

ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของข้าว
พันธุ์หอมวารินที่ปลูกในดินทรายความอุดมสมบูรณ์ต่ำ
Phosphorus Use Efficiency on Yield and Economic Returns of HomWarin Rice Variety
Grown in Low Fertility Sandy Soil

ภูมิศาสตร์ บุญพงษ์¹, ปรียาภรณ์ ภางาม¹, นพมาศ นามแดง¹,
ฉันทมาศ เชื้อแก้ว¹ และสุรีพร เกตุงาม^{1*}

Phumisat Boonphong¹, Preeyaporn Pangam¹, Nopamas Namdang¹,
Chantamart Chueakaew¹ and Sureeporn Katengam^{1*}

Received date: 13 มี.ค. 68 Revised date: 12 มี.ค. 68 Accepted date: 23 มี.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.265839>

บทคัดย่อ

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของข้าวพันธุ์หอมวารินในดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส 5 ระดับ ได้แก่ 0, 4, 8, 12 และ 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ พร้อมใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียม อัตรา 18 และ 15 กิโลกรัม N และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ แบ่งใส่ปุ๋ย 3 ระยะ คือ ระยะตั้งตัว ระยะแตกกอ และระยะตั้งท้อง ผลการศึกษาพบว่า อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลต่อจำนวนเมล็ดต่อรวงและผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความสูง จำนวนต้นตอกอ จำนวนรวงตอกอ ความยาวรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และน้ำหนักฟางแห้ง โดยปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ส่งผลให้ข้าวหอมวารินมีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงสุด (131.01 เมล็ด) และผลผลิตสูงสุด (635.25 กิโลกรัมต่อไร่) ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ที่ให้ผลผลิต 618.36 กิโลกรัมต่อไร่ ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยในการให้ผลผลิตลดลงเมื่อมีการใช้อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น โดยอัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ให้ประสิทธิภาพสูงสุด (8.97 กิโลกรัมผลผลิตต่อกิโลกรัมฟอสฟอรัส) รองลงมาคืออัตรา 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ (8.02 กิโลกรัมผลผลิตต่อกิโลกรัมฟอสฟอรัส) ซึ่งให้ผลตอบแทนส่วนเพิ่มสูงสุด (217.83%) ผลการศึกษายังชี้ว่าปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวหอมวารินในดินทรายความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยให้ผลผลิตสูง มีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยดี และให้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด

คำสำคัญ: ข้าว ผลผลิต ปุ๋ยฟอสฟอรัส ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

Abstract

Phosphorus (P) is a critical nutrient for rice (*Oryza sativa* L.) growth and productivity. This study investigated the effects of varying P fertilizer rates on grain yield, yield components, phosphorus use efficiency (PUE), and economic returns for the HomWarin rice variety cultivated in low-fertility sandy soil. A field experiment was conducted using a randomized complete block design (RCBD) with three replications and five P application rates: 0, 4, 8, 12, and 16 kg P_2O_5 per rai. All treatments received uniform applications of nitrogen (18 kg N/rai) and potassium (15 kg K_2O /rai) in three split doses at establishment, tillering, and panicle initiation stages. Results revealed significant differences ($p \leq 0.05$) in grain yield and yield components among P rates, while plant height, tiller number per hill, panicle number per hill, panicle length, 1,000-grain weight, and straw yield were unaffected. The highest grain yield (635.25 kg/rai) and spikelet number per panicle (131.01) were achieved with 16 kg P_2O_5 /rai, but these results were statistically similar to the yield at 12 kg P_2O_5 /rai (618.36 kg/rai). Phosphorus use efficiency declined with increasing P application rates, with the highest efficiency (8.97 kg grain/kg P) observed at 4 kg P_2O_5 /rai, followed by 12 kg P_2O_5 /rai (8.02 kg grain/kg P). The marginal rate of return was maximized (217.83%) at 12 kg P_2O_5 /rai, which also provided the optimal balance between high yield, phosphorus use efficiency, and economic returns. These findings suggest that applying P fertilizer at 12 kg P_2O_5 /rai is the most effective rate for maximizing grain yield phosphorus use efficiency and economic benefits in HomWarin rice grown under low-fertility sandy soil conditions.

Keywords: rice, yield, phosphorus fertilizers, phosphorus use efficiency, soil fertility

¹ สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี 34190

¹ Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190

* Corresponding author: sureeporn.k@ubu.ac.th

คำนำ

ความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าว ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนประมาณ 62 ล้านไร่ ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 38.2 ล้านไร่ แต่มีผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุด (363 กิโลกรัมต่อไร่) และต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของทั้งประเทศ (447 กิโลกรัมต่อไร่) ในขณะที่ภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคใต้ มีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 604, 567 และ 471 กิโลกรัม ตามลำดับ (Office of Agricultural Economics, 2024) พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรนิยมปลูกเป็นข้าวไวต่อช่วงแสง เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 กข15 และ กข6 ซึ่งปลูกได้เฉพาะนาปี เนื่องจากมีความต้องการช่วงแสงสั้น (เวลากลางวันน้อยกว่า 12 ชั่วโมง) ในการกำเนิดช่อดอกและข้อจำกัดของปริมาณน้ำฝน ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับต่ำคิดเป็นร้อยละ 71.53 ของพื้นที่ทั้งหมดในประเทศ เนื่องจากดินส่วนใหญ่เป็นดินทรายที่เกิดจากการสลายตัวของหินทรายทำให้ดินมีปริมาณของอนุภาคทรายสูง มีปริมาณอนุภาคดินเหนียว และอินทรีย์วัตถุในดินต่ำ (Land Development Department, 2015a) ดินทรายมีประสิทธิภาพการอุ้มน้ำต่ำ สามารถดูดซับธาตุอาหารได้น้อย ทำให้มีปริมาณน้ำและธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตข้าว ส่งผลให้ผลผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่ำกว่าภูมิภาคอื่น

ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P) เป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักที่ข้าวต้องการในปริมาณมาก รองจากไนโตรเจน (N) และโพแทสเซียม (K) ฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก และเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ลำต้น กระตุ้นการออกดอก (Panyaying et al., 2017) โดยฟอสฟอรัสในดินที่เป็นประโยชน์ต่อข้าวจะอยู่ในรูปของฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-}) (Vejchasarn et al., 2016) และดินต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง pH 6-7 ซึ่งเป็นระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการละลาย และเป็นประโยชน์ได้ของฟอสเฟต ซึ่งดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินทราย อินทรีย์วัตถุต่ำ และเป็นกรดรุนแรง (pH 4.6) ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อข้าว เนื่องจากฟอสเฟตไอออนจะถูกตรึงให้อยู่ในรูปของเหล็กและอะลูมิเนียมฟอสเฟต ซึ่งจะละลายน้ำได้ยาก จึงทำให้ข้าวไม่สามารถดึงฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ มีผลทำให้ข้าวแสดงอาการแคระแกร็น ชะงักการเจริญเติบโต แตกกอลดลง และให้ผลผลิตต่ำ (Land Development Department, 2015a; Rice Department, 2016) การปลูกข้าวในนาที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มเติมเพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าว โดย Rice Department (2009) ได้แนะนำการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยประเมินจากค่าประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส สำหรับการปลูกข้าวในดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ (น้อยกว่า 5 mg/kg) ปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ต้องใส่เพิ่มเติม คือ 6 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จึงจะเพียงพอต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าว

นอกจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน พันธุ์ข้าวเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการเจริญเติบโต และให้ผลผลิต โดยข้าวหอมวารินเป็นข้าวหอมพื้นนุ่มพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูง มีลักษณะทนแล้ง ทนน้ำท่วมฉับพลัน และปรับตัวได้ดีในพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อย่างไรก็ตามพื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ (Land Development Department, 2015a) และยังไม่มีการศึกษาอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวหอมวารินในพื้นที่ดังกล่าว เพื่อให้ได้ผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุดของข้าวหอมวาริน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตข้าวหอมวาริน โดยนำข้อมูลประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในเชิงการให้ผลผลิตและข้อมูลด้านผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์มารวบรวมตัดสินใจเพื่อประโยชน์ต่อการจัดการอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่อไป

วิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลอง

การศึกษานี้ใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized complete block design) จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส 5 ตำรับทดลอง ประกอบด้วยปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 0 (T1), 4 (T2), 8 (T3), 12 (T4) และ 16 (T5) กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ซึ่งในแต่ละตำรับทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียม อัตรา 18 และ 15 กิโลกรัม N และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ ดำเนินการทดลอง ณ สำนักงานไร่นาทดลองและห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พิกัดทางภูมิศาสตร์ 15°08'08.8" ละติจูดเหนือ และ 104°55'20.6" ลองจิจูดตะวันออก ในฤดูการผลิตข้าวนาปี พ.ศ. 2565

การปลูกข้าวและการดูแลรักษา

การเตรียมแปลงจะไถด้วยผาน 3 จำนวน 1 ครั้ง และไถพรวนด้วยผาน 7 จำนวน 1 ครั้ง ปรับพื้นที่ปลูกให้มีความสม่ำเสมอ เตรียมแปลงทดลองย่อยขนาด 10 ตารางเมตร จำนวน 15 แปลง ดำเนินการปลูกข้าวพันธุ์หอมวารินโดยวิธีปักดำ ใช้ต้นกล้าอายุ 30 วัน ปลูก 1 ต้นต่อจอบ ใช้ระยะปลูก 25x25 เซนติเมตร ในแต่ละแปลงย่อยปลูกข้าว จำนวน 7 แถว แถวละ 18 ต้น ดินที่

ใช้ปลูกข้าวเป็นชุดดินร่อยเอ็ด ซึ่ง มีลักษณะเป็นดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) อยู่ระหว่าง 4.5-6.5 มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว (Land Development Department, 2015b) ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร 46-0-0 ปุ๋ยฟอสฟอรัส สูตร 18-46-0 และปุ๋ยโพแทสเซียม สูตร 0-0-60 ตามที่กำหนดในแต่ละตำรับทดลอง โดยแบ่งใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง ครั้งแรกเมื่อข้าวอยู่ในระยะตั้งตัว ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 40 เปอร์เซ็นต์ ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม 30 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราปุ๋ยทั้งหมด ครั้งที่ 2 เมื่อข้าวอยู่ในระยะแตกกอ ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 30 เปอร์เซ็นต์ และ ใส่ครั้งที่ 3 เมื่อข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 30 เปอร์เซ็นต์ ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม 40 เปอร์เซ็นต์ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (มีปริมาณอินทรีย์วัตถุตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์) พร้อมการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 อัตรา 150 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีการใส่โดโลไมท์ในช่วงเตรียมดิน อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ กำจัดวัชพืชและรักษาน้ำในแปลงไว้ที่ระดับ 5-10 เซนติเมตร จากผิวดินตลอดฤดูการผลิต

