

การประเมินค่าศักยภาพความจุ้บัพเฟอร์ของโพแทสเซียมในดินเปรี้ยวจัด
บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย
Evaluation of Potential Buffering Capacity of Potassium
in Acid Sulfate Soils, Central Plain of Thailand

มินตรา รูปดี¹ ทิมทอง ดรรณสนธยา^{1,*} วิทยา จินดาหลวง¹ และ วีรวรรณ พึ่งแย้ม¹
Mintra Roopdee¹, Timtong Darunsontaya^{1,*}, Wittaya Jindaluang¹ and Weerawan Peungyam¹

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

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

รับเรื่อง: 20 มกราคม 2564 Received: 20 January 2021

ปรับแก้ไข: 3 มีนาคม 2564 Revised: 3 March 2021

รับตีพิมพ์: 17 มีนาคม 2564 Accepted: 17 March 2021

* Corresponding author: fagrttd@ku.ac.th

ABSTRACT: Evaluation of the potential buffering capacity of potassium (PBC_k) using the quantity/intensity (Q/I) concept provides a satisfactory measurement of K availability in soils. The Q/I relationship parameters can be evaluated soil K content (ΔK°), the ability of the soil to provide K for plant uptake (AR_k^e), and also the capacity of the soil to maintain K^+ availability. Representative acid sulfate soils in the Central Plain of Thailand including Ayutthaya soil series (Ay1 and Ay2), Sena soil series (Se1 and Se2), and Rangsit soil series (Rs1 and Rs2) were collected to determine various forms of K contents and PBC_k . The result showed that most of the studied soils contained a high level of available K (water soluble K + exchangeable K) except for Se1 and Se2 which showed a moderate level of available K. The PBC_k values of the studied soils ranged from 27.5–105 ($cmol\ kg^{-1}/(mol\ L^{-1})^{1/2}$) and most soils showed the low to moderate level of ability to maintain K^+ availability. The PBC_k values of studied soils positively correlated with soil pH ($R^2 = 0.33$, $P < 0.05$). The available K (ΔK°) values were mainly negative, indicating soil K^+ can be easily released for plant uptake when adding K fertilizers to the studied soils. The activity ratio of soil K^+ (AR_k^e) of most acid sulfate soils ranged from 0.001 to 0.01 ($mol\ L^{-1})^{1/2}$, indicating that most of soil K^+ content was mainly adsorbed on the exchange sites of clay mineral's edges, and such soil K^+ would moderately easily release for plant uptake.

Keywords: Potential buffering capacity, acid sulfate soils, K availability

บทคัดย่อ

การประเมินค่าศักยภาพความจุบัฟเฟอร์ของโพแทสเซียม (PBC_k) ตามแนวคิด quantity/intensity เป็นวิธีการประเมินความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งพารามิเตอร์จากการประเมินดังกล่าวสามารถประเมินได้ทั้งปริมาณโพแทสเซียม (ΔK°) ความยากง่ายในการดูดใช้โพแทสเซียม (AR^c_k) และการรักษาระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดิน (PBC_k) โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ และค่า PBC_k ของดินเปรี้ยวจัดบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย ประกอบด้วย ชุดดินอยุธยา (Ay1 และ Ay2) ชุดดินเสนา (Se1 และ Se2) และชุดดินรังสิต (Rs1 และ Rs2) ผลการศึกษา พบว่า ดินที่ศึกษาส่วนใหญ่มีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ (โพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำได้และโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้) อยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก ยกเว้น ชุดดินเสนาทั้ง 2 บริเวณ ที่มีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง ดินที่ศึกษามีค่า PBC_k อยู่ในพิสัย $27.5-105 \text{ (cmol kg}^{-1}\text{)}/\text{(mol L}^{-1}\text{)}^{1/2}$ และดินที่ศึกษาส่วนใหญ่มีความสามารถในการรักษาระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยค่า PBC_k ของดินที่ศึกษามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าพีเอชของดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($R^2 = 0.33, P < 0.05$) ค่า ΔK° ของดินส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ แสดงให้เห็นว่า ดินที่ศึกษาสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่ายเมื่อมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มเติมให้แก่ดิน ดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่า AR^c_k อยู่ในช่วง 0.001 ถึง 0.01 $\text{(mol L}^{-1}\text{)}^{1/2}$ แสดงให้เห็นว่า โพแทสเซียมส่วนใหญ่ถูกดูดซับอยู่ในบริเวณพื้นผิวแลกเปลี่ยนบริเวณขอบผลึกของแร่ดินเหนียว ซึ่งพืชสามารถดูดใช้ประโยชน์ได้ง่ายในระดับปานกลาง

คำสำคัญ: ค่าศักยภาพความจุบัฟเฟอร์ของโพแทสเซียม, ดินเปรี้ยวจัด, ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียม

บทนำ

โพแทสเซียม (Potassium) เป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และพืชส่วนใหญ่ต้องการธาตุโพแทสเซียมในปริมาณมาก โดยพืชสามารถดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมในรูปของไอออนบวก (K^+) ซึ่งโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การขนย้ายสารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การควบคุมการปิดและเปิดของปากใบ การสังเคราะห์โปรตีน การควบคุมสมดุลของไอออน หรือกระบวนการสร้างแป้งและน้ำตาล (Osotsapar, 2003) โดยทั่วไปการประเมินความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินสำหรับการให้คำแนะนำในการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม จะประเมินจากปริมาณโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ในสารละลายดิน และส่วนที่ถูกดูดซับบนบริเวณพื้นผิวแลกเปลี่ยน โดยสามารถวิเคราะห์ได้โดยการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัดต่าง ๆ เช่น แอมโมเนียอะซิเตท ($1M \text{ NH}_4\text{OAc}$) หรือ เมลิกทรี (Mechlich 3) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม น้ำยาสกัดเหล่านี้สามารถประเมินได้เฉพาะปริมาณของโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ที่มีอยู่ในดินเท่านั้น แต่ไม่สามารถบ่งชี้ถึงความยากง่ายในการดูดใช้โพแทสเซียมที่มีอยู่ในดินโดยพืชได้ ส่วนการประเมินค่าศักยภาพความจุบัฟเฟอร์ของธาตุโพแทสเซียม (Potential buffering capacity of potassium, PBC_k) ตามแนวคิด quantity/intensity (Q/I concept) จะประเมินทั้งปริมาณ (Quantity) โพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ที่มีอยู่ในดิน และความเข้มข้น (Intensity) ของโพแทสเซียม ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงระดับความยากง่ายในการดูดใช้โพแทสเซียมโดยพืชได้ ดังนั้น การศึกษา

เกี่ยวกับการประเมินค่า PBC_k ของดินจึงเป็นวิธีการอีกแนวทางหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้ประเมินความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีรายงานว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชมีสหสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ ซึ่งวิเคราะห์ได้จากการประเมินค่า PBC_k ในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าสหสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชกับปริมาณโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ที่ประเมินโดยวิธีการปกติจากการสกัดดินด้วยสารละลาย $1M NH_4OAc$ pH 7 (Sparks and Liebhardt, 1981; Suttanukool *et al.*, 2019)

ดินนาในบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศไทย โดยทั่วไปเป็นดินที่มีศักยภาพในการทำกรเกษตรค่อนข้างสูง และมักมีการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยสูตรที่ไม่มีธาตุโพแทสเซียม อาทิ ปุ๋ยสูตร 16-20-0 สำหรับการปลูกข้าวในดินที่มีเนื้อละเอียดหรือดินเหนียว (Osotsapar *et al.*, 2013) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพื้นที่ภาคกลางมีการปลูกข้าวต่อเนื่องเป็นเวลานาน อีกทั้งมีการปลูกข้าวหลายครั้งในรอบ 1 ปี จึงทำให้เกิดการสูญเสียธาตุโพแทสเซียมติดไปกับผลผลิต (Crop removal) อย่างต่อเนื่อง โดยมีรายงานว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สูญเสียไปกับผลผลิตข้าวในปี พ.ศ. 2544/2545 มีค่าสูงถึง 100,700 ตันโพแทสเซียม คิดเป็นน้ำหนักปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ปริมาณ 201,400 ตัน ซึ่งปริมาณธาตุอาหารหลักที่ติดไปกับผลผลิตข้าวมีปริมาณสูงกว่าพืชเศรษฐกิจประเภทอื่น ๆ (Osotsapar *et al.*, 2013) ดังนั้น หากไม่ได้มีการเพิ่มเติมปุ๋ยสูตรที่ให้ธาตุโพแทสเซียมแก่ดินเลย อาจส่งผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในดินมีปริมาณลดลงจนอยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชได้

นอกจากนี้ ดินในที่ราบภาคกลางบางบริเวณมีลักษณะเป็นดินเปรี้ยวจัด ซึ่งพบกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้างติดต่อกันหลายจังหวัด เช่น ดินในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี และนครนายก เป็นต้น

โดยดินเปรี้ยวจัดในที่ราบภาคกลางมีพื้นที่ถึง 5.25 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 56 ของพื้นที่ดินเปรี้ยวทั้งประเทศ (Kheoruenromne, 1990) ซึ่งมีการรายงานว่ามีพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับสูง (>90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน) (Land Development Department, 2015) อย่างไรก็ตาม ลักษณะของดินซึ่งเป็นกรดรุนแรงอาจส่งผลกระทบต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุโพแทสเซียมในดินได้ โดยดินที่มีค่าพีเอชเป็นกรดรุนแรง จะส่งเสริมให้ธาตุอะลูมิเนียม (Al^{3+}) ละลายออกมาสู่สารละลายดินเพิ่มสูงขึ้น และอะลูมิเนียมมีความสามารถในการไล่ที่โพแทสเซียมออกจากพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนได้มาก จนอาจทำให้โพแทสเซียมเกิดการคายการดูดซับออกมาอยู่ในสารละลายดิน และเกิดการสูญเสียได้ง่ายจากกระบวนการชะละลาย (Dobermann and Fairhurst, 2000) นอกจากนี้ จากรายงานของ Darunsontaya *et al.* (2019) ที่ศึกษาสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเปรี้ยวจัดบางชุดดินในบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศไทยยังพบว่า แม้ว่าดินที่ศึกษาจะมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว แต่ดินเปรี้ยวจัดดังกล่าวมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณโพแทสเซียมสำรองในดินที่มีค่าอยู่ในระดับต่ำ ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ดินเปรี้ยวจัดบางบริเวณในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทยอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมได้

