

ผลของแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในชุดดินกุลาร้องไห้

Effect of Burnt Rice Husk and Nitrogen Fertilizer on Growth and Yield of Khao Dawk Mali 105 Rice Grown in Kula Ronghai Soil Series

เฟื่องลดา ธนะโชติ¹ สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม^{1,*} ศุภิมา ธนะจิตต์¹ เอิบ เขียวรีนรมณ์¹ และ มัชฌิมา พันธุ์เอี่ยม¹
Fuanglada Tanachote¹, Somchai Anusontpornperm^{1,*}, Suphicha Thanachit¹,
Irb Kheoruenromne¹ and Mutchima Phun-iam¹

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

รับเรื่อง: 10 กรกฎาคม 2565 Received: 10 July 2022

ปรับปรุงแก้ไข: 2 สิงหาคม 2565 Revised: 2 August 2022

รับตีพิมพ์: 5 สิงหาคม 2565 Accepted: 5 August 2022

* Corresponding author: somchai.a@ku.ac.th

ABSTRACT: To increase the yield of Khao Dawk Mali 105 rice, proper soil and fertilizer management is essential. A field trial was conducted to investigate the effect of burnt rice husk (BRH) and nitrogen (N) fertilizer on Khao Dawk Mali 105 rice planted in Kula Ronghai soil series. The experimental design was arranged in 4 x 4 factorial in a randomized complete block with three replications. The first factor comprised four rates of BRH: 0, 6.25, 12.5, and 25 t/ha whilst the second factor consisted of four rates of N fertilizer: 0, 28.125, 56.25, and 112.5 kg N/ha. Results showed that BRH did not have a clear effect on grain yield at 14% moisture content but N fertilization at all rates significantly produced greater grain yield (1.36–1.68 t/ha) than did zero-N application (1.08 t/ha; $P < 0.05$). The addition of 25 t BRH/ha and 56.25 kg N/ha interactively promoted the significantly highest grain yield of 1.87 t/ha ($P < 0.05$). The BRH, especially when applied at 25 t/ha, induced the greatest concentration of primary plant nutrients in almost all rice's plant parts. The concentration of N increased with increasing rate of N fertilizer while the rate of 56.25 and 112.5 kg N/ha resulted in the highest phosphorus and potassium concentrations in some plant parts of rice. Overall, N fertilizer had better positive impact on the uptake of primary plant nutrients in all plant parts of rice than did BRH. Sufficient N fertilization is essentially required for yield improvement of Khao Dawk Mali 105 rice and amending the soil with BRH along with appropriate N fertilization can increase the yield of this rice.

Keywords: Soil amendment, chemical fertilizer, plant nutrient concentration, nutrient uptake, jasmine rice

บทคัดย่อ

การเพิ่มผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำเป็นต้องมีการจัดการดินและปุ๋ยที่เหมาะสม จึงศึกษาผลของแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในชุดดินกุลาร้องไห้ วางแผนการทดลองแบบ 4×4 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 เปรียบเทียบแกลบเผา 4 อัตรา คือ 0, 6.25, 12.5 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ ปัจจัยที่ 2 ทดสอบปุ๋ยไนโตรเจน 4 อัตรา คือ 0, 28.125, 56.25 และ 112.5 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ ผลการศึกษา พบว่า แกลบเผาไม่ส่งผลชัดเจนต่อผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 แต่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทุกอัตราส่งเสริมให้ได้ผลผลิตส่วนนี้ (1.36–1.68 ตันต่อเฮกตาร์) สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยนี้ (1.08 ตันต่อเฮกตาร์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 56.25 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ มีอิทธิพลร่วมทำให้ได้ผลผลิตเมล็ดสูงสุดเท่ากับ 1.87 ตันต่อเฮกตาร์ ($P < 0.05$) การใส่แกลบเผาโดยเฉพาะอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในเกือบทุกส่วนของข้าวมีค่าสูงที่สุด ความเข้มข้นของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในทุกส่วนของข้าวตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ส่วนอัตรา 56.25 และ 112.5 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในบางส่วนของข้าวมีความเข้มข้นสูงที่สุด โดยภาพรวม ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลเชิงบวกต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลักในทุกส่วนของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ดีกว่าแกลบเผา การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้เพียงพอมีความจำเป็นต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 และการใช้แกลบเผาปรับปรุงดินร่วมกับการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวนี้ได้

คำสำคัญ: วัสดุปรับปรุงดิน, ปุ๋ยเคมี, ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช, การดูดใช้ธาตุอาหาร, ข้าวหอมมะลิ

บทนำ

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวที่สร้างชื่อเสียงให้ชาวไทยเป็นที่รู้จักทั่วโลก ซึ่งพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข 15 เป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกและบริโภคกันอย่างแพร่หลาย (Kongseree *et al.*, 2002) และแหล่งเพาะปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่สำคัญของประเทศไทยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ และดินส่วนใหญ่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบ (Rice Department, 2011) ดังเช่นการศึกษาสมบัติดินนาในจังหวัดศรีสะเกษ ที่พบว่าปัญหาหลักด้านดินสำหรับการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 คือ เนื้อดินที่เป็นดินทรายร่วนถึงดินร่วนปนทรายในชั้นดินบน ซึ่งมีอัตราการซึมน้ำเร็ว ทำให้มีความเสี่ยงต่อการขาดน้ำของข้าวได้ง่าย (Saenya *et al.*, 2015) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า ปัญหาด้านธาตุอาหารและความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นปัญหาหลักต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Jearakongman *et al.*, 1995; Wonprasaid *et al.*, 1996; Fukai *et al.*, 1998; Khunthasuvon *et al.*, 1998) นอกจากนี้ ยังพบปัญหาดินเค็มกระจายเกือบทุกจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Kheoruenromne, 2005; Sukchan, 2005) ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ค่อนข้างต่ำ อีกทั้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวพื้นเมืองไวแสง จึงไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยเคมี แม้ว่าจะมีการใส่ปุ๋ยตามอัตราแนะนำ แต่ผลผลิตข้าวไม่ได้เพิ่มขึ้นมากนัก หากต้องการเพิ่มผลผลิตข้าวในดินเหล่านี้ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Land Development Department, 2018) การใช้วัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดินเป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติดินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105

แกลบเผา (Burnt rice husk) เป็นเศษเหลือทิ้งจากการเผาเพื่อให้ความร้อนกับหม้อต้มในโรงสีข้าว มีน้ำหนักเบา มีโครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดเล็ก ความหนาแน่นรวมต่ำ (Haefele *et al.*, 2011) และสามารถ

อุ้มน้ำได้มากกว่าแกลบดิบ (Oshio *et al.*, 1981) แกลบเผายังมีธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะธาตุอาหารหลักเป็นองค์ประกอบอยู่พอสมควร จึงอาจจะสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้ในระดับหนึ่ง Opachat *et al.* (2018) ศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารในดินนาที่ปรับปรุงด้วยแกลบเผา พบว่า แกลบเผามีการปลดปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้สูงกว่าวัสดุอินทรีย์อื่น นอกจากนี้ แกลบเผายังมีฟิโอสสูงและคาร์บอนอินทรีย์ในองค์ประกอบค่อนข้างสูง จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน อีกทั้งมีสัดส่วนของธาตุอาหารพืชที่มีแนวโน้มที่จะช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุอาหาร (Mushtaq *et al.*, 2019) ผลการศึกษาการใช้แกลบเผาเป็นวัสดุปรับปรุงดิน พบว่า สามารถช่วยเพิ่มความพรุนรวมและสภาพน้ำของดิน (Oguike *et al.*, 2006) อีกทั้งยังลดปัญหาความเป็นกรดของดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช และปรับพีเอชดินให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม (Okon *et al.*, 2005) ในประเทศไทยมีการใช้แกลบเผาเพื่อปรับปรุงดินสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง (Kerdchana *et al.*, 2014; Puengkasem *et al.*, 2018; Ruenchan *et al.*, 2018; Prombut *et al.*, 2022) และอ้อย (Insixiengmay *et al.*, 2018) ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตพืชทั้งสองได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การใช้แกลบเผาเพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดินนาในประเทศไทยยังคงมีอยู่น้อย โดย Phunyalit *et al.* (2018) ทำการทดลองในชุดดินร้อยเอ็ด จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า การใช้ถ่านแกลบชีวมวลซึ่งมีความคล้ายคลึงกับแกลบเผาส่งผลต่อความสูงของต้นข้าวและน้ำหนักตอซังข้าว แต่ส่งผลไม่ชัดเจนนักต่อน้ำหนักเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่สำคัญซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว โดยในช่วงระยะของการเจริญเติบโต ตั้งแต่ปักดำถึงแตกกอสูงสุด ไนโตรเจนจะถูกนำไปใช้ในการสร้างใบ ลำต้น และราก เพื่อเพิ่มพื้นที่ใบ จำนวนกอ และขนาดของกอและรากให้มากขึ้น

และเมื่อเข้าสู่ระยะสืบทพันธุ์ ไนโตรเจนจะถูกนำไปใช้ในการสร้างช่อดอกและรวง เพื่อเพิ่มจำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และร้อยละเมล็ดดีของข้าว (Fageria, 2007) การใช้ประโยชน์ธาตุอาหารส่วนใหญ่ โดยเฉพาะไนโตรเจนโดยข้าวที่ปลูกในดินที่มีเนื้อหยาบอยู่ในระดับต่ำ ทำให้การตอบสนองด้านผลผลิตต่อปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของข้าวมักจะไม่สูง (Rangland and Bunkukdee, 1987) อย่างไรก็ตาม หากใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณสูงเกินไปจะยิ่งไปเพิ่มความสูงของลำต้นและความสูงของจุดศูนย์ถ่วง บริเวณฐานปล้องของข้าว ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นและความหนาของผนังลำต้นมีขนาดเล็กและบางลง เกิดการสูญเสียสมดุลระหว่างน้ำหนักส่วนบนเหนือฐานปล้องและความทนทานของฐานปล้อง ส่งผลทำให้ข้าวเกิดการหักล้มได้ง่ายขึ้น (Zhang *et al.*, 2014) จากการทดลองในดิน 6 บริเวณ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Suriya-arunroj *et al.*, 2000) พบว่า การให้ไนโตรเจนไม่เพียงพอมีความสำคัญที่สุดต่อการจำกัดการเจริญเติบโตของข้าวในเกือบทุกบริเวณ โดยมีเพียงบริเวณเดียวที่การให้ฟอสฟอรัสไม่เพียงพอส่งผลต่อข้าวมากกว่า การวิเคราะห์ผลต่างของผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้แบบจำลองเพื่อคาดคะเนผลผลิตเปรียบเทียบกับที่วัดผลผลิตจริงในสภาพสนามในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ผลต่างของผลผลิตสามารถลดได้มากถึง 1.48 ตันต่อเฮกตาร์ ผ่านการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสม (Boling *et al.*, 2011) ส่วนการศึกษาของ Khunthasuvon *et al.* (1998) ในดินนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ พบว่า หากข้าวได้รับฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเพียงพอ ผลผลิตเมล็ดจะเพิ่มขึ้น 10 กิโลกรัม เมื่อได้รับไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ในสภาพที่มีน้ำเพียงพอ ทั้งนี้ คำนวณอัตราปุ๋ยธาตุอาหารหลักสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยกรมการข้าวระบุให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 56.25 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เมื่อดินมีอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า 10 กรัมต่อกิโลกรัม และลดหลั่นลงตามปริมาณอินทรีย์วัตถุที่

