

วิชาสัมมนา (1201 480)

ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและพัฒนารากข้าว
Effect of Phosphorus on Growth and Development of Rice

โดย
นางสาวไศจรีย์ บุตราช
รหัสนักศึกษา 61120041504

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สุวีพร เกตุงาม

ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ภาคการศึกษาที่ 1/2564
วันที่ 9 เดือน ตุลาคม พ.ศ.2564

เรื่อง : ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและพัฒนารากข้าว
Effect of Phosphorus on Growth and Development of Rice
ผู้สัมมนา : นางสาวไศจรีย์ บุตรราช
ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา : ภาควิชาพืชไร่
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. สุวีพร เกตุงาม

บทคัดย่อ

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวโดยมีบทบาทช่วยสร้างดอก การผสมเกสร การติดเมล็ด การแตกกอ การสร้างความแข็งแรงของลำต้น การสังเคราะห์โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตต่างๆด้วย ข้าวจึงมีความต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณมาก เพื่อนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต ฟอสฟอรัสยังเป็นธาตุอาหารที่ถูกตรึงได้โดยง่ายด้วยอนุภาคของดิน โดยเฉพาะในดินที่มีความเป็นกรดเป็นด่าง หากข้าวได้รับฟอสฟอรัสที่เพียงพอจะทำให้รากและต้นข้าวเจริญเติบโตสมบูรณ์ ดังนั้นบทความสัมมนานี้จะอภิปรายเกี่ยวกับ บทบาทของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าว คำแนะนำการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส และผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและพัฒนารากข้าว การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในนาข้าวนิยมใส่ในรูปของปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ข้าวในระยะกล้าที่อายุ 15 วันหลังย้ายปลูกจะแสดงอาการวิกฤติเมื่อได้รับ P ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์จากระดับพอเพียง หากข้าวได้รับ P ในปริมาณที่ต่ำหรือสูงกว่าระดับปกติ จะส่งผลต่อลักษณะ และประสิทธิภาพของราก และส่งผลต่อเนื่องถึงการเจริญเติบโตของลำต้น โดยยังทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตที่ลดลง

คำสำคัญ : ข้าว ฟอสฟอรัส การเจริญเติบโต การพัฒนาราก

ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและพัฒนารากข้าว

บทนำ

ธาตุฟอสฟอรัส (P) จัดเป็นธาตุอาหารหลักที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารประกอบที่เป็นแหล่งพลังงานในพืช ฟอสฟอรัสมีบทบาทช่วยในการแตกกอ การพัฒนาของราก การออกดอก และการสุกแก่ของข้าว การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงจำเป็นมากสำหรับข้าวที่ระบบรากยังไม่พัฒนาเต็มที่ ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัสจะแคระแกรน การแตกกอน้อย ใบแคบ สั้น ตั้งตรง และมีสีเขียวเข้ม ปลายใบและขอบใบเป็นสีม่วงรูปตัววี ลำต้นผอมเรียวยาว ข้าวจะชะงักการเจริญเติบโต จำนวนใบ จำนวนรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง ใบอ่อนสมบูรณ์ดีแต่ใบแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและตายในที่สุด (กรมการข้าว, 2559) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว ฟอสฟอรัสช่วยส่งเสริมการเจริญของรากแขนง และรากฝอยในระยะแรกของการเจริญเติบโต เพิ่มความแข็งแรงให้ลำต้น รวมถึงมีผลต่อการออกดอก และการสร้างตัวของเมล็ด (ปรียาภรณ์ และ เนตรนภา, 2562) ดังนั้น บทความสมมนานี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออภิปรายเกี่ยวกับ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของข้าว ธาตุอาหารที่จำเป็นของข้าว บทบาทของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าว คำแนะนำการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในนาข้าว ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าว และการพัฒนารากข้าว

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของข้าว

ปัจจัยที่มีอิทธิพลที่เกี่ยวข้องต่อการเจริญเติบโตของข้าวได้แก่ ดิน น้ำ อุณหภูมิ แสงสว่าง อากาศ และธาตุอาหาร พืชจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีต้องมีที่ยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงเพื่อให้ลำต้นทรงอยู่ได้ในลักษณะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะทำให้ส่วนต่างๆ ทำหน้าที่ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ น้ำทำหน้าที่ในการช่วยดูดซับอาหาร ลำเลียงอาหารไปยังส่วนต่างๆ และช่วยลดอุณหภูมิภายในต้นพืชซึ่งจะเกี่ยวข้องกับทั้งคุณภาพน้ำ และปริมาณน้ำ ระดับน้ำซึ่งจะเกี่ยวข้องต่อเนื่องกับดิน ธาตุอาหาร ความชื้นในดินหรือน้ำ อุณหภูมิที่เหมาะสมจะส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตและการพัฒนาการที่ดี ซึ่งอยู่ประมาณ 25-33 องศาเซลเซียสเหมาะสำหรับข้าวแตกกอ หากอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป (ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส) จะมีผลต่อการงอกของเมล็ด การยืดของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อน การผสมเกสร หากอุณหภูมิที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปช่วงที่มีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน ซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตต่ำ แสงสว่างในส่วน of พืชนั้นต้องการแสงสว่างเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงสร้างอาหาร ใช้ในการเจริญเติบโตช่วงเวลาที่ปลูกพืชหรือปลูกข้าวแต่ละฤดูกาล ช่วงแสงและสภาพอากาศซึ่งจะเกี่ยวเนื่องไปกับปัจจัยด้านอากาศและอุณหภูมิ ในการเจริญเติบโตและการพัฒนาการที่ดี ต้องการพลังงานที่ได้จากการหายใจจึงต้องมีอากาศอย่างเพียงพอเพื่อให้การหายใจเกิดขึ้นได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ พืชยังต้องการแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง นอกจากปัจจัยสภาพแวดล้อมดังกล่าวแล้ว ธาตุอาหารพืชนับเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของ