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า การใส่ปุ๋ยเป็นวิธีการหนึ่งในการจัดการดินเปรี้ยวจัดเพื่อยกระดับค่าพีเอชของดินให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช โดยมีรายงานว่าดินเปรี้ยวจัดอาจมีความจำเป็นที่จะต้องใส่ปุ๋ยในอัตราสูงถึง 2-4 ตันต่อไร่ เพื่อยกระดับค่าพีเอชของดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช (Palykaew, 2016) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยในอัตราสูง อาจทำให้ดินมีการสะสมธาตุ Ca^{2+} และ Mg^{2+} จากวัสดุปุ๋ยในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งธาตุทั้งสองธาตุนี้นี้ โดยทั่วไปจะมีสถานะแข่งขันกันกับธาตุโพแทสเซียมในดิน โดย Ca^{2+} และ Mg^{2+} สามารถไปไล่ที่ K^+ ที่บริเวณพื้นผิวแลกเปลี่ยนของดิน ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็น

ประโยชน์ในดินลดลงได้ (Brady and Weil, 2008) นอกจากนี้ การใส่ปุ๋นยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า PBC_k ของดิน และส่งผลต่อระดับความยากง่ายในการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมโดยพืชอีกด้วย โดยการใส่ปุ๋นอาจส่งผลให้ดินมีค่า PBC_k สูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกันอาจทำให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมจากดินได้ยากขึ้นเช่นกัน (Wooldridge, 1990) ดังนั้น การประเมินความเป็นประโยชน์ของธาตุโพแทสเซียมในดินเปรี้ยวจัดโดยการประเมินค่า PBC_k ตามแนวคิด Q/I จะช่วยให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการกำหนดแนวทางในการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมในดินเปรี้ยวจัด เพื่อส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียม และรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษาในการผลิตข้าวได้อย่างยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่างดินและพื้นที่ศึกษา

เก็บตัวอย่างดินเปรี้ยวจัดบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย จากจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดปทุมธานี โดยเก็บตัวอย่างดิน จำนวน 6 บริเวณ (Table 1) ประกอบด้วย ชุดดิน อยุธยา (Ayutthaya, Ay) ชุดดินเสนา (Sena, Se) และชุดดินรังสิต (Rangsit, Rs) ชุดดินละ 2 บริเวณ ซึ่งชุดดินดังกล่าวเป็นชุดดินเปรี้ยวจัดที่พบเป็นพื้นที่กว้างขวางในบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศไทย เก็บตัวอย่างดินแบบ composite soil sampling ที่ 3 ระดับความลึก ได้แก่ ชั้นไทรพรวน (Ap) ได้ฐานชั้นไทรพรวนถึง 60 เซนติเมตร และที่ระดับ 60–100 เซนติเมตร โดยใช้สว่านเจาะดิน โดยแต่ละชุดดินจะเก็บ subsample บริเวณละ 5 จุด และนำมาผสมรวมกันเป็นตัวแทนสำหรับการศึกษา ทำการผึ่งตัวอย่างดินให้แห้ง และนำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดิน

วิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินตามวิธีมาตรฐาน ประกอบด้วย การกระจายขนาดอนุภาคดิน (Soil particle size distribution) โดยวิธีปิเปตต์ (Pipette method) (Soil Survey Division Staff, 1993) พีเอชดิน (Soil pH) ในอัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1996) ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) โดยวิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934) ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1965) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) โดยใช้ไน้ยาสกัด Bray II และวัดปริมาณฟอสฟอรัสตามวิธีของ Murphy and Riley (1962) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity) โดยวิธี $1M NH_4OAc$ pH 7.0 (Chapman, 1965) เบสรวมที่สกัดได้ (Extractable bases) โดยสกัดด้วยสารละลาย $1M NH_4OAc$ ที่เป็นกลาง (pH 7.0) (National soil survey center, 1996) กรดที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable acidity, EA) โดยสกัดด้วยสารละลาย barium chloride triethanolamine pH 8.2 (Peech, 1965; Thomas, 1982) ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ (Extractable Al) โดยสกัดด้วยสารละลาย $1M KCl$ (Thomas, 1982) และวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมด้วยเครื่อง Atomic adsorption spectrophotometer (AAS)

Table 1 Soil sampling sites

Soil series	Location		Coordinate
	District	Province	
Ayutthaya (Ay1)	Phra Nakhon Si Ayutthaya	Phra Nakhon Si Ayutthaya	47P 671809N 1583834E
Ayutthaya (Ay2)	Mueang Pathum Thani	Pathum Thani	47P 611066N 1628805E
Sena (Se1)	Bang Sai	Phra Nakhon Si Ayutthaya	47P 657956N 1583522E
Sena (Se2)	Bang Sai	Phra Nakhon Si Ayutthaya	47P 644130N 1583603E
Rangsit (Rs1)	Khlong Luang	Pathum Thani	47P 681767N 1562041E
Rangsit (Rs2)	Nong Suea	Pathum Thani	47P 700471N 1561527E