เพิ่มขึ้น โดยแบ่งเป็นปุ๋ยรองพื้น (Basal application) จำนวน 5 ส่วน และปุ๋ยแต่งหน้า (Toppdressing) จำนวน 1 ส่วน (Division of Rice Research and Development, 2017) จากปัญหาด้านดินที่ใช้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้อจำกัดในการเพิ่มผลผลิตข้างต้น ชุดดินกุลาร้องไห้เป็นดินที่มีปัญหาที่ใช้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าให้ผลผลิตข้าวค่อนข้างต่ำ เนื่องจากปัญหาความเค็มและโซเดียม และดินยังมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำด้วย การศึกษานี้จึงดำเนินการโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเกลือและปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในชุดดินกุลาร้องไห้ ผลที่ได้รับน่าจะเป็นแนวทางการจัดการดินและปุ๋ยที่เหมาะสมที่สามารถถ่ายทอดให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้นำไปปฏิบัติเพื่อการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

แปลงทดลอง

ดำเนินการศึกษาภาคสนามระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 ในพื้นที่ศูนย์วิจัยข้าวร้อยเอ็ด ตำบลสระคู อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดร้อยเอ็ด (15° 33'8.00" N 103°48'23.36" E)

ดินตัวแทนพื้นที่ทดลอง ได้แก่ ชุดดินกุลาร้องไห้ (Kula Ronghai soil series; Ki) จำแนกในระบบอนุกรมวิธานดินได้เป็น fine-loamy, mixed, active, isohyperthermic, Typic Natraqualfs จากการศึกษาสมบัติดินก่อนดำเนินการทดลอง พบว่า ดินมีพีเอชเป็นกลาง โดยมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.20 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำปานกลาง และมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินต่ำมาก ส่งผลให้ดินมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารต่ำ ปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และปริมาณเบสรวมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก อย่างไรก็ตาม ชุดดินกุลาร้องไห้จัดว่าเป็นดินที่มีผลจากเกลือดินหนึ่ง แต่ผลการวิเคราะห์สมบัติดินบน (0–30 เซนติเมตร) ก่อนปลูก พบว่า ดินมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเท่ากับ 0.31 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมเท่ากับ 9.23 (Table 1) แสดงให้เห็นว่า ดินในพื้นที่ทดลองยังไม่จัดอยู่ในดินเค็ม ทั้งนี้ มีความเป็นไปได้ว่าตัวอย่างดินที่เก็บมาวิเคราะห์เป็นตัวอย่างดินที่สุ่มจากแปลงทดลองในช่วงต้นฤดูฝนทำให้ค่าทั้งสองต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งการศึกษาที่ผ่านมาในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ดินบนของชุดดินนี้ในบางบริเวณมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าและอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมต่ำกว่าเกณฑ์ที่จัดจำแนกให้เป็นดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือ (Kantrikrom *et al.*, 2020) โดยการทดลองภาคสนามนี้เป็นการทดสอบภายใต้สภาพน้ำฝน (Rainfed condition)

Table 1 Property of soil prior to conducting the experiment

Property	Value
pH ¹ (1:1 H ₂ O)	7.20
Organic matter ² (g/kg)	7.90
Total N ³ (g/kg)	0.21
Available P ⁴ (mg/kg)	16.50
Available K ⁵ (mg/kg)	16.40
Extractable Ca ⁶ (cmol _c /kg)	1.81
Extractable Mg ⁶ (cmol _c /kg)	0.43
Extractable K ⁶ (cmol _c /kg)	0.08
Extractable Na ⁶ (cmol _c /kg)	0.36
Cation exchange capacity ⁷ (cmol _c /kg)	1.63
Electrical conductivity ⁸ (dS/m)	0.31
Sodium adsorption ratio	9.23

¹ pH = 1:1 H₂O analyzed by pH meter (National Soil Survey Center, 1996), ² organic matter analyzed using Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934), ³ total N analyzed by Kjeldahl method (Jackson, 1965), ⁴ available P analyzed by Bray II extraction (Bray and Kurtz, 1945), ⁵ available K determined by 1 M NH₄OAc at pH 7.0 extraction and analyzed by atomic absorption spectrometry (AAS) (Pratt, 1965), ⁶ extractable Ca, Mg, and K determined by 1 M NH₄OAc at pH 7.0 extraction and analyzed by AAS (Thomas, 1982), ⁷ cation exchange capacity measured by saturating the exchange site and displacing by 1M NH₄OAc at pH 7.0 and analyzed by AAS (Chapman, 1965), ⁸ electrical conductivity measured in saturation extract (United States Salinity Laboratory Staff, 1954).

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 4 × 4 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (4 × 4 factorial in randomized complete block design) จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบการใช้แกลบเผา (Table 2) เป็นวัสดุปรับปรุงดิน จำนวน 4 อัตรา คือ 0, 6.25, 12.5 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ ส่วนปัจจัยที่ 2 ประกอบด้วย ปุ๋ยไนโตรเจนจำนวน 4 อัตรา คือ 0, 28.125, 56.25 และ 112.5 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ จัดทำแปลงโดยการปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอ แล้วจึงแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อยขนาด 4 × 4 เมตร ยกคั่นกว้าง 0.5 เมตร สูง 0.3 เมตร กันระหว่างแปลง

ย่อย ปรับพื้นที่ก่อนโรยแกลบเผาตามตำรับทดลองในแปลงหลัก แล้วใช้จอบคลุกเคล้าลงในดินจนถึงระดับความลึกประมาณ 20 เซนติเมตร ปล่อยพื้นที่ไว้ 2 สัปดาห์ พรอนดินก่อนปล่อยน้ำเข้าในกระถางนา กำจัดต้นอ่อนของวัชพืชที่งอกขึ้นมาใหม่ โดยคราดวัชพืชให้จมอยู่ใต้โคลน ชั่งน้ำไว้ 5 วัน แล้วจึงปักดำกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีอายุ 35 วัน จำนวน 3 ต้นต่อกอ โดยใช้ระยะปลูกเท่ากับ 25 × 25 เซนติเมตร การใส่ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 2 ครั้ง ดังนี้ ครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยรองพื้น (Basal application) หลังปักดำ 10 วัน และครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยแต่งหน้า (Topdressing) ก่อนข้าวออกดอกประมาณ 30 วัน การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจะแบ่งใส่ครั้งแรก 5 ส่วน

อีก 1 ส่วน ใส่ครั้งที่ 2 สำหรับปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมใส่ในครั้งแรกครั้งเดียว ปริมาณปุ๋ยใช้ตามอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (Division of Rice Research and Development, 2017) ซึ่งเท่ากับ 56.25:18.75:18.75 กิโลกรัม N:P₂O₅:K₂O ต่อเฮกตาร์

โดยปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมใส่ในปริมาณ 1.2 เท่าของอัตราข้างต้น ปุ๋ยเคมีที่ใช้ประกอบด้วย ยูเรีย (46-0-0) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)

Table 2 Property of burnt rice husk used in the experiment

Property	Burnt rice husk (BRH)
pH ¹ (1:5 H ₂ O)	8.35
Cation exchange capacity ² (cmol _c /kg)	7.88
Organic carbon ³ (g/kg)	692.00
Total N ⁴ (g/kg)	0.02
Total P ⁵ (g/kg)	0.45
Total K ⁶ (g/kg)	2.76
Total Ca ⁶ (g/kg)	1.30
Total Mg ⁶ (g/kg)	0.67
Total Fe ⁷ (mg/kg)	301.00
Total Mn ⁷ (mg/kg)	295.00
Total Zn ⁷ (mg/kg)	4.33
Total Cu ⁷ (mg/kg)	5.31

¹ pH = 1:5 H₂O analyzed by pH meter (National Soil Survey Center, 1996), ² cation exchange capacity measured by saturating the exchange site and displacing by 1M NH₄OAc at pH 7.0 (Chapman, 1965), ³ organic carbon analyzed using Walkley and Black titration (Walkley and Black., 1934), ⁴ total N analyzed by Kjeldahl method (Jackson, 1965), ⁵ total P analyzed by Vanado-molybdeyellow method (Westerman *et al.*, 1990) and measured using atomic absorption spectrometry (AAS) (Murphy and Riley, 1962), ⁶ total K, Ca, and Mg determined by digesting in acid mixture (HNO₃-Se-HClO₄) and analyzed by AAS (Bardsley and Lancaster, 1965; Westerman, 1990), ⁷ total Fe, Mn, Zn, and Cu determined by digesting in acid mixture (HNO₃-HClO₄) and analyzed by AAS (Johnson and Ulrich, 1959; Westerman, 1990).

การบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล

เก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ข้อมูลผลผลิตข้าวที่ความชื้นร้อยละ 14 น้ำหนักแห้งต่อชั่ง ความสูงต้นข้าว จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ที่ความชื้นร้อยละ 14 และร้อยละเมล็ดดี ในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิต เก็บตัวอย่างพืชโดยแบ่ง

ออกเป็น 2 ส่วน คือ เมล็ดข้าวเปลือก และตอซัง โดยนำข้าวเปลือกมาสี และแยกตัวอย่างจากการสีข้าวออกเป็น 2 ส่วน คือ เมล็ดข้าวขาว และแกลบรำ จากนั้นนำตัวอย่างพืชทั้ง 3 ส่วน มาวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืช ก่อนนำมาวิเคราะห์ความ

เข้มข้นธาตุอาหารและน้ำหนักรวมผลผลิตทั้งสามส่วน ไปคำนวณหาปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลักในส่วนต่าง ๆ ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 วิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช ประกอบด้วย การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดโดยการย่อยด้วยกรด H_2SO_4 - Na_2SO_4 -Se แล้ววัดด้วยวิธี Kjeldahl (Jackson, 1965) ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทั้งหมดวิเคราะห์โดยการย่อยด้วยกรด HNO_3 -Se- HClO_4 โดยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดใช้วิธี Vanadomolybdenum (Westerman *et al.*, 1990) และวัดปริมาณด้วยเครื่อง spectrophotometry (Murphy and Riley, 1962) ขณะที่ โพแทสเซียมทั้งหมดวัดปริมาณโดยใช้เครื่อง atomic adsorption spectrophotometry (Bardsley and Lancaster, 1965; Westerman, 1990) จากนั้น นำข้อมูลผลผลิตจากแปลงทดลองภาคสนาม ความเข้มข้น และปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลักในเมล็ดข้าว แกลบรำ และตอซังไปวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม SPSS และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าการทดลองแบบเป็นกลุ่มโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนต่อผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105

ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14

การใส่แกลบเผาส่งผลต่อผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 1A) โดยผลผลิตของทุกการทดลองมีค่าอยู่ในพิสัย 1.39–1.48 ตันต่อเฮกตาร์ อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลต่อผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่

ความชื้นร้อยละ 14 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยการใส่ไนโตรเจนแนะนำหรือเท่ากับ 56.25 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ ส่งเสริมให้ได้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 สูงที่สุด เฉลี่ย 1.68 ตันต่อเฮกตาร์ ขณะที่ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 2 เท่าของอัตราแนะนำให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ไนโตรเจนแนะนำ โดยได้ผลผลิตเท่ากับ 1.65 ตันต่อเฮกตาร์ การปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้ผลผลิตส่วนนี้ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.08 ตันต่อเฮกตาร์ (Figure 1B) ขณะที่ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำยังคงให้ผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยนี้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

แกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนยังมีอิทธิพลร่วม ทำให้ได้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 แตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 56.25 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 สูงที่สุด เท่ากับ 1.87 ตันต่อเฮกตาร์ แต่ผลผลิตสูงสุดนี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการทดลองที่มีการใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 56.25 และ 112.5 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ ที่ได้ผลผลิตส่วนนี้เท่ากับ 1.83 และ 1.76 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Figure 1C) เมื่อพิจารณาการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแต่ใส่แกลบเผาเพื่อปรับปรุงดินอัตราต่าง ๆ พบว่า ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 ในทุกการทดลองที่มีการใส่แกลบเผามีค่าสูงกว่าการที่ไม่มีการใส่แกลบเผาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่ การปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในดินนี้โดยไม่มีการใส่แกลบเผาปรับปรุงดิน ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะตอบสนองเชิงบวกต่อปุ๋ยไนโตรเจนในทุกอัตรา

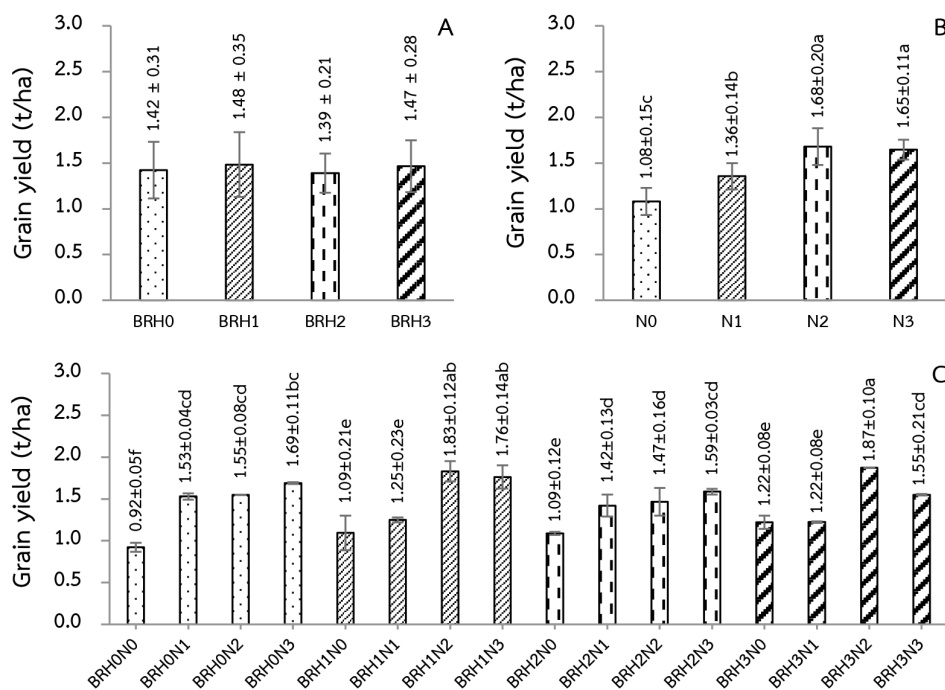


Figure 1 Effects of burnt rice husk (A), nitrogen fertilizer (B) and their interactive effect (C) on grain yield measured at 14% moisture content. BRH = burnt rice husk, N = nitrogen fertilizer, BRH0 = 0 kg/ha, BRH1 = 6.25 kg/ha, BRH2 = 12.5 kg/ha, BRH3 = 25 kg/ha, N0 = 0 kg N/ha, N1 = 28.125 kg N/ha, N2 = 56.25 kg N/ha, N3 = 112.5 kg N/ha. Means on the bars followed by different letters are significantly different according to Duncan's new multiple range test at $P < 0.05$.

น้ำหนักร้างต่อซัง

การปรับปรุงดินด้วยแกลบเผาในอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้น้ำหนักร้างต่อซังสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 2.25 ตันต่อเฮกตาร์ ($P < 0.05$) ขณะที่ การใส่ในอัตราอื่นไม่ทำให้น้ำหนักร้างต่อซังแตกต่างกับค่าควบคุมที่ไม่มีการใส่แต่อย่างใด (Figure 2A) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลชัดเจนต่อน้ำหนักร้างต่อซัง โดยการใส่ในทุกอัตราส่งเสริมให้น้ำหนักร้างต่อซังสูงกว่าค่าควบคุมที่ไม่มีการให้ปุ๋ย

ไนโตรเจนที่มือน้ำหนักร้างต่อซังเฉลี่ย 1.63 ตันต่อเฮกตาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งนี้ การใส่ในอัตราแนะนำ และ 2 เท่าของอัตราแนะนำทำให้น้ำหนักร้างต่อซังสูงที่สุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีน้ำหนักร้างต่อซังเฉลี่ย 2.30 และ 2.41 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนที่ส่งผลทำให้น้ำหนักร้างต่อซังของข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีความแตกต่างกันทางสถิติ

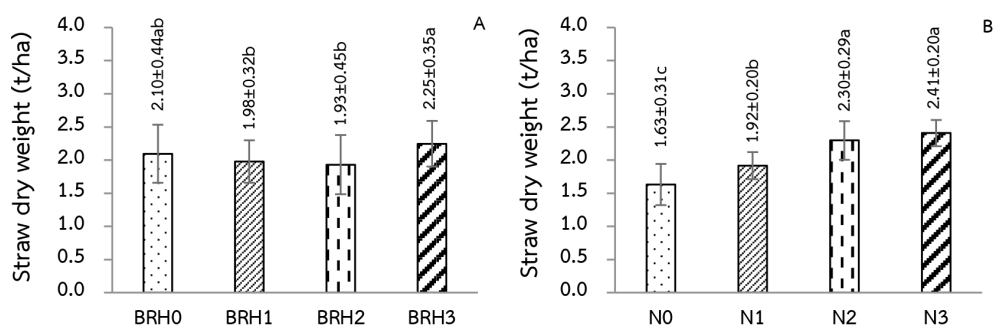


Figure 2 Effects of burnt rice husk (A) and nitrogen fertilizer (B) on straw dry weight. BRH = burnt rice husk, N = nitrogen fertilizer, BRH0 = 0 kg/ha, BRH1 = 6.25 kg/ha, BRH2 = 12.5 kg/ha, BRH3 = 25 kg/ha, N0 = 0 kg N/ha, N1 = 28.125 kg N/ha, N2 = 56.25 kg N/ha, N3 = 112.5 kg N/ha. Means on the bars followed by different letters are significantly different according to Duncan's new multiple range test at $P < 0.05$.

ความสูงของต้นข้าวและจำนวนรวงข้าวต่อกอ

เมื่อพิจารณาจากปัจจัยเดียว การใส่แกลบเผาไม่ส่งผลชัดเจนต่อความสูงของต้นข้าวเช่นเดียวกับปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในอัตราต่าง ๆ สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจน ถึงแม้จะพบว่ามี ความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างค่ารับการทดลอง ($P < 0.05$) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับอัตราของวัสดุที่ใส่ทั้งสอง (Figure 3) โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้ต้นข้าวมีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 123 เซนติเมตร ($P < 0.05$) สำหรับจำนวนรวงข้าวต่อกอ พบว่า การใส่แกลบเผาเพื่อปรับปรุงดินไม่ส่งผลทำให้จำนวนรวงข้าวต่อกอมีความแตกต่างกันทางสถิติ (Figure 4A) แต่ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลชัดเจน โดยจำนวนรวงข้าวต่อกอเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยไนโตรเจน

ที่ใส่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ได้จำนวนรวงข้าวต่อกอเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 6.58 รวงต่อกอ ขณะที่ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทุกอัตราทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของจำนวนรวงข้าวต่อกออยู่ในพิสัย 7.50–8.50 รวงต่อกอ (Figure 4B) นอกจากนี้ แกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนยังมีอิทธิพลร่วมที่ทำให้จำนวนรวงข้าวต่อกอมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้ได้จำนวนรวงข้าวต่อกอเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 9.00 รวงต่อกอ อย่างไรก็ตาม การใส่แกลบเผาในอัตราดังกล่าว และอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนกลับทำให้ได้จำนวนรวงข้าวต่อกอต่ำที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 6.00 รวงต่อกอ (Figure 4C)

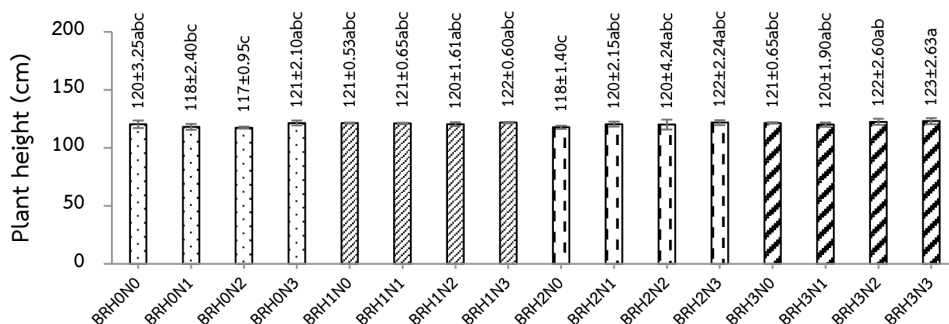


Figure 3 Interactive effect of burnt rice husk and nitrogen fertilizer on plant height. BRH = burnt rice husk, N = nitrogen fertilizer, BRH0 = 0 kg/ha, BRH1 = 6.25 kg/ha, BRH2 = 12.5 kg/ha, BRH3 = 25 kg/ha, N0 = 0 kg N/ha, N1 = 28.125 kg N/ha, N2 = 56.25 kg N/ha, N3 = 112.5 kg N/ha. Means on the bars followed by different letters are significantly different according to Duncan's new multiple range test at $P < 0.05$.

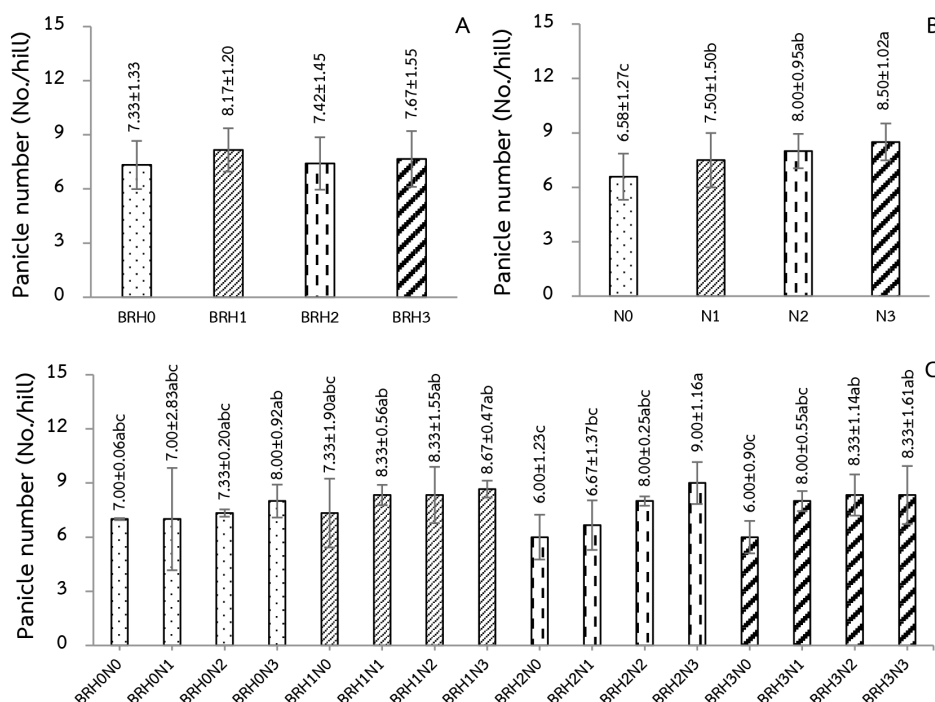


Figure 4 Effects of burnt rice husk (A), nitrogen fertilizer (B) and their interactive effect (C) on number of panicle. BRH = burnt rice husk, N = nitrogen fertilizer, BRH0 = 0 kg/ha, BRH1 = 6.25 kg/ha, BRH2 = 12.5 kg/ha, BRH3 = 25 kg/ha, N0 = 0 kg N/ha, N1 = 28.125 kg N/ha, N2 = 56.25 kg N/ha, N3 = 112.5 kg N/ha. Means on the bars followed by different letters are significantly different according to Duncan's new multiple range test at $P < 0.05$.

