

สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินเขตร้อนสำหรับปลูกข้าวในภาคเหนือตอนบน ของประเทศไทยฤดูปลูกปี 2563/2564

Physical and Chemical Properties of Tropical Soil for Rice Cultivation in Upper Northern Thailand during Wet Season, 2020/2021

พิชญ์นันท์ กังแฮ^{1),3),*} สุธกานต์ ใจกาวิล¹⁾ วาสนา วิรุณรัตน์²⁾ วิชญ์ภาส สังพาลี³⁾

สุธีระ เหมฮึก³⁾ เนตรนภา อินสลด³⁾

Pitchanan Kanghae^{1),3),*} Suttakan Jaikawin¹⁾ Vassana Viroonrat²⁾ Witchaphart Sungpalee³⁾

Sutheera Hermhuk³⁾ Nednapa Insalud³⁾

Abstract

The upper northern region of Thailand, comprising eight provinces, has been classified into land suitability classes for rice cultivation as follows: highly suitable (S1; 1.9 million rai), moderately suitable (S2; 1.3 million rai), marginally suitable (S3; 320,000 rai), and unsuitable (N; 660,000 rai). This study aimed to analyze the physical and chemical properties of paddy soils in this region during the 2020/2021 wet season to provide a scientific basis for appropriate soil and fertilizer management for sustainable glutinous rice production. Soil samples were collected using purposive sampling and analyzed for their physical and chemical characteristics at the Phrae Rice Research Center laboratory. The results revealed that sandy loam was the most common soil texture, accounting for 43% of all samples. While this texture offers good drainage, it has limitations in retaining water and nutrients. Conversely, clay soils, which have high potential for moisture and nutrient retention, were found in very small proportions. Significant differences in chemical properties were observed among the land suitability classes. S1 soils had median values of organic matter at 2.34% (IQR: 1.76-2.92), available phosphorus at 12 mg/kg (7-23), exchangeable potassium at 81 mg/kg (47-120), and soil pH at 5.61 (5.16-6.17). S2 soils showed lower nutrient levels and higher acidity, with organic matter at 2.05% (1.59-2.58), phosphorus at 11 mg/kg (6-26), exchangeable potassium at 80 mg/kg (52-113), and pH at 5.31 (4.97-5.95), particularly in Chiang Rai and Lampang. S3 soils had the highest available phosphorus content at 30 mg/kg (15-66), with 2.18% organic matter (1.68-2.68), 88 mg/kg exchangeable potassium (52-143) and pH 5.61 (5.05-6.24). N-classified soils had organic matter at 2.12% (1.57-2.58), available phosphorus at 16 mg/kg (7-40), exchangeable potassium at 80 mg/kg (48-115), and pH 5.64 (5.08-6.17). The findings support that fertilizer application based on soil test results can improve nutrient use efficiency, reduce production costs and prevent excessive nutrient accumulation. In particular, phosphate fertilizer application should be reduced in S3 areas where phosphorus accumulation is high. This fertilizer management approach has the potential to enhance glutinous rice production in the upper northern region of Thailand.

Keywords: rice, soil properties, soil texture, land suitability for rice, Agri-Map, upper northern

Received: January 19, 2025/ Revised: March 31, 2025/ Accepted: March 31, 2025

* corresponding author E-mail: pitchanan.k@rice.mail.go.th

¹⁾ ศูนย์วิจัยข้าวแพร่ อ.เมือง จ.แพร่ 54000 โทร. 0-5464-6033-5

Phrae Rice Research Center, Mueang, Phrae 54000 Tel. 0-5464-6033-5

²⁾ สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290 โทร. 0-5387-3611

Program in Soil Science, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290 Tel. 0-5387-3611

³⁾ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290 โทร. 0-5387-3611

Program in Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290 Tel. 0-5387-3611

บทคัดย่อ

พื้นที่ประเทศไทย ภาคเหนือตอนบนประกอบด้วย 8 จังหวัดได้มีการจัดเขตพื้นที่ความเหมาะสมตามชั้นความเหมาะสมของที่ดินสำหรับการปลูกข้าวเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมมาก (S1) 1.9 ล้านไร่ เหมาะสมปานกลาง (S2) 1.3 ล้านไร่ เหมาะสมน้อย (S3) 3.2 แสนไร่ และพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม (N) 6.6 แสนไร่ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินนาในภาคเหนือตอนบน ฤดูปลูก 2563/2564 เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการจัดการดินและปุ๋ยให้เหมาะสมต่อการผลิตข้าวเหนียวอย่างยั่งยืน โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) และวิเคราะห์สมบัติดินทั้งทางกายภาพและเคมีในห้องปฏิบัติการ ศูนย์วิจัยข้าวแพร่ ผลการวิเคราะห์ดิน พบว่า เนื้อดินที่พบมากที่สุด คือ ดินร่วนปนทราย คิดเป็นร้อยละ 43 ของตัวอย่างทั้งหมด โดยดินชนิดนี้มีการระบายน้ำดี แต่มีข้อจำกัดในการเก็บกักน้ำและธาตุอาหาร ขณะที่ดินเหนียวซึ่งมีศักยภาพสูงในการกักเก็บความชื้นและธาตุอาหาร พบในสัดส่วนที่น้อยมาก สำหรับสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า มีความแตกต่างระหว่างชั้นความเหมาะสมของที่ดินอย่างชัดเจน โดยพื้นที่ S1 มีค่ามัธยฐานของอินทรีย์วัตถุ 2.34 เปอร์เซ็นต์ (IQR: 1.76-2.92) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (7-23) โพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ 81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (47-120) และค่าความเป็นกรด-เบส 5.61 (5.16-6.17) สำหรับพื้นที่ S2 มีค่ามัธยฐานของอินทรีย์วัตถุ 2.05 เปอร์เซ็นต์ (1.59-2.58) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (6-26) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (52-113) และค่าความเป็นกรด-เบส 5.31 (4.97-5.95) โดยมีค่าธาตุอาหารต่ำกว่าพื้นที่ S1 และมีสภาพเป็นกรดจัดมากโดยเฉพาะพื้นที่จังหวัดเชียงรายและลำปาง ในขณะที่พื้นที่ S3 ซึ่งมีค่ามัธยฐานของอินทรีย์วัตถุ 2.18 เปอร์เซ็นต์ (1.68-2.68) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (15-66) โพแทสเซียม 88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (52-143) และค่าความเป็นกรด-เบส 5.61 (5.05-6.24) ส่วนพื้นที่ N มีค่ามัธยฐานของอินทรีย์วัตถุ 2.12 เปอร์เซ็นต์ (1.57-2.58) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (7-40) โพแทสเซียม 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (48-115) และค่าความเป็นกรด-เบส 5.64 (5.08-6.17) ผลการศึกษานี้ยังได้ข้อมูลสนับสนุนว่า การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ลดต้นทุน และป้องกันการสะสมธาตุอาหารเกินความจำเป็นโดยเฉพาะในพื้นที่ S3 ที่มีฟอสฟอรัสสะสมสูงควรลดการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งแนวทางการจัดการปุ๋ยครั้งนี้จะช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวเหนียวในภาคเหนือตอนบนได้

คำสำคัญ: ข้าว สมบัติดิน เนื้อดิน ชั้นความเหมาะสมของที่ดินสำหรับข้าว ระบบแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก ภาคเหนือตอนบน

คำนำ

ข้าว เป็นอาหารหลักของประชากรไทยและประชากรทั่วโลก ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตและส่งออกข้าวรายใหญ่ของโลก การส่งออกข้าวช่วยสร้างรายได้ให้กับประเทศและส่งผลต่อเศรษฐกิจ ในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยผลิตข้าวได้ประมาณ 32 ล้านตัน โดยมีการส่งออกข้าวมากกว่า 7 ล้านตันต่อปี พื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยแบ่งออกเป็นสามภูมิภาคหลัก ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ร้อยละ 46 ของผลผลิตข้าวทั้งหมด) ภาคเหนือ (ร้อยละ 31 ของผลผลิตข้าวทั้งหมด) และภาคกลาง (ร้อยละ 21 ของผลผลิตข้าวทั้งหมด) (USDA, 2024) การปลูกข้าวในประเทศไทยมีความสำคัญทั้งในด้านอาหาร เศรษฐกิจ และการจ้างงาน รัฐบาลจึงได้กำหนด

นโยบายการบริหารจัดการพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศ (zoning) จัดเขตพื้นที่ปลูกข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญเพื่อพัฒนาและแก้ไขปัญหาด้านการเกษตรของประเทศ เป้าหมายเพื่อการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด ประหยัลดทรัพยากรธรรมชาติและลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ช่วยให้เกิดการวางแผนการใช้ทรัพยากรที่ดียิ่งขึ้น แต่ลักษณะการจัดพื้นที่เกษตรกรรมยังคงเป็นการวิเคราะห์ในระดับกว้าง (macro-level) ทำให้ไม่สามารถระบุถึงความแตกต่างเชิงพื้นที่ในระดับที่ละเอียด (micro-level) ได้อย่างชัดเจน ซึ่งอาจนำไปสู่การจัดการพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในบางพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศและคุณสมบัติดินที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์การจัดเขตพื้นที่ความเหมาะสมในการปลูกข้าวนั้น จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ข้อมูลอากาศ ข้อมูลดิน ข้อมูลระดับความสูงและความลาดชันของภูมิประเทศ และข้อมูลการใช้ที่ดิน โดยข้อมูลดินที่ใช้ คือ ข้อมูลคุณภาพดิน สมบัติดิน และระดับความต้องการปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสามารถจัดเขตพื้นที่ความเหมาะสมในการปลูกข้าว 68.6 ล้านไร่ ได้เป็นพื้นที่ที่เหมาะสมมาก (highly suitability; S1) จำนวน 23.6 ล้านไร่ พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (moderately suitability; S2) จำนวน 20.6 ล้านไร่ พื้นที่เหมาะสมน้อย (marginally suitability; S3) จำนวน 17.5 ล้านไร่ และพื้นที่ไม่เหมาะสม (unsuitability; N) จำนวน 6.7 ล้านไร่

สำหรับการจัดเขตพื้นที่ความเหมาะสมในการปลูกข้าวจำนวน 4.3 ล้านไร่ ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ซึ่งประกอบด้วย จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน พะเยา และแม่ฮ่องสอน สามารถจัดแบ่งได้เป็นพื้นที่ S1 จำนวน 1.9 ล้านไร่ พื้นที่ S2 จำนวน 1.3 ล้านไร่ พื้นที่ S3 จำนวน 3.2 แสนไร่ และพื้นที่ N จำนวน 6.6 แสนไร่ แต่ด้วยลักษณะสภาพภูมิประเทศเป็นแนวเทือกเขาสลับพื้นที่ราบลุ่ม สภาพพื้นที่ไม่สม่ำเสมอทำให้มีนิเวศการปลูกข้าวที่หลากหลายตามลักษณะภูมิประเทศ เช่น การปลูกข้าวในพื้นที่ราบลุ่ม ที่ราบเชิงเขา ที่ราบสูงไหล่เขาและหุบเขา เป็นต้น ทำให้มีปัญหาการกัดกร่อนของดินในบริเวณพื้นที่ลาดชัน จึงทำให้เกิดสภาพพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างกันจากกระบวนการกัดเซาะหรือการกัดกร่อนพื้นที่ การพัดพาตะกอนมาทับถมในพื้นที่ต่ำ เกิดการสูญเสียหน้าดิน ดินที่ยังคงอยู่เป็นดินชั้นล่างที่มีปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่ำ

