

การเปรียบเทียบเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี และยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปีเพื่อประเมินความเป็นประโยชน์ของ โพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกข้าวหอมมะลิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย

Comparative study of atomic absorption spectroscopy and UV-visible spectroscopy techniques for assessing the availability levels of potassium in soil used for growing jasmine rice in Northeast Thailand

 วีรวรรณ พึงแย้ม¹
Weerawan Peungyam¹

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

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

 ณัฐพล จิตมามย์^{1,*}
Nutthapol Chittamart^{1,*}

 *Corresponding author: fagrnpc@ku.ac.th

 สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์¹
Surachet Aramrak¹

 กรุณา พุ่มทรง¹
Karuna Poomsong¹

ประวัติบทความ

รับเรื่อง: 31 พฤษภาคม 2568

รับแก้ไข: 25 กรกฎาคม 2568

รับตีพิมพ์: 1 สิงหาคม 2568

คำสำคัญ

โพแทสเซียมในดิน

น้ำยาสกัดโพแทสเซียม

เอเอเอส

ยูวี-วิส

การวิเคราะห์โพแทสเซียมแบบรวดเร็ว

บทคัดย่อ

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์: การประเมินปริมาณโพแทสเซียม (K) ที่เป็นประโยชน์ในดินอย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์และชนิดของน้ำยาสกัดที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสกัด 4 ชนิด ได้แก่ 1 M NH_4OAc , Bray II, Mehlich I และ 0.01 M CaCl_2 ร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์โพแทสเซียม 2 วิธี คือ AAS และ UV-Vis โดยมุ่งพัฒนาวิธีวิเคราะห์ที่สามารถนำไปปรับใช้กับชุดทดสอบโพแทสเซียมในดินภาคสนามได้อย่างแม่นยำและประหยัดต้นทุน จุดใหม่ของงานวิจัยนี้คือการพิสูจน์ความสอดคล้องระหว่างค่าที่ได้จาก UV-Vis กับค่ามาตรฐาน AAS โดยเฉพาะกับน้ำยาสกัดที่ไม่มีไอออนรบกวน เพื่อรองรับการใช้งานเชิงพื้นที่จริงในประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย: วิเคราะห์ตัวอย่างดิน 178 ตัวอย่าง จากแหล่งปลูกข้าวหอมมะลิภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย โดยตรวจวัดปริมาณโพแทสเซียมจากสารสกัดดินด้วยเทคนิค AAS และ UV-Vis วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติและวิเคราะห์ต้นทุน

ผลการวิจัย: ดินส่วนใหญ่มีโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้สูงที่สุด การวิเคราะห์โดย UV-Vis ในน้ำยาสกัด Mehlich I และ CaCl_2 ให้ผลสอดคล้องกับ AAS ($r = 0.93$ และ 0.89 ตามลำดับ) และมีต้นทุนต่ำกว่า (1.54 บาทต่อครั้ง เทียบกับ AAS 2.05 บาท) อย่างไรก็ตาม

Article History

Received: 31 May 2025

Revised: 25 July 2025

Accepted: 1 August 2025

Keywords

Soil potassium

Potassium extractants

AAS

UV-Vis

Rapid potassium test

การอ้างอิง

วีรวรรณ พึ่งแย้ม, ณัฐพล จิตมัตย์, สุรเชษฐ์ อรัณย์รักษ์ และ กรุณา พุ่มทรง. 2569. การเปรียบเทียบเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีและยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปีเพื่อประเมินความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกข้าวหอมมะลิภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. ว. วิทยา. นวัตกรรม. 57(2): 124–139.

How to cite

Peungyam, P., N. Chittamart, S. Aramrak and K. Poomsong. 2026. Comparative study of atomic absorption spectroscopy and UV-visible spectroscopy techniques for assessing the availability levels of potassium in soil used for growing jasmine rice in Northeast Thailand. Agric. Sci. Innov. J. 57(2): 124–139.

พบข้อจำกัดในการใช้ UV-Vis กับน้ำยาสกัดที่มีไอออนแอมโมเนียม (เช่น NH_4OAc และ Bray II) ซึ่งอาจรบกวนการวัดค่าความขุ่น

สรุป: เทคนิค UV-Vis ร่วมกับน้ำยาสกัด Mehlich I และ CaCl_2 มีศักยภาพในการพัฒนาชุดทดสอบโพแทสเซียมในดินที่แม่นยำ ประหยัด และเหมาะสำหรับการใช้งานภาคสนาม เพื่อแนะนำการใช้ปุ๋ยอย่างเหมาะสม

Abstract

Background and Objective: Rapid and accurate assessment of plant-available potassium (K) in soils using appropriate extractants and analytical techniques is essential for effective potassium fertilizer management. This study aimed to compare the performance of four soil extractants—1 M NH_4OAc , Bray II, Mehlich I, and 0.01 M CaCl_2 —combined with two analytical methods, atomic absorption spectroscopy (AAS) and UV-visible spectroscopy (UV-Vis), to evaluate their potential for use in low-cost, field-adaptable soil K test kits. The novelty of this research lies in verifying the agreement between the UV-Vis method and the standard AAS method, particularly with extractants free from interfering ions, to support the practical application in Thai agricultural contexts.

Methodology: A total of 178 soil samples were collected from jasmine rice cultivation areas in Northeast Thailand. Extractable potassium was measured using both AAS and UV-Vis, and statistical analyses were performed to evaluate correlations and cost-effectiveness.

Main Results: Most soil samples contained potassium predominantly in non-exchangeable forms. UV-Vis measurements using Mehlich I and CaCl_2 extractants showed strong correlation with AAS values ($r = 0.93$ and 0.89 , respectively). UV-Vis also offered lower analytical costs (1.54 THB per analysis) compared to AAS (2.05 THB). However, a key limitation was observed when using UV-Vis with extractants containing ammonium ions (NH_4^+), such as NH_4OAc and Bray II, due to turbidity interference.

Conclusions: UV-Vis spectroscopy, when combined with Mehlich I and CaCl_2 extractants, is a promising alternative for developing cost-effective, rapid, and accurate soil K test kits suitable for field use, supporting site-specific fertilizer recommendations.

บทนำ

โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโต ความแข็งแรง และคุณภาพผลผลิตของพืช โดยเฉพาะข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย (Office

of Agricultural Economics, 2024) การมีโพแทสเซียมในดินในระดับที่เหมาะสมช่วยให้พืชมีการดูดซับเพิ่มความสามารถในการต้านทานโรคและแมลง และช่วยส่งเสริมคุณภาพของเมล็ดข้าว (Vijayakumar *et al.*, 2021; Deng *et al.*, 2024) ข้าวหอม

มะลิซึ่งเป็นสายพันธุ์ข้าวไทยที่มีชื่อเสียงในระดับสากล มีพื้นที่เพาะปลูกหลักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย คิดเป็นร้อยละ 97.5 ของพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิทั้งหมด โดยร้อยละ 48.7 กระจุกด้อยอยู่ใน 6 จังหวัด ได้แก่ อุบลราชธานี บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ ยโสธร ชัยภูมิ และขอนแก่น (Rice Department, 2024) ดังนั้น การจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมอย่างแม่นยำโดยอาศัยข้อมูลจากการวิเคราะห์ดินที่น่าเชื่อถือจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะปลูก

การประเมินความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินสามารถดำเนินการได้ด้วยหลายวิธี โดยขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาสกัดที่ใช้ ซึ่งมีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถวัดได้ การศึกษาที่ผ่านมาใช้น้ำยาสกัด $1\text{ M NH}_4\text{OAc}$ ร่วมกับเทคนิค atomic absorption spectroscopy (AAS) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่แม่นยำและใช้กันแพร่หลายในห้องปฏิบัติการ (Schollenberger and Simon, 1945) ในขณะเดียวกัน เทคนิค UV-visible spectroscopy (UV-Vis) ได้รับการพัฒนาเพื่อใช้วิเคราะห์โพแทสเซียมในดินโดยอาศัยการตรวจวัดความขุ่น ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในบริบทภาคสนาม (Liu *et al.*, 2021) ปัจจุบันมีน้ำยาสกัดหลากหลายชนิดที่ใช้ในการสกัดโพแทสเซียม เช่น Bray II, Mehlich I และ 0.01 M CaCl_2 ซึ่งสามารถสกัดธาตุอาหารพืชหลายชนิดได้ในคราวเดียว (Bray and Kurtz, 1945; Thomas, 1982; Sparks *et al.*, 1996; Mylavarapu *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2007) และถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความสะดวกและลดต้นทุนของกระบวนการวิเคราะห์