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดิน

วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม 3 รูป ได้แก่ รูปที่ละลายน้ำได้ รูปที่แลกเปลี่ยนได้ และรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ โดยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential extraction) โดยชั่งดิน 3 กรัม ใส่ลงในหลอดปั่นเหวี่ยง (Centrifuge tube) ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 30 มิลลิลิตร และเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้น ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที กรองตัวอย่างและนำสารละลายส่วนใสไปวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง AAS จะได้ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำได้ ต่อมานำตัวอย่างตะกอนดินในหลอดเติมไปเติมน้ำยาสกัด 1M NH₄OAc ปริมาตร 30 มิลลิลิตร และเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที กรองตัวอย่างและนำสารละลายส่วนใสไปวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง AAS จะได้ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Thomas, 1982) จากนั้น นำตัวอย่างตะกอนดินที่เหลือไปเติม 1M HNO₃ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร และนำตัวอย่างดินไปย่อยที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วย 0.1M HNO₃ และนำไปวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง AAS จะได้ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (Pratt, 1965) โดยผลรวมของปริมาณโพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำได้และโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ คือ ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่เป็น

ประโยชน์ (Available K) ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีมาตรฐาน (1M NH₄OAc)

การศึกษาค่าศักยภาพเฟอร์ของโพแทสเซียมในดิน

ศึกษาค่าศักยภาพเฟอร์ของโพแทสเซียม (PBC_k) ในดิน โดยเลือกตัวอย่างดินจากชั้นไทรพรวน (Ap) และได้ฐานชั้นไทรพรวนถึง 60 เซนติเมตร (Ap-60) มาทำการศึกษา ชั่งตัวอย่างดินจำนวน 2.5 กรัม ใส่หลอดปั่นเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้น เติมน้ำสารละลาย 0.01M CaCl₂ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นของ KCl ในระดับที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 mM ตามลำดับ เขย่าตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้น ทิ้งตัวอย่างไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที กรองตัวอย่างและนำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ด้วยเครื่อง AAS (Wang *et al.*, 2004) จากนั้น นำค่าวิเคราะห์ปริมาณ K, Ca, Mg ที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณหา ค่า ΔK และ ค่า AR^k ตามสมการที่ (1) และ (2)

$$\Delta K = (CK_i - CK_f) \times (v/w) \text{ ----- (1)}$$

$$AR^k = CK_f / (Ca + Mg)^{1/2} \text{ ----- (2)}$$

โดย CK_f คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เพิ่มให้แก่ดิน (mM), CK_f คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียม ณ จุดสมมูล (mM), V คือ ปริมาตรสารละลาย (mL), W คือ น้ำหนักดิน (g), Ca คือ ความเข้มข้นของแคลเซียม (mol L^{-1}) และ Mg คือ ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (mol L^{-1})

นำค่า ΔK และ ค่า AR^k ที่แต่ละระดับความเข้มข้นมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ตามแนวคิด Q/I ดังแสดงใน Figure 1 และคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากกราฟ ได้แก่ จุดตัดแกน y แสดงถึงค่า ΔK°

ซึ่งบ่งชี้ถึงปริมาณ (Quantity) ของโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ที่มีอยู่ในดิน และค่าจุดตัดแกน x แสดงถึงค่า AR^k_e ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Intensity) ในสถานะที่อยู่ร่วมกับธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียม และบ่งบอกระดับความยากง่ายต่อการดูดใช้โพแทสเซียมโดยพืช ส่วนค่าความชันของกราฟแสดงถึงค่าศักยภาพความจุบัพเฟอร์ของโพแทสเซียม (PBC_k) หรือความสามารถของดินในการรักษาระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมเมื่อพืชมีการดูดใช้โพแทสเซียม

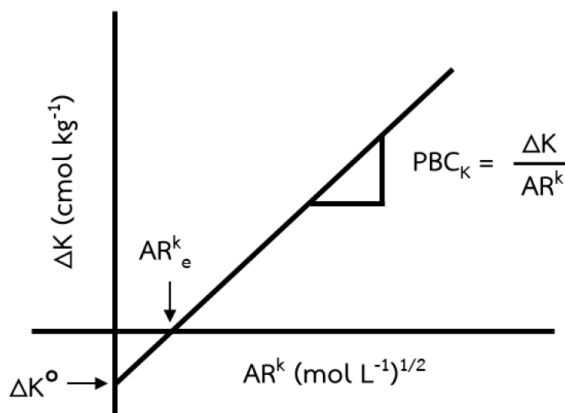


Figure 1 Typical shape of quantity/intensity (Q/I) relationship of soil potassium
Source: Sparks and Liebhardt (1981)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะทั่วไปและสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดิน

ดินเปรี้ยวจัดในบริเวณที่ศึกษามีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนผสมระหว่างตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนลำน้ำ และพบชั้นของจาโรไซด์ ซึ่งมีจุดประสีเหลืองฟางข้าวที่ระดับความลึกแตกต่างกัน โดยชุดดินรังสิต พบชั้นของจาโรไซด์ตั้งแต่ระดับความลึก 20–40 เซนติเมตร จากผิวหน้าดิน ส่วนชุดดินเสนาพบชั้นของจาโรไซด์ที่ความลึก 60–100 เซนติเมตร ขณะที่ ชุดดินอยุธยา พบชั้นของจาโรไซด์อยู่ที่ระดับความลึก