ข้าว ซึ่งจะสร้างเสริมการเจริญเติบโต และสร้างผลผลิตให้สมบูรณ์เต็มศักยภาพของพันธุ์ข้าว (กรมการข้าว, 2559)

ธาตุอาหารที่จำเป็นของข้าว

การเจริญเติบโตข้าวจำเป็นต้องได้รับธาตุอาหารต่างๆอย่างเพียงพอ และอย่างมีสมดุลจึงจะทำให้สามารถเจริญเติบโตได้เป็นปกติ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าว แม้ว่าจะต้องการแต่ละธาตุในปริมาณมากบ้างน้อยบ้างแตกต่างกันไป แต่ถ้าขาดธาตุอาหารใดธาตุหนึ่งข้าวจะชะงักการเจริญเติบโตและแสดงอาการผิดปกติ และอาจตายในที่สุด ถ้าข้าวได้รับธาตุนั้นๆอย่างเพียงพอ และถ้าได้แก้ไขด้วยการเติมธาตุอาหารที่ขาดนั้นลงไปในดินให้ข้าวดูดใช้ ข้าวจะกลับมาเจริญเติบโตอย่างปกติ (ลัดดาวัลย์, 2543)

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวแบ่งเป็น 3กลุ่ม ดังนี้ 1) กลุ่มธาตุอาหารหลัก (primary nutrient elements) คือ ธาตุอาหารพืชที่ข้าวต้องการในปริมาณมาก 3 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 2) กลุ่มธาตุอาหารรอง (secondary nutrient elements) คือ ธาตุอาหารพืชที่ต้องการในปริมาณน้อยกว่ากลุ่มธาตุอาหารหลัก ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน 3) จุลธาตุ (micronutrient or trace elements) คือ ธาตุที่พืชต้องการปริมาณน้อย มี 8 ธาตุ ดังนี้ เหล็ก, แมงกานีส, ทองแดง, สังกะสี, โมลิบดีนัม, โบรอน, คลอรีน และนิเกิล ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมากเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) (ลัดดาวัลย์, 2543)

บทบาทของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าว

ในบรรดาธาตุอาหาร ฟอสฟอรัสจัดเป็นองค์ประกอบของสารประกอบที่เป็นแหล่งพลังงานในพืช ซึ่งมีบทบาทที่สำคัญในขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ฟอสฟอรัสมีความจำเป็นต่อกรรมวิธีที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืช ช่วยในการสร้างดอก การผสมเกสร การติดเมล็ด การสร้างความแข็งแรงของลำต้น รวมทั้งการงอกของราก และการสังเคราะห์โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตต่างๆ ด้วย ฟอสฟอรัสมีอยู่ในดินในรูปของฟอสเฟตตามแร่ต่างๆ เช่น อะพาไทต์ (apatites) ตามสารละลายของดิน สารผสมที่มีเหล็ก และอลูมิเนียมออกไซด์ และตามอินทรีย์วัตถุในดิน ฟอสฟอรัสจัดเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญสำหรับข้าวมีความต้องการในปริมาณมาก เพื่อนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต หากข้าวขาดฟอสฟอรัส จะทำให้การเจริญเติบโตของข้าวลำต้นแคระแกรน ใบมีสีเขียวเข้ม ปลายใบและขอบใบเป็นสีม่วงรูปตัววี (V) ต้นแก้มือออกดอกและผล รากเติบโตไม่สมบูรณ์ ทรงพุ่มเตี้ยแคระแกรนแตกต่างจากต้นปกติ (ลัดดาวัลย์, 2543) และข้าวที่ขาดฟอสฟอรัส รากมีการยืดขยายความยาวรากเพิ่มขึ้น แต่มีจำนวนรากน้อยลง ข้าวจำเป็นต้องปรับตัวในการหาฟอสฟอรัสให้ได้มากขึ้น ฟอสฟอรัสในปริมาณที่น้อยกว่าการสร้างรากใหม่ การเพิ่มความยาวรากเป็นลักษณะตอบสนองต่อการขาดฟอสฟอรัส (Kirk and Du, 1997)

คำแนะนำการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในนาข้าว

การปลูกข้าวในพื้นที่ดินทรายหรือดินร่วน ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ ทำให้ดินมีศักยภาพการจับยึดธาตุอาหารพืชต่ำ ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อาจไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าว การปลูกข้าวเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงในดินที่มีการปลูกข้าวมาเป็นเวลานานและธาตุอาหารไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงดินโดยการใส่ปุ๋ย (ตารางที่ 1) ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใส่ปุ๋ยให้ต้นข้าว คือ ระยะปลูก ระยะนี้ข้าวต้องการธาตุอาหารจากดินมาก ควรใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดของปริมาณที่แนะนำ ส่วนปุ๋ยไนโตรเจนควรแบ่งใส่ครึ่งหนึ่งของปริมาณที่แนะนำ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ปุ๋ยฟอสฟอรัสจำเป็นมากสำหรับข้าวที่ระบบรากยังไม่พัฒนาเต็มที่ เช่น หลังการปักดำ ควรใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนการปักดำ หรือในวันปักดำ ระยะนี้ต้องการธาตุอาหารจากฟอสฟอรัส ถ้าหากข้าวขาดฟอสฟอรัสในระยะนี้ซึ่งจะทำให้ต้นข้าวแคระแกร็น แตกกอน้อย ใบแคบ สั้น ตั้งตรง และมีสีเขียวเข้ม ลำต้นผอมเรียว ข้าวจะชะงักการเจริญเติบโต จำนวนใบ จำนวนรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง การขาดฟอสฟอรัสสามารถทำได้โดยการแลกเปลี่ยนฟางข้าวลงในแปลง เพราะถึงแม้ว่าปริมาณในฟางข้าวจะน้อย แต่ช่วยรักษาระดับฟอสฟอรัสในดินในระยะยาว ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ปุ๋ยคอกและวัสดุอินทรีย์อื่นๆ ให้กับข้าวอย่างพอเพียง (กรมการข้าว, 2559) แหล่งของปุ๋ยฟอสฟอรัสในนาข้าวมีอยู่หลายชนิดในรูปของปุ๋ยฟอสเฟต ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การใส่ปุ๋ยในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่	
	พันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง	พันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง
อินทรีย์วัตถุ (OM %)		
< 1	ปุ๋ย N 18 กก./ไร่	ปุ๋ย N 9 กก./ไร่
1-2	ปุ๋ย N 12 กก./ไร่	ปุ๋ย N 6 กก./ไร่
> 2	ปุ๋ย N 6 กก./ไร่	ปุ๋ย N 3 กก./ไร่
ฟอสฟอรัส (ppm)		
<5	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 6 กก./ไร่	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 6 กก./ไร่
5-10	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 3 กก./ไร่	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 3 กก./ไร่
>10	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 0 กก./ไร่	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 0 กก./ไร่
โพแทสเซียม (ppm)		
<60	ปุ๋ย K ₂ O 6 กก./ไร่	ปุ๋ย K ₂ O 6 กก./ไร่
60-80	ปุ๋ย K ₂ O 3 กก./ไร่	ปุ๋ย K ₂ O 3 กก./ไร่
>80	ปุ๋ย K ₂ O 0 กก./ไร่	ปุ๋ย K ₂ O 0 กก./ไร่

หมายเหตุ ปุ๋ยไนโตรเจน N แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกใส่ที่ระยะปักดำ และครั้งที่ 2 ใส่ที่ระยะกำเนิดช่อดอก

ปุ๋ยฟอสฟอรัส P₂O₅ และปุ๋ยโพแทสเซียม K₂O ใส่ที่ระยะปักดำ

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, (2559)

ตารางที่ 2 แหล่งของปุ๋ยฟอสฟอรัสในนาข้าวมีอยู่หลายชนิดในรูปของปุ๋ยฟอสเฟต

ชนิด	สูตร	ปริมาณธาตุอาหาร	หมายเหตุ
Single superphosphate	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ + $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7-9%P 12%S 13-20%Ca	ละลายได้ดี, มีปฏิกิริยาเป็นกลาง (16-21% P_2O_5)
Triple superphosphate	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	18-22%P 1.4%S 9-14%Ca	ละลายได้ดี, มีปฏิกิริยาเป็นกลาง (41-50% P_2O_5)
Monoammonium phosphate (MAP)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	22%P 11%N	ละลายได้ดี, มีปฏิกิริยาเป็นกรด (51% P_2O_5)
Diammonium phosphate (DAP)	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	20-23%P 18-21%N	ละลายได้ดี, มีปฏิกิริยาเป็นกรด (16-21% P_2O_5)
Urea phosphate	$(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_3\text{PO}_4$	20%P 18%N	ละลายได้ดี (46% P_2O_5)
Partly acidulated rock phosphate	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	10-11%P	ละลายน้ำได้มากกว่า 1/3 (23-26% P_2O_5)
Rock phosphate, บดละเอียด	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	10-17% 33-36%Ca	ออกฤทธิ์ช้า (25-29% P_2O_5)