ในประเทศไทย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินโพแทสเซียมในดินภาคสนามมีอยู่จำกัด โดยเฉพาะในพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิที่มีความหลากหลายทางกายภาพของดิน งานของ Attanandana *et al.* (1999) ได้เสนอวิธีวิเคราะห์ NPK แบบง่ายโดยใช้แผ่นเทียบสีร่วมกับการวิเคราะห์ความขุ่น แต่ยังไม่มีการศึกษาที่เปรียบเทียบผลของน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ ร่วมกับเทคนิค UV-Vis เทียบกับมาตรฐาน AAS อย่างเป็นระบบ งานวิจัยส่วนใหญ่ในอดีตมุ่งเน้นที่ใช้ AAS ร่วมกับ NH_4OAc ซึ่งให้ความแม่นยำสูงแต่มีข้อจำกัดในการใช้งานภาคสนามเนื่องจากค่าใช้จ่ายสูงและต้องใช้เครื่องมือเฉพาะทาง

สมมติฐานของการวิจัยนี้ คือ เทคนิค UV-Vis เมื่อน้ำยาสกัดที่ไม่มีไอออนรบกวน เช่น Mehlich I และ CaCl_2 จะให้ผลที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับที่ยอมรับได้กับค่าที่วัดได้จาก AAS และสามารถชี้แทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้ในบริบทของชุดทดสอบภาคสนาม ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์

เพื่อประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกข้าวหอมมะลิในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดโพแทสเซียมชนิดต่าง ๆ ระหว่างวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS และ UV-Vis เพื่อพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์ดินที่ถูกต้อง แม่นยำ ประหยัด และเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในภาคสนาม โดยเฉพาะในระบบการผลิตของเกษตรกรรายย่อย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บและเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาเก็บจากพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ความลึก 0–30 เซนติเมตร โดยเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่แปลงเกษตร เดินสุ่มเก็บตัวอย่างแบบซิก-แซก โดยในแต่ละพื้นที่สุ่มเก็บประมาณ 15–20 จุด ต่อแปลง ใส่ในถังพลาสติกสะอาด ผสมคลุกเคล้ากัน ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 4 ส่วน เลือกมา 1 ส่วน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ทั้งหมดจำนวน 178 ตัวอย่าง ในพื้นที่ 6 จังหวัด เนื่องจากมีแหล่งเพาะปลูกข้าวขาวดอกมะลิที่สำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยพื้นที่เพาะปลูกครอบคลุมกว่าร้อยละ 48.7 และกระจายตัวอย่างบนพื้นที่ที่มีเนื้อดินแตกต่างกัน ได้แก่ จังหวัดอุบลราชธานี บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ ยโสธร ชัยภูมิ และขอนแก่น (Rice Department, 2024) โดยเป็นตัวอย่างดินจากจังหวัดชัยภูมิ อำเภอบ้านแท่น จำนวน 15 ตัวอย่าง จังหวัดบุรีรัมย์ อำเภอลำปลายมาศ จำนวน 15 ตัวอย่าง จังหวัดยโสธร อำเภอมหาชนะชัย จำนวน 34 ตัวอย่าง จังหวัดศรีสะเกษ อำเภอราษีไศล จำนวน 52 ตัวอย่าง จังหวัดขอนแก่น อำเภอหนองสองห้อง จำนวน 27 ตัวอย่าง และจังหวัดอุบลราชธานี อำเภอสำโรง จำนวน 35 ตัวอย่าง โดยครอบคลุมตั้งแต่ดินเนื้อละเอียดไปจนถึงดินเนื้อหยาบ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย (Figure 1)

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตามวิธีมาตรฐานประกอบด้วย การแจกกระจายขนาดอนุภาคดิน (Soil particle size distribution) โดยวิธี pipette (Gee and Bauder, 1986) พีเอชดิน (Soil pH) อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1996) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) โดยวิธี wet-oxidation (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และปริมาณเบสที่สกัดได้ (Extractable bases) ด้วย $1\text{ M NH}_4\text{OAc}$ pH 7.0 (Thomas, 1982)

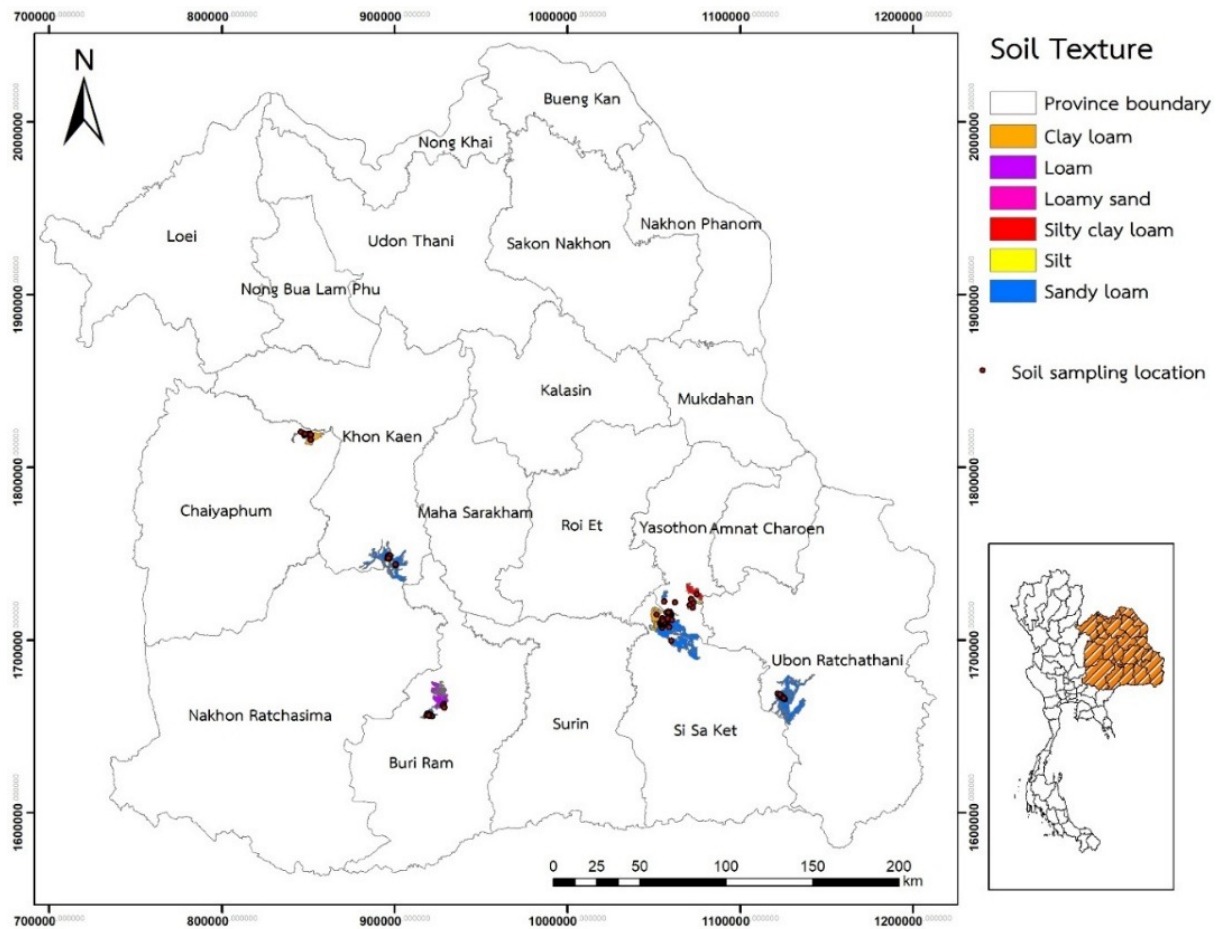


Figure 1 Location map of the soil sampling sites in the study area for growing jasmine rice in Northeast Thailand

น้ำยาสกัดที่ใช้ในการประเมินปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

นำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์โดยการใช้น้ำยาสกัดเดี่ยวจำนวน 4 วิธีการ ได้แก่ 1 M NH_4OAc , Bray II, Mehlich I และ 0.01 M CaCl_2 (Table 1) และวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง AAS รุ่น Varian 240 (AA240, Varian, USA) ที่ความยาวคลื่น 766.5 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0–15 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับการวัดความขุ่น (Liu *et al.*, 2021) โดยนำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าดูดสารละลายที่กรองได้ 0.50 มิลลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำ color reagent ได้แก่ sodium tetraphenylboron ($\text{NaB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$) 0.25 มิลลิตร จากนั้น เติมน้ำ masking reagent ได้แก่ sodium tetraborate solution ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) 0.5 มิลลิตร เขย่าและทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้น นำไปวัดความขุ่นโดยเครื่อง UV-Vis (Lambda 265, PerkinElmer, USA) ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร เทียบกับ

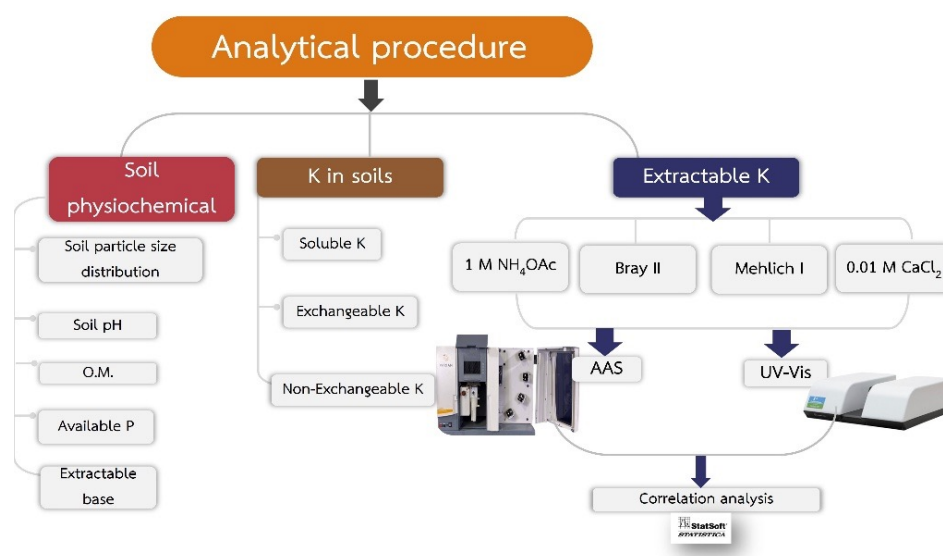
สารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0–40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีแผนภาพขั้นตอนการวิเคราะห์แสดงไว้ใน Figure 2

การตรวจสอบการใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ (Method validation)

การทดสอบความเที่ยง (Precision) และความแม่นยำ (Accuracy) ของวิธีวิเคราะห์โดยการสร้างความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่มีค่าความเป็นเส้นตรง $r^2 > 0.995$ ทั้งวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS และ UV-Vis และมีการทดสอบซ้ำของแต่ละตัวอย่างและหาความแม่นยำโดยการหาค่าร้อยละการกลับคืนโดยการเติมสารมาตรฐานโพแทสเซียมในปริมาณที่ทราบค่าลงไปในตัวอย่างเป็นขั้นตอนการสกัดเพื่อทดสอบความถูกต้องใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ AAS และ UV-Vis ในการวัดปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ การทดสอบความไว (Sensitivity) ของวิธีวิเคราะห์โดยการหาขีดจำกัดของการวัดปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่เป็นไปได้ของสารวิเคราะห์ที่สามารถวัดปริมาณได้ด้วยเทคนิค UV-Vis เพื่อใช้สอบเทียบชุดวิเคราะห์โพแทสเซียมในดินแบบรวดเร็ว

Table 1 Soil extractants and conditions used for soil available potassium extraction

Extractants	Chemicals	Soil: Extractant	Extraction duration	Instrument	References
Ammonium acetate	1 M NH_4OAc	1:10	30 min	AAS	Thomas (1982)
Bray II	0.1 M HCl and 0.03 M NH_4F	1:10	1 min	AAS	Bray and Kurtz (1945)
Mehlich I	0.05 M HCl and 0.0125 M H_2SO_4	1:10	5 min	AAS and UV-Vis	Mylavarapu <i>et al.</i> (2002)
Calcium chloride	0.01 M CaCl_2	1:10	30 min	AAS and UV-Vis	Salomon (1998)

**Figure 2** Flow chart of analytical procedure

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดิน

วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดินที่แตกต่างกัน 3 กลุ่ม คือ รูปที่ละลายน้ำได้ (Water soluble-K) รูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) และรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (Non-exchangeable K) โดยมีวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้

(1) วิเคราะห์โพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำได้ โดยชั่งตัวอย่างดิน 3 กรัม เขย่าด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที กรองและเก็บส่วนสารละลายใส

(2) วิเคราะห์โพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ตามวิธีของ Thomas (1982) โดยใช้ตะกอนดินจากข้อ (1) เติม 1 M NH_4OAc ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 30 นาที กรองและเก็บส่วนสารละลายใส

(3) วิเคราะห์โพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ตามวิธีของ Pratt (1965) โดยใช้ตะกอนดินจากข้อ (2) ใส่หลอดย่อย

ตัวอย่าง เติม 1 M HNO_3 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้น นำตัวอย่างมากรองและล้างตะกอนที่เหลือด้วย 0.01 M HNO_3 ปรับปริมาตรสารละลายเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย 0.01 M HNO_3 จากนั้น นำสารละลายที่ได้จากข้อ (1), (2) และ (3) ไปวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง AAS

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินโดยวิธีการสกัดด้วยน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ และวิธีวิเคราะห์มาตรฐานด้วยเครื่อง AAS และ UV-Vis และวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) ระหว่างวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมมาตรฐาน กับวิธีวิเคราะห์ด้วย UV-Vis และวิเคราะห์

การยอมรับได้ (Agreement of analysis) ของวิธี UV-Vis เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน AAS โดย Bland-Altman Plot โดยการสร้างกราฟระหว่างส่วนต่างของปริมาณโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี AAS (A) กับวิธี UV-Vis (B) (แกน $Y = A-B$) และค่าเฉลี่ยของปริมาณ K ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี AAS กับวิธี UV-Vis (แกน $X = (A+B)/2$) (Giavarina, 2015) และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์โดยวิเคราะห์ต้นทุนต่อการวิเคราะห์ เวลา และปริมาณสารเคมีที่ใช้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์มาตรฐานด้วยเครื่อง AAS และ UV-Vis

ผลการทดลองและวิจารณ์

สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ศึกษา

สมบัติของดินที่ศึกษาแสดงใน Table 2 โดยพบว่าตัวอย่างดินที่ศึกษามีเนื้อดินอยู่ในกลุ่มเนื้อหยาบถึงละเอียด โดยส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย มีพีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 4.11–8.14) ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในพืชต่ำมากถึงสูงมาก (1.16–369.26 มิลลิกรัม

ต่อกิโลกรัม) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในพืชต่ำมากถึงสูงมาก (1.03–46.28 กรัมต่อกิโลกรัม) มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (4.02–153.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แคลเซียมที่สกัดได้ (53.27–6,235.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (6.91–505.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โพแทสเซียมที่ละลายน้ำอยู่ในพืช 1.40–133.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในพืช 0.02–132.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมรูปที่ไม่แลกเปลี่ยนอยู่ในพืช 2.17–218.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณโพแทสเซียมในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้มากกว่ารูปที่ละลายได้และรูปที่แลกเปลี่ยนได้ เนื่องจากปริมาณโพแทสเซียมในดินร้อยละ 90–98 ของโพแทสเซียมทั้งหมด จะอยู่ในรูปธาตุปฐมภูมิซึ่งเป็นรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง และโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ถูกตรึงอยู่ระหว่างชั้นของแร่ดินเหนียว เช่น อิลไลต์และเวอร์มิคูไลต์ จึงทำให้มีปริมาณสูงกว่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มาก (Weil and Brady, 2017)

Table 2 Physiochemical property of soil used in the experiment (n = 178)

Soil properties	Provinces					
	Chaiyaphum	Buriram	Yasothorn	Sisaket	Khonkaen	Ubon Ratchathani
Physical properties						
Sand (g kg ⁻¹)	490	450	594	529	654	784
Silt (g kg ⁻¹)	246	145	98	129	156	96
Clay (g kg ⁻¹)	258	405	308	342	189	120
Chemical properties						
pH (1:1)	6.56	4.64	5.05	4.92	5.51	4.76
Avail. P (mg kg ⁻¹)	12.0	13.5	15.61	46.4	7.11	12.1
OM (g kg ⁻¹)	11.8	9.51	11.8	11.6	6.92	7.80
Extr. K (mg kg ⁻¹)	84.7	32.6	14.7	32.2	25.17	26.6
Extr. Ca (mg kg ⁻¹)	2,141.8	702.6	292.3	312.5	857.4	168.0
Extr. Mg (mg kg ⁻¹)	247.4	60.2	31.0	34.0	122.5	52.5

Values are presented as means. Avail. P = available phosphorus, OM = organic matter, Extr. K = extractable potassium, Extr. Ca = extractable calcium, Extr. Mg = extractable magnesium.