น้ำหนัก 1,000-เมล็ด และร้อยละเมล็ดดี

การใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้น้ำหนัก 1,000-เมล็ด สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 23.9 กรัม ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม การใส่เศษวัสดุอินทรีย์นี้ในอัตราที่สูงขึ้นกลับไม่ทำให้น้ำหนัก 1,000-เมล็ด แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหนักที่ได้จากตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผาแต่อย่างใด (Figure 5A) ส่วนการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนกลับพบว่าไม่ส่งผลทำให้น้ำหนัก 1,000-เมล็ด แตกต่างกันทางสถิติ

ระหว่างตำรับการทดลอง (Figure 5B) แต่พบอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผากับไนโตรเจนที่มีผลต่อน้ำหนัก 1,000-เมล็ด ($P < 0.05$) โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ตันต่อเฮกตาร์ แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้ได้น้ำหนัก 1,000-เมล็ด สูงที่สุด เฉลี่ย 24.5 กรัม ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าโดยภาพรวมน้ำหนัก 1,000-เมล็ด มีแนวโน้มลดลงตามอัตราของปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในกรณีของตำรับการทดลองที่มีการใส่แกลบเผาอัตราต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงดิน (Figure 5C)

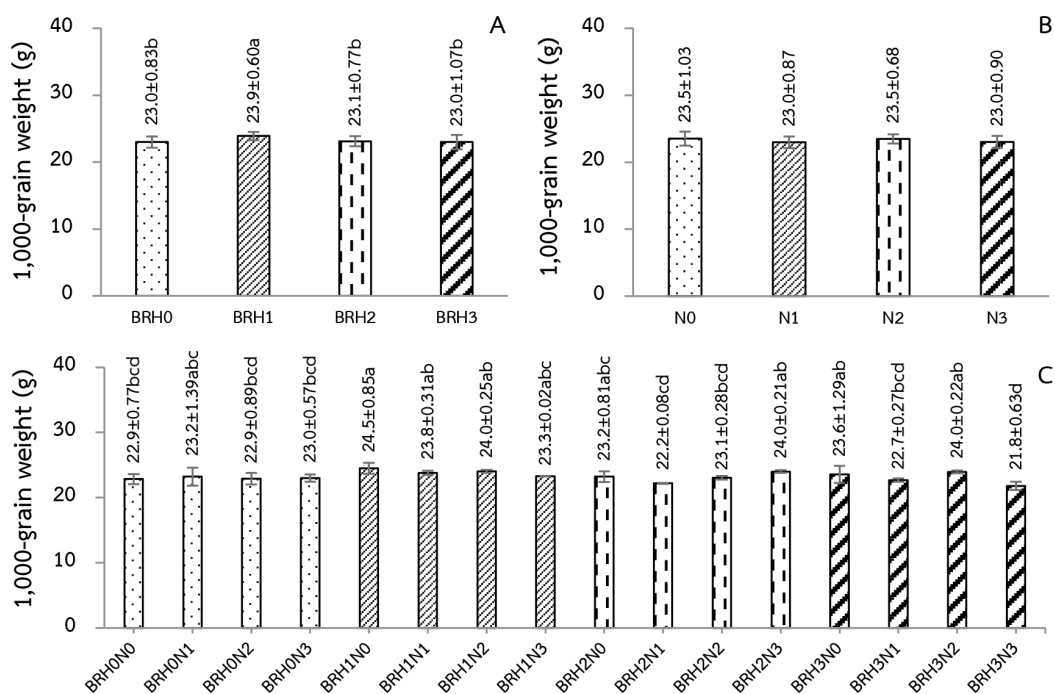


Figure 5 Effects of burnt rice husk (A), nitrogen fertilizer (B) and their interactive effect (C) on 1,000-grain weight measured at 14% moisture content. BRH = burnt rice husk, N = nitrogen fertilizer, BRH0 = 0 kg/ha, BRH1 = 6.25 kg/ha, BRH2 = 12.5 kg/ha, BRH3 = 25 kg/ha, N0 = 0 kg N/ha, N1 = 28.125 kg N/ha, N2 = 56.25 kg N/ha, N3 = 112.5 kg N/ha. Means on the bars followed by different letters are significantly different according to Duncan's new multiple range test at $P < 0.05$.

สำหรับผลของแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนต่อร้อยละเมล็ดดี พบว่า มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับผลต่อน้ำหนัก 1,000-เมล็ด โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ร้อยละเมล็ดดีสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เฉลี่ยร้อยละ 90.2 ($P < 0.05$) แต่การใส่ในอัตราที่เพิ่มขึ้นกลับให้ผลไม่แตกต่างจากตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่แกลบเผา (Figure 6A) ขณะที่ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ส่งผลชัดเจนต่อร้อยละเมล็ดดี

(Figure 6B) ทั้งนี้ แกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนยังมีอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อร้อยละเมล็ดดี โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 28.125 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ แต่ไม่มีการใส่แกลบเผา ทำให้ได้ร้อยละเมล็ดดีสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ ร้อยละ 95.0 ($P < 0.05$) แต่โดยภาพรวม อิทธิพลร่วมที่พบในการทดลองอื่น ๆ ไม่มีความสัมพันธ์ชัดเจนเท่าใดนักกับอัตราของแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (Figure 6C)

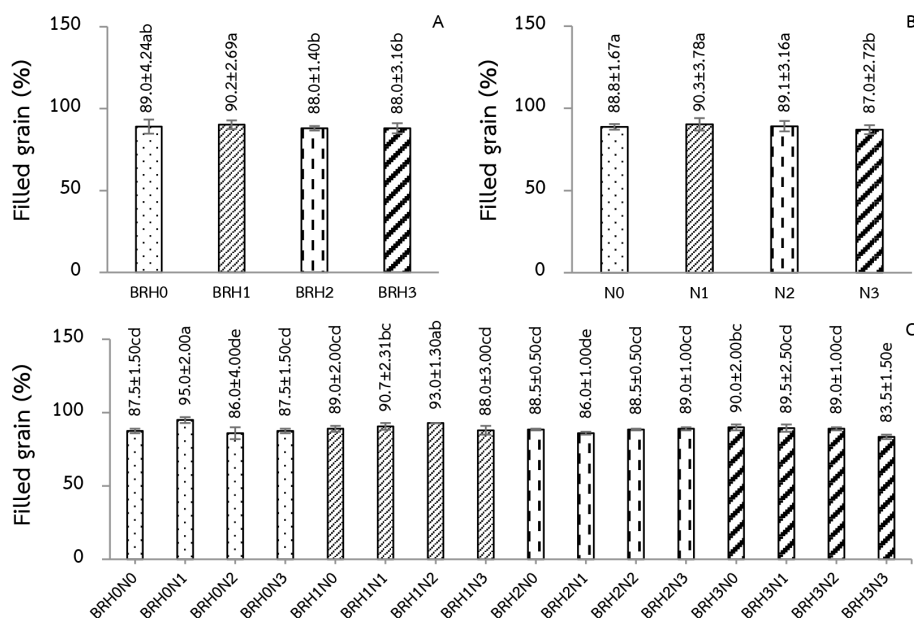


Figure 6 Effects of burnt rice husk (A), nitrogen fertilizer (B) and their interactive effect (C) on %filled grain. BRH = burnt rice husk, N = nitrogen fertilizer, BRH0 = 0 kg/ha, BRH1 = 6.25 kg/ha, BRH2 = 12.5 kg/ha, BRH3 = 25 kg/ha, N0 = 0 kg N/ha, N1 = 28.125 kg N/ha, N2 = 56.25 kg N/ha, N3 = 112.5 kg N/ha. Means on the bars followed by different letters are significantly different according to Duncan's new multiple range test at $P < 0.05$.

ผลของแกลบเผาต่อผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไม่ชัดเจนเท่าปุ๋ยไนโตรเจนเมื่อพิจารณาเพียงปัจจัยเดียว โดยผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 น้ำหนักต่อซังแห้ง และจำนวนรวงข้าวต่อกอตอบสนองชัดเจนต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มตามปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น

แสดงให้เห็นว่า การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่โดยเฉพาะในชุดดินกุลาร้องไห้ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่เพียง 7.9 กรัมต่อกิโลกรัม (Table 1) มีความจำเป็นต่อการเพิ่มผลผลิต ถึงแม้ว่า Rangland and Bunkpukdee (1987) ได้เคยรายงานไว้ว่า การใช้ประโยชน์ไนโตรเจนโดยข้าวที่ปลูกในดินที่มีเนื้อหยาบจะอยู่ในระดับต่ำ

ทำให้การตอบสนองด้านผลผลิตต่อปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวมักจะไม่มีสูงก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่สำคัญ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว โดยในช่วงระยะของการเจริญเติบโต ตั้งแต่ปักดำถึงแตกกอสูงสุด ไนโตรเจนจะถูกนำไปใช้ในการสร้างใบ ลำต้น และราก เพื่อเพิ่มพื้นที่ใบ จำนวนกอ และขนาดของกอ และรากให้มากขึ้น หลังจากนั้นเมื่อเข้าสู่ระยะสีบนธุ์ ไนโตรเจนจะถูกนำไปใช้ในการสร้างช่อดอกและรวง เพื่อเพิ่มจำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และร้อยละเมล็ดดีของข้าว (Fageria, 2007) ผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการทดลองในดิน 6 บริเวณในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Suriya-arunroj *et al.*, 2000) ที่พบว่า การให้ไนโตรเจนไม่เพียงพอมีความสำคัญที่สุดต่อการจำกัดการเจริญเติบโตของข้าวในเกือบทุกบริเวณ เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ผลต่างของผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้แบบจำลองเพื่อคาดคะเนผลผลิตเปรียบเทียบกับ การวัดผลผลิตจริง ในภาคสนามในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพบว่า ผลต่างของผลผลิตสามารถลดได้มากถึง 1.48 ตันต่อเฮกตาร์ ผ่านการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสม (Boling *et al.*, 2011) ดังนั้น อัตราแนะนำของปุ๋ยไนโตรเจนที่อิงตามปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินบน โดยแนะนำให้ใส่ในปริมาณ 56.25 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เมื่อดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า 10 กรัมต่อกิโลกรัม (Division of Rice Research and Development, 2017) ยังคงเหมาะสม เนื่องจากยังคงให้ผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่ถึงร้อยละ 55.6 อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 28.125 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ หรือครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินที่ให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนถึงร้อยละ 25.9 ควรนำมาพิจารณาถึงผลตอบแทนเชิงเศรษฐกิจในสถานะที่ปุ๋ยเคมีมีราคาแพงดังเช่นในปัจจุบัน

สาเหตุที่แกลบเผาส่งผลไม่ชัดเจนต่อการให้ผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Phunyalit *et al.* (2018) ที่ทำการทดลองในชุดดินร่อยเอ็ด จังหวัดอุบลราชธานี ที่พบว่า การใช้ถ่านแกลบชีวมวลซึ่งมีความคล้ายคลึงกับแกลบเผา