ที่มา: กรมการข้าว, (2559)

ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าว

เนตรนภา และคณะ (2561) รายงานการศึกษา ผลของระดับฟอสฟอรัสที่ต่างกันต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ฟอสฟอรัสความเข้มข้น 5 ระดับ ตั้งแต่ 0, 12.5, 25, 50, 100 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายธาตุอาหาร ศึกษาในข้าวอายุ 6 และ 15 วันหลังย้ายปลูก ผลของระดับฟอสฟอรัสที่ต่างกันในข้าวอายุ 6 วันหลังย้ายปลูก พบว่าข้าวมีความแตกต่างกันในลักษณะความสูงต้น ความยาวราก ข้าวที่ปลูกในฟอสฟอรัส 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นข้าวไม่แตกต่างกัน กับข้าวที่ปลูกในฟอสฟอรัสที่ 50 และ ฟอสฟอรัสที่ 25 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความสูงแตกต่างกับข้าวที่ปลูกในฟอสฟอรัสที่ 12.5 และ ฟอสฟอรัสที่ 0 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) ลักษณะความยาวรากของข้าวที่อายุ 6 วันหลังย้ายปลูก ข้าวที่ปลูกในฟอสฟอรัส 50 เปอร์เซ็นต์ มีความยาวรากน้อยกว่า ฟอสฟอรัสระดับอื่นๆ (ตารางที่ 3) ความยาวรากมีความผันแปรตามปริมาณฟอสฟอรัส ที่ข้าวได้รับในแต่ละระยะ ข้าวที่อายุ 6 วันหลังย้ายปลูก พบว่า ข้าวที่ปลูกในฟอสฟอรัสที่ระดับ 0, 12.5, และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่า ความยาวราก สูงกว่า ฟอสฟอรัสที่ระดับ 25 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3)

ผลของระดับฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันในข้าวที่อายุ 15 วันหลังย้ายปลูก พบว่าความสูงต้นข้าว ลดลงเมื่อระดับฟอสฟอรัสต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยฟอสฟอรัสที่ระดับ 0, 12.5 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีความสูงต้นลดลงถึง 45, 30 และ 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับฟอสฟอรัสที่ระดับ 100 และ ฟอสฟอรัสที่ระดับ 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4) ด้าน ลักษณะจำนวนใบมีการตอบสนองเช่นเดียวกับ ลักษณะความสูงต้น โดยฟอสฟอรัสที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนใบมากกว่า ฟอสฟอรัสที่ระดับ 0 และ 12.5 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย 51-54 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่ระดับ 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบต่อต้นไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4) ลักษณะความสูงต้นและจำนวนใบต่อต้นมีผลโดยตรงต่อการสะสมน้ำหนักแห้งต้น โดยพบว่า มีการตอบสนองเช่นเดียวกับลักษณะความสูงต้น และจำนวนใบต่อต้น ข้าวที่ปลูกในฟอสฟอรัสที่ระดับ 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถสร้างน้ำหนักแห้งต้นได้สูงที่สุด ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่ระดับ 25, 12.5 และ 0 เปอร์เซ็นต์ สามารถสร้างน้ำหนักแห้งต้นได้น้อยกว่า ฟอสฟอรัสที่ระดับ 100 ถึง 48, 61 และ 75 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4)

เมื่อพิจารณาถึงระบบรากข้าวต่อการขาดฟอสฟอรัสในระดับที่แตกต่างกัน โดยพบว่า ฟอสฟอรัสในระดับที่แตกต่างกัน ส่งผลถึงการสร้างจำนวนรากต่อต้นโดยตรง ฟอสฟอรัสที่ระดับ 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถสร้างจำนวนรากต่อต้นได้สูงที่สุดเฉลี่ย 23 รากต่อต้น ในขณะที่ ฟอสฟอรัสที่ระดับ 0, 12.5 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนรากต่อต้นลดลงถึง 36, 25 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ ฟอสฟอรัสที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4)

การศึกษาผลของระดับฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันในข้าวอายุที่ 15 วันหลังย้ายปลูก พบว่าข้าว ที่ปลูกในฟอสฟอรัสที่ระดับ 0, 25 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้มีความยาวรากไม่แตกต่างกัน แต่มีความยาวลดลงในฟอสฟอรัสที่ระดับ 12.5 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ ระดับฟอสฟอรัส ที่แตกต่างกันยังส่งผลถึงการสร้างน้ำหนักแห้งรากข้าว โดยระบบรากข้าวในฟอสฟอรัสที่ระดับ 100 และ 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถสร้างน้ำหนักแห้งรากได้สูงที่สุด รองลงมาคือ ฟอสฟอรัสที่ระดับ 12.5, 25 ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่ระดับ 0 ส่งผลให้ระบบรากข้าวมีน้ำหนักแห้งรากน้อยที่สุด (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ตาม เมื่อข้าวอายุ 15 วันหลังย้ายปลูก ฟอสฟอรัสที่ระดับ 0, 12.5 และ 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่า ความยาวรากสูงกว่า ฟอสฟอรัสที่ระดับ 100 ถึง 63, 54 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ ฟอสฟอรัสที่ระดับ 50 และ 100 มีค่าความยาวรากต่ำ จากการศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อ ฟอสฟอรัส 5 ระดับ ตั้งแต่ 0, 12.5, 25, 50, 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวที่อายุ 6 และ 15 วันหลังย้ายปลูก แม้จะได้รับฟอสฟอรัส เพียง 50 เปอร์เซ็นต์ จากระดับพอเพียง (ฟอสฟอรัสที่ระดับ 100) ยังสามารถเจริญเติบโตได้ปกติโดยไม่ต้องเพิ่มอัตราส่วนของราก ในขณะที่ข้าวปลูกใน ฟอสฟอรัสที่ระดับ 25, 12.5 และ 0 เปอร์เซ็นต์ มีการปรับตัวต่อการขาดฟอสฟอรัส โดยการเพิ่ม อัตราส่วนของราก จึงทำให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินลดลงอย่างชัดเจน (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่อายุ 6 วันหลังย้ายปลูกเมื่อได้รับ P ในอัตราที่แตกต่างกัน

P level (%)	Shoot length (cm)	Leaf number plant	perRoot length (cm)	Root number per plant	Shoot (mg/plant)	biomassRoot (mg/plant)	biomassRoot-shoot ratio
0	9.7 ± 1.4 b	2.0 ± 0	9.0 ± 0.6 a	6.7 ± 1.2	9 ± 2.3	3.6 ± 0.7	0.41 ± 0.07 a
12.5	10.4 ± 1.1 b	2.0 ± 0	9.1 ± 0.2 a	7.0 ± 2	11.8 ± 2.8	4.2 ± 1	0.36 ± 0.07 a
25	11.6 ± 1.3 ab	2.0 ± 0	9.1 ± 0.7 a	7.3 ± 1.2	11.0 ± 2.8	3.0 ± 0.6	0.27 ± 0.02 b
50	11.2 ± 0.6 ab	2.0 ± 0	7.6 ± 1.2 b	7.0 ± 1	9.3 ± 0.3	3.1 ± 0.3	0.33 ± 0.03 a
100	13.0 ± 1.0 a	2.0 ± 0	9.9 ± 0.3 a	7.3 ± 4	12.1 ± 3.1	2.7 ± 0.2	0.23 ± 0.04 b
F-test	*	ns	*	ns	ns	ns	***
CV (%)	11.1	0	7.5	19.9	9.2	18.3	9.2

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05, *** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.0001 และ ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P>0.05

ที่มา: เนตรนภา และคณะ (2561)

ตารางที่ 4 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่อายุ 15 วันหลังย้ายปลูก เมื่อได้รับ P ในอัตราที่แตกต่างกัน

P level (%)	Shoot length (cm)	Leaf number per plant	Root length (cm)	Root number per plant	Shoot (mg/plant)	biomassRoot (mg/plant)	biomassRoot-shoot ratio
0	24.4 ± 1.2 d	3.8 ± 0.3 c	19.7 ± 1.3 a	15.2 ± 0.8 c	48.9 ± 2.5 d	23.9 ± 3.9 c	0.49 ± 0.06 a
12.5	30.6 ± 1.4 c	4.5 ± 0.5 c	16.7 ± 0.3 b	17.8 ± 1.3 c	75.3 ± 6.8 c	28.9 ± 1.5 abc	0.39 ± 0.02 b
25	37.1 ± 1.8 b	6.2 ± 0.6 b	18.4 ± 0.7 ab	21.0 ± 1.8 b	101.4 ± 12.2 b	28.5 ± 3.6 bc	0.28 ± 0.01 c
50	44.0 ± 1.3 a	8.5 ± 0 a	19.0 ± 1.3 a	23.5 ± 1.3 ab	199.5 ± 15.8 a	35.1 ± 5.5 ab	0.19 ± 0.02 d
100	44.2 ± 1.1 a	8.7 ± 0.6 a	19.0 ± 0.9 a	23.7 ± 1.8 a	195.3 ± 7.9 a	35.6 ± 2.9 a	0.18 ± 0.01 d
F-test	***	***	*	***	***	*	***
CV (%)	3.8	7.1	5.2	7.1	8.1	12.1	9.2

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05, *** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.0001 และ ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P>0.05

ที่มา: เนตรนภา และคณะ (2561)