สมบัติทางดินที่ส่งผลต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินที่ศึกษากับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่า โพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอนุภาคทรายแป้ง ค่าพีเอชของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณเบสที่สกัดได้ และมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณอนุภาคทราย (Table 3) โดยประจวบของโพแทสเซียมที่มีอยู่ในดินจะจับกับประจุลบบนพื้นผิวของอินทรีย์วัตถุในดิน (Shamsham *et al.*, 2019; Mhalla *et al.*, 2022) นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคทรายแป้งกับโพแทสเซียม ทั้งนี้

โพแทสเซียมอาจถูกตรึงไว้ด้วยแร่ขนาดทรายแป้ง เช่น เวอร์มิคิวไลต์ และไฮโดรโบโอไทต์ โดยพบได้ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ (Murashkina *et al.*, 2007) การเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินส่วนใหญ่เกิดจากการลดลงของค่าพีเอช สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Singh and Mishra (2012), Athokpam *et al.* (2013) และ Paudel *et al.* (2020) ซึ่งเกิดจากการชะล้างเบสออกจากดิน ดินที่เป็นกรดมากอาจทำให้โพแทสเซียมละลายและถูกชะล้างออกไป (Werle *et al.*, 2008) ทำให้พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างค่าพีเอชของดินและโพแทสเซียมที่มีอยู่ในดิน กล่าวคือ โพแทสเซียมผันแปรตามค่าพีเอชของดิน ซึ่งบ่งชี้ถึงเบสที่สกัดได้สูงเมื่อดินมีพีเอชสูง (Kozak *et al.*, 2005)

Table 3 Correlation coefficient between soil properties and available K in soils (n = 178)

Soil properties	Available K in soils					
	1 M NH ₄ OAc	Bray II by	Mehlich I by	Mehlich I by	0.01 M CaCl ₂	0.01 M CaCl ₂
	by AAS	AAS	AAS	UV-Vis	by AAS	by UV-Vis
% Sand	-0.23*	-0.21*	-0.16*	0.10 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.11 ^{ns}
% Silt	0.54*	0.54*	0.44*	0.37*	0.35*	0.29*
% Clay	0.03 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.00 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.00 ^{ns}
pH 1:1	0.43*	0.47*	0.40*	0.33*	0.29*	0.20*
Organic matter	0.22*	0.21*	0.21*	0.16*	0.16*	0.19*
Available P	0.33*	0.33*	0.39*	0.36*	0.37*	0.32*
Extractable K	1.00	0.99*	0.98*	0.94*	0.92*	0.89*
Extractable Ca	0.49*	0.52*	0.41*	0.33*	0.26*	0.21*
Extractable Mg	0.60*	0.62*	0.53*	0.46*	0.42*	0.35*

* Significance at P < 0.05, ns non-significant correlations.

สหสัมพันธ์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ

ผลการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สกัดจากน้ำยาสกัดทั้ง 4 ชนิด จากวิธีวิเคราะห์ AAS และ UV-Vis พบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้จากน้ำยาสกัด Bray II โดยวิธีวิเคราะห์ AAS มีค่ามากที่สุด อยู่ในพิสัย 5.57–169.48 มิลลิกรัมต่อกรัม รองลงมาคือ น้ำยาสกัด Mehlich I อยู่ในพิสัย 6.25–176.05 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยวิธีวิเคราะห์ UV-Vis และ 6.37–185.95

มิลลิกรัมต่อกรัม โดยวิธีวิเคราะห์ AAS ลำดับถัดมาคือ น้ำยาสกัด 1 M NH₄OAc โดยวิธีวิเคราะห์ AAS มีค่าอยู่ในพิสัย 4.02–153.50 มิลลิกรัมต่อกรัม และพบค่าน้อยที่สุดในน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ อยู่ในพิสัย 1.87–177.20 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยวิธีวิเคราะห์ UV-Vis และ 2.80–140.25 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยวิธีวิเคราะห์ AAS ซึ่งแสดงไว้ใน Table 4 เนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดินด้วยวิธี UV-Vis จะถูกรบกวนโดยไอออนแอมโมเนียม (NH₄⁺) ซึ่งเป็นส่วนผสมของน้ำยาสกัด 1 M

NH_4OAc และ Bray II ซึ่งมีผลต่อการวัดความขุ่นโดยวิธี UV-Vis จึงทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยวิธี UV-Vis ตามกลไกของน้ำยาสกัดสามารถแบ่งน้ำยาสกัดได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มแรกคือการสกัดด้วย 1 M NH_4OAc ซึ่งใช้ไอออนแอมโมเนียมเพื่อแทนที่โพแทสเซียมจากดิน กลุ่มที่สองเป็นการสกัดด้วยกรด ได้แก่ Bray II และ Mehlich I ซึ่งโพแทสเซียมจะถูกแทนที่โดยไอออนไฮโดรเจนจาก Mehlich I และไอออนไฮโดรเจนและแอมโมเนียมจาก Bray II และในกลุ่มที่สามเป็นสารละลายเกลืออ่อนของ 0.01 M CaCl_2 (Zebec *et al.*, 2017; Angelova *et al.*, 2021) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนระหว่างแคตไอออนของน้ำยาสกัดแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับอำนาจการไล่ที่

ของแคตไอออนนั้น ๆ ซึ่งอำนาจการไล่ที่ของแคตไอออนของไฮโดรเจนมีมากกว่าไอออนของแคลเซียม (Weil and Brady, 2017) จึงทำให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากน้ำยาสกัด Mehlich I มีค่ามากกว่าน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 ทั้งวิธีวิเคราะห์ AAS และ UV-Vis จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้จากวิธีการสกัดทั้ง 6 วิธี มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก (Table 5) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zebec *et al.* (2017) และ Angelova *et al.* (2021) ที่แสดงผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกัน และพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่สกัดได้จากวิธีที่ศึกษา ซึ่งบ่งชี้ว่าสามารถสกัดโพแทสเซียมออกมาได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

Table 4 Minimum, maximum and average concentrations of soil potassium (mg kg^{-1}) determined by AAS and UV-Vis method (n = 178)

Parameter	Available K in soils					
	AAS- 1 M NH_4OAc	AAS- Bray II	AAS- Mehlich I	UV-Vis- Mehlich I	AAS- 0.01 M CaCl_2	UV-Vis- 0.01 M CaCl_2
Min (mg kg^{-1})	4.02	5.57	6.37	6.25	2.80	1.87
Max (mg kg^{-1})	153.50	169.48	185.95	176.05	140.25	177.20
Average (mg kg^{-1})	36.63	41.76	37.90	39.00	26.21	31.56

Table 5 Correlation matrix (r) for interrelationship of K availability in soils with different extractants by AAS and UV-Vis methods (n = 178)

Available K extractants	Available K in soils					
	AAS- 1 M NH_4OAc	AAS- Bray II	AAS- Mehlich I	AAS- 0.01 M CaCl_2	UV-Vis- Mehlich I	UV-Vis- 0.01 M CaCl_2
AAS-1 M NH_4OAc	1.00					
AAS-Bray II	0.99*	1.00				
AAS-Mehlich I	0.98*	0.98*	1.00			
AAS-0.01 M CaCl_2	0.94*	0.93*	0.97*	1.00		
UV-Vis-Mehlich I	0.93*	0.92*	0.96*	0.96*	1.00	
UV-Vis-0.01 M CaCl_2	0.89*	0.87*	0.91*	0.95*	0.92*	1.00