นอกจากนั้น การปลูกข้าวอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดินหรือการใส่ปุ๋ยขาดอย่างเพียงพอ การเผาฟางหรือการนำฟางไปใช้ประโยชน์นอกพื้นที่ การไถพรวนทำให้โครงสร้างของดินถูกทำลาย ดินอัดตัวแน่นขึ้น ส่งผลให้เกิดชั้นดานเชื่อมแข็งในชั้นดินไถพรวนยากต่อการให้น้ำซึมผ่านลงไปในดิน เมื่อฝนตก ดินจะดูดซับน้ำได้ลดลง เกิดน้ำเอ่อที่ผิวหน้าดินมากขึ้น เป็นผลให้เกิดการไหลบ่า (water runoff) ที่ผิวหน้าดินมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของดิน และการจัดการพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม เช่น การเผาฟาง การใช้เครื่องจักรหนัก

การขาดการปรับปรุงบำรุงดิน เป็นต้น ส่งผลให้โครงสร้างของดินถูกทำลาย และเกิดการชะล้างธาตุอาหาร ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการผลิตข้าวในระยะยาว (Arunrat *et al.*, 2022; Oechaiyaphum *et al.*, 2020) ส่งผลให้ข้าวที่ปลูกในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในช่วงปี พ.ศ. 2560-2565 มีผลผลิตข้าวค่อนข้างน้อย (519-540 กิโลกรัมต่อไร่) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567)

การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการดิน จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการยกระดับผลผลิตข้าว ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินกับผลผลิตข้าว ถือเป็นกุญแจสำคัญในการจัดการดินอย่างเหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิต Wicharuck และคณะ (2023) พบว่า พื้นที่นาขั้นบันไดในภาคเหนือตอนบนมีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินสูง แต่ปริมาณธาตุอาหาร เช่น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมลดลง เนื่องจากการชะล้างธาตุอาหารจากพื้นที่ลาดชันลงสู่พื้นที่ต่ำ เป็นต้น นอกจากนี้ ทศนศิริ (2567) ได้แสดงถึงความสำคัญของการศึกษสมบัติของดินด้วยการประยุกต์ใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกล (remote sensing) ซึ่งช่วยลดต้นทุนและเพิ่มความแม่นยำในการประเมินสมบัติของดิน เช่น ความเป็นกรด-เบส (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในพื้นที่เกษตร ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน เช่น ความหนาแน่นเชิงปริมาตร การสูญเสียธาตุอาหาร ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ลดลง เป็นต้น ล้วนส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน (Chakravarty *et al.*, 2023; Srinivasan *et al.*, 2022)

การศึกษสมบัติดินในระดับพื้นที่ย่อยจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยสมบัติดินที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ เนื้อดิน ปริมาณธาตุอาหารหลัก ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่าความเป็นกรด-เบสของดิน ซึ่งโดยรวมก็คือความอุดมสมบูรณ์ของดิน การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่ปลูกข้าวตามขั้นความเหมาะสม (S1, S2, S3 และ N) จะช่วยให้สามารถกำหนดแนวทางการจัดการดินที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ เช่น การปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยเคมี การไถพรวน การเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมต่อพื้นที่ เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มผลผลิตข้าวให้สูงขึ้นอย่างยั่งยืน

ดังนั้น การศึกษาดังนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินนาในพื้นที่ภาคเหนือ

ตอนบนตามชั้นความเหมาะสมของที่ดินสำหรับปลูกข้าว ฤดูนาปี 2563/2564 สำหรับใช้เป็นฐานข้อมูลในการวางแผนจัดการดินและปุ๋ยอย่างเหมาะสม อันจะนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวเหนียวอย่างยั่งยืนในภูมิภาคต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่ศึกษา

ดำเนินการในพื้นที่นาภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ครอบคลุม 8 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน พะเยา และแม่ฮ่องสอน โดยพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ปลูกข้าวที่จัดอยู่ในระบบการจำแนกความเหมาะสมของที่ดิน (land suitability classification) 4.3 ล้านไร่ แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ความเหมาะสมมาก (S1: highly suitability area) ความเหมาะสมปานกลาง (S2: moderately suitability area) ความเหมาะสมน้อย (S3: marginally suitability area) และไม่เหมาะสม (N: unsuitability area) (Agri-Map online, 2563)

การสำรวจจึงดำเนินการหลังฤดูเก็บเกี่ยวข้าวในปี 2563/2564 โดยพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นนาที่ลุ่มและนาที่สูง ซึ่งเป็นพื้นที่เพาะปลูกหลักของภูมิภาค ทั้งนี้ไม่รวมพื้นที่ปลูกข้าวไร่และนาขั้นบันได ซึ่งส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเขตป่าและไม่ได้รับการกำหนดความเหมาะสมของที่ดินแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก (Agri-Map) ดำเนินการหลังฤดูเก็บเกี่ยวข้าวในปี 2563/2564

2. การสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่างดิน

2.1 วิธีการสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่างดินใช้แบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) ใช้วิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบเฉพาะเจาะจง ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมทางการเกษตรแตกต่างกัน 4 ระดับ โดยกำหนดจำนวนตัวอย่างให้สอดคล้องกับสัดส่วนพื้นที่ของแต่ละระดับความเหมาะสม ทั้งนี้ โดยใช้สูตรของ Yamane (1967) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ในการคำนวณจำนวนตัวอย่าง ดังนั้น พื้นที่ S1 มีจำนวน 884 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1,980,490 ไร่ (ร้อยละ 46 ของพื้นที่ทั้งหมด) พื้นที่ S2 มีจำนวน 494 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1,340,557 ไร่ (ร้อยละ 31 ของพื้นที่ทั้งหมด) พื้นที่ S3 มีจำนวน 277 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 327,475 ไร่ (ร้อยละ 8 ของพื้นที่ทั้งหมด) พื้นที่ N มีจำนวน

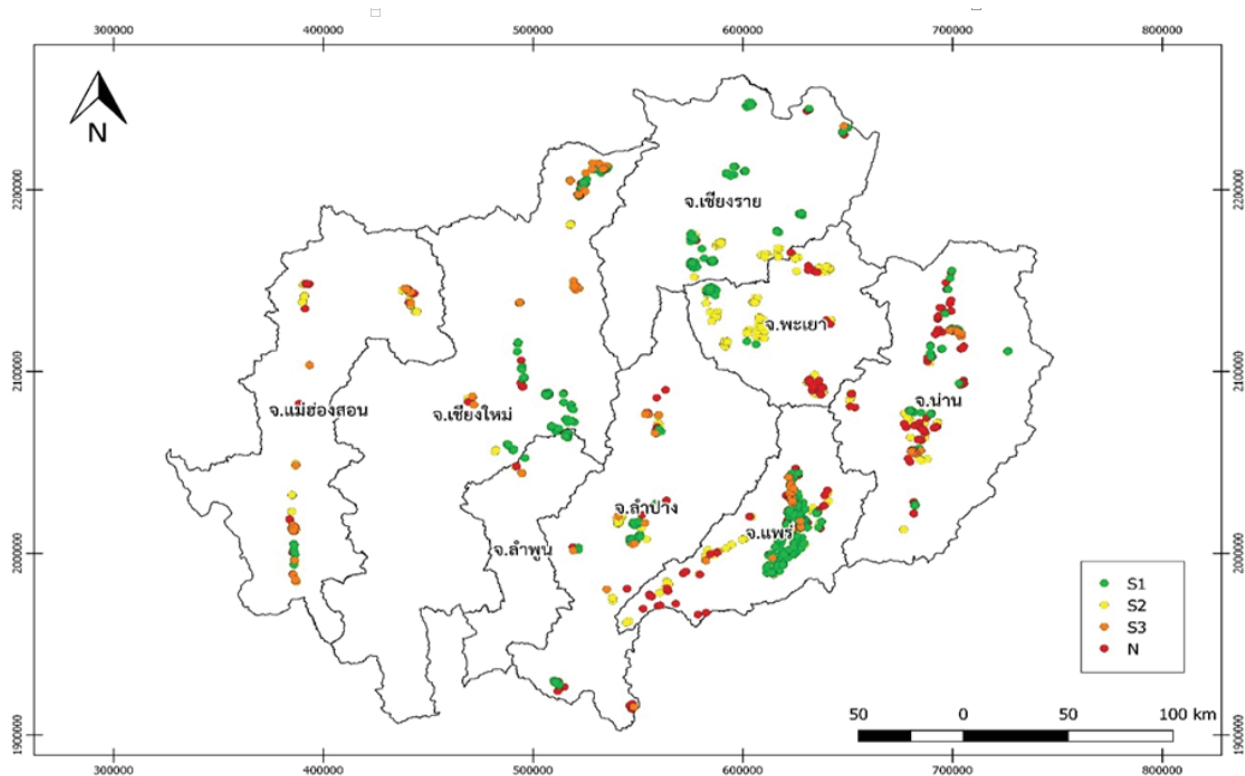
309 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 665,461 ไร่ (ร้อยละ 15 ของพื้นที่ทั้งหมด)

การเก็บตัวอย่างดำเนินการหลังการเก็บเกี่ยวข้าว ในช่วงพักแปลงก่อนการไถกลบตอซัง เพื่อเตรียมปลูกข้าวในฤดูถัดไป โดยเริ่มจากการกำหนดแปลงนาสำหรับการเก็บตัวอย่างให้สอดคล้องกับพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 ระดับ จากนั้นทำการติดต่อเกษตรกรเจ้าของแปลงเพื่อขออนุญาตและบันทึกประวัติการปลูกพืช รวมถึงแนวทางการจัดการแปลง ทั้งนี้ ตำแหน่งและการกระจายตัวของจุดสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแต่ละระดับความเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว แสดงไว้ใน Fig. 1 การดำเนินงานทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานการสุ่มตัวอย่างของแต่ละพื้นที่เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและเป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาได้อย่างเหมาะสม

2.2 กระบวนการเก็บตัวอย่างดิน เก็บตัวอย่างดินจากแปลงละ 10 จุดที่กำหนดไว้ โดยทำความสะอาดผิวดิน กำจัดเศษวัสดุ จากนั้นขุดหลุมลึก 0-15 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินแปลงละ 10 จุด เริ่มจากทำความสะอาดพื้นที่จุดเก็บตัวอย่าง โดยการถางหญ้าและกวาดเศษพืชหรือวัสดุผิวดินออก ใช้เลียมขุดหลุมในลักษณะเป็นรูปตัว “V” ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร จากนั้นแฉะดินด้านหนึ่งของหลุมในรูปแบบแผ่นหนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร ตั้งแต่ปากหลุมจนถึงก้นหลุม ดินที่ได้จากกระบวนการนี้ถือเป็นตัวแทนของ 1 จุด ในแต่ละแปลงนา จะเก็บตัวอย่างดินจาก 10 จุดที่กำหนดไว้ และนำดินจากทั้ง 10 จุดมารวมกันในถังพลาสติก ดินที่เก็บได้จาก 10 จุดในแต่ละแปลงจะถูกคลุกเคล้าให้เข้ากัน เพื่อสร้างตัวอย่างดินแบบรวม (composite sample) ซึ่งเป็นตัวแทนของแปลงนั้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562) บันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ของแปลงด้วยระบบระบุพิกัด (GPS) เพื่อระบุตำแหน่งที่ตั้งของแปลงสำหรับการวิเคราะห์และการอ้างอิงในอนาคต ตัวอย่างดินแบบรวมที่ได้จะถูกส่งไปวิเคราะห์สมบัติดินทั้งทางเคมีและทางกายภาพในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยข้าวแพร่

3. การวิเคราะห์สมบัติของดินในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยข้าวแพร่