ปรียาภรณ์ และ เนตรนภา (2562) ได้ศึกษาการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชีวแม่จันต่อระดับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ completely randomized design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ปุ๋ยในดินที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 4 ระดับ ตั้งแต่ 0, 30, 60 และ 120 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ พบว่าข้าวที่ปลูกในดินที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตั้งแต่ 30-120 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ส่งผลให้น้ำหนักแห้งต้น และรากไม่แตกต่างกันเมื่อข้าวมีอายุ 60 วันหลังย้ายปลูก และเมื่อข้าวอายุ 90 วันหลังย้ายปลูก ข้าวที่ปลูกในดินที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตั้งแต่ 30-120 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ส่งผลให้จำนวนต้นตอ และน้ำหนักแห้งต้นไม่แตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าข้าวพันธุ์ชีวแม่จันที่มีอายุ 60 และ 90 วัน ที่ปลูกในดินที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 30-120 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ระดับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชีวแม่จันที่อายุ 60 วันหลังย้ายปลูก

ระดับปุ๋ย ฟอสฟอรัส (กิโลกรัม/ไร่)	จำนวนต้น ตอ	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น)
0	2.7 ± 1.4 b	8.2 ± 11.4	24.4 ± 5.2	1.3 ± 0.3 b	0.2 ± 0 b
30	5.4 ± 2.5 bc	90.0 ± 18.6	26.4 ± 4.5	2.5 ± 1.1 ab	0.3 ± 0.1 ab
60	7.3 ± 2.1 ab	91.9 ± 8.5	27.5 ± 0.5 a	3.5 ± 0.5 a	0.5 ± 0.1 a
120	9.3 ± 0.6 a	92.5 ± 12.0	23.7 ± 4.8	3.5 ± 0.6 a	0.4 ± 0 a
F-test	***	ns	ns	**	*
LSD	3.2	-	-	1.3	0.2

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$, *** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.0001$ และ ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P > 0.05$

ที่มา: ปรียาภรณ์ และ เนตรนภา (2562)

ตารางที่ 6 ระดับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชีวแม่จันที่อายุ 90 วัน
หลังย้ายปลูก

ระดับปุ๋ย ฟอสฟอรัส (กิโลกรัม/ไร่)	จำนวนต้น ต่อกอ	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น)
0	8.0 ± 0.1	106.5 ± 6.4	31.5 ± 15	10.1 ± 1.6 b	1.2 ± 0.5
30	20.3 ± 1.5 a	119.0 ± 5.3	32.8 ± 5.6	29.5 ± 5.3 a	4.3 ± 0.9 a
60	18.3 ± 3.1 a	118.7 ± 15.7	32.2 ± 4.8	26.9 ± 13.5 a	3.6 ± 1.5 a
120	21.7 ± 2.5 a	119.3 ± 5.1	33.4 ± 8.9	31.4 ± 7.3 a	2.5 ± 1.3 ab
F-test	***	ns	ns	*	*
CV (%)	4.1	-	-	15.3	2.1

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$, *** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.0001$ และ ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P > 0.05$

ที่มา : ปรียาภรณ์ และ เนตรนภา (2562)

ผลของฟอสฟอรัสต่อการพัฒนารากข้าว

ทศพร และคณะ (2560) รายงานการศึกษา ผลของระดับฟอสฟอรัสต่อการพัฒนาระบบรากข้าว ศึกษาการตอบสนองของข้าว 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105), กข49 (RD49), R258, และชีวแม่จัน (Sew Mae Jan) ต่อฟอสฟอรัส 4 ระดับ ตั้งแต่ระดับ 0, 50, 100, 200 เปอร์เซ็นต์ ของระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่พองในสารละลายธาตุอาหารเป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าทุกลักษณะที่ทำการประเมินทั้งระบบรากและลำต้น มีการตอบสนองที่แตกต่างกัน เมื่อข้าวอายุ 28 วัน แต่บางลักษณะโดยเฉพาะลักษณะความยาวรากมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ตั้งแต่ 7 วันแรกของการทดลอง โดยความแตกต่างนี้เป็นผลเนื่องจากปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์และระดับฟอสฟอรัสที่ข้าวได้รับ จะเห็นได้ว่า ความยาวรากของข้าวแต่ละพันธุ์ในแต่ละระดับฟอสฟอรัส มีการตอบสนองออกเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน เช่น ที่ระดับฟอสฟอรัสที่ 100 หรือระดับที่มีปริมาณฟอสฟอรัสพองเพียงกับการเจริญเติบโตของข้าวชีวแม่จัน และ กข49 มีความยาวรากที่เพิ่มขึ้นมากกว่าระดับอื่น ในขณะที่ขาวดอกมะลิ 105 และ R258 มีความยาวรากลดลงเมื่อเทียบกับฟอสฟอรัสระดับอื่น อายุข้าว 28 วัน เห็นถึงความสามารถในการสร้างรากชัดเจน ที่ระดับฟอสฟอรัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นระดับฟอสฟอรัสที่ 50, 200 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเพิ่มระดับความเข้มข้นจากฟอสฟอรัสที่ระดับ 0 ไปที่ระดับฟอสฟอรัสที่ 50 ทำให้ข้าวทุกพันธุ์มีการสร้างจำนวนรากเพิ่มขึ้นถึง 3.1-5.2 (ตารางที่ 7)