* Significance at $P < 0.05$

ในการวัดปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยการหาล้อยละการกลับคืน ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สกัดจากน้ำยาสกัดทั้ง 4 ชนิด จากวิธีวิเคราะห์ AAS และ UV-Vis มีค่าร้อยละการกลับคืนดังแสดงใน Table 6 สำหรับวิธีวิเคราะห์ AAS ทั้ง 4 น้ำยาสกัดมีค่าร้อยละการกลับคืน 95.97 ถึง 98.83 และวิธีวิเคราะห์ UV-Vis มีค่าร้อยละการกลับคืน 95.00 ในน้ำยาสกัด Mehlich I และร้อยละ 94.83 ในน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ แสดงให้เห็นว่า วิธีวิเคราะห์ AAS ที่เป็นวิธีวิเคราะห์มาตรฐานในห้องปฏิบัติการ และ UV-Vis ที่เป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์เพื่อนำไปเปรียบเทียบพัฒนาชุดทดสอบโพแทสเซียม มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่ปลูกข้าวหอมมะลิที่ทำการศึกษ และจากการทดสอบหาขีดจำกัดของการวัดปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่เป็นไปได้ของสารวิเคราะห์ที่สามารถวัดปริมาณโพแทสเซียมได้ด้วยเทคนิค UV-Vis มีขีดจำกัดของการวัดปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่เป็นไปได้ของสารวิเคราะห์ที่สามารถวัดปริมาณได้ 0.128 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าเทคนิค UV-Vis มีความเที่ยง ความแม่นยำและมีความไวสูงในการตรวจจับสารที่มีความเข้มข้นต่ำ อีกทั้งการวิเคราะห์โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีการประยุกต์ใช้วิธี turbidimetric method (Liu *et al.*, 2021) โดยการเกิดปฏิกิริยาคัดตะกอนของสาร sodium tetraphenyl boron กับโพแทสเซียม ดังสมการ $\text{NaB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4 + \text{K}^+ \rightarrow \text{KB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4 (\text{s}) + \text{Na}^+$ ทำให้

เทคนิค UV-Vis มีความจำเพาะต่อการตรวจวัดความขุ่นที่ดูดซับแสงในบริเวณความยาวคลื่นที่ 430 นาโนเมตร แสดงให้เห็นว่าเทคนิค UV-Vis สามารถใช้สำหรับการเปรียบเทียบพัฒนาชุดทดสอบโพแทสเซียมในดินได้อย่างแม่นยำ

สหสัมพันธ์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในน้ำยาสกัดต่าง ๆ โดยวิธีวิเคราะห์ AAS และวิธีวิเคราะห์ UV-Vis

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลดินที่ศึกษาพบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยน้ำยาสกัด 1 M NH₄OAc วิเคราะห์โดยวิธี AAS ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยน้ำยาสกัด Bray II ($R^2 = 0.9854$), Mehlich I ($R^2 = 0.9630$) และ 0.01 M CaCl₂ ($R^2 = 0.8875$) ดัง Figure 3 เนื่องมาจากในน้ำยาสกัดทั้ง 4 ชนิด มีแคตไอออนเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ ไอออนของแอมโมเนียม (NH₄⁺) จากน้ำยาสกัด 1 M NH₄OAc ไอออนของแอมโมเนียม (NH₄⁺) และไอออนของไฮโดรเจน (H⁺) จากน้ำยาสกัด Bray II ไอออนของไฮโดรเจน (H⁺) จากน้ำยาสกัด Mehlich I และไอออนของแคลเซียม (Ca²⁺) จากน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl₂ เข้าไปแลกเปลี่ยนที่ผิวคอลลอยด์ดินเพื่อไล่ที่โพแทสเซียมออกมา จึงทำให้พบค่าสหสัมพันธ์ที่สูง (Weil and Brady, 2017; Zebec *et al.*, 2017; Angelova *et al.*, 2021)

Table 6 Spike recovery for K determination by AAS and UV-Vis in 4 different extractants (n = 178)

Extractants	AAS (%)	UV-Vis (%)
1 M NH ₄ OAc	96.68	-
Bray II	97.12	-
Mehlich I	98.83	95.00
0.01 M CaCl ₂	95.97	94.83

จากที่กล่าวไว้ข้างต้นเนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดินด้วยวิธี UV-Vis จะถูกรบกวนโดย NH₄⁺ ไอออน ซึ่งเป็นส่วนผสมของน้ำยาสกัด 1 M NH₄OAc และ Bray II ซึ่งมีผลต่อการวัดความขุ่นโดยวิธี UV-Vis จึงทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยวิธี UV-Vis ผลการศึกษาสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

ด้วยน้ำยาสกัดดินระหว่างวิธีวิเคราะห์ AAS และ UV-Vis ในน้ำยาสกัด Mehlich I และ 0.01 M CaCl₂ พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งสองวิธีวิเคราะห์มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในน้ำยาสกัด Mehlich I ($R^2 = 0.9255$; Figure 4A) และ 0.01 M CaCl₂ ($R^2 = 0.8999$; Figure 4C) และผลการวิเคราะห์ด้วย Bland-Altman Plot

โดยกำหนดความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 1.96 SD ระหว่างการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดย K-UV-Vis กับ K-AAS พบว่า วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ใช้น้ำยาสกัด Mehlich I (Figure 4B) และน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 (Figure 4D) มีส่วนต่างของผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยน้ำยาสกัดดินระหว่างวิธีการวิเคราะห์ AAS และ UV-Vis ในน้ำยาสกัด Mehlich I และ 0.01 M CaCl_2 ระหว่างวิธีการวิเคราะห์มาตรฐานจาก Bland-Altman Plot อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ แม้ว่าจะมีข้อมูลบางจุดอยู่นอกขอบเขตดังกล่าว เนื่องจากเป็นกลุ่มข้อมูลที่ค่าวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยน้ำยาสกัดดินของวิธีการวิเคราะห์ AAS มีค่ามากกว่าวิธีการวิเคราะห์ UV-Vis ในน้ำยา

สกัด Mehlich I และ 0.01 M CaCl_2 โดยลักษณะของกลุ่มตัวอย่างดินส่วนใหญ่มีเนื้อดินเหนียวเป็นองค์ประกอบ ซึ่งอาจมีผลต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมในสารละลายดินเหนียว เมื่อได้รับความร้อนมักมีโพแทสเซียมสะสมมากกว่าดินทราย เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงและมีแร่ดินเหนียวที่สามารถดูดซับและตรึงโพแทสเซียมไว้จากวิธีการวิเคราะห์ AAS ที่มีการให้ความร้อนในการทำให้อะตอมแตกตัว (Awgchew *et al.*, 2024) จึงสามารถสรุปได้ว่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยน้ำยาสกัดดินระหว่างวิธีการวิเคราะห์ AAS และ UV-Vis ทั้งในน้ำยาสกัด Mehlich I และ 0.01 M CaCl_2 มีความสอดคล้องกันในระดับที่ยอมรับได้