การเก็บข้อมูล

1. ข้อมูลดิน เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแต่ละแปลงย่อยตามตำรับทดลอง จำนวน 15 ตัวอย่าง นำดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำดินไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติของดิน ประกอบด้วย ความเป็นกรด-ด่างของดิน (อัตราส่วนดิน:น้ำ 1:1) โดยใช้เครื่อง pH meter ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter) ด้วยวิธี Walkley and Black ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยสกัดด้วยน้ำยา Bray II และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยใช้ 1 M NH_4OAc (pH 7.0) เป็นน้ำยาสกัด และวัดค่าด้วยเครื่อง Flame photometer และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Kjeldahl method (Ta-oun, 2005; Office of Science for Land Development, 2005)

2. ข้อมูลสภาพอากาศ ระหว่างการทดลอง ตรวจวัดข้อมูลรายวันจากสถานีตรวจวัดฟ้าอากาศ ของสำนักงานไร่ฝักทดลอง และห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ค่าที่บันทึกประกอบด้วย ค่าพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

3. ข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตข้าว สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวในพื้นที่ 1.5 ตารางเมตร (จำนวน 24 ต้น) เพื่อบันทึกข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตข้าว ตามวิธีการของ Rice Department (2007) ประกอบด้วย ความสูง จำนวนต้นตอก จำนวนรวงตอก ความยาวรวง จำนวนเมล็ดตอรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด น้ำหนักฟางสด และ น้ำหนักฟางแห้ง (อบให้แห้งด้วยตูบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งคงที่) คำนวณหาผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อไร่) และดัชนีเก็บเกี่ยว จากสัดส่วนของผลผลิต (economic yield) (กิโลกรัมต่อไร่) ต่อน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้น (biological yield) (กิโลกรัมต่อไร่)

ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในการให้ผลผลิตข้าว

คำนวณประสิทธิภาพการให้ผลผลิตข้าวจากการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส (phosphorus use efficiency: PUE) ตามวิธีของ Girma et al. (2007) โดยคำนวณจากสูตร $PUE = (Y_T - Y_0)/F_P$ โดยที่ Y_T = ผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อไร่) ในสภาพที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส ในอัตรา 4, 8, 12 และ 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่, Y_0 = ผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อไร่) ในสภาพที่ไม่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส และ F_P = อัตราการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส (กิโลกรัมต่อไร่)

ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

วิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้อัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม (marginal rate of return, MRR) ตามวิธีของ CIMMYT (1988) โดยมีหลักเกณฑ์ว่าการลงทุนจะคุ้มทุน เมื่อ MRR เท่ากับหรือมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ คำนวณจากสูตร $MRR (\%) = (\text{กำไรที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใส่ปุ๋ย/ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใส่ปุ๋ย}) \times 100$

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) ของลักษณะที่ศึกษาตามแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าว ด้วยวิธี Pearson product-moment correlation โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป STAR-statistical tool for agricultural research version 2.0.1

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ข้อมูลดินและสภาพอากาศ

สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนการทดลอง พบว่า ดินในแปลงทดลองปลูกข้าวเป็นชุดดินร่อยเอ็ด มีลักษณะเป็นดินทราย มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5.28 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 0.66 เปอร์เซ็นต์ ธาตุไนโตรเจน

ทั้งหมด เท่ากับ 0.030 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.82 และ 13.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Table 1) ทั้งนี้เปรียบเทียบกับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5.5-7.0 ปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่า 4.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Land Development Department, 2015b) พบว่าดินในแปลงทดลองมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ธาตุไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อยู่ในระดับต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระดับที่เหมาะสมในการปลูกข้าว (Department of Agriculture, 2000) สอดคล้องกับรายงานของ Kongphan et al. (2022) และ Khonkhoei et al. (2023)

สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินหลังการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0, 4, 8, 12 และ 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ไม่มีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน และโพแทสเซียม ในดินหลังปลูกแตกต่างกัน แต่การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ส่งผลให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสคงเหลือในดินสูงที่สุด 12.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างกับการที่ไม่ใส่ปุ๋ย และใส่ปุ๋ยในอัตรา 4, 8, และ 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยดินหลังปลูกมีค่าฟอสฟอรัสอยู่ระหว่าง 5.30-12.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 5.64-5.80 เป็นกรดปานกลาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ระหว่าง 0.64-0.72 เปอร์เซ็นต์ มีไนโตรเจนระหว่าง 0.033-0.036 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 9.33-11.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งยังมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำ มีปริมาณโพแทสเซียมได้อยู่ในระดับต่ำมาก บ่งชี้ว่าดินในแปลงทดลองมีปริมาณธาตุอาหารอยู่ในระดับต่ำ ไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวหรือพืชปลูกหลังนา เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารเหลือตกค้างอยู่ในดินน้อยไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นจึงควรใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมเพื่อให้ดินมีปริมาณธาตุอาหารเพียงพอต่อความต้องการของพืชที่จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต (Land Development Department, 2015a; Ashash et al., 2024) (Table 1) ทั้งนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจน หลังการทดลองสูงขึ้น น่าจะเป็นผลมาจากการใส่โดโลไมท์ อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 150 กิโลกรัมต่อไร่ เพราะการใส่โดโลไมท์และปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างของดินให้สูงขึ้น และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ทำให้สมบัติทางฟิสิกส์ของดินดีขึ้น ธาตุอาหารถูกละลายอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น แต่ไม่มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินหลังปลูกสูงขึ้น ถึงแม้จะมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่ม แต่ก็ยังไม่มากพอที่จะเหลือทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มขึ้น (Land Development Department, 2017) โดยดินที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวควรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่า 2.25 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนในดินมากกว่า 0.113 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมากกว่า 45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Department of Agriculture, 2000)