80–100 เซนติเมตร ดินที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อละเอียด โดยมีเนื้อเป็นดินเหนียว ยกเว้น ชุดดินรังสิตที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง (Table 2) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่า ดินมีค่าพีเอชอยู่ในพิสัย 3.4–6.0 และมีค่าเฉลี่ยของพีเอชดินเป็นกรดรุนแรงมาก ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของดินเปรี้ยวจัด เนื่องจากดินได้รับอิทธิพลจากวัตถุต้นกำเนิดดิน ซึ่งเป็นตะกอนผสมระหว่างตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนลำน้ำ (Kheoruenromne, 2007) อย่างไรก็ตาม ชั้นไทรพรวนของดินที่ศึกษามีค่าพีเอชดินเป็นกรดเล็กน้อย และมีปัญหาความเป็นกรดน้อยกว่าชั้นดินล่างเนื่องมาจาก

อิทธิพลของการจัดการดิน เช่น การใส่ปุ๋ย เป็นต้น สำหรับสมบัติทางเคมีอื่น ๆ พบว่า ดินที่ศึกษามีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในพิสัย 2.08–41.9 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าอยู่ในพิสัย 3.02–55.5 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับสูงมาก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าอยู่ในพิสัย 1.36–48.6 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในพิสัย 2.25–31.9 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับค่อนข้างสูง ปริมาณโพแทสเซียมมีค่าอยู่ในพิสัย 0.26–0.70 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง สำหรับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ มีค่าอยู่ในพิสัย 0.49–48.1 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และมีความแตกต่างกันมากในแต่ละชุดดิน ซึ่งเมื่อพิจารณาตามชุดดิน พบว่า ชุดดินเสนามีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับสูง (15 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ขณะที่ ชุดดินอุยธยา (1.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) และชุดดินรังสิต (0.96 เซนติโมลต่อกิโลกรัม)

มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้มีค่าอยู่ในพิสัย 0.16–0.85 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับต่ำ ส่วนปริมาณโซเดียมอยู่ในพิสัย 0.43–6.02 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าอยู่ในช่วง 3.50–28.9 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับสูง ส่วนปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้อยู่ในพิสัย 0–974 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยดินชั้นล่างมีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงมาก ขณะที่ ชั้นไทรพรวนของดินที่ศึกษาส่วนใหญ่มีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากค่าพีเอชของดินในชั้นไทรพรวนมีค่าอยู่ในช่วงเป็นกรดอ่อน ทำให้อะลูมิเนียมละลายออกมาได้น้อย (Brady and Weil, 2008) เมื่อเปรียบเทียบกับดินชั้นล่างที่มีค่าพีเอชเป็นกรดรุนแรง ซึ่งในดินบนที่มีพีเอชสูงกว่าดินล่าง อะลูมิเนียมจะตกตะกอนอยู่ในรูปอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ทำให้มีอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้น้อยกว่าชั้นดินล่าง

Table 2 Physical-chemical properties of studied soils (n=18)

Soil properties	Minimum	Maximum	Mean ± Standard deviation
Sand (g kg ⁻¹)	24	197	73 ± 51
Silt (g kg ⁻¹)	207	430	334 ± 64
Clay (g kg ⁻¹)	422	716	593 ± 66
pH	3.4	6.0	4.3 ± 0.78
OM (g kg ⁻¹)	2.1	42	16 ± 15
Total N (g kg ⁻¹)	3.0	56	24 ± 16
Avail. P (mg kg ⁻¹)	1.4	49	9.6 ± 12
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	2.3	32	19 ± 6.3
Extr. K (cmol _c kg ⁻¹)	0.26	0.70	0.40 ± 0.12
Extr. Ca (cmol _c kg ⁻¹)	0.49	48	5.8 ± 13
Extr. Mg (cmol _c kg ⁻¹)	0.16	0.85	0.52 ± 0.21
Extr. Na (cmol _c kg ⁻¹)	0.43	6.0	1.9 ± 1.6
EA (cmol _c kg ⁻¹)	3.5	29	17 ± 8.1
Extr. Al (mg kg ⁻¹)	0	974	382 ± 355

OM = organic matter, Total N = total nitrogen, Avail. P = available phosphorus, CEC = cation exchange capacity, Extr. K = extractable potassium, Extr. Ca = extractable calcium, Extr. Mg = extractable magnesium, Extr. Na = extractable sodium, EA = exchangeable acidity, Extr. Al = extractable aluminum

ปริมาณโพแทสเซียมในดิน

ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำได้ของดินที่ศึกษามีค่าอยู่ในพิสัย 8.5–61.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งผลการศึกษา พบว่า ในชั้นดินล่างของชุดดินเสนา 2 มีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำได้ในชั้นดินล่างสูงกว่าชั้นไทรพรวนอย่างชัดเจน (Figure 2a) อาจเนื่องมาจากในชั้นดินดังกล่าวมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้สูงมาก ดังนั้น แคลเซียมจึงอาจไปไล่ที่โพแทสเซียมให้หลุดออกจากพื้นผิวแลกเปลี่ยน (Exchange site) ทำให้โพแทสเซียมเปลี่ยนมาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น

(Brady and Weil, 2008) สอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำได้ของดินที่ศึกษามีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ ($r = 0.60$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เมื่อดินมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้น แคลเซียมสามารถไล่ที่โพแทสเซียมซึ่งอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้และถูกดูดซับไว้ในบริเวณพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนให้หลุดออกมาสู่สารละลายดินในรูปของโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้มากขึ้น

