmine rice in degraded soils of Thailand. *Kasetsart Journal of Natural Science, 54*(3), 189–198FAO. 2023) *Rice market monitor*.

Dobermann, A., & Fairhurst, T. 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. Manila: Philippines oxford graphic printers.

Foipikul, W. 1993. Soil fertility. Department of Agriculture Faculty of Science and Technology. Surindra Rajabhat University, Surin. (in Thai)

Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Hemwong, S., Suksri, A., & Cha-um, S. 2020. Effect of phosphorus fertilizer on tillering and flowering of Jasmine rice in clay loam soils of Northeast Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science, 53*(2), 112–120

Inthasan, J.2014. Soil fertility. Chiangmai: D Print. (in Thai)

Liu, X., Zhang, Y., & Chen, J. 2022. Optimizing rice yield and phosphorus use efficiency through root morphology and soil phosphorus management. *Field Crops Research, 280*, 108–121.

Liu, Y., Wang, Y., Zhou, P., et al. 2024. *Optimizing rice yield and phosphorus use efficiency through root morphology and soil phosphorus management in agricultural soils.* Annals of Agricultural Sciences, 69(1), 57-68. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2024.02.003

Peng, S., Zhang, X., Sun, L., Chai, R., Zhang, C., Chen, X., Luo, L., & Siddique, K. H. M. 2025. Matching phosphorus fertilizer types with soil type in rice cultivation

optimizes yield, soil phosphorus availability, and phosphorus fertilizer use efficiency. *Agriculture, 15*(2), 172. https://doi.org/10.3390/agriculture15020172

Rahman, M., Islam, A., & Sultana, N. 2021. Effect of Triple Super Phosphate on the growth and yield of Boro rice in Haor areas of Bangladesh. *Journal of Crop Science, 12*(1), 45–52.

Wattakawigran, S. 2009. Converting Upland Field to Rice Terraces: Alternative Way of Farmers in the Highlands. In Bureau of Rice Research and Development 2009. Sea Breeze Jomtien Resort Pattaya, Chonburi. (in Thai)

Wongchai, A., et al. 2018. Efficiency differences on rice production between Thailand and Vietnam using Meta-frontier. *ResearchGate.*

Wang, L., Zhou, Q., & Li, H. 2021. Split application of phosphorus improves grain yield and P-use efficiency in rice. *Agronomy Journal, 113*(4), 2103–2114