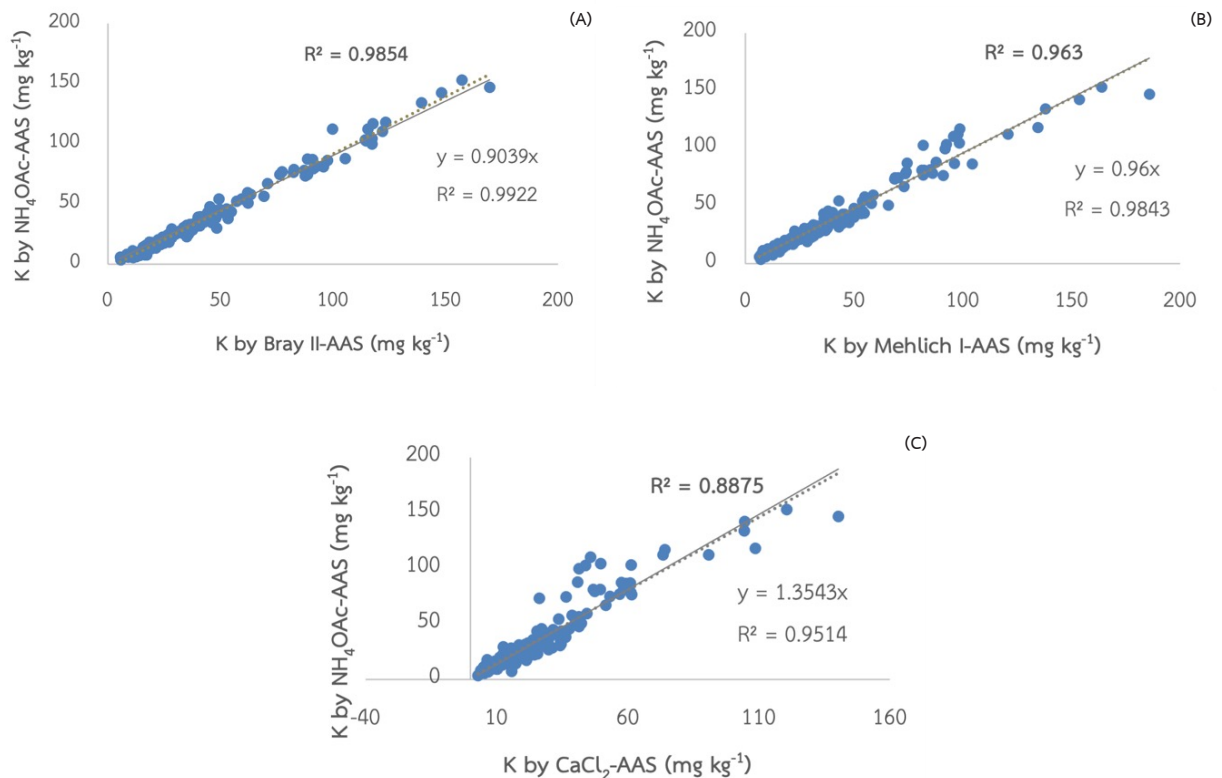


Figure 3 Relationship between extractable K by 1 M NH_4OAc -AAS and exchangeable K by Bray II-AAS (A), exchangeable K by Mehlich I-AAS (B), and exchangeable K by CaCl_2 -AAS (C). Dash lines refer to the linear regression of the X and Y axes, solid lines refer to 1:1 line originates from zero.

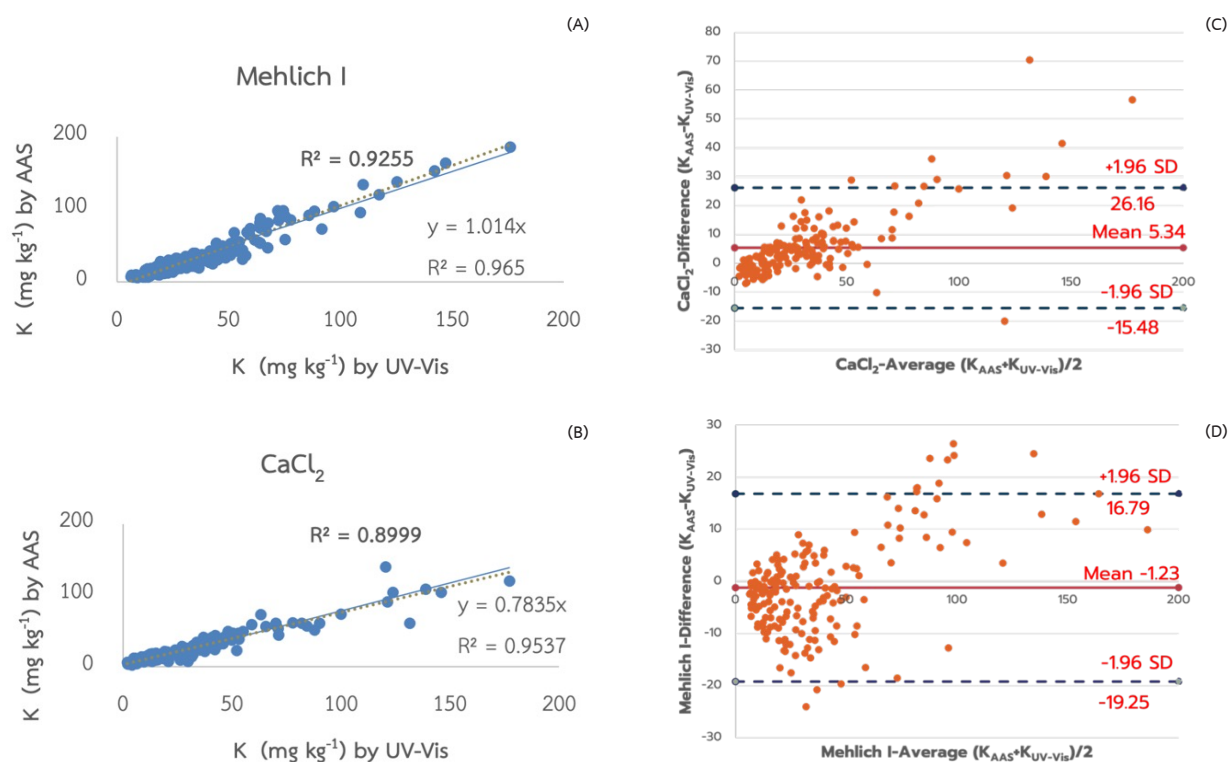


Figure 4 Linear regression between K-AAS and K-UV-Vis in Mehlich I extract (A), Bland-Altman Plot by K-AAS and K-UV-Vis in Mehlich I extract (B), linear regression between K-AAS and K-UV-Vis in CaCl₂ extract (C), and Bland-Altman Plot by K-AAS and K-UV-Vis in CaCl₂ extract (D)

จากผลการศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วย K-UV-Vis มีส่วนต่างค่าวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับวิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่อง K-AAS ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และการวิเคราะห์ด้วย K-UV-Vis โดยนํ้ายาสกัด Mehlich I ($R^2 = 0.8601$; Figure 5A) และ 0.01 M CaCl₂ ($R^2 = 0.7926$; Figure 5C) มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่สกัดด้วยนํ้ายาสกัดดินมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ คือ 1 M NH₄OAc pH 7.0 และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง AAS และมีส่วนต่างของผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ระหว่างวิธีการวิเคราะห์มาตรฐานจาก Bland-Altman Plot (Figure 5B และ Figure 5D) อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ แม้ว่าจะมีข้อมูลบางจุดอยู่นอกขอบเขตดังกล่าว เนื่องจากเป็นกลุ่มข้อมูลที่มีค่าวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยนํ้ายาสกัดดินของวิธีวิเคราะห์ AAS ที่สกัดด้วยนํ้ายาสกัด 1 M NH₄OAc มีค่ามากกว่าวิธีวิเคราะห์ UV-Vis ทั้งในนํ้ายาสกัด Mehlich I และ

0.01 M CaCl₂ โดยลักษณะของกลุ่มตัวอย่างดินส่วนใหญ่มีเนื้อดินเหนียวเป็นองค์ประกอบ ซึ่งอาจมีผลต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมในสารละลายดินเหนียวเมื่อได้รับความร้อนมักมีโพแทสเซียมสะสมมากกว่าดินทราย เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงและมีแร่ดินเหนียวที่สามารถดูดซับและตรึงโพแทสเซียมไว้จากการวิเคราะห์ AAS ที่มีการให้ความร้อนในการทำห้อยต้มแตกตัว (Awgchew *et al.*, 2024) จึงสามารถสรุปได้ว่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยนํ้ายาสกัดดินของวิธีวิเคราะห์ AAS ที่สกัดด้วยนํ้ายาสกัด 1 M NH₄OAc และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยนํ้ายาสกัดดินของวิธีวิเคราะห์ด้วย UV-Vis ทั้งในนํ้ายาสกัด Mehlich I และ 0.01 M CaCl₂ มีความสอดคล้องกันในระดับที่ยอมรับได้

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า นํ้ายาสกัดดินที่ใช้สำหรับวิธี UV-Vis สามารถใช้ได้กับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS และสามารถเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ที่ได้จากวิธี UV-Vis กับวิธีวิเคราะห์ดินที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ คือ วิธีสกัดโพแทสเซียม

ที่เป็นประโยชน์ด้วยน้ำยาสกัดดิน 1 M NH_4OAc pH 7.0 ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS การวัดความขุ่นโดยใช้ UV-Vis เป็นเทคนิคที่ช่วยคาดการณ์เทคนิคชุดทดสอบดินสำหรับโพแทสเซียมในดินเบื้องต้นโดยความขุ่นได้อย่างแม่นยำ โดยใช้น้ำยาสกัด Mehlich I และ CaCl_2 อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยาสกัดดินมีความแตกต่างกันทำให้ประสิทธิภาพการสกัดของน้ำยาสกัดได้แตกต่างกัน ในกรณีของน้ำยาสกัด 0.01 M CaCl_2 พบว่า โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับน้ำยาสกัดมาตรฐาน เนื่องจากความเข้มข้นของเกลือแคลเซียมคลอไรด์ไอออน Ca^{2+} เป็นไอออนชนิดที่มีกิจกรรมต่ำในน้ำยาสกัด