ส่งผลต่อความสูงของต้นข้าวและน้ำหนักต่อช่อข้าว แต่ส่งผลไม่ชัดเจนนักต่อน้ำหนักเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทั้ง ๆ ที่การใช้วัสดุเหลือทิ้งนี้ในดินดอนสำหรับปลูกพืชอาทิ มันสำปะหลัง (Kerdchana *et al.*, 2014; Puengkasem *et al.*, 2018; Ruenchan *et al.*, 2018; Prombut *et al.*, 2022) และอ้อย (Insixiangmay *et al.*, 2018) มีการตอบสนองที่ดีในระดับหนึ่ง แต่ในสภาพดินนา มีความเป็นไปได้ว่า แกลบเผาที่ใช้ในการทดลองมีพีเอชค่อนข้างสูง จึงอาจส่งผลเชิงลบต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินในระยะที่ข้าวกำลังเจริญเติบโต และ/หรือการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์นี้จะช้ากว่าโดยเฉพาะในสภาพน้ำขัง ดังนั้น การปลดปล่อยธาตุอาหารเพื่อเป็นประโยชน์ต่อข้าวจึงไม่เหมือนกับพืชที่ดอน ถึงแม้ว่า Opachai *et al.* (2018) ได้ศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารในดินนาที่ปรับปรุงด้วยแกลบเผา และพบว่าแกลบเผาที่มีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ได้สูงกว่าวัสดุอินทรีย์อื่นก็ตาม อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงดินด้วยแกลบเผายังส่งผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในระดับหนึ่ง เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน ยกตัวอย่างเช่น การใส่แกลบเผาที่อัตรา 6.25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราแนะนำที่ทำให้ได้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 สูงกว่าการปลูกข้าว โดยไม่มีการปรับปรุงดินด้วยแกลบเผาแต่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากันถึงร้อยละ 18.1 และสูงกว่าค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ทั้งแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนถึงร้อยละ 98.9 อย่างไรก็ตาม การใส่แกลบเผาในอัตราที่สูงขึ้นกลับไม่ส่งเสริมให้ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตข้าวมากขึ้น ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของ Mishra *et al.* (2017) ที่พบว่า การใส่แกลบเผาอัตรา ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของดินในกระถางส่งผลต่อผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวดีกว่าการใส่ในอัตราที่มากกว่า 1 เท่า ซึ่งในการศึกษานี้ สาเหตุหลักน่าจะเกิดจากการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ของแกลบเผาที่มีค่า C/N ratio กว้างมาก (Table 2) ทำให้ไนโตรเจนถูกนำไปใช้โดยจุลินทรีย์สำหรับกิจกรรมการย่อยสลาย ดังนั้น การใส่แกลบเผาในอัตราสูง เช่น 12.5 และ 25

ต้นต่อเฮกตาร์ อาจไม่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินในสภาพดินนาข้าว

ผลของแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในส่วนต่าง ๆ ของข้าวขาวดอกมะลิ 105

ไนโตรเจน

การใส่แกลบเผาทุกอัตราส่งเสริมให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังข้าวมีค่าสูงกว่าค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่วัสดุนี้ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยการใส่ที่อัตรา 12.5 และ 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ค่าสูงที่สุดเท่ากับ 5.68 และ 5.90 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Table 3) ขณะที่ ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลชัดเจนต่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังข้าว โดยการใส่ในอัตราแนะนำ และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังข้าวสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 5.44 และ 6.24 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ($P < 0.01$) แต่การใส่เพียงครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำไม่ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกับค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยนี้ นอกจากนี้ ยังพบว่าแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนมีอิทธิพลร่วมทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังข้าวมีความแตกต่างกัน ($P < 0.01$) โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 ต้นต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน 2 เท่าของอัตราแนะนำทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังข้าวมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 7.35 กรัมต่อกิโลกรัม โดยความเข้มข้นต่ำสุด (4.20 กรัมต่อกิโลกรัม) พบในตำรับการทดลองที่ไม่มีการใส่ทั้งแกลบเผาเพื่อปรับปรุงดินและปุ๋ยไนโตรเจน

ความเข้มข้นของไนโตรเจนในแกลบรำ พบว่าการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้มีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 8.56 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) ส่วนอัตราที่เหลือให้ผลไม่แตกต่างกับการไม่ใส่ ในกรณีของปุ๋ยไนโตรเจน การใส่ในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในแกลบรำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 8.58 กรัมต่อ

กิโลกรัม ($P < 0.01$) ส่วนการใส่ตามอัตราแนะนำให้ผลไม่แตกต่างกับการไม่ใส่ปุ๋ยนี้ (Table 3) ขณะที่ การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ กับปุ๋ยไนโตรเจนปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำมีอิทธิพลร่วมทำให้มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในแกลบรำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 9.45 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) ส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ด พบว่า การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้มีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 14.33 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) และความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดจะเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น โดยการใส่ในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้ได้ค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 14.83 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) นอกจากนี้ ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้แกลบเผาแต่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 2 เท่าของอัตราแนะนำ การใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ต้นต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนอัตราดังกล่าว และการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนอัตราแนะนำ และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ที่ทำให้มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) เท่ากับ 14.93, 15.40, 15.49 และ 15.69 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ฟอสฟอรัส

การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังข้าวมีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 1.38 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) เนื่องจากเป็น dilution effect แต่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราแนะนำและ 2 เท่าของอัตราแนะนำ กลับส่งเสริมให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังข้าวสูงกว่าการใส่เพียงครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำ และการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) การใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ต้นต่อเฮกตาร์ กับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ มีอิทธิพลร่วมทำให้มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังข้าวสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทาง

สถิติเท่ากับ 1.89 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) แต่ความเข้มข้นนี้ไม่แตกต่างกับที่พบในตำรับการทดลองที่ไม่ใส่แกลบเผาแต่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำ การใส่แกลบเผาอัตราเดียวกันร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ การใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 ต้นต่อเฮกตาร์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ

การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในกลีบรำมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 5.32 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) ส่วนการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในกลีบรำมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 5.38 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) ส่วนการทดสอบอิทธิพลร่วม พบว่า การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในกลีบรำมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 6.52 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) แต่ความเข้มข้นนี้ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับค่าที่ได้ในตำรับการทดลองที่ไม่ใส่แกลบเผาแต่ใส่เพียงปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ (Table 3) ในกรณีของเมล็ด การใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ต้นต่อเฮกตาร์ ส่งเสริมให้มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 2.19 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) แต่การใส่ในอัตราที่เพิ่มขึ้นกลับทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่ำกว่าการไม่ใส่ ทั้งนี้ ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ส่งผลชัดเจนต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดแต่อย่างใด เช่นเดียวกัน ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนที่ส่งผลทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง

โพแทสเซียม

การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซังข้าวมีค่าสูง

ที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 4.40 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) แต่ปุ๋ยไนโตรเจนกลับไม่ส่งผลชัดเจนต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนนี้ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Table 3) อย่างไรก็ตาม การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ มีอิทธิพลร่วมทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซังข้าวมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 5.19 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) ในกรณีของความเข้มข้นของโพแทสเซียมในกลีบรำ การใส่แกลบเผาไม่ส่งผลชัดเจนถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลองก็ตาม เนื่องจากค่าความเข้มข้นไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราที่ใส่ ส่วนปุ๋ยไนโตรเจน พบว่าการใส่ในอัตราแนะนำและ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ส่งเสริมให้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในกลีบรำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 1.02 และ 1.03 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ($P < 0.01$) และการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ยังมีอิทธิพลร่วมทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในกลีบรำมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 1.29 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) แต่ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับความเข้มข้นที่พบในตำรับการทดลองที่ไม่มีการปรับปรุงดินด้วยแกลบเผาแต่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำและ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ในส่วนของเมล็ด การใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 0.22 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$) ส่วนการใส่ในอัตราที่เหลือให้ผลไม่แตกต่างกับการไม่ใส่ ทั้งนี้ ไม่พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีผลทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเมล็ดมีความแตกต่างกัน แต่กลับพบอิทธิพลร่วม โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ต้นต่อเฮกตาร์ และปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเมล็ดมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 0.26 กรัมต่อกิโลกรัม ($P < 0.01$)

Table 3 Nitrogen, phosphorus, and potassium concentration in different parts of Khao Dawk Mali 105 rice as affected by burnt rice husk and nitrogen fertilizer

Treatment	Nitrogen concentration (g/kg)			Phosphorus concentration (g/kg)			Potassium concentration (g/kg)		
	Straw	Husk and bran	Grain	Straw	Husk and bran	Grain	Straw	Husk and bran	Grain
Main plot: burnt rice husk									
BRH ₀	4.89 ± 0.53 ^c	7.79 ± 0.71 ^b	13.74 ± 0.94 ^b	1.60 ± 0.14 ^a	4.73 ± 1.34 ^{bc}	2.02 ± 0.06 ^b	2.90 ± 0.46 ^b	1.01 ± 0.20 ^a	0.21 ± 0.02 ^b
BRH ₁	5.23 ± 0.45 ^b	7.72 ± 0.90 ^b	13.62 ± 1.30 ^b	1.58 ± 0.27 ^a	4.46 ± 0.56 ^c	2.19 ± 0.15 ^a	3.25 ± 0.57 ^b	0.86 ± 0.14 ^b	0.22 ± 0.02 ^a
BRH ₂	5.68 ± 1.10 ^a	8.02 ± 0.44 ^b	12.86 ± 0.79 ^c	1.54 ± 0.26 ^a	4.98 ± 0.77 ^b	1.93 ± 0.10 ^c	3.24 ± 0.56 ^b	0.94 ± 0.09 ^{ab}	0.21 ± 0.01 ^b
BRH ₃	5.90 ± 0.70 ^a	8.56 ± 0.73 ^a	14.33 ± 1.36 ^a	1.38 ± 0.17 ^b	5.32 ± 0.84 ^a	1.88 ± 0.08 ^c	4.40 ± 0.86 ^a	0.96 ± 0.23 ^a	0.21 ± 0.01 ^b
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	*
Subplot: nitrogen fertilizer									
N ₀	4.97 ± 0.52 ^c	8.10 ± 0.46 ^b	12.72 ± 0.85 ^c	1.38 ± 0.14 ^c	4.81 ± 1.14 ^b	2.02 ± 0.11	3.50 ± 0.59	0.88 ± 0.14 ^b	0.22 ± 0.01
N ₁	5.04 ± 0.56 ^c	7.64 ± 0.97 ^c	13.13 ± 0.53 ^c	1.45 ± 0.21 ^c	4.31 ± 0.53 ^c	1.96 ± 0.11	3.14 ± 0.48	0.84 ± 0.10 ^b	0.21 ± 0.01
N ₂	5.44 ± 0.25 ^b	7.78 ± 0.65 ^{bc}	13.88 ± 1.07 ^b	1.59 ± 0.25 ^b	4.99 ± 0.78 ^b	2.00 ± 0.13	3.59 ± 1.08	1.02 ± 0.16 ^a	0.21 ± 0.01
N ₃	6.24 ± 1.05 ^a	8.58 ± 0.62 ^a	14.83 ± 1.12 ^a	1.69 ± 0.18 ^a	5.38 ± 1.02 ^a	2.04 ± 0.24	3.57 ± 1.04	1.03 ± 0.22 ^a	0.22 ± 0.03
F-test	**	**	**	**	**	ns	ns	**	ns
Interaction: burnt rice husk x nitrogen fertilizer									
BRH ₀ N ₀	4.20 ± 0.10 ⁵	8.23 ± 0.08 ^{bc}	12.95 ± 0.70 ^{bc}	1.44 ± 0.04 ^{de}	3.00 ± 0.50 ^l	2.04 ± 0.06	2.72 ± 0.17 ^e	0.81 ± 0.04 ^{ef}	0.23 ± 0.02 ^b
BRH ₀ N ₁	4.81 ± 0.09 ^{ef}	7.26 ± 0.44 ^{def}	13.77 ± 0.27 ^b	1.76 ± 0.10 ^{ab}	4.17 ± 0.67 ^{ghi}	2.01 ± 0.08	2.84 ± 0.49 ^{cde}	0.89 ± 0.01 ^{def}	0.21 ± 0.01 ^{b-e}
BRH ₀ N ₂	5.60 ± 0.09 ^{bc}	7.18 ± 0.63 ^{ef}	13.30 ± 0.63 ^{bc}	1.56 ± 0.02 ^{cd}	6.11 ± 0.30 ^{ab}	2.01 ± 0.08	3.25 ± 0.76 ^{cde}	1.19 ± 0.22 ^{ab}	0.21 ± 0.00 ^{b-e}
BRH ₀ N ₃	4.94 ± 0.13 ^{def}	8.49 ± 0.44 ^b	14.93 ± 0.73 ^a	1.66 ± 0.11 ^{bc}	5.64 ± 0.20 ^{bc}	2.01 ± 0.05	2.80 ± 0.20 ^{de}	1.13 ± 0.11 ^{abc}	0.20 ± 0.01 ^{b-e}
BRH ₁ N ₀	5.21 ± 0.22 ^{bf}	8.35 ± 0.20 ^{bc}	12.83 ± 1.33 ^{bc}	1.32 ± 0.08 ^{ef}	5.22 ± 0.35 ^{cde}	2.13 ± 0.05	3.37 ± 0.18 ^{cde}	1.02 ± 0.06 ^{bcd}	0.21 ± 0.01 ^{cde}
BRH ₁ N ₁	4.62 ± 0.11 ^g	6.48 ± 0.61 ^f	12.72 ± 0.53 ^{bc}	1.40 ± 0.03 ^{def}	4.51 ± 0.20 ^{fi}	2.08 ± 0.07	2.90 ± 0.30 ^{cde}	0.75 ± 0.12 ^f	0.23 ± 0.01 ^{bc}
BRH ₁ N ₂	5.38 ± 0.13 ^{b-e}	7.57 ± 0.48 ^{cde}	13.53 ± 0.53 ^b	1.71 ± 0.25 ^{abc}	4.21 ± 0.40 ^{ghi}	2.15 ± 0.08	3.38 ± 1.18 ^{cde}	0.90 ± 0.07 ^{def}	0.21 ± 0.00 ^{cde}
BRH ₁ N ₃	5.69 ± 0.35 ^b	8.49 ± 0.09 ^b	15.40 ± 0.23 ^a	1.89 ± 0.08 ^a	3.89 ± 0.12 ^j	2.38 ± 0.18	3.36 ± 0.08 ^{cde}	0.76 ± 0.11 ^f	0.26 ± 0.02 ^a