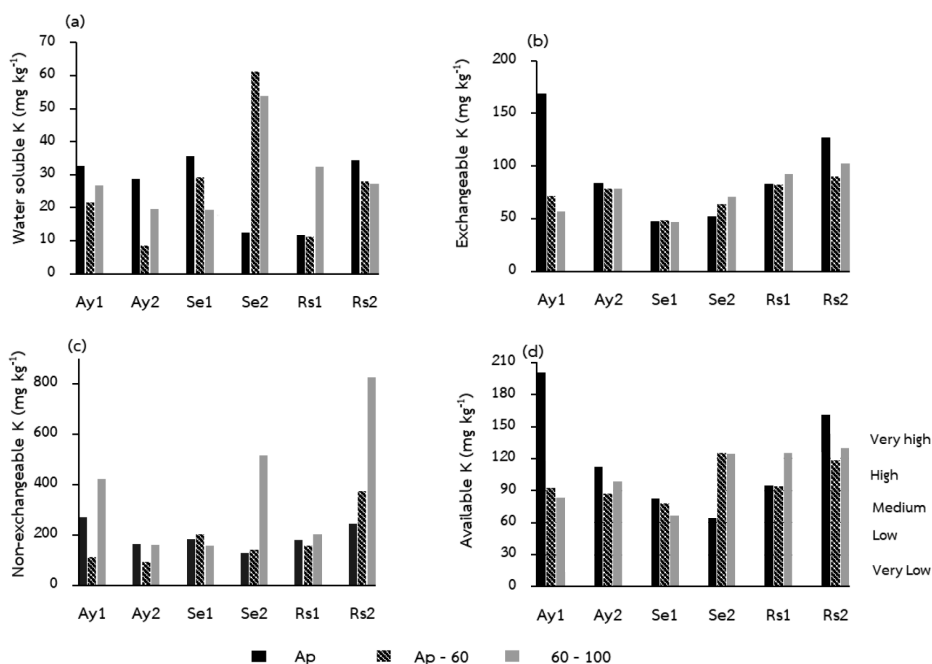


Figure 2 Mean values of water-soluble K content (a), exchangeable K content (b), non-exchangeable K content (c) and available K content (d) of Ayutthaya (Ay), Sena (Se) and Rangsit (Rs) soil series

สำหรับปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ของดินที่ศึกษามีค่าอยู่ในพิสัย 47.2–68.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในชุดดินอยุธยา 1 และชุดดินรังสิต 2 มีปริมาณธาตุโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในชั้นไทรพรวนสูงกว่าในชั้นดินล่างอย่างชัดเจน (Figure 2b) ซึ่ง

อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของการจัดการปุ๋ยในพื้นที่และปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีค่าอยู่ในระดับสูงในตัวอย่างดินดังกล่าว ขณะที่ ชุดดินเสนา 2 และชุดดินรังสิต 1 พบว่าปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในชั้นดินล่างสูงกว่าชั้นดินบน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในชั้นดินล่าง

ของชุดดินดังกล่าวมีปริมาณดินเหนียวและค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในชั้นดินล่างสูงกว่าชั้นดินบน (Suttanukool *et al.*, 2019) สอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ของดินที่ศึกษามีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอินทรีย์วัตถุ ($r = 0.51$) และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ($r = 0.53$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3)

ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ของดินที่ศึกษามีค่าอยู่ในพิสัย 91.6–824 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินส่วนใหญ่มีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ต่ำกว่า 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Figure 2c) แสดงว่า ดินที่ศึกษาส่วนใหญ่มีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้อยู่ในระดับต่ำ (Rao *et al.*, 2010) อย่างไรก็ตาม ในชั้นดินล่างของ

ชุดดินอยุธยาทั้ง 2 บริเวณ ชุดดินเสนา 2 และชุดดินรังสิต 2 มีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (Figure 2c) ซึ่งอาจเนื่องมาจากในชั้นดินล่างของชุดดินดังกล่าวเป็นชั้นที่พบแร่จิวไรต์อยู่ในปริมาณมาก โดยแร่จิวไรต์ [$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$] มีธาตุโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ (Herbert, 1997) จึงอาจส่งผลให้ชุดดินดังกล่าวมีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้อยู่ในปริมาณสูง โดยปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ของดินที่ศึกษามีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ ($r = 0.59$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) เนื่องจากในชั้นดินที่มีปริมาณแร่จิวไรต์มาก เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้ดินมีค่าพีเอชเป็นกรดรุนแรง จึงส่งเสริมให้อะลูมิเนียมละลายออกมาสู่สารละลายดินเพิ่มสูงขึ้น

Table 3 Correlation coefficients of K contents in various forms with some soil properties (n=18)

Soil properties	Water soluble K (mg kg ⁻¹)	Exchangeable K (mg kg ⁻¹)	Non-exchangeable K (mg kg ⁻¹)
OM (g kg ⁻¹)	-0.22	0.51*	-0.21
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	-0.15	0.53*	0.09
Extr. Ca (cmol _c kg ⁻¹)	0.60*	-0.28	-0.21
Extr. Al (mg kg ⁻¹)	0.27	-0.11	0.59*

OM = organic matter, CEC = cation exchange capacity, Extr. Ca = extractable calcium, Extr. Al = extractable aluminum, * Significance at $P < 0.05$