Table 1 Chemical properties and nutrient content in soil before and after the experiment

Treatments	Chemical properties and nutrient content in soil				
	pH	OM (%)	N (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)
Soil before the experiment	5.28	0.66	0.030	10.82	13.26
Soil after the experiment					
T1 (P_0)	5.76	0.72	0.035	5.30 ^c	11.41
T2 (P_4)	5.80	0.72	0.033	6.47 ^c	9.33
T3 (P_8)	5.79	0.64	0.034	9.73 ^b	11.58
T4 (P_{12})	5.64	0.70	0.033	10.50 ^b	10.01
T5 (P_{16})	5.80	0.66	0.036	12.54 ^a	10.77
F-test ^{1/}	ns	ns	ns	*	ns
Mean	5.76	0.69	0.034	8.91	10.62
CV (%)	2.32	9.26	11.13	11.24	18.55
LSD (0.05)	-	-	-	1.89	-

^{1/} * = significant difference at the 0.05 probability level, ns= not significant difference, Values in the same column followed by different superscripts are significant difference at $p \leq 0.05$

สภาพอากาศในช่วงการทดลองระหว่างเดือนกรกฎาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2565 พบว่ามีปริมาณน้ำฝนรายวันอยู่ที่ 0-110 มิลลิเมตรต่อวัน ฝนตกชุกในช่วงเดือนสิงหาคม-ต้นตุลาคม มีปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูกเท่ากับ 1,300 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ในช่วง 22.1-36.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดอยู่ในช่วง 17.4-27.1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ระหว่าง 48.0-89.0 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย เท่ากับ 78.5 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้ปุ๋ยในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูงและฝนตกชุก จำเป็นต้องมีการดูแลระบบการระบายน้ำ เพื่อป้องกันการชะล้างของปุ๋ย (Figure 1)

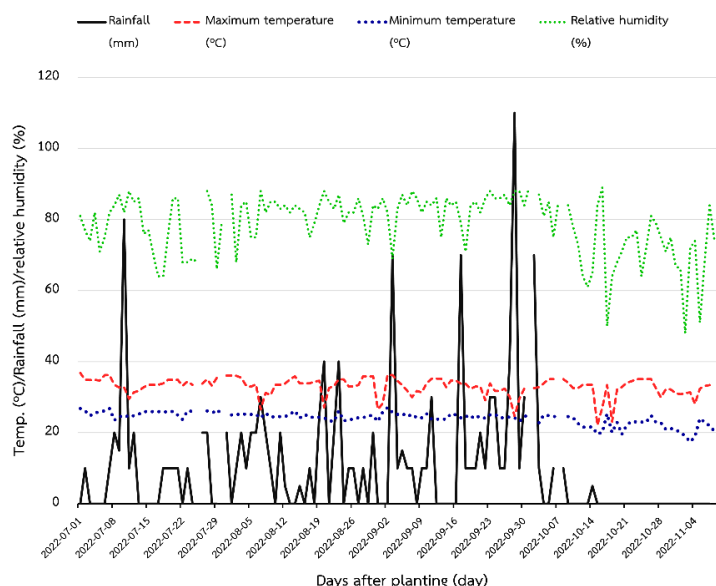


Figure 1 Rainfall (mm), maximum temperature (°C), minimum temperature (°C), and relative humidity (%) during wet season of growing rice

ผลของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตข้าวพันธุ์หอมวาริน

ข้าวหอมวาริน เป็นข้าวหอมพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะทนแล้ง ทนน้ำท่วมฉับพลัน ให้ผลผลิตสูง เหมาะกับพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราแตกต่างกัน 0, 4, 8, 12 และ 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีผลทำให้จำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวหอมวารินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (Table 2) โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ส่งผลให้ข้าวหอมวารินมีจำนวนเมล็ดต่อรวงเฉลี่ยสูงสุด 131.01 เมล็ด แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่อัตรา 12, 8, 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ให้จำนวนเมล็ดต่อรวงเฉลี่ย 126.11, 123.09, 123.73, และ 122.90 เมล็ดตามลำดับ และมีผลทำให้ผลผลิตของข้าวหอมวารินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ทำให้ผลผลิตของข้าวหอมวารินสูงสุด 635.25 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ที่ให้ผลผลิต 618.36 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ อัตรา 8 และ 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ที่ให้ผลผลิต 581.20 และ 558.50 กิโลกรัมต่อไร่ และข้าวที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้ผลผลิตต่ำสุด 529.55 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้ความสูง จำนวนต้นตอกอ จำนวนรวงตอกอ ความยาวรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และน้ำหนักฟางแห้งของข้าวหอมวารินแตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้องค์ประกอบผลผลิต ดังกล่าวเพิ่มขึ้น

การศึกษาค้นคว้า พบว่า ข้าวหอมวารินที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงขึ้น มีผลทำให้จำนวนเมล็ดต่อรวงมากขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้น โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ทำให้ข้าวหอมวารินมีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงสุด 131.01 เมล็ด ผลผลิตสูงสุด 635.25 กิโลกรัมต่อไร่ สอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนของ Gebrekidan and Seyoum (2006); Jinger et al. (2018) และ Zhang et al. (2021) ซึ่งพบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้จำนวนเมล็ดต่อรวง และผลผลิตเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากฟอสฟอรัสมีผลต่อการออกดอก และการสร้างตัวของเมล็ด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าว (Insalud et al., 2018; Sangruanand and Insalud, 2019) นอกจากนี้ ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของข้าว มีบทบาทสำคัญช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก เพิ่มความแข็งแรงให้แก่ลำต้น และเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายทอดพลังงาน เช่น การสังเคราะห์แสง การหายใจ และการ