Table 3 Cont.

Treatment	Nitrogen concentration (g/kg)			Phosphorus concentration (g/kg)			Potassium concentration (g/kg)		
	Straw	Husk and bran	Grain	Straw	Husk and bran	Grain	Straw	Husk and bran	Grain
BRH N ₀	4.99 ± 0.00 ^{c-f}	7.76 ± 0.56 ^{b-e}	12.13 ± 0.81 ^c	1.22 ± 0.03 ^f	5.59 ± 0.23 ^{bc}	2.00 ± 0.10	3.93 ± 0.42 ^{bcd}	0.97 ± 0.05 ^{cde}	0.22 ± 0.01 ^{bcd}
BRH N ₁	5.08 ± 0.79 ^{b-f}	8.58 ± 0.06 ^b	12.83 ± 0.40 ^{bc}	1.38 ± 0.08 ^{def}	3.94 ± 0.72 ^{hi}	1.87 ± 0.02	3.09 ± 0.22 ^{cde}	0.84 ± 0.11 ^{def}	0.20 ± 0.01 ^e
BRH N ₂	5.28 ± 0.43 ^{b-e}	7.87 ± 0.35 ^{b-e}	13.18 ± 0.53 ^{bc}	1.81 ± 0.03 ^{ab}	4.90 ± 0.27 ^{def}	1.95 ± 0.10	2.99 ± 0.68 ^{cde}	1.00 ± 0.10 ^{cde}	0.21 ± 0.01 ^{b-e}
BRH N ₃	7.35 ± 0.44 ^a	7.88 ± 0.00 ^{b-e}	13.30 ± 1.05 ^{bc}	1.76 ± 0.05 ^{ab}	5.47 ± 0.20 ^{bcd}	1.90 ± 0.14	2.95 ± 0.20 ^{cde}	0.95 ± 0.01 ^{cde}	0.21 ± 0.02 ^{b-e}
BRH N ₀	5.48 ± 0.31 ^{bcd}	8.08 ± 0.71 ^{bcd}	12.95 ± 0.61 ^{bc}	1.54 ± 0.12 ^{cd}	5.44 ± 0.00 ^{cd}	1.91 ± 0.12	3.96 ± 0.40 ^{bc}	0.73 ± 0.15 ^f	0.22 ± 0.01 ^{b-e}
BRH N ₁	5.63 ± 0.10 ^b	8.23 ± 0.15 ^{bc}	13.19 ± 0.15 ^{bc}	1.24 ± 0.09 ^{ef}	4.61 ± 0.13 ^{e-h}	1.86 ± 0.21	3.72 ± 0.00 ^{b-e}	0.85 ± 0.00 ^{def}	0.21 ± 0.00 ^{cde}
BRH N ₂	5.51 ± 0.18 ^{bcd}	8.49 ± 0.44 ^b	15.49 ± 0.09 ^a	1.29 ± 0.22 ^{ef}	4.72 ± 0.34 ^{efg}	1.89 ± 0.12	4.73 ± 1.13 ^{ab}	0.97 ± 0.02 ^{cde}	0.20 ± 0.02 ^{de}
BRH N ₃	6.96 ± 0.31 ^a	9.45 ± 0.17 ^a	15.69 ± 0.44 ^a	1.44 ± 0.05 ^{de}	6.52 ± 0.45 ^a	1.85 ± 0.04	5.19 ± 0.65 ^a	1.29 ± 0.07 ^a	0.20 ± 0.00 ^{de}
F-test	**	**	**	**	**	ns	**	**	**
SD	0.82	0.77	1.21	0.23	0.95	0.15	0.83	0.18	0.02
%CV	6.9	7.5	4.5	6.9	7.5	4.5	17.0	10.6	0.0

BRH = burnt rice husk, N = nitrogen fertilizer, BRH₀ = 0 kg/ha, BRH₁ = 6.25 kg/ha, BRH₂ = 12.5 kg/ha, BRH₃ = 25 kg/ha, N₀ = 0 kg N/ha, N₁ = 28.125 kg N/ha, N₂ = 56.25 kg N/ha, N₃ = 112.5 kg N/ha, SD = standard deviation, CV = coefficient of variation. ns = not significant, ** significantly different according to F-test at P < 0.01. Means within a column in the same category followed by different superscript letters are significantly different according to Duncan's new multiple range test at P < 0.05.

ผลของแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลักในส่วนต่าง ๆ ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไนโตรเจน

การใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ ส่งเสริมให้มีการดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังข้าวมีค่าสูงกว่าค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่วัสดุนี้ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 11.60 และ 13.30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ($P < 0.01$) ขณะที่ ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลขัดเจนต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังข้าวเช่นกัน โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในทุกอัตราทำให้มีการดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังข้าวอยู่ในพิสัย 9.65–15.30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าการไม่ใส่ที่มีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนเฉลี่ย 8.18 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) นอกจากนี้ ยังพบว่า แกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนมีอิทธิพลร่วมทำให้การดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังข้าวมีความแตกต่างกัน โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้การดูดใช้ไนโตรเจนในตอซังข้าวมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 19.30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) โดยการดูดใช้ต่ำสุด (6.27 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) พบในตำรับการทดลองที่ไม่มีการใส่ทั้งแกลบเผาเพื่อปรับปรุงดินและปุ๋ยไนโตรเจน (Table 4)

การดูดใช้ไนโตรเจนในแกลบรำ พบว่า การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้มีการดูดใช้ไนโตรเจนสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 3.75 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) ส่วนอัตราที่เหลือให้ผลไม่แตกต่างกับการไม่ใส่ ในกรณีของปุ๋ยไนโตรเจน การใส่ในทุกอัตราทำให้มีการดูดใช้ไนโตรเจนในแกลบรำอยู่ในพิสัย 2.97–4.15 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าการไม่ใส่ที่มีปริมาณการดูดใช้เท่ากับ 2.55 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่ การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนอัตราแนะนำมีอิทธิพลร่วมทำให้มีการดูดใช้ไนโตรเจนในแกลบรำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 4.73 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$)

แต่ปริมาณการดูดใช้ดังกล่าวไม่แตกต่างกับปริมาณที่พบในตำรับการทดลองที่ไม่ใส่แกลบเผาและการใส่ในอัตรา 6.25 และ 25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน 2 เท่าของอัตราแนะนำ (Table 4) ส่วนการดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ด พบว่า การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้มีการดูดใช้ไนโตรเจนสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 21.11 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) ขณะที่ การใส่ในอัตราอื่นไม่ทำให้การดูดใช้ไนโตรเจนแตกต่างกับค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ ส่วนผลของปุ๋ยไนโตรเจน พบว่า ปริมาณการดูดใช้เพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น โดยการใส่ในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้มีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 24.44 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) นอกจากนี้ ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำที่ทำให้มีการดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 28.16 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$)

ฟอสฟอรัส

การใส่แกลบเผาไม่ส่งผลทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังข้าวแตกต่างกันระหว่างตำรับการทดลอง แต่การดูดใช้ธาตุนี้ในตอซังข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติตามอัตราของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่เพิ่มจาก 2.26 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในค่ารับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 4.13 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 2 เท่าของอัตราแนะนำ (Table 4) นอกจากนี้ ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังข้าว ($P < 0.01$) โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 4.57 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ แต่การดูดใช้นี้ไม่แตกต่างกับที่พบในตำรับการทดลองที่ไม่ใส่แกลบเผา และการใส่ในอัตรา 6.25 ตันต่อเฮกตาร์

แต่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราดังกล่าว และการใส่แกลบเผาอัตรา 12.5 ต้นต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนอัตราแนะนำ

การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในแกลบรำมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 2.32 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) ส่วนการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในแกลบรำมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 2.58 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) ส่วนผลการทดสอบอิทธิพลร่วม พบว่า การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในแกลบรำมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 3.07 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) ในกรณีของเมล็ด การใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ต้นต่อเฮกตาร์ ส่งเสริมให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 3.25 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) แต่การใส่ในอัตราที่เพิ่มขึ้นกลับทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกับการไม่ใส่ สำหรับปุ๋ยไนโตรเจน การใส่ในทุกอัตราส่งเสริมให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยนี้อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 2.60–3.37 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เปรียบเทียบกับ 2.18 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในด้านควบคุม (Table 4) ส่วนอิทธิพลร่วม พบว่า การใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ต้นต่อเฮกตาร์ และปุ๋ยไนโตรเจนอัตราแนะนำ และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ส่งผลทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 3.94 และ 4.20 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ($P < 0.01$)

โพแทสเซียม

การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้การดูดใช้โพแทสเซียมในตอซังข้าวมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 10.00 กิโลกรัมต่อ