เมื่อพิจารณาปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ซึ่งเป็นผลรวมระหว่างปริมาณโพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำได้กับปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่า ดินที่ศึกษามีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในพิสัย 64.6–201 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยหากพิจารณาในชั้นเฉพรวนจะพบว่า ดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษาส่วนใหญ่มีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่

เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก (>90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ยกเว้นในชุดดินเสนาทั้ง 2 บริเวณที่มีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง (64.6–82.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Figure 2d) โดยมีรายงานว่า หากดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุ

โพแทสเซียมให้เพียงพอต่อความต้องการของข้าว (Osotsapar *et al.*, 2013) ดังนั้น ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การปลูกข้าวในชุดดินเสนาทั้ง 2 บริเวณ หากขาดการจัดการเรื่องการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม อาจทำให้ข้าวมีโอกาสได้รับธาตุโพแทสเซียมที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการได้ในระยะยาว แม้ว่าชุดดินดังกล่าวจะมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว

ค่าศักยภาพความจุฟเฟอร์ของโพแทสเซียมในดิน (PBC_k)

ผลการศึกษาค่าศักยภาพความจุฟเฟอร์ของโพแทสเซียม (PBC_k) ในดิน พบว่า ดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่า PBC_k อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยมีค่าอยู่ในช่วงพิสัย 27.5–76.1 ($cmol_c\ kg^{-1}) / (mol\ L^{-1})^{1/2}$ ยกเว้นในชั้นโภพรวนของชุดดินอยุธยา 1 ที่มีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูง (105 ($cmol_c\ kg^{-1}) / (mol\ L^{-1})^{1/2}$) (Zharikova, 2004) เมื่อเปรียบเทียบค่า PBC_k ระหว่างชั้นโภพรวนและชั้นดินล่าง พบว่า ชั้นโภพรวนของดินที่ศึกษามีค่า PBC_k สูงกว่าชั้นดินล่างทุกบริเวณ ซึ่งอาจเนื่องมาจากชั้นโภพรวนของดินที่ศึกษามีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าชั้นดินล่าง สอดคล้องกับผลการศึกษาคงของ Suttanukool *et al.* (2019) ซึ่งรายงานว่า ดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงและค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงจะมีค่า PBC_k สูงด้วย โดยทั่วไปดินที่มีค่า PBC_k สูง จะสามารถรักษาระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมได้ดี ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในดินทั้งจากกระบวนการเพิ่มเติม (เช่น การใส่ปุ๋ย เป็นต้น) หรือจากกระบวนการสูญเสีย (เช่น จากการดูดของพืชและกระบวนการชะละลาย เป็นต้น) หรืออาจกล่าวได้ว่า หากดินมีค่า PBC_k สูง และมีปริมาณโพแทสเซียมมากเพียงพอ จะส่งผลให้โพแทสเซียมสามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชได้อย่างต่อเนื่องในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก โดยพืชจะยังคงดูดใช้โพแทสเซียมจากดินได้ง่าย (Wang *et al.*, 2004) ดังนั้น เมื่อพิจารณาปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็น

ประโยชน์ (Figure 2d) ร่วมกับค่า PBC_k ในชั้นโภพรวนของดินที่ศึกษา (Table 4) จะเห็นได้ว่า มีเพียงชุดดินอยุธยา 1 เท่านั้น ที่มีทั้งปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมาก และมีค่า PBC_k อยู่ในระดับค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่า ชุดดินดังกล่าวมีความสามารถในการรักษาความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมให้เพียงพอต่อการดูดใช้โดยพืชตลอดช่วงฤดูกาลเพาะปลูก เมื่อเปรียบเทียบกับชุดดินอยุธยา 2 และชุดดินรังสิตทั้ง 2 บริเวณ ที่ถึงแม้จะมีปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก แต่ชุดดินดังกล่าวมีค่า PBC_k อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชุดดินเสนาทั้ง 2 บริเวณ ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางและมีค่า PBC_k อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษาส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในชุดดินเสนาทั้ง 2 บริเวณ ยังมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเพิ่มเติมธาตุโพแทสเซียมโดยการใส่ปุ๋ยเพื่อรักษาระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมให้เพียงพอต่อการดูดใช้โดยพืชตลอดช่วงฤดูกาลเพาะปลูก

จากผลการศึกษา พบว่า ค่า PBC_k ของดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าพีเอชของดิน ($R^2 = 0.33$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3) แสดงให้เห็นว่า ดินเปรี้ยวจัดที่มีค่าพีเอชเป็นกรดรุนแรงมีแนวโน้มที่จะมีค่า PBC_k ต่ำ หรือมีความสามารถในการรักษาความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมได้น้อย และมีโอกาสที่ปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์จะลดลงได้ง่ายด้วย แต่หากมีการปรับปรุงดินโดยยกระดับพีเอชของดินให้เพิ่มสูงขึ้น เช่น การใส่ปูน เป็นต้น นอกจากเป็นการส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารโดยทั่วไปแล้ว ยังอาจส่งเสริมให้ดินเปรี้ยวจัดในบริเวณที่ศึกษามีความสามารถในการรักษาความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมให้เพียงพอต่อการดูดใช้โดยพืชที่สูงขึ้นด้วย