แบ่งเซลล์ให้เป็นไปอย่างปกติ (Panyaying et al., 2017) โดย Zhang et al. (2021) พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวไรในอัตรา 8, 16 และ 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีผลทำให้จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และ ผลผลิต มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ให้ผลผลิตของข้าวสูงสุด 1,361.60 กิโลกรัม ต่อไร่ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Jinger et al. (2018) ซึ่งพบว่าการใช้อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ต่างกัน ได้แก่ อัตรา 0, 4.8, 9.6 และ 14.4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีผลทำให้น้ำหนักฟางแห้ง จำนวนรวง ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และ ผลผลิต มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 14.4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด 905.6 กิโลกรัมต่อไร่ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Tabar (2012) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 14.4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ทำให้ผลผลิตข้าวสูงสุด 97.01 กรัมต่อกอ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส ซึ่งได้ผลผลิต 94.63 กรัมต่อกอ ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัสเทียบพลันอาจทำให้ผลผลิตข้าวลดลงมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (Saleque et al., 1998) การใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวนอกจากจะขึ้นอยู่กับอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสแล้ว ยังต้องคำนึงถึงชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสประกอบด้วย เนื่องจากปุ๋ยฟอสฟอรัสแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายน้ำต่างกัน (Massawe and Mrema, 2017) ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวมีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนมากกว่าปุ๋ยฟอสฟอรัส อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสจะทำให้ผลผลิตข้าวจะเพิ่มขึ้น (Gebrekidan and Seyoum, 2006)

ความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นปัจจัยสำคัญต่อการปลูกข้าว ในการศึกษาครั้งนี้ดินแปลงทดลองเป็นชุดดินร่อยเอ็ด ซึ่งเป็นดินทรายปนร่วนที่มีธาตุอาหารต่ำ (Table 1) จึงมีข้อจำกัดในการปลูกข้าว เนื่องจากดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหารได้ต่ำ นอกจากนี้ธาตุอาหารหรือปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินยังสูญเสียไปกับการชะล้างของน้ำได้ง่าย (Land Development Department, 2017) และดินในแปลงหลังทดลองยังมีความเป็นกรดปานกลาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ มีธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก บ่งชี้ว่าดินมีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว ถึงแม้จะมีการใส่ปุ๋ยเพิ่ม ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่ต่ำ นอกจากจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวแล้ว ยังทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินลดลง ดังนั้น การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงขึ้น มีผลทำให้ข้าวสามารถนำปุ๋ยไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukyankij et al. (2015) พบว่า ผลผลิตของข้าว กข41 จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส และค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส อีกทั้งการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราที่แตกต่างกัน ทำให้ผลผลิตของข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 7 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด 861.67 กิโลกรัมต่อไร่ จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยแบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งแรกใส่ในระยะข้าวตั้งตัว ครั้งที่ 2 ในระยะข้าวแตกกอ และครั้งสุดท้ายในระยะข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ข้าวหอมวารินมีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงสุด 131.01 เมล็ด นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มทำให้จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวง และ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด สูงสุด จากองค์ประกอบผลผลิตเหล่านี้ส่งผลให้ข้าวหอมวารินที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ให้ผลผลิตสูงสุด 635.25 กิโลกรัมต่อไร่

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวหอมวารินแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบแนวโน้มว่าข้าวหอมวารินที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีดัชนีเก็บเกี่ยวสูงที่สุดโดยมีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.39 รองลงมา คือ ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 12 และ 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ที่มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.38 เท่ากัน ส่วนข้าวหอมวารินที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.37 และข้าวหอมวารินที่ไม่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวต่ำที่สุด 0.36 (Table 2)

สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวหอมวาริน

จากการศึกษา พบว่า ผลผลิตมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนเมล็ดต่อรวง ($r=0.77^{**}$) และ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r=0.69^{**}$) และมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความยาวรวง ($r=0.60^*$) และ ดัชนีเก็บเกี่ยว ($r=0.54^*$) นอกจากนี้ ความสูงยังมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักฟางแห้ง ($r=0.78^{**}$) จำนวนต้นต่อกอมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนรวงต่อกอ ($r=0.95^{**}$) และ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r=0.65^{**}$) จำนวนรวงต่อกอมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r=0.60^*$) ความยาวรวงมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนเมล็ดต่อรวง ($r=0.56^*$) และ จำนวนเมล็ดต่อรวงมีสหสัมพันธ์เชิงกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r=0.61^*$) (Table 3)

Table 2 Effect of phosphorus fertilizer on yield components and yield of HomWarin rice variety

Treatment	PH (cm)	NTP	NPP	PL (cm)	NSP	TGW (g)	GY (kg/rai)	BM (kg/rai)	HI
T1 (P ₀)	102.22	9.58	9.26	24.33	122.90 ^b	25.23	529.55 ^c	949.96	0.36 ^b
T2 (P ₄)	105.13	9.59	9.26	24.94	123.73 ^b	25.29	558.50 ^b	925.99	0.38 ^{ab}
T3 (P ₈)	104.15	10.02	9.58	24.97	123.09 ^b	25.94	581.20 ^b	940.05	0.39 ^{ab}
T4 (P ₁₂)	103.90	9.95	9.56	24.94	126.11 ^b	26.50	618.36 ^a	917.25	0.40 ^a
T5 (P ₁₆)	104.10	10.50	10.14	25.00	131.01 ^a	26.50	635.25 ^a	910.42	0.41 ^a
F-test ^{1/}	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*
Mean	103.90	9.64	9.56	24.82	125.37	25.89	584.57	928.73	0.39
CV (%)	2.71	4.48	4.53	1.76	2.02	2.24	2.08	5.82	4.36
LSD (0.05)	-	-	-	-	4.77	-	22.92	-	0.03