0.01 M CaCl_2 เมื่อแทนที่โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากเมทริกซ์คอลลอยด์ของดิน (Ramamoorthi and Meena, 2018) และ Mehlich I เป็นน้ำยาสกัดที่สกัดโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ออกมาในปริมาณที่สูงมาก และยังเป็นน้ำยาสกัดพื้นฐานที่สามารถสกัดธาตุอาหารพืชได้หลายชนิดในคราวเดียวกัน น้ำยาสกัด Bray II มีค่าพีเอชต่ำ จึงส่งผลต่อการสกัดโพแทสเซียมในดินประเภทต่าง ๆ เหมาะสมสำหรับใช้ที่ดินที่เป็นกรดและเป็นกลาง (Mylavarapu *et al.*, 2002; Aramrak *et al.*, 2007; Zebec *et al.*, 2017; Angelova *et al.*, 2021)

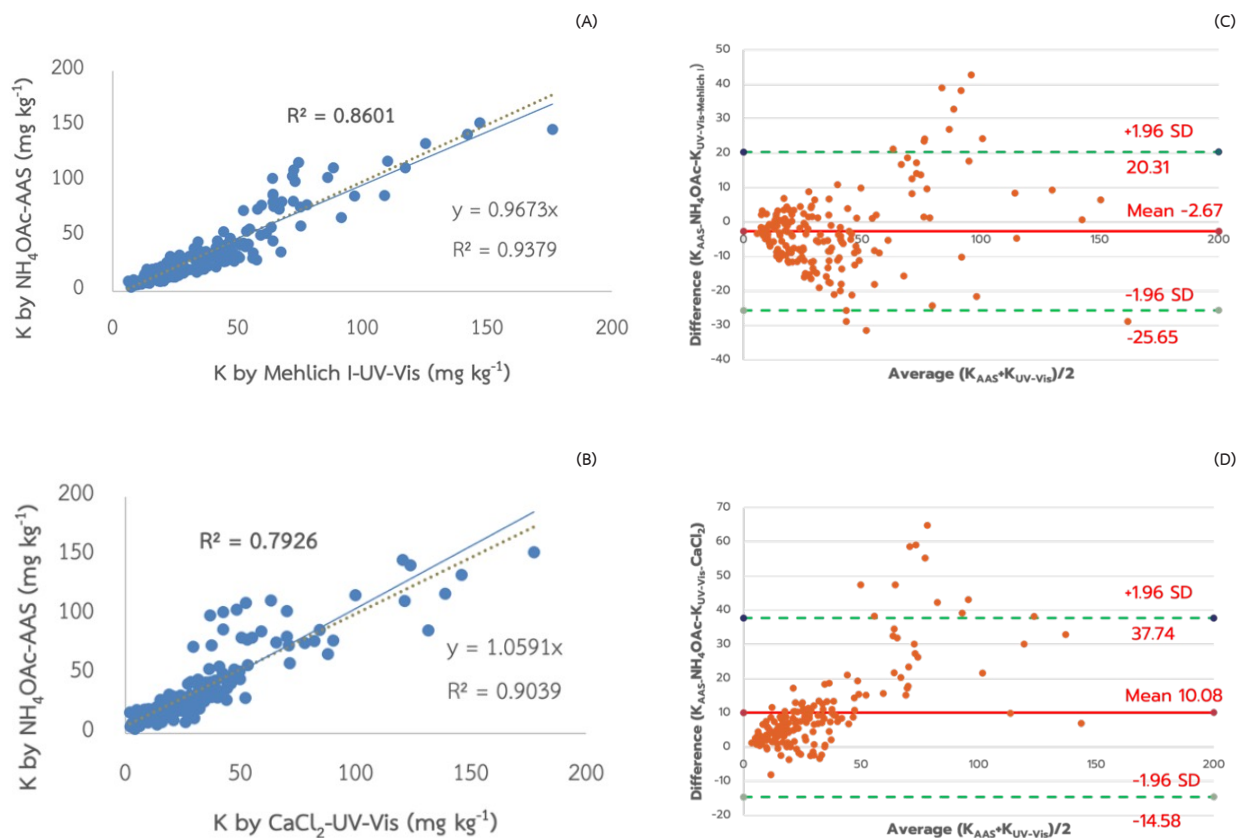


Figure 5 Linear regression between K-AAS in NH_4OAc extract and K-UV-Vis in Mehlich I extract (A), Bland-Altman Plot by K-AAS in NH_4OAc and K-UV-Vis in Mehlich I extract (B), Linear regression between K-AAS in NH_4OAc extract and K-UV-Vis in CaCl_2 extract (C), and Bland-Altman Plot by K-AAS in NH_4OAc and K-UV-Vis in CaCl_2 extract (D)

สหสัมพันธ์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่สกัดด้วยน้ำยา สกัดต่าง ๆ กับโพแทสเซียมในรูปต่าง ๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ได้ที่วิเคราะห์ด้วย AAS และ UV-Vis ในน้ำยาสกัดต่าง ๆ กับ ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่ สกัดด้วยน้ำยาสกัดต่าง ๆ มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับโพแทสเซียม รูปที่ละลายน้ำได้ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และโพแทสเซียม รูปที่ละลายน้ำ+รูปที่แลกเปลี่ยนได้ และโพแทสเซียมรูปที่ แลกเปลี่ยนไม่ได้ ดังแสดงใน Table 7 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา ของ Ramamoorthi and Meena (2018) และผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่า การสกัดโพแทสเซียมโดยน้ำยาสกัด Bray II ซึ่งมี

ส่วนผสมของกรด HCl และ NH_4F ชี้ให้เห็นว่า มีความสัมพันธ์สูง กับน้ำยาสกัดโพแทสเซียมที่ใช้กันแพร่หลายโดยเฉพาะ 1 M NH_4OAc ซึ่งเป็นน้ำยาสกัดมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ และ ผลการศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นว่า Mehlich I และ CaCl_2 ซึ่งมี สหสัมพันธ์กับน้ำยาสกัดมาตรฐาน 1 M NH_4OAc pH 7.0 มีความ จำเพาะต่อโพแทสเซียมโดยการวิเคราะห์ด้วย UV-Vis อยู่ในรูป ที่เป็นประโยชน์และสามารถใช้วิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นโดย UV-Vis เป็นวิธีการประเมินความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียม ในดินได้ เนื่องจากสามารถเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน (1M NH_4OAc pH 7.0 และ AAS) ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ดินทั่วไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ย โพแทสเซียมที่อยู่ในดินสำหรับการปลูกข้าวหอมมะลิได้

Table 7 Correlation matrix (r) for interrelationship of K availability in soils with different extractants by AAS, UV-Vis methods and forms of K (n = 178)

K availability in soils	AAS	AAS	AAS	AAS	UV-Vis	UV-Vis
	K- NH_4OAc	K-Bray	K- Mehlich I	K- CaCl_2	K- Mehlich I	K- CaCl_2
Soluble K	0.77*	0.79*	0.70*	0.58*	0.62*	0.51*
Exchangeable K	0.93*	0.93*	0.90*	0.86*	0.86*	0.80*
Soluble K + Exchangeable K	0.57*	0.60*	0.48*	0.35*	0.40*	0.29*
Non-exchangeable K	0.92*	0.93*	0.87*	0.78*	0.80*	0.72*

* Significance at $P < 0.05$

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของเทคนิค AAS มีต้นทุน ของการวิเคราะห์หนึ่งครั้งมูลค่า 2.05 บาท และใช้ปริมาณสารใน การวิเคราะห์ 3.00 มิลลิลิตร เทคนิค UV-Vis มีต้นทุนของการ วิเคราะห์หนึ่งครั้งมูลค่า 1.54 บาท และใช้ปริมาณสารในการ วิเคราะห์ 1.25 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งสองเทคนิค เท่ากันคือ 10 นาที ต่อการวิเคราะห์หนึ่งตัวอย่าง (Table 8) ซึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างเทคนิค AAS จะมีการใช้แก๊สอะเซทิลีน ในการวิเคราะห์จึงทำให้มีราคาที่สูงกว่าเทคนิค UV-Vis ที่ไม่ได้ใช้

แก๊สในขั้นตอนการวิเคราะห์ ด้วยเหตุนี้ ทำให้เทคนิค UV-Vis มีความเหมาะสม สามารถลดต้นทุน นำไปปรับเทียบใช้กับ ชุดทดสอบโพแทสเซียมในดินในภาคสนามได้อย่างสะดวกและ รวดเร็ว และได้มีการนำชุดทดสอบโพแทสเซียมในดินที่ได้รับการ พัฒนาจากเทคนิค UV-Vis นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ดินเบื้องต้นเพื่อ เป็นแนวทางให้คำแนะนำในการใช้ปุ๋ยแก่เกษตรกรในพื้นที่ปลูก ข้าวหอมมะลิในพื้นที่ที่ศึกษา เพื่อนำไปสู่การเกษตรกรรมฟื้นฟู คุณภาพดิน มาใช้ในการพัฒนาในการทำการเกษตรสำหรับเกษตรกร ที่ปลูกข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Table 8 Economic analysis of comparative AAS and UV-Vis techniques