3.1 การเตรียมตัวอย่างดิน ตัวอย่างดินนำไปตากลมให้แห้ง บดด้วยโกร่ง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2



S1 = high suitability, S2 = moderately suitability, S3 = marginally suitability, N = unsuitability

Fig. 1 Soil sampling locations in paddy fields categorized by land suitability classes in eight provinces of upper northern Thailand

มิลลิเมตร ก่อนการวิเคราะห์

3.2 การวิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพ (soil texture analysis) ใช้วิธีไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer method) ตามหลักการของ Day (1965) ในการแยกส่วนประกอบของดินตามขนาดอนุภาค โดยอาศัยหลักการตกตะกอนของอนุภาคในสารแขวนลอย

3.3 การวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีของดิน ดำเนินการตามวิธีวิเคราะห์มาตรฐานที่กำหนดใน International Harmonized Protocol for Proficiency Testing of (Chemical) Analytical Laboratories (AOAC, 1991) ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบของดินที่สำคัญ ดังนี้

- ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) วิเคราะห์โดยวิธีโมลิบดีนัมบลู (molybdenum blue method) โดยใช้สารละลาย Bray II ในการสกัดดิน วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร

- โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) วิเคราะห์โดยการสกัดดินด้วยสารละลายแอมโมเนียม

อะซีเตต (NH_4OAc) 1N pH 7.0 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปตรวจวัดพลังงานแสงที่ปลดปล่อยจากอะตอมของธาตุโพแทสเซียมในเปลวไฟ ด้วยเครื่อง flame photometer

- ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) วิเคราะห์โดยวิธี Walkley-Black โดยใช้ oxidizing agent โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ที่มากเกินไปเพื่อทำปฏิกิริยาออกซิไดส์อินทรีย์คาร์บอนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยใช้ความร้อนจากกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) จากนั้นทำการไทเทรตปริมาณ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลือด้วย reducing agent ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

- ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) วิเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 และวัดค่าด้วยเครื่อง pH meter

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินคำนวณและรายงานด้วยค่ามัธยฐาน (median) เนื่องจากตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์เป็นดินจากการสำรวจที่มีความแตกต่างของแหล่งที่มา ซึ่งอาจทำให้ค่าเฉลี่ยมากหรือน้อยกว่าค่าที่แท้จริงของข้อมูลในกลุ่มนั้นๆ ค่ามัธยฐานเป็นค่ากลางที่

แบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กันของชุดข้อมูลที่เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก หรือมากไปหาน้อย ดังนั้นค่าแปลกปลอมที่อยู่นอกเหนือค่ากลางจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่ามัธยฐานเป็นค่ากลางที่แบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วนเท่ากัน และมีความทนทานต่อค่าแปลกปลอม (outliers) ทำให้สามารถแทนค่ากลางของข้อมูลได้อย่างแม่นยำ สำหรับการคำนวณช่วง IQR (interquartile range) หาควอไทล์ที่หนึ่ง (Q1) ซึ่งเป็นค่ากลางของครึ่งล่างของข้อมูล (ต่ำกว่าค่า median) แล้วหาควอไทล์ที่สาม (Q3) ซึ่งเป็นค่ากลางของครึ่งบนของข้อมูล (สูงกว่าค่า median) คำนวณ $IQR = Q3 - Q1$ และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis, PCA) ถูกใช้เพื่อสกัดตัวแปรใหม่ที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล โดยมุ่งเน้นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน นอกจากนี้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (Spearman's correlation coefficient, ρ) เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงลำดับระหว่างตัวแปร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (ρ หรือ Spearman's rho) ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน โดยการวิเคราะห์ทั้งหมดดำเนินการด้วยโปรแกรม R-Statistic

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการสำรวจพื้นที่นาในภาคเหนือตอนบนหลังฤดูเก็บเกี่ยวข้าวฤดูนาปี 2563/2564 พบว่า ตัวอย่างดินจากจังหวัดแพร่มีจำนวนมากที่สุดในกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเนื่องจากมีพื้นที่ชั้น S1 ต่อเนื่องกัน ในขณะที่ตัวอย่างในจังหวัดน่าน พบการกระจายตัวที่หลากหลายระหว่าง S1, S2, S3 และ N ซึ่งสะท้อนถึงความหลากหลายของพื้นที่ศึกษาและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ดังกล่าว

1. ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ: เนื้อดิน

ผลการจำแนกเนื้อดินจากตัวอย่างดิน พบว่า เนื้อดินร่วนปนทราย (sandy loam) เป็นเนื้อดินหลักที่พบมากที่สุดในพื้นที่ศึกษาภาคเหนือตอนบน คิดเป็นร้อยละ 43 ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ร้อยละ 25 และดินร่วน (loam) ร้อยละ 18 ของตัวอย่างทั้งหมด (Fig. 2) การพบเนื้อดินร่วนปนทรายเป็นส่วนใหญ่สอดคล้องกับ

ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่นาในภาคเหนือตอนบน ซึ่งมีลักษณะเป็นที่ราบเชิงเขาและพื้นที่ลาดชัน เนื้อดินร่วนปนทรายมีคุณสมบัติเด่นในด้านการระบายน้ำได้ดีและเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของรากพืชในสภาพพื้นที่ที่มีการจัดการน้ำดี อย่างไรก็ตาม เนื้อดินร่วนปนทรายมีข้อจำกัดในเรื่องความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อดินที่มีความละเอียดกว่า เช่น ดินร่วนเหนียวปนทราย ร้อยละ 25 และดินร่วน ร้อยละ 18 ซึ่งสามารถเก็บกักน้ำและธาตุอาหารได้ดีกว่า และมีศักยภาพสูงในการสนับสนุนผลผลิตข้าว

ในทางกลับกัน ดินเหนียว (clay) ร้อยละ 1.5 และดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ร้อยละ 0.4 พบในปริมาณน้อยที่สุดในพื้นที่ศึกษา การพบเนื้อดินละเอียดในปริมาณที่น้อยนี้อาจเกิดจากลักษณะภูมิประเทศที่ลาดชันซึ่งทำให้เกิดการชะล้างหน้าดิน ส่งผลให้ดินละเอียดสูญหายและเหลือแต่เนื้อดินหยาบในพื้นที่บางส่วน อย่างไรก็ตามดินเหนียวถือเป็นดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว ซึ่งการศึกษาของ Jayara และคณะ (2021) รายงานว่า ผลผลิตข้าวเฉลี่ยที่ปลูกในเนื้อดินเหนียวให้ผลผลิตสูงกว่าปลูกในเนื้อดินร่วนปนทรายร้อยละ 46 และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dou และคณะ (2016) ที่พบว่าข้าวที่ปลูกในดินเหนียวมีผลผลิตสูงกว่าดินร่วนปนทรายอย่างมีนัยสำคัญ โดยข้าวที่ปลูกในดินเหนียวมีจำนวนรวงมากกว่าถึงร้อยละ 25 เนื่องจากดินเหนียวมีความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารและความชื้นได้ดีกว่าดินที่มีเนื้อหยาบเนื่องจากมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับธาตุอาหารในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้เนื้อดินเหนียวยังมีประจุลบที่สามารถดูดซับแร่ธาตุสำคัญ เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) โพแทสเซียม (K^+) และฟอสเฟต (H_2PO_4^-) ช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้าง (Kome *et al.*, 2019) และดินเหนียวช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการรักษาความชื้นและสารอินทรีย์ในดิน ทำให้กระบวนการแร่ธาตุอาหารในดินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Chen *et al.*, 2024)

การศึกษาของ Ye และคณะ (2024) รายงานว่า ดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูงจะมีจุลินทรีย์กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับ

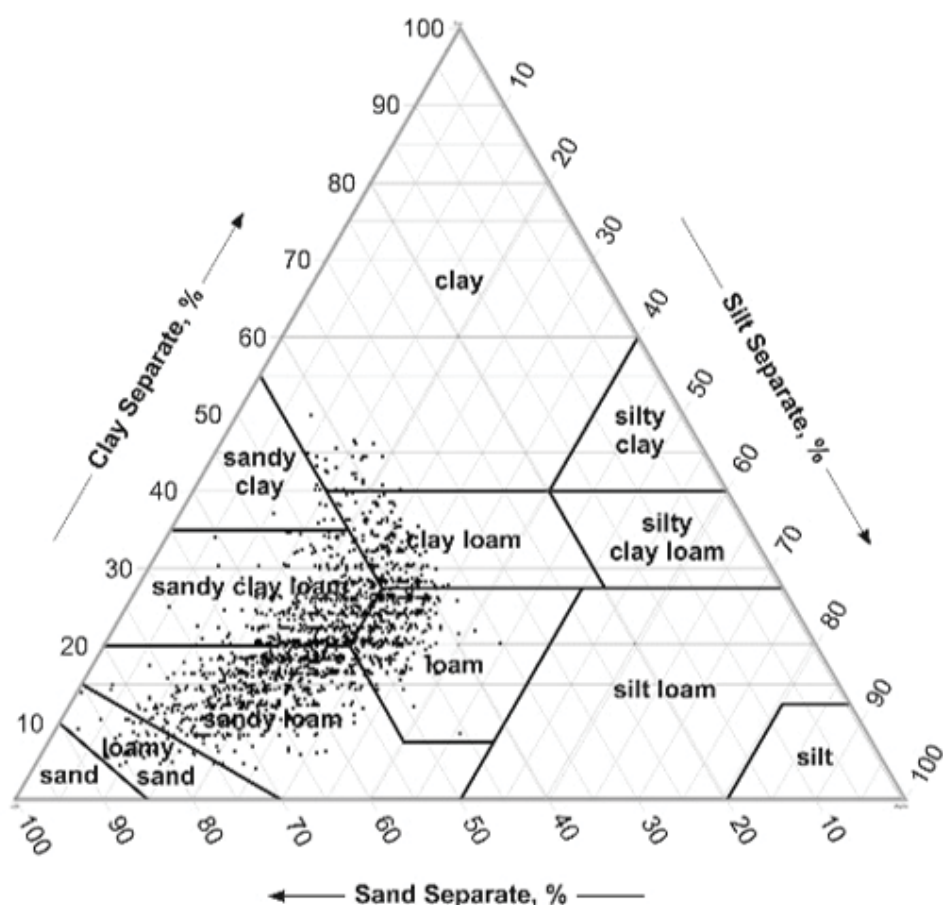


Fig. 2 Classification of soil texture by sand, silt, and clay proportions in paddy field samples

การตรึงไนโตรเจนและการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในระดับที่สูงขึ้น ส่งผลให้มีธาตุอาหารที่พร้อมใช้งานสำหรับข้าวมากขึ้น และดินเหนียวสามารถรักษาความชื้นและความหนาแน่นของดินในระดับที่เหมาะสม ทำให้การแตกกอของข้าวเกิดขึ้นได้ดีขึ้น นอกจากนี้ การสะสมธาตุอาหารในดินเหนียวยังช่วยกระตุ้นการเจริญทำให้ข้าวมีจำนวนกอที่แข็งแรงและสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อผลผลิตที่มากขึ้น

2. การกระจายตัวของเนื้อดินในพื้นที่ขึ้นความเหมาะสมต่อการปลูกข้าวภาคเหนือตอนบน (Fig. 3)

2.1 พื้นที่ S1 (highly suitable, n = 884)

เนื้อดินร่วนปนทรายเป็นเนื้อดินที่พบมากที่สุด จำนวน 310 ตัวอย่าง (ร้อยละ 35) รองลงมาคือดินร่วนเหนียวปนทราย จำนวน 225 ตัวอย่าง (ร้อยละ 25) และดินร่วน จำนวน 176 ตัวอย่าง (ร้อยละ 20) ส่วนเนื้อดินเหนียวและดินเหนียวปนทราย พบในปริมาณน้อยที่สุด (ร้อยละ 2 และ 1 ตามลำดับ) พื้นที่ S1 มีเนื้อดินหลากหลาย

ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว โดยเนื้อดินร่วนปนทรายที่พบมากช่วยในการระบายน้ำที่ดี แต่จำเป็นต้องเสริมการจัดการธาตุอาหารเพิ่มเติม ส่วนดินร่วนและดินร่วนเหนียวปนทรายที่พบรองลงมาช่วยเก็บกักน้ำและธาตุอาหารได้ดี จึงมีศักยภาพสูงในการปลูกข้าวในพื้นที่ดังกล่าว

2.2 พื้นที่ S2 (moderately suitable, n = 494)

เนื้อดินที่พบมากที่สุดในพื้นที่ S2 คือ ดินร่วนปนทราย จำนวน 225 ตัวอย่าง (ร้อยละ 46) รองลงมาคือดินร่วนเหนียวปนทราย จำนวน 141 ตัวอย่าง (ร้อยละ 29) และดินร่วน จำนวน 69 ตัวอย่าง (ร้อยละ 14) ส่วนเนื้อดินเหนียวและดินเหนียวปนทราย พบในปริมาณต่ำที่สุด (ร้อยละ 2 และ 0.2 ตามลำดับ) การที่ดินร่วนปนทรายพบในปริมาณมากที่สุด อาจจำกัดความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในพื้นที่ S2 ซึ่งอาจส่งผลต่อผลผลิตข้าว แต่เนื้อดินร่วนเหนียวปนทรายที่พบรองลงมาเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในดิน

2.3 พื้นที่ S3 (marginally suitable, n = 277)

พื้นที่ S3 ดินร่วนปนทรายพบมากที่สุดจำนวน 154 ตัวอย่าง (ร้อยละ 56) รองลงมาคือดินร่วนเหนียวปนทราย จำนวน 42 ตัวอย่าง (ร้อยละ 15) และดินร่วน จำนวน 55 ตัวอย่าง (ร้อยละ 20) ดินร่วนเหนียวร้อยละ 7 และดินทรายปนร่วน ร้อยละ 2 พื้นที่ S3 มีข้อจำกัดในการปลูกข้าว เนื่องจากเนื้อดินร่วนปนทรายเป็นสัดส่วนใหญ่ที่สุด ซึ่งมีความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการจัดการดิน เช่น การเพิ่มอินทรีย์วัตถุ หรือการปรับปรุงโครงสร้างดินเพื่อเพิ่มความเหมาะสม

2.4 พื้นที่ N (unsuitable, n = 309)

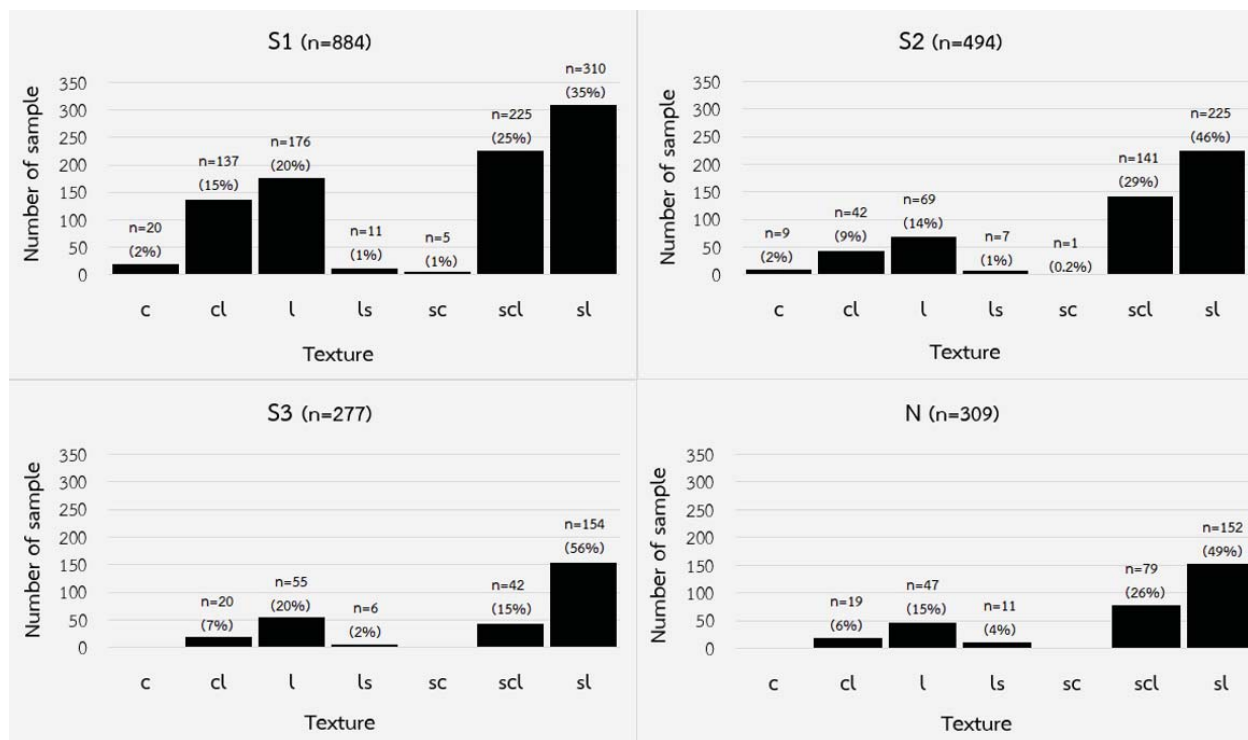
พื้นที่ N ดินร่วนปนทราย พบมากที่สุดจำนวน 152 ตัวอย่าง (ร้อยละ 49) รองลงมา คือ ดินร่วนเหนียวปนทราย จำนวน 79 ตัวอย่าง (ร้อยละ 26) และดินร่วน จำนวน 47 ตัวอย่าง (ร้อยละ 15) ส่วนดินร่วนเหนียวร้อยละ 6 และดินทรายปนร่วนร้อยละ 4 พื้นที่ N มีความไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว เนื่องจากดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายและดินร่วนปนทราย ซึ่งมีข้อจำกัดในการกักเก็บน้ำ

และธาตุอาหารสูง ควรมีการปรับปรุงดินและใช้พืชคลุมดินเพื่อฟื้นฟูปื้นที่

3. สมบัติทางเคมีของดินตามพื้นที่ชั้นความเหมาะสมต่อการปลูกข้าวภาคเหนือตอนบน

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่มีเนื้อดินแตกต่างกัน 7 ประเภทของพื้นที่ภาคเหนือตอนบน พบว่าแต่ละเนื้อดินมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในด้านค่าความเป็นกรด-เบส ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ โดยค่าความเป็นกรด-เบส ของดินมีช่วงค่าตั้งแต่ 4.98-5.62 ซึ่งอยู่ในช่วง กรดอ่อนถึงเป็นกรดปานกลาง โดยดินเหนียวปนทรายมีค่า ความเป็นกรด-เบส ต่ำที่สุด (ค่ามัธยฐาน 4.98 IQR: 4.84-5.02) ขณะที่ดินร่วนมีค่าความเป็นกรด-เบสสูงสุด (ค่ามัธยฐาน 5.62 IQR: 5.07-6.16) ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพในการดูดซับและปลดปล่อยธาตุอาหารที่แตกต่างกันตามเนื้อดิน

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดย ดินเหนียวปนทรายมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง



S1 = high suitability, S2 = moderately suitability, S3 = marginally suitability, N = unsuitability

c = clay, cl = clay loam, l = loam, ls = loamy sand, sc = sandy clay, scl = sandy clay loam, sl = sandy loam

Fig. 3 Distribution of soil textures in paddy fields across land suitability classes (S1, S2, S3, and N) in upper northern Thailand

ที่สุด (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 5.03 IQR: 3.82-5.82) ซึ่งอาจเป็นผลจากอัตราการสะสมอินทรีย์วัตถุที่สูงและการสลายตัวที่ช้ากว่าเนื้อดินอื่น ขณะที่ดินทรายปนดินร่วนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุด (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 1.40 IQR: 1.08-2.11) ซึ่งอาจเกิดจากการชะล้างของสารอินทรีย์ออกจากหน้าดินอย่างรวดเร็ว

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีช่วงค่ากว้าง โดยดินทรายปนร่วน (ค่ามัธยฐาน 18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และดินร่วน (ค่ามัธยฐาน 17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด ขณะที่ดินเหนียวและดินร่วนเหนียว (Clay loam) มีค่าฟอสฟอรัสต่ำสุด (ค่ามัธยฐาน 8-9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งอาจเกิดจากการจับยึดฟอสฟอรัสกับแร่ธาตุในดินทำให้พืชนำไปใช้ได้น้อย

ปริมาณโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้มีความแตกต่างกันอย่างมาก โดยดินเหนียวปนทรายมีโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้สูงสุด (ค่ามัธยฐาน 178 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 145-245) ซึ่งอาจเป็นผลจากโครงสร้างของเนื้อดินที่มีศักยภาพในการยึดจับโพแทสเซียมได้ดี ในขณะที่ดินทรายปนดินร่วนมีโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ต่ำที่สุด (ค่ามัธยฐาน 48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 27-95) ซึ่งอาจเป็นผลจากการชะล้างธาตุอาหารออกจากชั้นดิน (Table 1)

3.1 พื้นที่เหมาะสมมาก (highly suitable, S1 (n = 884))

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเนื้อดินในพื้นที่

S1 พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ และค่าความเป็นกรด-เบส มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างเนื้อดินแต่ละประเภท โดยดินเหนียวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 3.64 IQR: 3.45-4.91) และโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้สูงสุด (ค่ามัธยฐาน 149 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 106-193) แต่มีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำที่สุด (ค่ามัธยฐาน 5.19 IQR: 4.93-5.57) สะท้อนถึงศักยภาพในการกักเก็บธาตุอาหารได้ดีแต่มีความเป็นกรดจัด

ดินทรายปนร่วนมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด (ค่ามัธยฐาน 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 17-75) แต่มีโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ต่ำที่สุด (ค่ามัธยฐาน 26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 17-44) ซึ่งอาจเป็นผลจากการชะล้างแร่ธาตุออกจากดินเนื้อหยาบได้ง่าย

ดินทรายเหนียวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงสุดในกลุ่มตัวอย่าง (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 5.63 IQR: 5.03-6.01) และมีโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้สูงมาก (ค่ามัธยฐาน 229 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 175-261) ซึ่งบ่งชี้ถึงศักยภาพในการกักเก็บธาตุอาหารที่สูงแม้ว่าค่าความเป็นกรด-เบสเป็นกรดจัดมาก (ค่ามัธยฐาน 4.96 IQR: 4.73-5.07)

ดินร่วนปนเหนียวและดินร่วนมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมอยู่ในระดับปานกลาง พร้อมกับค่าความเป็นกรด-เบส เป็นกรดจัดปานกลาง (5.65-5.68) (Table 2)

Table 1 Chemical properties of soils under different texture groups in upper northern Thailand