เฮกตาร์ ($P < 0.01$) และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราแนะนำ และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ส่งเสริมให้มีการดูดใช้โพแทสเซียมในตอซังข้าวสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 8.30 และ 8.70 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ($P < 0.01$; Table 4) ทั้งนี้ ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผากับปุ๋ยไนโตรเจนที่มีผลทำให้การดูดใช้โพแทสเซียมในส่วนนี้ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีความแตกต่างกันระหว่างด้านการทดลอง ในกรณีของการดูดใช้โพแทสเซียมในแกลบรำ การใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้การดูดใช้มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 0.43 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) ส่วนปุ๋ยไนโตรเจน พบว่า การดูดใช้โพแทสเซียมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่เพิ่มขึ้น ($P < 0.01$) และการใส่แกลบเผาอัตรา 25 ต้นต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ยังมีอิทธิพลร่วมทำให้การดูดใช้โพแทสเซียมในแกลบรำมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 0.61 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) ในส่วนของเมล็ด การใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้การดูดใช้โพแทสเซียมมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 0.33 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) ส่วนการใส่ในอัตราที่เหลือให้ผลไม่แตกต่างกับการไม่ใส่ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทุกอัตราทำให้มีการดูดใช้โพแทสเซียมในเมล็ดสูงกว่าการไม่ใส่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.28–0.36 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่วนด้านควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 0.24 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ($P < 0.01$) นอกจากนี้ ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างแกลบเผาและปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียม ($P < 0.01$) โดยการใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ต้นต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ทำให้มีการดูดใช้โพแทสเซียมในเมล็ดสูงที่สุด (0.45 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์)

Table 4 Effect of burnt rice husk and nitrogen fertilizer on nitrogen, phosphorus, and potassium uptakes in different parts of Khao Dawk Mali 105 rice

Treatment	Nitrogen uptake (kg/ha)			Phosphorus uptake (kg/ha)			Potassium uptake (kg/ha)		
	Straw	Husk and bran	Grain	Straw	Husk and bran	Grain	Straw	Husk and bran	Grain
Main plot: burnt rice husk									
BRH ₀	10.20 ± 2.77 ^c	3.01 ± 0.82 ^b	19.08 ± 5.13 ^{bc}	3.35 ± 0.86	1.89 ± 0.78 ^b	2.77 ± 0.62 ^b	6.05 ± 1.84 ^b	0.39 ± 0.13 ^b	0.29 ± 0.05 ^b
BRH ₁	10.40 ± 2.30 ^{bc}	3.35 ± 0.98 ^b	20.37 ± 6.29 ^{ab}	3.18 ± 0.98	1.89 ± 0.36 ^b	3.25 ± 0.93 ^a	6.41 ± 1.48 ^b	0.36 ± 0.08 ^b	0.33 ± 0.10 ^a
BRH ₂	11.60 ± 5.09 ^b	3.15 ± 0.52 ^b	17.74 ± 3.45 ^c	3.14 ± 1.21	1.94 ± 0.41 ^b	2.65 ± 0.40 ^b	6.30 ± 1.50 ^b	0.37 ± 0.06 ^b	0.29 ± 0.04 ^b
BRH ₃	13.30 ± 2.87 ^a	3.75 ± 0.93 ^a	21.11 ± 5.61 ^a	3.09 ± 0.56	2.32 ± 0.60 ^a	2.73 ± 0.53 ^b	10.00 ± 2.93 ^a	0.43 ± 0.16 ^a	0.30 ± 0.06 ^b
F-test	**	**	**	ns	**	**	**	**	**
Subplot: nitrogen fertilizer									
N ₀	8.18 ± 2.15 ^d	2.55 ± 0.40 ^d	13.75 ± 2.12 ^d	2.26 ± 0.58 ^d	1.55 ± 0.51 ^c	2.18 ± 0.29 ^c	5.76 ± 1.74 ^b	0.28 ± 0.06 ^d	0.24 ± 0.03 ^c
N ₁	9.65 ± 1.61 ^c	2.97 ± 0.47 ^c	17.46 ± 2.34 ^c	2.79 ± 0.62 ^c	1.67 ± 0.19 ^c	2.60 ± 0.31 ^b	6.00 ± 1.12 ^b	0.32 ± 0.05 ^c	0.28 ± 0.03 ^b
N ₂	12.30 ± 1.81 ^b	3.58 ± 0.94 ^b	22.65 ± 4.65 ^b	3.58 ± 0.56 ^b	2.24 ± 0.42 ^b	3.25 ± 0.58 ^a	8.30 ± 3.27 ^a	0.45 ± 0.07 ^b	0.34 ± 0.05 ^a
N ₃	15.30 ± 3.27 ^a	4.15 ± 0.48 ^a	24.44 ± 2.65 ^a	4.13 ± 0.50 ^a	2.58 ± 0.41 ^a	3.37 ± 0.61 ^a	8.70 ± 2.35 ^a	0.50 ± 0.09 ^a	0.36 ± 0.06 ^a
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Interaction: burnt rice husk × nitrogen fertilizer									
BRH ₀ N ₀	6.27 ± 1.71 ⁱ	3.13 ± 0.09 ^h	11.95 ± 1.15 ^s	2.15 ± 0.65 ^g	0.78 ± 0.11 ^s	1.88 ± 0.08 ^h	4.02 ± 0.91	0.21 ± 0.02 ^s	0.21 ± 0.02 ⁱ
BRH ₀ N ₁	10.20 ± 0.01 ^{e-h}	3.13 ± 0.29 ^{d-g}	21.02 ± 0.14 ^c	3.73 ± 0.19 ^{bcd}	1.79 ± 0.25 ^{ef}	3.07 ± 0.11 ^{bcd}	6.01 ± 0.98	0.38 ± 0.02 ^{cd}	0.32 ± 0.02 ^{cde}
BRH ₀ N ₂	12.20 ± 1.86 ^{cde}	2.74 ± 0.85 ^{gh}	18.15 ± 1.62 ^{cde}	3.39 ± 0.48 ^{cd}	2.30 ± 0.49 ^{bcd}	2.76 ± 0.45 ^{def}	7.23 ± 2.66	0.43 ± 0.01 ^c	0.29 ± 0.04 ^{d-g}
BRH ₀ N ₃	12.30 ± 0.35 ^{cde}	4.02 ± 0.19 ^{abc}	25.21 ± 1.20 ^{ab}	4.12 ± 0.27 ^{abc}	2.67 ± 0.11 ^{ab}	3.39 ± 0.08 ^{bc}	6.94 ± 0.49	0.54 ± 0.05 ^b	0.33 ± 0.01 ^{cd}
BRH ₁ N ₀	8.16 ± 0.84 ^{ghi}	2.73 ± 0.56 ^{gh}	14.07 ± 3.06 ^g	2.05 ± 0.04 ^g	1.72 ± 0.41 ^{ef}	2.32 ± 0.42 ^{gh}	5.27 ± 0.62	0.33 ± 0.08 ^{de}	0.23 ± 0.05 ^{hi}
BRH ₁ N ₁	8.76 ± 0.67 ^{fi}	2.37 ± 0.26 ^{gh}	15.41 ± 1.31 ^{ef}	2.65 ± 0.09 ^{ef}	1.66 ± 0.18 ^{ef}	2.52 ± 0.14 ^{d-g}	5.51 ± 0.80	0.27 ± 0.01 ^{efg}	0.27 ± 0.01 ^{e-h}
BRH ₁ N ₂	11.50 ± 1.10 ^{def}	3.79 ± 0.45 ^{bcd}	24.84 ± 2.61 ^b	3.66 ± 0.64 ^{bcd}	2.13 ± 0.45 ^{cde}	3.94 ± 0.23 ^a	7.12 ± 2.06	0.45 ± 0.02 ^c	0.38 ± 0.02 ^b
BRH ₁ N ₃	13.10 ± 1.55 ^{cd}	4.51 ± 0.59 ^{ab}	27.16 ± 2.13 ^{ab}	4.34 ± 0.43 ^{ab}	2.07 ± 0.26 ^{c-f}	4.20 ± 0.58 ^a	7.71 ± 0.56	0.40 ± 0.05 ^{cd}	0.45 ± 0.03 ^a

Table 4 Cont.

Treatment	Nitrogen uptake (kg/ha)			Phosphorus uptake (kg/ha)			Potassium uptake (kg/ha)		
	Straw	Husk and bran	Grain	Straw	Husk and bran	Grain	Straw	Husk and bran	Grain
BRH N ₀	7.53 ± 0.41 ^{hi}	2.45 ± 0.23 ^{gh}	13.17 ± 0.70 ^g	1.85 ± 0.13 ^s	1.76 ± 0.04 ^{ef}	2.16 ± 0.08 ^{gh}	5.92 ± 0.53	0.31 ± 0.02 ^{ef}	0.24 ± 0.02 ^b
BRH N ₁	8.35 ± 1.27 ^{ghi}	3.46 ± 0.28 ^{c-f}	17.27 ± 0.64 ^{de}	2.27 ± 0.16 ^g	1.59 ± 0.24 ^f	2.52 ± 0.02 ^{d-s}	5.08 ± 0.40	0.34 ± 0.02 ^{de}	0.27 ± 0.01 ^{e-h}
BRH N ₂	11.20 ± 1.84 ^{def}	3.07 ± 0.33 ^{d-s}	19.43 ± 2.94 ^{cd}	3.87 ± 0.67 ^{abc}	1.92 ± 0.32 ^{def}	2.88 ± 0.39 ^{cde}	6.51 ± 2.49	0.39 ± 0.06 ^{cd}	0.31 ± 0.03 ^{def}
BRH N ₃	19.30 ± 2.92 ^a	3.61 ± 0.17 ^{cde}	21.08 ± 1.82 ^c	4.57 ± 0.29 ^a	2.51 ± 0.21 ^{bc}	3.02 ± 0.28 ^{bcd}	7.69 ± 0.64	0.44 ± 0.02 ^c	0.34 ± 0.04 ^{bcd}
BRH N ₀	10.80 ± 2.34 ^{d-s}	2.87 ± 0.11 ^{e-h}	15.82 ± 1.28 ^{ef}	3.01 ± 0.49 ^{de}	1.94 ± 0.15 ^{def}	2.34 ± 0.27 ^{e-h}	7.82 ± 1.95	0.26 ± 0.03 ^{fg}	0.26 ± 0.03 ^{f-i}
BRH N ₁	11.30 ± 0.00 ^{def}	2.94 ± 0.00 ^{efg}	16.14 ± 0.00 ^{ef}	2.48 ± 0.00 ^{efg}	1.65 ± 0.00 ^{ef}	2.28 ± 0.00 ^{gh}	7.41 ± 0.00	0.30 ± 0.00 ^{ef}	0.25 ± 0.00 ^{gh}
BRH N ₂	14.50 ± 0.67 ^{bc}	4.73 ± 0.54 ^a	28.16 ± 1.49 ^a	3.39 ± 0.63 ^{cd}	2.62 ± 0.20 ^{ab}	3.44 ± 0.36 ^b	12.40 ± 2.82	0.54 ± 0.05 ^b	0.37 ± 0.05 ^{bc}
BRH N ₃	16.70 ± 0.23 ^{ab}	4.46 ± 0.21 ^{ab}	24.31 ± 0.54 ^b	3.47 ± 0.08 ^{cd}	3.07 ± 0.19 ^a	2.87 ± 0.08 ^{cde}	12.40 ± 0.84	0.61 ± 0.03 ^a	0.32 ± 0.01 ^{de}
F-test	**	**	**	**	**	**	ns	**	**
SD	3.55	0.85	5.22	0.91	0.58	0.67	2.56	0.11	0.07
%CV	13.2	12.1	8.7	12.7	13.1	10.2	21.0	8.2	10.4

BRH = burnt rice husk, N = nitrogen fertilizer, BRH₀ = 0 kg/ha, BRH₁ = 6.25 kg/ha, BRH₂ = 12.5 kg/ha, BRH₃ = 25 kg/ha, N₀ = 0 kg N/ha, N₁ = 28.125 kg N/ha, N₂ = 56.25 kg N/ha, N₃ = 112.5 kg N/ha, SD = standard deviation, CV = coefficient of variation. ns = not significant, ** significantly different according to F-test at P < 0.01. Means within a column in the same category followed by different superscript letters are significantly different according to Duncan's new multiple range test at P < 0.05.