นอกจากนี้การได้รับฟอสฟอรัสที่ระดับความเข้มข้นมากกว่าระดับพองเพียงที่ระดับฟอสฟอรัสที่ 200 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้ข้าวทุกพันธุ์มีจำนวนรากต่อต้นลดลง 24-27 เปอร์เซ็นต์ พบว่าขนาดของระบบรากมีความแตกต่างเนื่องจากอิทธิพลของพันธุ์ และอิทธิพลของระดับฟอสฟอรัส สำหรับ

อิทธิพลเนื่องจากพันธุ์ ทำให้เห็นว่าชีวแม่จันมีความสามารถในการสร้างระบบรากได้มากกว่าพันธุ์อื่นชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่อิทธิพลของระดับฟอสฟอรัสทำให้การปลูกข้าวที่ระดับฟอสฟอรัสที่ 100 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการพัฒนาระบบรากได้ใกล้เคียงกัน และแตกต่างจากต้นข้าวที่ปลูกในฟอสฟอรัส 0 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาตรรากลดลงถึง 83 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับระดับฟอสฟอรัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยระดับฟอสฟอรัสที่ 0 ข้าวพันธุ์ R258 มีค่าความยาวรากสูงที่สุด และแตกต่างจากพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าความยาวราก ของข้าวทุกพันธุ์ที่ปลูกในฟอสฟอรัส ระดับ 50, 100 และ 200 เปอร์เซ็นต์นั้น มีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 7)

สำหรับลักษณะความสูงต้นของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105), กข 49 (RD49), R258, และชีวแม่จัน (Sew Mae Jan) ที่ปลูกในระดับฟอสฟอรัสที่ 0 มีความสูงต้นน้อยกว่าต้นข้าวที่ปลูกในฟอสฟอรัสระดับอื่นๆ และพันธุ์ที่ปลูกในฟอสฟอรัสที่ 100 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีความสูงต้นที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นขาวดอกมะลิ 105 ที่มีความสูงต้นในฟอสฟอรัสที่ระดับ 50 น้อยกว่าฟอสฟอรัสที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การปลูกข้าวในระดับที่มากกว่าระดับฟอสฟอรัสหรือฟอสฟอรัสที่ระดับ 200 ส่งผลให้ความสูงต้นลดลงจากระดับฟอสฟอรัสที่ 100 ประมาณ 4-11 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการปลูกข้าวในฟอสฟอรัสที่ระดับ 50 ส่งผลให้ค่าความเขียวใบสูงแตกต่างจากการปลูกในระดับฟอสฟอรัสอื่น ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่ระดับ 0 ส่งผลให้ค่าความเขียวใบของข้าวทุกพันธุ์ลดลงถึง 26-42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับฟอสฟอรัสที่ระดับ 100 ด้านอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสกับพันธุ์ พบว่าพันธุ์ข้าวส่วนใหญ่ที่ปลูกในฟอสฟอรัสที่ระดับ 50 ส่งผลให้ค่าความเขียวใบสูงกว่าฟอสฟอรัสระดับอื่นๆ ยกเว้นพันธุ์ชีวแม่จันที่ปลูกในฟอสฟอรัสที่ระดับ 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเขียวใบไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ลักษณะการเจริญเติบโตของรากและยอดของข้าว 4 สายพันธุ์ที่ปลูกในระดับ 4 ฟอสฟอรัส (0, 50, 100 และ 200) เปอร์เซ็นต์ของระดับ P

Varieties	P levels	Root volume (ml.)	R/S ratio	Shoot length (cm)	Leaf greenness values
-----------	----------	----------------------	-----------	----------------------	--------------------------

KDML 105	0	0.8 ± 0.3	0.39	41.2 ± 0.6	23.6 ± 1.4
	50	5.7 ± 1.6	0.25	74.9 ± 1.1	40.0 ± 0.5
	100	5.3 ± 0.6	0.24	77.7 ± 1.3	37.8 ± 0.8
	200	4.0 ± 0	0.21	72.1 ± 1.0	37.9 ± 1.0
RD49	0	0.8 ± 0.3	0.46	29.7 0.7	28.7 1.0
	50	4.8 0.3	0.26	57.3 1.9	39.0 0.7
	100	7.0 1.0	0.25	59.7 1.3	37.1 1.5
	200	4.7 0.6	0.20	57.3 1.6	35.8 1.4
R258	0	1.3 0.6	0.79	38.4 1.0	26.3 0.9
	50	6.0 1.7	0.30	79.4 1.9	40.1 1.1
	100	6.4 1.7	0.27	80.6 0.8	38.9 0.5
	200	4.7 1.5	0.25	73.0 1.4	38.6 1.4
Sew Mae Jan	0	1.3 0.6	0.53	38.7 1.2	21.7 0.6
	50	7.7 0.6	0.32	86.3 1.9	36.8 1.0
	100	7.3 1.5	0.32	87.2 2.0	36.4 0.3
	200	6.3 0.6	0.27	7.8 1.2	35.3 0.3
		P , V , PxV	P , V , PxV	P , V , PxV	P , V , PxV
F-test		* * , ns	* , * , *	* , * , *	* , * , *
CV (%)		0.8 , 0.8	0.02 , 0.02 , 0.04	2.2 , 1.2 , 2.4	0.8 , 0.8 , 1.7

หมายเหตุ Values are means of three replicates ± standard errors. *Significant at P < 0.05, P, V and P x V indicate F-test for P levels, varieties and P levels and varieties interaction effects.