^{1/} * = Significant difference at the 0.05 probability level, ns= not significant difference, Values in the same column followed by different superscripts are significant difference at $p \leq 0.05$. PH: plant height, NTP: number of tillers per plant, NPP: number of panicles per plant, PL; panicle length, NSP: number of spikelet per panicle, one thousand grains weight, GY: grains yield, BM: biomass and HI: harvest index.

Table 3 Correlation between yield and yield components of HomWarin rice variety

Parameters	GY	PH	NTP	NPP	PL	NSP	TGW	BM	HI
GY	1	0.40 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.60 [*]	0.77 ^{**}	0.69 ^{**}	0.05 ^{ns}	0.54 [*]
PH		1	0.17 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.78 ^{**}	-1.41 ^{ns}
NTP			1	0.95 ^{**}	0.19 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.65 ^{**}	0.27 ^{ns}	-0.02 ^{ns}
NPP				1	0.32 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.60 [*]	0.44 ^{ns}	-0.17 ^{ns}
PL					1	0.56 [*]	0.37 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.09 ^{ns}
NSP						1	0.61 [*]	0.25 ^{ns}	0.19 ^{ns}
TGW							1	0.12 ^{ns}	0.26 ^{ns}
BM								1	-0.81 ^{ns}
HI									1

*= Significant difference at the 0.05 probability level, **= significant difference at the 0.01 probability level, ns= not significant difference. GY: grains yield, PH: plant height, NTP: number of tillers per plant, NPP: number of panicles per plant, PL; panicle length, NSP: number of spikelet per panicle, TGW: one thousand grains weight, BM: biomass and HI: harvest index.

ประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในการให้ผลผลิตข้าว

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 4 กิโลกรัม P₂O₅ ต่อไร่ทำให้ข้าวพันธุ์หอมวารีมีประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส สูงสุด โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 1 กิโลกรัม ทำให้ข้าวหอมวารีสามารถให้ผลผลิตสูงเท่ากับ 8.97 กิโลกรัม รองลงมา คือ ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 12 และ 8 กิโลกรัม P₂O₅ ต่อไร่ โดยมีค่าประสิทธิภาพการให้ผลผลิตเท่ากับ 8.02 และ 7.32 กิโลกรัมผลผลิตต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัส ตามลำดับ และการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 16 กิโลกรัม P₂O₅ ต่อไร่ ให้ค่าประสิทธิภาพในการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเท่ากับ 7.04 กิโลกรัมผลผลิตต่อกิโลกรัมฟอสฟอรัส (Figure 2) ประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยหมายถึงสัดส่วนของปุ๋ยที่พืชใช้และเกิดประโยชน์ต่อพืชได้จริงเทียบกับปริมาณของปุ๋ยที่ใส่ เมื่อพืชดูดธาตุอาหารจากปุ๋ยมาใช้ แล้วก็แสดงผลโดยเพิ่มการเจริญเติบโตหรือผลผลิต ประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยมี 3 แบบ ได้แก่ ประสิทธิภาพการให้ผลผลิต (agronomic efficiency) ประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ย (efficiency of economy) และ ประสิทธิภาพด้านสรีระของพืช (physiological efficiency) และแต่ละแบบก็ใช้หน่วยแตกต่างกัน (Osotsapa, 1999) การศึกษานี้พิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพการให้ผลผลิต (agronomic efficiency) โดยพบว่าประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในการให้ผลผลิตข้าวพันธุ์หอมวารีลดลงเมื่อมีการใช้อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ในดินบางส่วนถูกตรึงให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ทำให้ข้าวดูดใช้ได้น้อยถึงแม้จะใช้ปุ๋ยเพิ่ม (Hung et al., 2024). ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับรายงานของ Sukyankij et al. (2015) ซึ่งพบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในข้าว กข41 ในอัตราต่ำสุด 2.5 กิโลกรัม P₂O₅

ต่อไร่ มีค่าประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในการให้ผลผลิตข้าวสูงสุดเท่ากับ 344.67 กิโลกรัมผลผลิตต่อกิโลกรัมฟอสฟอรัส เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 5 และ 7 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

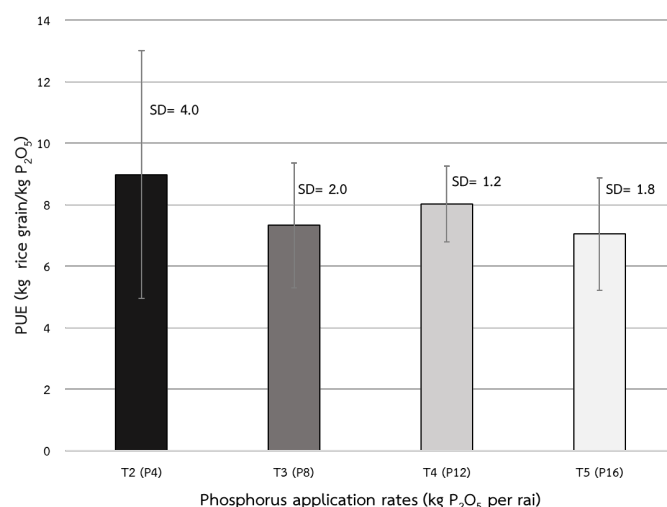


Figure 2 Effect of fertilizer regimes on phosphorus use efficiency (PUE) in HomWarin rice variety

ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ให้อัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม (marginal rate of return, MRR) สูงสุดเท่ากับ 217.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นอัตราผลตอบแทนที่คุ้มค่ากับการลงทุนมากที่สุด รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 4 และ 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ที่มีอัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม 169.60 และ 132.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราสูง 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีค่าอัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม เพียง 98.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่คุ้มค่ากับการลงทุน (Table 4) โดยการลงทุนจะคุ้มทุนเมื่ออัตราผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าหรือเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการใช้ปุ๋ยในปี พ.ศ. 2567 พบว่าต้นทุนการใช้ปุ๋ยลดลง 26.70-38.46 เปอร์เซ็นต์ จากปี พ.ศ. 2565 เนื่องจากราคาปุ๋ยที่ลดลง อย่างไรก็ตามอัตราผลตอบแทนทั้งสองปีสอดคล้องกัน ดังนั้น ถ้าเกษตรกรมีเงินลงทุนน้อยควรใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ เพื่อลดต้นทุนการผลิต ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 13.35-20.42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ แต่ถ้ามีเงินลงทุนมากควรใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะได้ผลผลิตของข้าวหอมวารินและรายได้สูงสุด ซึ่งรายได้มากกว่าข้าวที่ไม่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส 19.96 เปอร์เซ็นต์

Table 4 Analysis of Marginal rate of return of HomWarin rice variety received different rates of phosphorus fertilizer

Treatment	Grain yield (kg/rai)	2022			2024		
		Cost (Bath/rai)	Income (Bath/rai)	MRR (%)	Cost (Bath/rai)	Income (Bath/rai)	MRR (%)
T1 (P_0)	529.55	1,889.65	4,893.04	-	1,162.90	5,078.39	-
T2 (P_4)	558.50	2,047.37	5,160.54	169.60	1,334.08	5,356.02	162.19
T3 (P_8)	581.20	2,205.14	5,370.29	132.95	1,505.28	5,573.71	127.16
T4 (P_{12})	618.36	2,362.77	5,713.65	217.83	1,676.39	5,930.07	208.27
T5 (P_{16})	635.25	2,520.54	5,869.71	98.92	1,847.59	6,092.05	94.61

Rice price = 9.24 Bath/kg in 21 November 2022, Rice price = 9.59 Bath/kg in November 2024, Nitrogen fertilizer price (46-0-0) = 28.60 Bath/kg, phosphorus fertilizer price (18-46-0) = 29.33 Bath/kg, Potassium fertilizer price (0-0-60) = 30.81 Bath/kg in July 2022, Nitrogen fertilizer price (46-0-0) = 16.93 Bath/kg, phosphorus fertilizer price (18-46-0) = 26.31 Bath/kg, Potassium fertilizer price (0-0-60) = 20.01 Bath/kg in July 2024. (Office of Agricultural Economics, 2025)

สรุปผลการศึกษา

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทเกี่ยวกับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าว โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ทำให้ข้าวหอมวารินมีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงสุดแตกต่างจากตำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีผลผลิตสูงสุดแต่ไม่แตกต่างจากปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ซึ่งในพื้นที่อาศัยน้ำฝนที่เป็นดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ เมื่อพิจารณาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วยพบว่าควรแนะนำให้เกษตรกรใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ เนื่องจากให้ผลตอบแทนส่วนเพิ่มสูงสุด คำนวณกับการลงทุน และมีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในการให้ผลผลิตสูง

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (National Science, Research and Innovation Fund), และ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมติฐาน: สุรพร เกตุงาม. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: ภูมิศาสตร์ บุญพงษ์, ปรียาภรณ์ ภางาม, สุรพร เกตุงาม, นพมาศ นามแดง. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: ภูมิศาสตร์ บุญพงษ์, ปรียาภรณ์ ภางาม, นพมาศ นามแดง, สุรพร เกตุงาม, ฉันทมาศ เชื้อแก้ว. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: สุรพร เกตุงาม, นพมาศ นามแดง. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ภูมิศาสตร์ บุญพงษ์, สุรพร เกตุงาม, ฉันทมาศ เชื้อแก้ว. การให้การสนับสนุนเครื่องมือห้องปฏิบัติการ และ ทรัพยากร: สุรพร เกตุงาม, นพมาศ นามแดง. การแก้ไขและปรับปรุงบทความวิจัย: ภูมิศาสตร์ บุญพงษ์, สุรพร เกตุงาม, ฉันทมาศ เชื้อแก้ว. ผู้เขียนทุกคนได้อ่านและเห็นชอบกับต้นฉบับบทความวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Ahash, S., Manikandan, K., Elamathi, S., Sivasankari, D., & Maragatham, S. (2024). Sustainable phosphorus management: leveraging phosphate solubilizing bacteria for enhanced rice growth. *Plant Science Today*, 11(4), 1-10.
- CIMMYT. (1988). *From Agronomic Data to Farmer Recommendations: An Economics Training Manual*. The International Maize and Wheat Improvement Center.
- Department of Agriculture. (2000). *Fertilizer Recommendations in Paddy and Winter Cereal Crops*. Retrieved from: <http://www.ricethailand.go.th/Rkb/manual/index.php.htm>. (in Thai).
- Gebrekidan, H., & Seyoum, M. (2006). Effects of mineral N and P fertilizers on yield and yield components of flooded lowland rice on vertisols of fogera plain, Ethiopia. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 107(2), 161-176.
- Girma, K., Martin K. L., Freeman K. W., Mosali J., Teal R. K., Raun W. R., Moges S. M., & Arnall D. B. (2007). Determination of optimum rate and growth stage for foliar applied phosphorus in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38(9-10), 1137-1154.
- Hung, T. V., Hung, N. N., & Minh, V. Q. (2024). Effect of phosphate fertilizer-coated dicarboxylic acid polymer on rice yield and components under greenhouse conditions. *Plant Science Today*, 11(2), 58-64.
- Insalud, N., Bobeautong, T., & Yamjun, K. (2018). Effect of different levels of phosphorus on growth of Khao Dawk Mali 105 rice variety. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(1), 547-550. (in Thai).
- Jinger, D., Shiva, D., Anchal, D., Sharma, V. K., Ekta, J., Vijayakumar, S., & Gaurendra, G. (2018). Effect of silicon and phosphorus fertilization on growth, productivity and profitability of aerobic rice (*Oryza sativa*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 88(10), 120-125.
- Khonkhoei, W., Namdang, N., Chueakaew, C., Toojinda, T., & Katengam, S. (2023). Effect of potassium fertilizer on yield and yield components of HomWarin rice variety in low fertility sandy soil. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 41(1), 92-101. (in Thai). <https://doi.org/10.55003/kmaj.2023.04.30.010>.