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีการดูใช้ไนโตรเจนมากที่สุด รองลงมาคือโพแทสเซียม ขณะที่ ฟอสฟอรัสถูกดูใช้ในปริมาณเพียงครึ่งหนึ่งของโพแทสเซียม ทั้งนี้ มากกว่าครึ่งหนึ่งของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ถูกดูใช้จะสะสมอยู่ในส่วนข้าวเปลือก (แกลบรำและเมล็ด) ที่ถูกนำออกไปจากแปลงปลูก ขณะที่โพแทสเซียมมีอยู่เพียงเล็กน้อยในข้าวเปลือกเมื่อเปรียบเทียบกับตอซัง แสดงให้เห็นว่า การสูญเสียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปกับผลผลิตจำเป็นต้องมีการทดแทนผ่านการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม โดยเฉพาะในกรณีของไนโตรเจนที่สูญเสียไปกับผลผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 20 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (Table 4) ทั้งนี้ รวมถึงการไถกลบตอซังข้าวที่มีปริมาณธาตุอาหารหลักสะสมอยู่พอสมควร น่าจะช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารเหล่านี้ได้ดีขึ้นเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่จะปลูกในฤดูปลูกถัดไป และน่าจะเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ให้แกดินอีกทางหนึ่งด้วย

สรุป

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อปลูกในชุดดินกุลาร้องไห้ตอบสนองด้านผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 ดีที่สุดเมื่อมีการใช้แกลบเผาอัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ เพื่อปรับปรุงดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามอัตราแนะนำ หรือเท่ากับ 56.25 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ โดยผลผลิตที่ได้สูงกว่าการใส่แกลบเผาอัตรา 6.25 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณเท่ากันเพียงเล็กน้อย การปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในดินนี้โดยไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

อัตรา 28.125–112.5 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ ทำให้ได้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยนี้อย่างชัดเจน การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราแนะนำ และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ ส่งเสริมให้ได้น้ำหนักตอซังแห้งสูงสุด ขณะที่แกลบเผาส่งผลไม่ชัดเจน แกลบเผาโดยเฉพาะการใส่ที่อัตรา 25 ตันต่อเฮกตาร์ ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซัง แกลบรำ และเมล็ด ฟอสฟอรัสในแกลบรำ และโพแทสเซียมในตอซังและแกลบรำมีค่าสูงที่สุด ความเข้มข้นของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในทุกส่วนตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังและแกลบรำ และโพแทสเซียมในแกลบรำมีค่าสูงที่สุดเมื่อมีการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราแนะนำ และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ โดยภาพรวม ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลเชิงบวกต่อการดูใช้ธาตุอาหารหลักในทุกส่วนของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ดีกว่าแกลบเผา แสดงให้เห็นว่า การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในชุดดินกุลาร้องไห้ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำได้ ขณะที่ การใส่แกลบเผาเพื่อปรับปรุงดินส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ระดับหนึ่งแต่ไม่สามารถทดแทนปุ๋ยไนโตรเจนได้ทั้งหมด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย และบริษัท ไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์แม่ปุ๋ยเคมีสำหรับการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Bardsley, C.E. and J.D. Lancaster. 1965. Sulfur, pp. 1102–1116. *In* C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Boling, A.A., B.A.M. Bouman, T.P. Tuong, Y. Konboon and D. Harnpichitvitaya. 2011. Yield gap analysis and the effect of nitrogen and water on photoperiod-sensitive jasmine rice in north-east Thailand. *NJAS-Wageningen J. Life Sci.* 58: 11–19.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59(1): 39–45.
- Chapman, H.D. 1965. Cation-exchange capacity, pp. 891–901. *In* C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Division of Rice Research and Development. 2017. Rice Knowledge Bank. Available Source: <https://webold.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=045.htm>, July 8, 2022. (in Thai)
- Fageria, N.K. 2007. Yield physiology of rice. *J. Plant Nutr.* 30(6): 843–879.
- Fukai, S., P. Sittisuang and M. Chanphengsay. 1998. Increasing production of rainfed lowland rice in drought prone environments: a case study in Thailand and Laos. *Plant Prod. Sci.* 1(1): 75–82.
- Haefele, S.M., Y. Konboon, W. Wongboon, S. Amarante, A.A. Maarifat, E.M. Pfeiffer and C. Knoblauch. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Res.* 121(3): 430–440.
- Insixiengmay, S., S. Thanachit, S. Anusontpornperm and I. Kheoruenromme. 2018. Effect of rice husk ash on virgin cane grown in loamy sand Satuk soil series. pp. 90–94. *In* Proc. the 44th Congress on Science and Technology of Thailand (STT 44), 29–31 October 2018. Bangkok, Thailand.
- Jackson, M.L. 1965. Soil Chemical Analysis: Advanced Course. Department of Soils, University of Wisconsin, Wisconsin, USA.
- Jearakongman, S., S. Rajatasereekul, K. Naklang, P. Romyen, S. Fukai, E. Skulkhu, B. Jumpaket and K. Nathabutr. 1995. Growth and grain yield of contrasting rice cultivars grown under different conditions of water availability. *Field Crops Res.* 44: 139–150.

- Johnson, C.M. and A. Ulrich. 1959. Analytical methods for use in plant analysis, pp. 26–78. Bulletin of the California Agricultural Experiment Station No. 766. Berkeley, California, USA.
- Kantrikrom, R., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and W. Wiriakitnateekul. 2020. Water stable aggregate distribution of lowland, humid, tropical, salt-affected soils. *Agr. Nat. Resour.* 54: 255–264.
- Kerdchana, C., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and W. Wiriakitnateekul. 2014. Effect of gypsum, dolomite, burnt rice husk from ethanol plant and rates of chemical fertilizer on cassava grown on a Korat soil. *In Proc. the 40th Congress on Science and Technology of Thailand (STT40)*, 2–4 December 2014. Khon Kaen, Thailand.
- Kheoruenromne, I. 2005. Soil Survey. 2nd edition. Kasetsart University Press, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Khunthasuvon, S., S. Rajatasereekul, P. Hanviriyapant, P. Romyen, S. Fukai, J. Basnayake and E. Skulkhu. 1998. Lowland rice improvement in northern and northeast Thailand: 1. Effects of fertiliser application and irrigation. *Field Crops Res.* 59(2): 99–108.
- Kongseree, N., S. Wongpiyachon, P. Mongkonbunjong and P. Sawangchit. 2002. Characteristics of ready to eat Thai Hom Mali rice. *In Proc. the Rice and Temperate Cereal Crops Annual Conference 2002*, 26–29 March 2002. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Land Development Department. 2015. Soil and Land Resources of Thailand. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Mishra, A., K. Taing, M.W. Hall and Y. Shinogi. 2017. Effects of rice husk and rice husk charcoal on soil physicochemical properties, rice growth and yield. *Agric. Sci.* 8: 1014–1032.
- Murphy, J. and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27: 31–36.
- Mushtaq, M., M.K. Iqbal, A. Khalid and R.A. Khan. 2019. Humification of poultry waste and rice husk using additives and its application. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 8: 15–22.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42 Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Washington, D.C., USA.
- Oguike, P.C., G.O. Chukwu and N.C. Njoku. 2006. Physico-chemical properties of a Haplic Acrisol in southeastern Nigeria amended with rice mill waste and NPK fertilizer. *Afr. J. Biotechnol.* 5(11): 1058–1061.

- Okon, P.B., J.S. Ogeh and U.C. Amalu. 2005. Effect of rice husk ash and phosphorus on some properties of acid sands and yield of okra. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36(7–8): 833–845.
- Opachat, T., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2018. Major plant nutrient release in jasmine rice growing soils amended with biochar and organic wastes: an incubation study. *Int. J. Soil Sci.* 13(1): 9–17.
- Oshio, H., F. Nii and H. Namioka. 1981. Characteristics of kantan (rice hull charcoal) as medium of soilless culture. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 50(2): 231–238.
- Phunyalit, A., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2018. Effect of cassava starch waste and rice husk biochar on Khao Dawk Mali 105 rice (KDML 105) planted in Roi Et soil series. *Khon Kaen Agr. J.* 46(2): 255–266. (in Thai)
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1022–1030. *In* C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy No. 9.* American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Prombut, N., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, I. Kheoruenromne and M. Phun-lam. 2022. Response of cassava to potassium fertilization in a tropical sandy Typic Paleustult amended with burnt rice husk for two-consecutive years. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 53(14): 1823–1840.
- Puengkasem, K., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, I. Kheoruenromne and P. Petprapai. 2018. Effect of rice husk ash and potassium on soil properties and cassava, Huay Bong 80 variety, grown in Satuk soil series. *Khon Kaen Agr. J.* 46(5): 911–920. (in Thai)
- Rangland, J. and L. Boonpuckdee, 1987. Fertilizer responses in northeast Thailand: 1. Literature review and rationale. *Thai J. Soils Fert.* 9: 65–79.
- Rice Department. 2011. Khao Dok Mali 105 Rice. Rice Research and Development Office, Rice Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Ruenchan, P., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2018. Effect of rice husk ash and nitrogen on growth and yield of cassava, Huay Bong 80 variety, in Yasothon soil series, pp. 78–84. *In* Proc. the 44th Congress on Science and Technology of Thailand (STT44), 29–31 October 2018. Bangkok, Thailand.
- Saenya, J., S. Anusontpornperm, S. Thanachit and I. Kheoruenromne. 2015. Potential of paddy soils for jasmine rice production in Si Sa Ket province, northeast Thailand. *Asian J. Crop Sci.* 7(1): 34–47.

- Sukchan, S. 2005. Salt-affected Soils in Northeastern Region: Survey and Mapping from Salt Crust. Res. Bull. No. 04/03/48. Office of Soil Survey and Land Use Planning, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Suriya-arunroj, D., P. Chaipayawat, S. Fukai and P. Blamey. 2000. Identification of nutrients limiting rice growth in soils of northeast Thailand under water-limiting and non-limiting conditions. *Plant Prod. Sci.* 3(4): 417–421.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations, pp. 159–165. *In* A.L. Page, ed. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* 2nd edition. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- United States Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils.* United States Department of Agriculture, Washington, D.C., USA.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37(1): 29–38.
- Westerman, R.L. 1990. *Soil Testing and Plant Analysis.* 3rd edition. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Wonprasaid, S., S. Khunthasuvon, P. Sittisuang and S. Fukai. 1996. Performance of contrasting rice cultivars selected for rainfed lowland conditions in relation to soil fertility and water availability. *Field Crops Res.* 47(2–3): 267–275.
- Zhang, W.J., G.H. Li, Y.M. Yang, Q. Li, J. Zhang, J.Y. Liu, S. Wang, S. Tang and Y.F. Ding. 2014. Effects of nitrogen application rate and ratio on lodging resistance of super rice with different genotypes. *J. Integr. Agric.* 13(1): 63–72.