Texture	pH (1:1 H ₂ O) Median (IQR)	Organic matter (%) Median (IQR)	Available P (mg/kg) Median (IQR)	Exchangeable K (mg/kg) Median (IQR)
Clay	5.14 (4.95-5.70)	3.57 (2.69-4.65)	8 (5-14)	125 (92-179)
Clay loam	5.56 (5.09-6.13)	2.66 (2.20-3.26)	9 (5-14)	92.5 (69-125)
Loam	5.62 (5.07-6.16)	2.33 (1.93-2.70)	17 (9-37)	83 (50-120)
Loamy sand	5.58 (5.10-5.95)	1.40 (1.08-2.11)	18 (7-74.5)	48 (27-95)
Sandy clay	4.98 (4.84-5.02)	5.03 (3.82-5.82)	11 (8-17)	178 (145-245)
Sandy clay loam	5.53 (5.09-6.17)	2.36 (1.83-2.92)	12 (6-24)	82 (53-128)
Sandy loam	5.54 (5.08-6.16)	1.91 (1.43-2.41)	18 (8-41)	74 (43-113)

Median (IQR) represents the median value (interquartile range between the first and third quartiles)

Phrae Rice Research Center Laboratory

Table 2 Chemical properties of soils under different texture groups in S1 suitability class for rice cultivation in upper northern Thailand

Texture	Soil analysis values for S1 suitability class			
	Organic matter	Available P	Exchangeable K	pH
	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(1:1 H ₂ O)
	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)
Clay	3.64 (3.45-4.91)	11 (7-17)	149 (106-193)	5.19 (4.93-5.57)
Clay loam	2.87 (2.34-3.35)	9 (6-12)	99 (72-130)	5.68 (5.18-6.13)
Loam	2.42 (1.99-2.81)	14 (7-28)	75 (50-108)	5.65 (5.14-6.25)
Loamy sand	1.76 (1.26-2.25)	25 (17-75)	26 (17-44)	5.62 (5.35-6.54)
Sandy clay	5.63 (5.03-6.01)	16 (11-17)	229 (175-261)	4.96 (4.73-5.07)
Sandy clay loam	2.48 (1.83-2.99)	10 (6-20)	81 (50-120)	5.53 (5.14-6.07)
Sandy loam	1.86 (1.39-2.45)	16 (8-41)	64 (37-108)	5.68 (5.24-6.22)

Median (IQR) represents the median value (interquartile range between the first and third quartiles)

S1 = high suitability

ผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า เนื้อดินมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติทางเคมีของดิน โดย ดินเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียวและเหนียวปนทราย มีความสามารถในการกักเก็บอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมสูงกว่า แต่มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ เนื่องจากการตรึงฟอสฟอรัสที่สูงขึ้นในทางกลับกัน ดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายปนร่วนและดินร่วนปนทราย มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงแต่มีแนวโน้มสูญเสียโพแทสเซียมได้ง่าย จึงอาจต้องการการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับการปลูกข้าวในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมาก

3.2 พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (moderately suitable, S2 (n = 494))

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเนื้อดินในพื้นที่ S2 พบว่า เนื้อดินมีผลกระทบต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ และค่าความเป็นกรด-เบสของดิน โดยเนื้อดินเหนียวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงสุด (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 2.44 IQR: 1.34-3.20) และมีค่าความเป็นกรด-เบส ระดับกรดจัด (ค่ามัธยฐาน 5.13 IQR: 5.00-5.95) ซึ่งบ่งชี้ว่าดินประเภทนี้มีศักยภาพในการกักเก็บธาตุอาหารได้ดี แต่มีแนวโน้มเป็นกรดมากกว่าดินประเภทอื่น

ดินร่วนและดินร่วนปนทราย มีปริมาณฟอสฟอรัสที่

เป็นประโยชน์สูงกว่าดินเหนียว (ค่ามัธยฐาน 16 และ 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ดีกว่า สำหรับดินทรายปนร่วนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำสุด (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 1.11 IQR: 0.81-1.46) และมีค่าโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ต่ำที่สุด (ค่ามัธยฐาน 44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 33-121) ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อความสามารถของดินในการเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นกรด-เบส ของดินประเภทนี้มีแนวโน้มอยู่ในระดับกรดจัดปานกลาง (ค่ามัธยฐาน 5.79 IQR: 5.32-6.18) ซึ่งอาจส่งผลดีต่อความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารบางชนิด (Table 3) ซึ่งส่งผลต่อความเหมาะสมของดินสำหรับการปลูกข้าว

3.3 พื้นที่เหมาะสมน้อย (marginally suitable, S3 (n = 277))

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเนื้อดินในพื้นที่ S3 พบว่า ดินร่วนปนเหนียวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงสุด (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 2.62 IQR: 2.45-3.21) และมีโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง (ค่ามัธยฐาน 91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 76-139) ขณะที่ดินร่วนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด (ค่ามัธยฐาน 34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 19-60) และมีค่าความเป็น

Table 3 Chemical properties of soils under different texture groups in S2 suitability class for rice cultivation in upper northern Thailand

Texture	Soil analysis values for S2 suitability class			
	Organic matter	Available P	Exchangeable K	pH
	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(1:1 H ₂ O)
	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)
Clay	2.44 (1.34-3.20)	4 (3-5)	92 (77-125)	5.13 (5.00-5.95)
Clay loam	2.40 (1.89-2.71)	6 (4-12)	92 (75-112)	5.24 (4.86-5.94)
Loam	2.22 (1.91-2.68)	16 (9-50)	88 (54-131)	5.31 (4.88-5.88)
Loamy sand	1.11 (0.81-1.46)	5 (4-15)	44 (33-121)	5.79 (5.32-6.18)
Sandy clay loam	2.29 (1.87-2.89)	10 (6-24)	83 (61-125)	5.28 (5.03-6.06)
Sandy loam	1.84 (1.42-2.32)	13 (7-28)	70 (44-103)	5.36 (4.96-5.83)

Median (IQR) represents the median value (interquartile range between the first and third quartiles)

S2 = moderately suitability

กรด-เบส สูงที่สุดในกลุ่มดินที่ศึกษาอยู่ในระดับกรดจัด ปานกลาง (ค่ามัธยฐาน 5.99 IQR: 5.53-6.16) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินเนื้อดินละเอียด

ต่ำที่สุดในกลุ่มตัวอย่าง (ค่ามัธยฐาน 5.00 IQR: 4.91-5.43) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดของดินเนื้อหยาบในการกักเก็บธาตุอาหารและรักษาความเป็นกลางของค่าความเป็นกรด-เบส

ดินทรายปนร่วนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุด (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 1.27 IQR: 1.09-1.63) และมีโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ต่ำที่สุด (ค่ามัธยฐาน 51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 38-59) รวมถึงมีค่าความเป็นกรด-เบส

ดินร่วนเหนียวปนทรายและดินร่วนปนทราย พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง (ค่ามัธยฐาน 31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมีโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ในช่วงปานกลางถึงสูง (ค่ามัธยฐาน 114 และ 82 มิลลิกรัม

Table 4 Chemical properties of soils under different texture groups in S3 suitability class for rice cultivation in upper northern Thailand

Texture	Soil analysis values for S3 suitability class			
	Organic matter	Available P	Exchangeable K	pH
	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(1:1 H ₂ O)
	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)
Clay loam	2.62 (2.45-3.21)	17 (7-40)	91 (76-139)	5.71 (5.40-6.21)
Loam	2.16 (1.83-2.64)	34 (19-60)	100 (61-139)	5.99 (5.53-6.16)
Loamy sand	1.27 (1.09-1.63)	8 (4-16)	51 (38-59)	5.00 (4.91-5.43)
Sandy clay loam	2.33 (1.86-2.77)	31 (17-82)	114 (55-176)	5.72 (5.34-6.37)
Sandy loam	2.02 (1.58-2.57)	31 (17-70)	82 (50-150)	5.43 (4.91-6.18)

Median (IQR) represents the median value (interquartile range between the first and third quartiles)

S3 = marginally suitability

Table 5 Chemical properties of soils under different texture groups in N suitability class for rice cultivation in upper northern Thailand

Texture	Soil analysis values for N suitability class			
	Organic matter	Available P	Exchangeable K	pH
	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(1:1 H ₂ O)
	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)
Clay loam	2.48 (2.06-2.81)	8 (5-22)	66 (45-107)	5.44 (4.77-6.08)
Loam	2.24 (1.90-2.61)	27 (9-48)	73 (48-136)	5.48 (5.00-5.88)
Loamy sand	1.91 (1.17-2.15)	32 (9-343)	94 (62-101)	5.65 (5.38-5.87)
Sandy clay loam	2.26 (1.71-2.83)	13 (5-23)	80 (52-122)	5.65 (5.04-6.21)
Sandy loam	2.00 (1.43-2.42)	21 (10-46)	81 (50-112)	5.74 (5.16-6.26)

Median (IQR) represents the median value (interquartile range between the first and third quartiles)

N = unsuitability

ต่อกิโกรัม ตามลำดับ) ซึ่งแสดงถึงศักยภาพในการให้ธาตุอาหารพืชที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินเนื้อดินหยาบ (Table 4)

ผลการศึกษาค้นคว้านี้แสดงให้เห็นว่า ดินทรายปนร่วนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ต่ำที่สุด ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดสำคัญในการใช้ดินประเภทนี้เพื่อการเพาะปลูกข้าว นอกจากนี้ ค่าความเป็นกรด-เบส ของดินส่วนใหญ่อยู่ในช่วงเป็นกรดจัดถึงกรดจัดปานกลางซึ่งอาจมีผลต่อการปลดปล่อยและการดูดซับธาตุอาหารของพืช

3.4 พื้นที่ไม่เหมาะสม (unsuitable, N (n = 309))

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเนื้อดินในพื้นที่ N พบว่า ดินร่วนปนเหนียวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 2.48 IQR: 2.06-2.81) และมีโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ต่ำที่สุดในกลุ่มตัวอย่าง (ค่ามัธยฐาน 66 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม IQR: 45-107) สะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดในการเป็นแหล่งธาตุอาหารของดินประเภทนี้

ดินร่วนมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าดินร่วนปนเหนียว (ค่ามัธยฐาน 27 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม IQR: 9-48) และมีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน (ค่ามัธยฐาน 5.48 IQR: 5.00-5.88) ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในระดับกรดจัดถึงกรดจัดปานกลาง

ดินทรายปนร่วนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด (ค่ามัธยฐาน 32 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม IQR: 9-343)

และโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้สูงกว่าดินร่วน (ค่ามัธยฐาน 94 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม IQR: 62-101) แต่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ต่ำที่สุด (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 1.91 IQR: 1.17-2.15) ซึ่งอาจสะท้อนถึงอัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุที่สูงและความสามารถในการเก็บรักษาสารอาหารต่ำ

ดินร่วนเหนียวปนทรายมีค่ามัธยฐาน 13 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม และดินร่วนปนทรายมีค่ามัธยฐาน 21 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง และมีค่าโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ในช่วงปานกลาง (80-81 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม) อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นกรด-เบส ของดินกลุ่มนี้อยู่ในช่วงกว้าง (5.04-6.26) ซึ่งอาจสะท้อนถึงลักษณะของดินที่มีความแปรปรวนทางเคมีสูง (Table 5)

ผลการศึกษาค้นคว้านี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุงดินด้วยการเพิ่มอินทรีย์วัตถุ ปรับสมดุลของธาตุอาหาร และจัดการค่า pH เพื่อให้ดินสามารถใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยจำแนกตามชั้นความเหมาะสมของดินสำหรับการปลูกข้าว พบว่า ดินในแต่ละชั้นความเหมาะสมมีความแตกต่างกันในด้านปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ และค่าความเป็นกรด-เบสของดิน ดังนี้