Criteria	AAS	UV-Vis
Cost per analysis	2.05 THB	1.54 THB
Chemical volume per analysis	3.00 mL	1.25 mL
Time per analysis	10 min	10 min
Gas usage	Requires acetylene gas	No gas required

สรุป

ปริมาณโพแทสเซียมในดินปลูกข้าวหอมมะลิภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยที่ศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้มากกว่ารูปที่ละลายได้และรูปที่แลกเปลี่ยนได้ การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินระหว่างวิธีวิเคราะห์ AAS และ UV-Vis ที่ได้จากน้ำยาสกัดทั้งหมดมีความสัมพันธ์กัน วิธีวิเคราะห์ AAS และ UV-Vis นี้มีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน น้ำยาสกัดที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน คือ น้ำยา Mehlich I ทั้งการวิเคราะห์ด้วย AAS และ UV-Vis สำหรับการเปรียบเทียบพัฒนาชุดทดสอบโพแทสเซียมในดินได้

อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมที่วัดได้ด้วยวิธี UV-Vis กับผลผลิตของข้าว รวมถึงข้อจำกัดของวิธีวิเคราะห์ในบางสภาพดิน เพื่อการประเมินปริมาณโพแทสเซียมในดินที่แม่นยำและรวดเร็ว ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการส่งเสริมคุณภาพของผลผลิตข้าวหอมมะลิในพื้นที่ศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างดินภายใต้โครงการบริการวิชาการ เรื่อง Implementation for Regenerative Agriculture Practices for Rice Farmers in Northeast Thailand ที่สนับสนุนโดย Livelihoods Funds เลขทะเบียนที่ 00807/67

เอกสารอ้างอิง

- Angelova, L., N. Genova, S. Stoyanova, O. Surleva, I.H. Nekov, D. Ilieva and A. Surleva. 2021. Comparative study of soil test methods for determination of plant available potassium in Bulgarian arable soils. *Analytics and Control*. 25(3): 182–192. <https://journals.urfu.ru/index.php/analitika/article/view/5371>.
- Aramrak, S., J. Chanchareonsook, C. Suwannarat and E. Sarobol. 2007. Assessment of multielement extractants for prediction of available potassium in Thai soils. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*. 41(3): 461–466.
- Athokpam, H., S.H. Wani, D. Kamei, H.S. Athokpam, J. Nongmaithem, D. Kumar, Y.K. Singh, B.S. Naorem, T.R. Devi and L. Devi. 2013. Soil macro-and micro-nutrient status of Senapati district, Manipur (India). *Afr. J. Agric. Res.* 8(39): 4932–4936.
- Attanandana, T., C. Suwannarat, S. Kritapirom and B. Tealnugutoom. 1999. Simple determination of NPK in the soils. *Thai Journal of Soils and Fertilizers*. 21(2): 46–51. (in Thai)
- Awgchew, H., S. Beyene and A. Kifilu. 2024. Potassium adsorption capacity and desorption kinetics in soils of Qenberenaweti sub-watershed, central highlands of Ethiopia. *Heliyon*. 10(10): e31336. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31336>.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59(1): 39–46.

- Deng, J., K. Liu, X. Xiong, T. Hussain, L. Huang, P. de Voil, M.T. Harrison, X. Tian and Y. Zhang. 2024. Achieving sustainable rice production through nitrogen-potassium harmony for enhanced economic and environmental gains. *Agric. Water Manag.* 301: 108949. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108949>.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, pp. 383–411. *In* A. Klute, ed. *Methods of Soil Analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods*. 2nd edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Wisconsin, USA.
- Giavarina, D. 2015. Understanding bland altman analysis. *Biochem. Med.* 25(2): 141–151. <https://doi.org/10.11613/BM.2015.015>.
- Kim, H.J., J.W. Hummel, K.A. Sudduth and P.P. Motavalli. 2007. Simultaneous analysis of soil macronutrients using ion-selective electrodes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71(6): 1867–1877. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0002>.
- Kozak, M., M. Stepień and A.H. Joarder. 2005. Relationships between available and exchangeable potassium content and other soil properties. *Pol. J. Soil Sci.* 38: 179–186.
- Liu, N., Z. Wei and H. Wei. 2021. Colorimetric detection of nitrogen, phosphorus, and potassium contents and integration into field irrigation decision technology. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 651: 042044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/651/4/042044>.
- Mhalla, B., N. Ahmed, D. Das, B. Singh and A. Das. 2022. Potassium forms and their relationships with soil properties and clay mineralogy in the soils of Kumaon Himalayan Region of India. *Clay Res.* 41(2): 113–126.
- Murashkina, M.A., R.J. Southard and G.S. Pettygrove. 2007. Silt and fine sand fractions dominate K fixation in soils derived from granitic alluvium of the San Joaquin Valley, California. *Geoderma*. 141(3–4): 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.06.011>.
- Mylavarapu, R.S., J.F. Sanchez, J.H. Nguyen and J.M. Bartos. 2002. Evaluation of Mehlich-1 and Mehlich-3 extraction procedures for plant nutrients in acid mineral soils of Florida. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33(5–6): 807–820. <https://doi.org/10.1081/CSS-120003067>.
- 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.
- Office of Agricultural Economics. 2024. Rice production data. Available Source: <https://www.oae.go.th>, September 30, 2024. (in Thai)
- Paudel, M., K.R. Adhikari, B. Subedi, J.J. Gairhe, S.P. Vista and S. Lamichhane. 2020. Assessment of the relationship between soil pH and macronutrients at Baseshwor, Sindhuli. *J. Inst. Agric. Anim. Sci.* 36: 241–248.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1022–1030. *In* C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc., Wisconsin, USA.
- Ramamoorthi, V. and S. Meena. 2018. Evaluation of suitable extractant for estimating soil available potassium in soils of Tamil Nadu. *Int. J. Chem. Stud.* 6(6): 1662–1666.
- Rice Department. 2024. Rice cultivation area. Available Source: https://files.ricethailand.go.th/files/9/documents/page_doc/files-rice-1707277364541.pdf, September 29, 2024. (in Thai)
- Salomon, E. 1998. Extraction of soil potassium with 0.01 M calcium chloride compared to official Swedish methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29(19–20): 2841–2854.

- Schollenberger, C.J. and R.H. Simon. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil— ammonium acetate method. *Soil Sci.* 59(1): 13–24.
- Shamsham, S.M., R.F. Nasra and R.Z. Ayoush. 2019. Effect of soil properties on forms of potassium in some soils of Homs Governorate. *Assoc. Arab Univ. J. Eng. Sci.* 26(3): 39–44. <https://doi.org/10.33261/jaaru.2019.26.3.005>.
- Singh, R.P. and S.K. Mishra. 2012. Available macronutrients (N, P, K and S) in the soils of Chiragaon block of district Vanarasi (U.P.) in relation to soil characteristics. *Indian J. Sci. Res.* 3(1): 97–100.
- Sparks, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner. 1996. *Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods.* Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Wisconsin, USA.
- 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. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Wisconsin, USA.
- Vijayakumar, S., D. Kumar, K. Ramesh, P. Govindasamy, D. Jinger, R. Khanam, P. Saravanane, E. Subramanian, E. Joshi, V.K. Sharma and S.K. Rajpoot. 2021. Potassium nutrition in rice: A review. *Oryza-An International Journal of Rice.* 58(3): 341–353.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37(1): 29–38.
- Weil, R.R. and N.C. Brady. 2017. *The Nature and Properties of Soils.* 15th edition. Pearson Education, Inc., New Jersey, USA.
- Werle, R., R.A. Garcia and C.A. Rosolem. 2008. Potassium leaching as affected by soil texture and potassium availability. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* 32(6): 2297–2305. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600009>.
- Zebec, V., D. Rastija, Z. Loncaric, A. Bensa, B. Popovic and V. Ivezic. 2017. Comparison of chemical extraction methods for determination of soil potassium in different soil types. *Eurasian Soil Sci.* 50: 1420–1427. <https://doi.org/10.1134/S1064229317130051>.