ที่มา: ทศพร และคณะ (2560)

สรุป

ธาตุฟอสฟอรัส (P) ธาตุอาหารหลักที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารประกอบที่เป็นแหล่งพลังงานในต้นข้าว ฟอสฟอรัสมีบทบาทช่วยในการสร้างดอก การผสมเกสร การติดเมล็ด การแตกกอ

การพัฒนาของราก การสร้างความแข็งแรงของลำต้น และการสุกแก่ของข้าว การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส จำเป็นมากสำหรับข้าวที่ระบบรากยังไม่พัฒนา คำแนะนำการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสนิยมใส่ในนาข้าวข้าว ในรูปของ P_2O_5 อัตราแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของดิน กล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่อายุ 15 วันหลัง ย้ายปลูก แสดงอาการวิกฤติเมื่อได้รับฟอสฟอรัสต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จากระดับพอเพียง (100 %) ของสารละลายธาตุอาหาร 100 % ต่อระดับพอเพียงในสูตรสารละลายธาตุอาหาร จากสูตรของ Yoshida et al. (1976) ระบบรากมีการตอบสนองต่อระดับฟอสฟอรัสแตกต่างกัน โดยข้าวที่ไม่ได้รับ ฟอสฟอรัส ($P=0$ %) ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความยาวราก แต่มีผลให้การสร้างจำนวนรากน้อยลง อย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับฟอสฟอรัสระดับอื่น (50, 100, และ 200 %) ลักษณะดังกล่าว ยังส่งผล ต่อการลดลงของปริมาตรรากถึง 83 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับฟอสฟอรัส 0 และปริมาตรรากลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับฟอสฟอรัส 200 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ปลูกระดับฟอสฟอรัส 100 (ระดับปกติ) นอกจากการลดลงของมวลราก ประสิทธิภาพรากในการสร้างต้นยังลดลงเช่นกัน การมีฟอสฟอรัสต่ำ หรือสูงกว่าระดับปกติ (100 %) ส่งผลถึงการลดลงในเชิงปริมาณ และคุณภาพของระบบราก

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2559. องค์ความรู้เรื่องข้าว <http://www.ricethailand.go.th/Rkb/manual/index.php-file=content.php&id=47.htm>. 20 กรกฎาคม 2564.

- กรมการข้าว. 2559. คำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.
<http://www.ricethailand.go.th/rkbttitle-index.php-file=content.php&id=045.htm>,
 22 กรกฎาคม 2564.
- กฤตย์ สมสาร. 2549. ฟอสฟอรัสในดิน. https://www.dss.go.th/images/static/cp_9_2549_Phosphorus.pdf. 1 สิงหาคม 2564.
- ทศพร บ่อบัวทอง, เนตรนภา อินสลุต, วิชญ์ภาส สังพาลี และ จุฑามาศ อาจนาศะเสียว. 2561. ผลของระดับฟอสฟอรัสต่อการพัฒนาระบบรากข้าว. *แก่นเกษตร*. 45(1) :998-1002.
- เนตรนภา อินสลุต, ทศพร บ่อบัวทอง และ กิตติพจน์ แยมจันทร์. 2562. ผลของระดับฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. *แก่นเกษตร*. 46(1) :547-550.
- ปรียาภรณ์ แสงเรือน และ เนตรนภา อินสลุต. 2562. ระดับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวแม่จัน. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 24(2) :725-730.
- ลัดดาวัลย์ กรรณนุช. 2543. บทบาทของธาตุอาหารพืช. ใน *เทคโนโลยีการใส่ปุ๋ยในนาข้าว*. สถาบันวิจัยข้าว. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 21-31.
- ลัดดาวัลย์ กรรณนุช. 2541. การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. ใน *เทคโนโลยีการผลิตข้าวหอมมะลิและคุณภาพดี*. กรมวิชาการเกษตรและกรมส่งเสริมสหกรณ์. หน้า 15-28.
- Kirk, G. J. D., and L. V. Du. 1997. Changes in rice root architecture, porosity and oxygen and proton release under phosphorus deficiency. *New phytol* 135: 191-200.
- Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. 1976. Procedures for routine analysis of phosphorus, iron, manganese, aluminum and crude silica in plant tissue. *Laboratory manual for physiological studies of rice*. The International Rice Research Institute.