3.5 พื้นที่ชั้นความเหมาะสมมาก (S1) เป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมากสำหรับการปลูกข้าว มีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าพื้นที่ S2 และ N (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 2.34 IQR: 1.76-2.92) แสดงถึงศักยภาพของดินในการรักษาความอุดมสมบูรณ์และการกักเก็บธาตุอาหาร นอกจากนี้ ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับ 12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (IQR: 7-23) จัดอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ S3 และ N ส่วนโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วง 81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (IQR: 47-120) จัดอยู่ในระดับใกล้เคียงกับพื้นที่ S2 และ S3 สำหรับดินในพื้นที่นี้มีค่าความเป็นกรด-เบส 5.61 (IQR: 5.16-6.17) ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการดูดซับธาตุอาหารของข้าว (Table 6)

3.6 พื้นที่ชั้นความเหมาะสมปานกลาง (S2) มีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 2.05 IQR: 1.59-2.58) ต่ำกว่าพื้นที่ S1 เล็กน้อย สะท้อนให้เห็นถึงการลดลงของศักยภาพดินในการกักเก็บอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ที่ 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (IQR: 6-26) ซึ่งอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับพื้นที่ S3 และ N โพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้มีค่าคล้ายกับพื้นที่ S1 (80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 52-113) ส่วนค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 5.31 (IQR: 4.97-5.95) ซึ่งต่ำกว่าพื้นที่ S1 และอาจเริ่มส่งผลต่อการละลายของธาตุอาหารบางชนิด (Table 6)

3.7 พื้นที่ชั้นความเหมาะสมน้อย (S3) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับใกล้เคียงกับพื้นที่ S2 และ N (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 2.18 IQR: 1.68-2.68) อย่างไรก็ตาม พบว่า ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าทุกพื้นที่ (ค่ามัธยฐาน 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 15-66) ซึ่งอาจสะท้อนถึงลักษณะทางเคมีของดินที่มีแนวโน้มช่วยให้ฟอสฟอรัสละลายออกมาในปริมาณสูง โพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้สูงกว่าพื้นที่อื่น (ค่ามัธยฐาน 88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 52-143) ดินในกลุ่มนี้มีค่าความเป็นกรด-เบส 5.61 (IQR: 5.05-6.24) จัดอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว (Table 6)

3.8 พื้นที่ที่ไม่เหมาะสม (N) ไม่มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ค่ามัธยฐาน ร้อยละ 2.12 IQR: 1.57-2.58) ซึ่งใกล้เคียงกับพื้นที่ S2

และ S3 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ที่ 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (IQR: 7-40) จัดอยู่ในระดับสูงกว่าพื้นที่ S1 และ S2 แต่ต่ำกว่าพื้นที่ S3 โพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ใกล้เคียงกับพื้นที่อื่น (ค่ามัธยฐาน 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม IQR: 48-115) ค่าความเป็นกรด-เบส 5.64 (IQR: 5.08-6.17) จัดอยู่ในช่วงที่เป็นกรดอ่อนถึงเป็นกลาง (Table 6)

ผลการวิเคราะห์ดินในพื้นที่ปลูกข้าวของ 8 จังหวัดในภาคเหนือตอนบน พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นความเหมาะสม S1 และ S2 มีค่าสูง ซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพในการกักเก็บธาตุอาหารของดิน ทำให้สามารถสนับสนุนการเจริญเติบโตของข้าวได้ดี อย่างไรก็ตาม มีบางพื้นที่ในชั้น S3 และ N ที่พบค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงผิดปกติ เช่น จังหวัดเชียงใหม่ (S3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ร้อยละ 2.92 และจังหวัดเชียงราย (N) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ร้อยละ 3.06 ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมของอินทรีย์วัตถุจากกระบวนการทางดินหรือผลกระทบจากการใช้วัสดุอินทรีย์สะสมมาก่อนในทางตรงกันข้าม จังหวัดพะเยา (S1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ร้อยละ 1.65 และจังหวัดลำพูน (S1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ร้อยละ 1.69 มีอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุด ซึ่งอาจจำกัดความสามารถของดินในการกักเก็บธาตุอาหารและความชื้น จึงควรปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์และโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น

สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบว่า พื้นที่ S3 มีค่าฟอสฟอรัสสูงกว่าชั้นอื่นโดยเฉพาะในจังหวัดลำพูน (154 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และจังหวัดเชียงใหม่ (112 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใน S2) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากลักษณะของดินที่มีการสะสมธาตุฟอสฟอรัสมากขึ้น ในขณะที่ ดินในชั้น S1 และ N มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ เช่น จังหวัดเชียงราย (S1) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พื้นที่ N มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจังหวัดน่าน (S1) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอาจส่งผลให้ข้าวขาดฟอสฟอรัสและมีการเจริญเติบโตที่ช้าลง ดังนั้น ควรมีการเสริมปุ๋ยฟอสฟอรัสในพื้นที่เหล่านี้ เพื่อให้ข้าวสามารถใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารได้เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต

โพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ (เป็นอีกหนึ่งธาตุอาหาร

Table 6 Chemical properties of soils with different suitability class, upper northern Thailand

Soil properties	S1 (n=884) Median (IQR)	S2 (n=494) Median (IQR)	S3 (n=277) Median (IQR)	N (n=309) Median (IQR)
Organic matter (%)	2.34 (1.76-2.92)	2.05 (1.59-2.58)	2.18 (1.68-2.68)	2.12 (1.57-2.58)
Available P (mg/kg)	12 (7-23)	11 (6-26)	30 (15-66)	16 (7-40)
Exchangeable K (mg/kg)	81 (47-120)	80 (52-113)	88 (52-143)	80 (48-115)
pH (1:1 H ₂ O)	5.61 (5.16-6.17)	5.31 (4.97-5.95)	5.61 (5.05-6.24)	5.64 (5.08-6.17)

Median (IQR) represents the median value (interquartile range between the first and third quartiles). S1 = high suitability, S2 = moderately suitability, S3 = marginally suitability, N = unsuitability

ที่มีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของข้าว) โดยจังหวัดลำพูน (S2) พบโพแทสเซียมสูงสุด 242 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจังหวัดแม่ฮ่องสอน (S1) 193 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแสดงถึงศักยภาพของดินในการให้ธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตามจังหวัดน่าน (S1 และ S3) พบโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และจังหวัดพะเยา (S1 และ N) พบโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ 27 และ 65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จัดว่าเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำ ซึ่งอาจส่งผลให้ข้าวขาดธาตุอาหาร ส่งผลต่อการพัฒนาเมล็ดข้าวและอาจลดผลผลิตได้ ดังนั้น ควรใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ในพื้นที่ที่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำเหล่านี้ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินและช่วยให้ข้าวมีการพัฒนาผลผลิตที่ดีขึ้น

ในส่วนของค่าความเป็นกรด-เบสของดิน พบว่า ดินส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 4.97-6.45 ซึ่งถือว่าเป็นช่วงความเป็นกรดจัดมาก ถึงกรดเล็กน้อยซึ่งเหมาะสมกับการปลูกข้าว อย่างไรก็ตาม จังหวัดลำปาง (S3) ค่าความเป็นกรด-เบส 4.88 และจังหวัดเชียงราย (S2) ค่าความเป็นกรด-เบส 4.97 มีค่าความเป็นกรดจัดมากสูงที่สุด ซึ่งอาจส่งผลต่อการละลายและการดูดซึมธาตุอาหารบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม ดังนั้น ควรมีการใช้ปูนขาวหรือวัสดุปรับปรุงดินในพื้นที่เหล่านี้ เพื่อช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรด-เบส และทำให้ธาตุอาหารพร้อมให้พืชนำไปใช้ได้มากขึ้น ในขณะที่ ดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบสสูงที่สุด ได้แก่ จังหวัดลำพูน (N) ค่าความเป็นกรด-เบส 6.45 และจังหวัดแพร่ (S1) ค่าความ

เป็นกรด-เบส 6.08 ดินมีค่าความเป็นกรด-เบสสูงที่สุด ซึ่งอยู่ในช่วงเป็นกรดเล็กน้อยเหมาะต่อการปลูกข้าวมากกว่าพื้นที่อื่นๆ

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ดิน พิจารณาจากค่าวิเคราะห์ดินตามแนวทางของกรมการข้าว (2552) มีคำแนะนำการใช้ปุ๋ยในแต่ละชั้นความเหมาะสม ดังนี้

พื้นที่ S1 แนะนำปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ เสริมด้วย 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อเพิ่มการแตกกอพื้นที่ที่มีฟอสฟอรัสต่ำ (เชียงรายและน่าน) ควรเสริมปุ๋ยสูตร 18-46-0 สำหรับพื้นที่ที่มีโพแทสเซียมต่ำ เช่น จังหวัดพะเยาและน่าน ควรใช้ปุ๋ยสูตร 0-0-60 เพื่อเพิ่มคุณภาพเมล็ดข้าว

พื้นที่ S2 แนะนำปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ เสริมด้วยปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับพื้นที่ที่มีความเป็นกรดสูง เช่น จังหวัดเชียงรายและลำปาง ควรใช้ปูนขาวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมธาตุอาหาร

พื้นที่ S3 แนะนำปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ เสริมด้วยสูตร 0-0-60 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อเพิ่มโพแทสเซียม สำหรับพื้นที่ที่มีฟอสฟอรัสสูง เช่น จังหวัดลำพูน และจังหวัดเชียงใหม่ ควรปรับลดการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพื่อป้องกันการสะสมเกินไป

พื้นที่ N ควรเน้นการปรับปรุงดินโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 500 กิโลกรัมต่อไร่ และเสริมด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 18-46-0 อัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 0-0-60 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

Table 7 Soil analysis by suitability class for rice in eight provinces of upper northern Thailand with fertilizer recommendations based on soil analysis by the Rice Department (2009)

Province	Suitability class	Soil analysis			Recommended fertilizer rate (kg/rai)	Fertilizer application recommendations
		Organic matter (%)	Available P (mg kg ⁻¹)	Exchangeable K (mg kg ⁻¹)		
Chiang Mai	S1	2.85 (2.12-3.65)	19 (10-47)	106 (63-156)	6-0-0	Apply 46-0-0 at 5 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 4 kg/rai in the second and third applications
	S2	2.70 (2.05-2.91)	112 (77-242)	121 (102-146)	6-0-0	
	S3	2.92 (2.35-4.02)	32 (17-102)	120 (73-182)	6-0-0	
	N	2.93 (2.02-3.53)	59 (19-115)	104 (66-141)	6-0-0	
Chiang Rai	S1	2.63 (2.09-3.18)	11 (7-17)	82 (54-115)	6-0-0	
	S2	2.42 (1.91-2.95)	10 (8-13)	92 (54-114)	6-0-0	
	N	3.06 (2.74-3.56)	10 (8-16)	90 (60-121)	6-0-0	
Phrae	S1	2.20 (1.78-2.68)	10 (5-19)	78 (54-103)	6-3-3	Apply 16-20-0 at 15 kg/rai and 60-0-0 at 5 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 5 kg/rai and 4 kg/rai in the second and third applications, respectively
	S2	2.11 (1.35-2.59)	8 (4-23)	74 (47-97)	6-3-3	
Lampang	S3	1.94 (1.49-2.44)	32 (20-54)	107 (83-144)	12-0-0	Apply 46-0-0 at 9 kg/rai initially, then repeat at 9 kg/rai in the second and third applications
	N	2.01 (1.52-2.42)	14 (5-34)	87 (55-107)	12-0-0	
	S1	1.98 (1.47-2.57)	11 (7-22)	93 (49-145)	12-0-0	
	S2	1.83 (1.40-2.44)	9 (5-13)	92 (55-138)	12-3-0	
	S3	2.33 (1.93-2.83)	23 (12-63)	99 (59-158)	6-0-0	Apply 46-0-0 at 5 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 4 kg/rai in the second and third applications
	N	2.14 (1.43-2.62)	11 (6-34)	96 (52-164)	6-0-0	

Table 7 (cont.)