- Kongphan, P., Namdang, N., Chueakaew, C., Toojinda, T., & Katengam, S. (2022). Effect of nitrogen fertilizer on yield components and grain yield of HomWarin rice variety grown in low fertile soil. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**, 24(2), 19-28. (in Thai).
- Land Development Department. (2015a). **State of Soil and Land Resources of Thailand**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Land Development Department. (2015b). **Land Development Manual for Volunteer Soil Doctors and Farmers**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Land Development Department. (2017). **Characteristics and Properties of Soil Series in the Northeast Roi Et Soil Series**. Retrieved from: http://www.ddd.go.th/thaisoils_museum/pf_desc/Northeast/Re.htm. (in Thai).
- Massawe, I., & Mrema, J. (2017). Effects of different phosphorus fertilizers on rice (*Oryza sativa* L.) yield components and grain yields. **Asian Journal of Advances in Agricultural Research**, 3(2), 1-13.
- Office of Agricultural Economics. (2024). **Agricultural Production Data**. Retrieved from: <https://www.oae.go.th/view/1/ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร/TH-TH>. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics. (2025). **Agricultural Economic Information**. Retrieved from: <https://www.oae.go.th/view/1/ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร/TH-TH>. (in Thai).
- Office of Science for Land Development. (2005). **Soil Sample Analysis Guide, Water, Fertilizer, Plants, Soil Amendment and Analysis to Verify Product Standards**. 2nd Ed. Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Osotsapa, Y. (1999). **Terminology in The Fertilizer Industry**. Kasetsart University. (in Thai).
- Panyaying, C., Kanna, M., & Somnam, S. (2017). The determination of available phosphorus in soils using an economic hydrodynamic sequential injection system. **Thai Science and Technology Journal**, 38(1), 124-136. (in Thai).
- Rice Department. (2007). **Native Rice Genetics of Ethnic Groups Under the Royal Initiative Project**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Rice Department. (2009). **Fertilizer Recommendations Based on Soil Analysis Data**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Rice Department. (2016). **Phosphorus Deficiency in Rice**. Retrieved from: <https://newwebs2.ricethailand.go.th/Webmain/rkb3/title-FactSheet.htm>. (in Thai).
- Saleque, A. M., Abedin, J., Panaullah, M. G., & Bhuyian, I. N. (1998). Yield and phosphorus efficiency of some lowland rice varieties at different levels of soil available phosphorus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 29(19-20), 2905-2916.
- Sangruanand, P., & Insalud, N. (2019). Different levels of phosphorus fertilizer on the growth of *Oryza sativa* var. Sew Mae Jun. **Burapha Science Journal**, 24(2), 725-730. (in Thai).
- Sukyankij, S., Pleumpleak, T., & Panich-pat, T. (2015). Effect of phosphorus level on growth, yield and phosphorus uptake in rice RD 41. In **Proceedings of The 12th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference**, pp. 1751-1758. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus. (in Thai).
- Tabar, Y. S. (2012). Effect of nitrogen and phosphorus fertilizer on growth and yield rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Agronomy and Plant Production**, 3(12), 579-584.
- Ta-oun, M. (2005). **Techniques and Analyzes in Soil, Plants, Water and Fertilizer Laboratories**. Food and Agriculture Organization (FAO) Cooperation Project, Department of Land Resources and Environment, Faculty of Agriculture Khon Kaen University. (in Thai).
- Vejchasarn, P., Kotchasatit, U., Jairin, J., Wongboon, W., Wongnongwa, J., Phansenee, Y., Kawichai, R., Leelakud, P., & Chamarerk, V. (2016). Physiological and morphological responses of rice to low phosphorus availability. **Thai Rice Research Journal**, 7(1), 74-83. (in Thai).
- Zhang, Y., Wen, Z., Min, W., Gaosheng, L., Zujian, Z., & Jianchang, Y. (2021). Effects of irrigation schedules and phosphorus fertilizer rates on grain yield and quality of upland rice and paddy rice. **Environmental and Experimental Botany**, 186(1), 104465. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104465>.