Province	Suitability class	Soil analysis		Recommended fertilizer rate (kg/rai)	Fertilizer application recommendations
		Organic matter (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)	
Phayao	S1	1.65 (1.18-2.12)	8 (6-13)	27 (20-36)	Apply 16-20-0 at 15 kg/rai, 46-0-0 at 4 kg/rai, and 0-0-60 at 10 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 9 kg/rai in the second and third applications
	S2	1.92 (1.53-2.47)	7 (4-15)	77 (53-110)	Apply 16-20-0 at 15 kg/rai, 46-0-0 at 4 kg/rai, and 0-0-60 at 5 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 9 kg/rai in the second and third applications
	N	1.93 (1.44-2.32)	14 (6-27)	65 (52-95)	Apply 46-0-0 at 9 kg/rai and 0-0-60 at 5 kg/rai initially, then repeat 46-0-0 at 9 kg/rai in the second and third applications
Lamphun	S1	1.69 (1.11-2.31)	25 (14-75)	95 (86-131)	Apply 46-0-0 at 9 kg/rai initially, then repeat at 9 kg/rai in the second and third applications
	S2	2.16 (1.95-2.32)	43 (32-63)	242 (232-351)	Apply 46-0-0 at 5 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 4 kg/rai in the second and third applications
	S3	1.91 (1.69-2.13)	154 (89-378)	204 (179-209)	Apply 46-0-0 at 9 kg/rai initially, then repeat at 9 kg/rai in the second and third applications
	N	2.16 (2.11-2.22)	48 (44-53)	116 (113-118)	Apply 46-0-0 at 5 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 4 kg/rai in the second and third applications

Table 7 (cont.)

Province	Suitability class	Soil analysis			Recommended fertilizer rate (kg/rai)	Fertilizer application recommendations
		Organic matter (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)		
Nan	S1	2.15 (1.68-2.63)	10 (6-28)	40 (29-57)	6-3-6	Apply 16-20-0 at 15 kg/rai and 60-0-0 at 10 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 5 kg/rai and 4 kg/rai in the second and third applications, respectively
	S2	1.93 (1.51-2.14)	16 (8-67)	56 (42-74)	12-0-6	Apply 46-0-0 at 9 kg/rai and 0-0-60 at 10 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 9 kg/rai in the second and third applications
	S3	1.84 (1.63-2.24)	27 (17-55)	41 (29-59)	12-0-6	
	N	1.98 (1.47-2.31)	16 (10-41)	61 (39-98)	12-0-3	Apply 46-0-0 at 9 kg/rai and 0-0-60 at 5 kg/rai initially, then repeat 46-0-0 at 9 kg/rai in the second and third applications
Mae Hong Son	S1	2.39 (2.31-2.43)	85 (82-88)	193 (179-198)	6-0-0	Apply 46-0-0 at 5 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 4 kg/rai in the second and third applications
	S2	2.29 (1.91-2.89)	23 (16-30)	88 (68-127)	6-0-0	
	S3	2.13 (1.67-2.68)	14 (8-71)	80 (56-140)	6-0-3	Apply 46-0-0 at 5 kg/rai and 60-0-0 at 5 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 4 kg/rai in the second and third applications, respectively
	N	2.59 (1.80-2.92)	27 (18-68)	112 (75-169)	6-0-0	Apply 46-0-0 at 5 kg/rai initially, followed by 46-0-0 at 4 kg/rai in the second and third applications

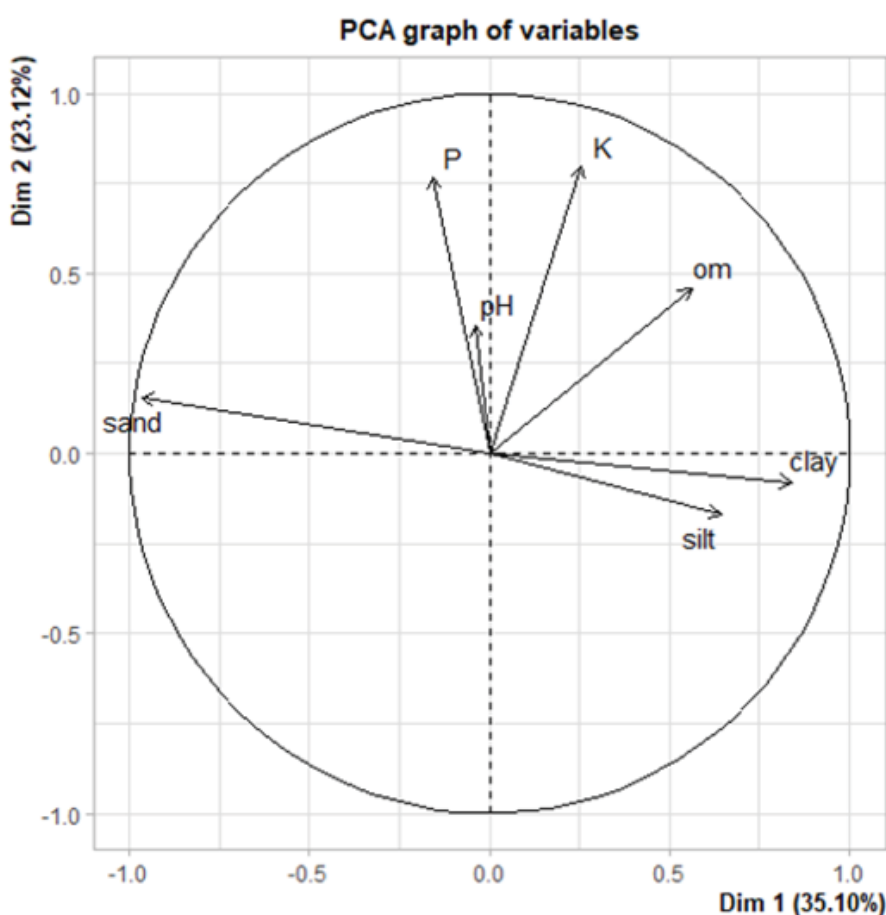
S1 = high suitability, S2 = moderately suitability, S3 = marginally suitability, N = unsuitability

4. ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในภาคเหนือตอนบน

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในภาคเหนือตอนบน โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis, PCA) (Fig. 4)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis, PCA) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน โดยแกนที่ 1 (Dim1) อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 35.10 ซึ่งเกี่ยวข้องกับเนื้อดิน ตัวแปรที่สัมพันธ์สูงกับ Dim1 ได้แก่ หาย (sand) ในทิศทางลบ และดินเหนียว (clay) และดินทรายแป้ง (silt) ในทิศทางบวก แสดงถึงการเปรียบเทียบระหว่างดินที่มีปริมาณทรายสูงและดินที่มีปริมาณดินเหนียวและดินทรายแป้งสูง แกนที่ 2 (Dim2)

อธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 23.12 ซึ่งเกี่ยวข้องกับสมบัติทางเคมีของดิน ตัวแปรที่สัมพันธ์สูงกับ Dim2 ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) และอินทรีย์วัตถุ (organic matter) โดยมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวก ซึ่งชี้ให้เห็นว่าดินที่มีฟอสฟอรัสสูงมักมีโพแทสเซียมและอินทรีย์วัตถุในระดับสูงเช่นกัน ดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบส สูง มีแนวโน้มที่จะมีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในระดับเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hossain และคณะ (2014) ระบุว่า การเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสามารถช่วยเพิ่มระดับโพแทสเซียมได้ การสะสมอินทรีย์วัตถุในดินนา โดยดินนาส่วนใหญ่มีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินสูง อันเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือการทิ้งตอซังและฟางข้าวไว้ในแปลงนา และการขังน้ำในการทำนาทำให้เกิดการ



P = available P, K = exchangeable potassium, om = organic matter

Fig. 4 Principal component analysis (PCA) of soil properties of soil physical and chemical properties in upper northern Thailand

Table 8 Correlations coefficient between soil particle fractions and soil chemical properties in paddy soil of upper northern Thailand during wet season, 2020

Type	pH (1:1 H ₂ O)	Organic matter (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)
Sand (n=1,964)	0.02	-0.36*	0.16*	-0.17*
Silt (n=1,964)	0.03	0.11*	0.04	0.03
Clay (n=1,964)	-0.04	0.41*	-0.24*	0.19*

*P-value<0.05

สะสมของอินทรีย์วัตถุในดินนา ซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางเคมีของดิน อย่างไรก็ตาม การเผาฟางข้าวซึ่งทำให้เกิดจากการเผาในแปลงนาจะเปลี่ยนโครงสร้างของอินทรีย์วัตถุที่สลายตัวง่าย เช่น คาร์โบไฮเดรต หรือกรดอะมิโน ไปเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนมากขึ้น (Almendros *et al.*, 2003) การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่เพียงแต่ลดปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน แต่ยังส่งผลให้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมลดลงด้วย ผลการวิเคราะห์ยังพบว่า ทราย (sand) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับดินเหนียว (clay) และดินทรายแป้ง (silt) บ่งชี้ว่า ดินที่มีปริมาณทรายสูง มักมีปริมาณดินเหนียวและดินทรายแป้งต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของดินที่แตกต่างกัน

ข้อมูลจาก PCA แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของทั้งสมบัติทางกายภาพ (เนื้อดิน) และสมบัติทางเคมี (ธาตุอาหารและค่าความเป็นกรด-เบส) โดยเฉพาะในแง่ของการเพิ่มฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม อย่างไรก็ตาม การเผาฟางข้าวควรถูกลดหรือหลีกเลี่ยง เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเป็นการทำลายอินทรีย์วัตถุและลดความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว การบริหารจัดการอินทรีย์วัตถุในดินอย่างเหมาะสม เช่น การหมักฟางข้าวหรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ควรได้รับการส่งเสริมเพื่อคงไว้ซึ่งสมบัติที่ดีของดิน

4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในภาคเหนือตอนบนโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสเปียร์แมน (Spearman's Correlation) (Table 8)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคดิน (ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว) กับสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-เบส อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยใช้

Spearman's correlation พบความสัมพันธ์ที่น่าสนใจดังนี้ เนื้อดินประเภททราย มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($R = -0.36^*$) กับอินทรีย์วัตถุ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า เมื่อปริมาณทรายในดินเพิ่มขึ้น ปริมาณอินทรีย์วัตถุจะลดลง อันเนื่องมาจากการระบายอากาศและน้ำที่ดีในดิน ทราย ทำให้อินทรีย์วัตถุไม่สามารถสะสมในดินได้

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีความสัมพันธ์เชิงบวกเล็กน้อย ($R = 0.16^*$) ซึ่งบ่งบอกว่าดินที่มีทรายมากขึ้นจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากขึ้นเล็กน้อย

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีความสัมพันธ์เชิงลบเล็กน้อย ($R = -0.17^*$) ซึ่งบ่งชี้ว่าดินทรายมักมีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ

เนื้อดินประเภททรายแป้ง มีความสัมพันธ์เชิงบวกเล็กน้อยแต่มีนัยสำคัญกับอินทรีย์วัตถุ ($R = 0.11^*$) แสดงว่าดินทรายแป้งมีแนวโน้มที่จะสะสมอินทรีย์วัตถุได้มากขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับดินทราย

เนื้อดินประเภทดินเหนียว มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างชัดเจนและมีนัยสำคัญกับอินทรีย์วัตถุ ($R = 0.41^*$) ซึ่งบ่งบอกว่าดินเหนียวมีแนวโน้มที่จะสะสมอินทรีย์วัตถุได้สูง เนื่องจากโครงสร้างของดินเหนียวมีการอุ้มน้ำและธาตุอาหารได้ดีกว่าดินชนิดอื่น ทำให้อินทรีย์วัตถุสะสมได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีความสัมพันธ์เชิงลบ ($R = -0.24^*$) ซึ่งบ่งบอกว่าดินเหนียวมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในระดับที่ต่ำกว่า ทั้งนี้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีความสัมพันธ์เชิงบวกและมีนัยสำคัญ ($R = 0.19^*$) (Table 8) ซึ่งแสดงว่าดินเหนียวมักมีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง เนื่องจากโครงสร้างของดินเหนียวช่วยในการกักเก็บธาตุอาหารได้ดี สอดคล้องกับการศึกษาของ Niederberger และคณะ (2019) ที่พบว่าในดิน

เหนียวซึ่งมีความสามารถในการจับฟอสฟอรัสมากกว่า มักพบฟอสฟอรัสที่ไม่พร้อมใช้ (stable P) มากขึ้น สารประกอบฟอสฟอรัสในดินเหนียวจะจับตัวกับแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม เหล็ก เป็นต้น ทำให้ฟอสฟอรัสในดินเหนียวไม่สามารถปลดปล่อยออกมาให้พืชใช้ได้ง่าย ดังนั้น ดินเหนียวจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่พร้อมใช้ได้น้อยกว่า แต่มีความสามารถในการเก็บกักฟอสฟอรัสในระยะยาว และคาร์บอนอินทรีย์ (SOC)

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าดินแต่ละประเภทมีลักษณะเฉพาะในการสะสมอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งอาจส่งผลต่อความเหมาะสมของดินสำหรับการเกษตรกรรมในพื้นที่ต่างๆ

จากผลการศึกษาครั้งนี้ ได้ข้อเสนอแนะในการจัดการดินทรายและทรายแป้ง ควรเพิ่มอินทรีย์วัตถุและปรับปรุงธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม เพื่อเพิ่มศักยภาพในการเพาะปลูก สำหรับดินเหนียวควรมีการปรับปรุงด้วยปุ๋ยฟอสเฟตเพื่อเพิ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีจัดการดินเพื่อรักษาสสมบัติทางกายภาพและเคมีในระยะยาว

สรุปผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินนาใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน พบว่า คุณสมบัติของดินแตกต่างกันตามชั้นความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกข้าว (S1, S2, S3 และ N) ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารและศักยภาพในการปลูกข้าว การจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญในการลดข้อจำกัดของดินและเพิ่มผลผลิตข้าว

พื้นที่เหมาะสมมาก (S1) ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ในระดับปานกลาง ขณะที่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ค่าความเป็นกรด-เบส อยู่ในช่วงกรดอ่อนถึงปานกลาง ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว อย่างไรก็ตาม ควรมีการเสริมฟอสฟอรัสในบางพื้นที่ที่มีค่าต่ำ โดยแนะนำให้ใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งแรก ตามด้วยสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งที่สองและสาม สำหรับพื้นที่ S1 ในจังหวัดแพร่และพะเยา ควรใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยสูตร 60-0-0 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งแรก ตามด้วยสูตร

46-0-0 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ และอัตรา 4 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งที่สองและสาม

พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (S2) ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสต่ำกว่าพื้นที่ S1 และค่าความเป็นกรด-เบส ค่อนข้างเป็นกรด ซึ่งอาจจำกัดการดูดซึมธาตุอาหารของพืช จำเป็นต้องเสริมปุ๋ยไนโตรเจนและปรับค่าความเป็นกรด-เบส โดยแนะนำให้ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งแรก ตามด้วยสูตร 46-0-0 อัตรา 9 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งที่สองและสาม สำหรับพื้นที่ S2 ในจังหวัดพะเยา ควรใช้สูตร 16-20-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ สูตร 46-0-0 อัตรา 4 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 0-0-60 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งแรก ตามด้วยสูตร 46-0-0 อัตรา 9 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งที่สองและสาม ส่วนพื้นที่ S2 ในจังหวัดน่าน ควรใช้สูตร 46-0-0 อัตรา 9 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 0-0-60 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งแรก และสูตร 46-0-0 อัตรา 9 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งที่สองและสาม

พื้นที่เหมาะสมน้อย (S3) มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด แต่มีข้อจำกัดในการกักเก็บธาตุอาหาร จำเป็นต้องมีการจัดการปุ๋ยเพื่อลดการสูญเสียธาตุอาหาร โดยแนะนำให้ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งแรก ตามด้วยสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งที่สองและสาม สำหรับพื้นที่ S3 ในจังหวัดแพร่และลำพูน ควรใช้สูตร 46-0-0 อัตรา 9 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งแรก และใส่ซ้ำสูตร 46-0-0 อัตรา 9 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งที่สองและสาม ส่วนพื้นที่ S3 ในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ควรใช้สูตร 46-0-0 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 0-0-60 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งแรก ตามด้วยสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งที่สองและสาม

พื้นที่ไม่เหมาะสม (N) มีการกระจายตัวของค่าธาตุอาหารที่หลากหลาย บางพื้นที่มีค่าธาตุอาหารสูงหรือต่ำผิดปกติ ควรเน้นการปรับปรุงดินและเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ โดยแนะนำให้ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 9 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 0-0-60 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งแรก และใส่ซ้ำสูตร 46-0-0 อัตรา 9 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งที่สองและสาม สำหรับพื้นที่ N ในจังหวัดลำพูน ควรใช้สูตร 46-0-0 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ในครั้งแรก ตามด้วยสูตร 46-0-0 อัตรา 4 กิโลกรัมต่อไร่ ใน

ครั้งที่สองและสาม

การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร ลดต้นทุน และป้องกันการสะสมธาตุอาหารที่ไม่จำเป็น โดยพื้นที่ที่มีฟอสฟอรัสสะสมสูง (S3) ควรลดปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตเพื่อลดความเสี่ยงของการสะสมเกิน ในขณะที่พื้นที่ที่มีโพแทสเซียมต่ำ (เช่น จังหวัดพะเยา น่าน เป็นต้น) ควรเสริมปุ๋ยเคมีสูตร 0-0-60 เพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิต และพื้นที่ที่มีค่าความเป็นกรด-เบส เป็นกรดจัดมาก เช่น จังหวัดเชียงราย และลำปาง ควรใช้ปูนขาวเพื่อปรับสมดุลความเป็นกรด-เบสของดิน แนวทางการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมนี้จะช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวเหนียวอย่างยั่งยืนในภาคเหนือตอนบนได้

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณผู้บริหารกรมการข้าวที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้จนได้รับงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม รวมถึงเจ้าหน้าที่และเพื่อนร่วมงานจากกลุ่มศูนย์วิจัยและพัฒนาข้าวภาคเหนือตอนบน ที่ให้ความร่วมมือและคำปรึกษาอย่างดียิ่ง นอกจากนี้ ขอขอบคุณเกษตรกรในพื้นที่และผู้ให้ข้อมูลภาคสนามที่สละเวลาอันมีค่าในการสนับสนุนการเก็บข้อมูล ตลอดจนผู้สนับสนุนทุกท่านที่มีส่วนช่วยในทุกขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2552. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน. สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 90 หน้า.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2562. คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 102 หน้า.

ทศนัศร์ รัตนแก้ว. 2567. การใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อศึกษาสมบัติบางประการของดินในพื้นที่เสี่ยงการเป็นดินกรดและดินเค็มภาคกลางของประเทศไทย. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 41(2): 157-174.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2567. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตรปี 2555-2565. สืบค้นจาก: <https://www.oae.go.th/view/1/%E0%B8%95%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%B2/TH-TH>. (23 กรกฎาคม 2567)

Agri-map online. 2563. ระบบแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุกออนไลน์. สืบค้นจาก: <https://agri-map-online.moac.go.th/>. (12 พฤษภาคม 2563)

Almendros, G., H. Knicker and F. J. Gonzalez-Vela. 2003. Rearrangement of carbon and nitrogen forms in peat after progressive thermal oxidation as determined by solid state C-13 and N-15-NMR spectroscopy. Organic Geochemistry 34: 1559-1568.

AOAC. 1991. Quality Assurance Principle for Analytical Laboratories. 2nd eds. Rockville, Maryland: Association of Official Analytical Chemists.

Arunrat, N., S. Sereenonchai, P. Kongsurakan and R. Hatano. 2022. Assessing soil organic carbon, soil nutrients and soil erodibility under terraced paddy fields and upland rice in northern Thailand. Agronomy 12(2): 537.

Chakravarty, M., D.J. Nath and U.J. Sarma. 2023. Physicochemical properties of long-term rice-fallow cultivation and uncultivated soils of Nalbari, Assam, India. International Journal of Plant & Soil Science 35(20): 1362-1369.

Chen, Q., Y. Song, Y. An, Y. Lu and G. Zhong. 2024. Soil microorganisms: Their role in enhancing crop nutrition and health. Diversity 16(12): 734.

Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. pp. 545-567. In: C.A. Black (ed.), Method of Soil Analysis. Part I. Agronomy Monographs No. 9. American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin.

Dou, F., J. Soriano, R.E. Tabien and K. Chen. 2016. Soil texture and cultivar effects on rice (*Oryza sativa*, L.) grain yield, yield components and water productivity in three water regimes. PLOS One 11(3): e0150549.

Hossain, I. 2014. Correlation of available phosphorus and potassium with pH and organic matter content in the different forested soils of Chittagong Hill Tracts, Bangladesh. International Journal of Forest, Soil and Erosion 4(1): 7-10.

Jayara, A.S., S. Pandey and B.K. Ambasta. 2021.

- Physico-chemical properties of soil and its relationship with soil health. *Chemical Science Review and Letters* 10(37): 9-16.
- Kome, G.K., R.K. Enang, F.O. Tabi and B.P.K. Yerima. 2019. Influence of clay minerals on some soil fertility attributes: A review. *Open Journal of Soil Science* 9(9): 155-188.
- Niederberger, J., M. Kohler and J. Bauhus. 2019. Distribution of phosphorus fractions with different plant availability in German forest soils and their relationship with common soil properties and foliar P contents. *SOIL* 5(2): 189-204.
- Oechaiyaphum, K., H. Ullah, R.P. Shrestha and A. Datta. 2020. Impact of long-term agricultural management practices on soil organic carbon and soil fertility of paddy fields in northeastern Thailand. *Geoderma Regional* 22.
- Srinivasan, R., D.C. Nayak, R. Gobinath, S.N. Kumar, D.V.K.N. Rao and S.K. Singh. 2022. Consequential rice crop response to resultant soil properties in a toposequence in eastern coastal plain of Odisha, India. *Modeling Earth Systems and Environment*.
- USDA. 2024. Rice production. Available source: <https://ipad.fas.usda.gov/>. (July 20, 2024)
- Wicharuck, S., N. Khongdee, N. Mawan and K. Stahr. 2023. Soil erosion assessment under different land use types using modified Gerlach trough in north-western Thailand highland. *Soil Science Annual* 74(1): 163079.
- Yamane, T. 1967. *Statistics, An Introductory Analysis*. 2nd eds. Harper and Row. New York. 919 p.
- Ye, C., G. Zheng, Y. Tao, Y. Xu, G. Chu, C. Xu, S. Chen, Y. Liu, X. Zhang and D. Wang. 2024. Effect of soil texture on soil nutrient status and rice nutrient absorption in paddy soils. *Agronomy* 14(6): 1339.