Table 4 Quantity and intensity parameters of studied soils

Soil	Depth (cm)	PBC _k (cmol _c kg ⁻¹)/(mol L ⁻¹) ^{1/2}	AR _e ^k (mol L ⁻¹) ^{1/2}	ΔK ^o (cmol kg ⁻¹)
Ay1_top	0-20	105.0	0.0043	-0.430
Ay1_sub	20-60	56.5	-0.0005	0.066
Ay2_top	0-20	62.7	0.0016	-0.096
Ay2_sub	20-60	48.3	0.0017	-0.078
Se1_top	0-25	76.1	0.0018	-0.121
Se1_sub	25-50	66.5	0.0011	-0.065
Se2_top	0-30	37.5	-0.0010	0.062
Se2_sub	30-70	36.1	0.0058	-0.181
Rs1_top	0-20	59.4	0.0013	-0.061
Rs1_sub	20-60	56.3	0.0004	-0.005
Rs2_top	0-20	40.5	0.0044	-0.158
Rs2_sub	20-60	27.5	0.0047	-0.114

PBC_k = potential buffering capacity of potassium, AR_e^k = activity ratio of soil K⁺, ΔK^o = available K, Ay = Ayutthaya soil series, Se = Sena soil series, Rs = Rangsit soil series

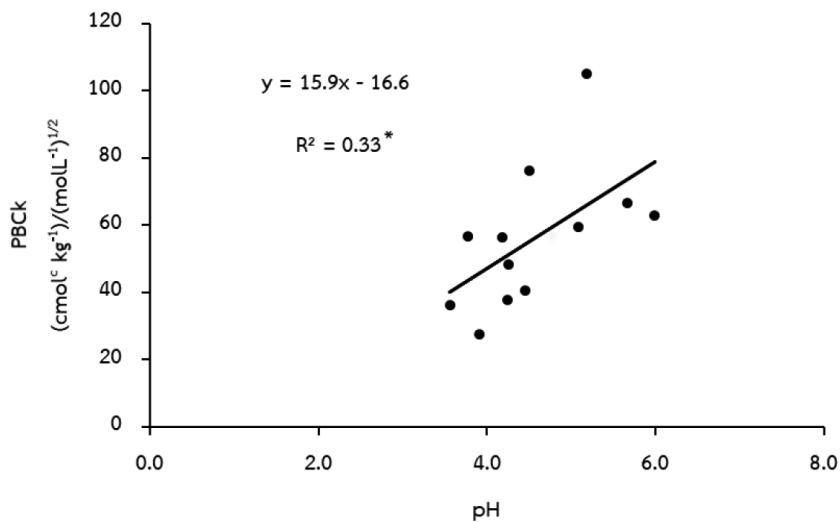


Figure 3 Relationship between soil pH and potential buffering capacity of potassium (PBC_k) of the studied soils. * Significance at P < 0.05

ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ง่าย (ΔK°)

สำหรับตัวแปรด้านปริมาณโพแทสเซียม (quantity) จากการประเมินตามแนวคิด Q/I สามารถประเมินได้จากพารามิเตอร์ ΔK° ซึ่งคำนวณได้จากจุดตัดแกน y ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔK° และ AR^k โดยพารามิเตอร์ ΔK° บ่งบอกถึงปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ทันทีในดินที่พืชสามารถดูดใช้ได้ ซึ่งเป็นโพแทสเซียมในส่วนของที่ถูกดูดซับอยู่ในบริเวณพื้นที่ผิวไม่จำเพาะ (Non-specific sites) (Rupa *et al.*, 2003) หรือพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนภายนอกของแร่ดินเหนียว โดยผลการศึกษา พบว่า ดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษามีค่า ΔK° อยู่ในพิสัย -0.005 ถึง $0.066 \text{ cmol kg}^{-1}$ และดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่า ΔK° เป็นลบ (Table 4) ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษาส่วนใหญ่จะเกิดการปลดปล่อยโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งถูกดูดซับไว้ที่พื้นผิวแลกเปลี่ยนภายนอกออกมาสู่สารละลายดิน และโพแทสเซียมดังกล่าวมีโอกาสถูกดูดใช้โดยพืชได้ง่ายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโพแทสเซียม เช่น เมื่อมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มเติมให้แก่ดิน เป็นต้น นอกจากนี้ หากพิจารณาค่าสัมบูรณ์ของ ΔK° ซึ่งบ่งชี้ถึงปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะพบว่า ปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ของดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วงพิสัย 0.005 ถึง $0.43 \text{ cmol kg}^{-1}$ ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง และมีค่าต่ำกว่าปริมาณโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ด้วยน้ำยาสกัด $1M \text{ NH}_4\text{OAc}$ (Table 2) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hosseinpur and Tadayon (2013) ที่รายงานว่ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ประเมินจากการใช้น้ำยาสกัด NH_4OAc ส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่าค่า ΔK° ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า อาจมีโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ที่ประเมินได้โดยน้ำยาสกัด $1M \text{ NH}_4\text{OAc}$ ในดินเพียงบางส่วนเท่านั้นที่พืชสามารถดูดใช้ได้จริง ทั้งนี้ อาจขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่โพแทสเซียมถูกดูดซับไว้ในบริเวณพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนของแร่ดินเหนียวที่มีความแตกต่าง

กัน จึงส่งผลต่อความยากง่ายในการดูดใช้โพแทสเซียมโดยพืชที่แตกต่างกันด้วย

อัตราส่วนกิจกรรมของโพแทสเซียมในดิน (AR^k)

ค่าอัตราส่วนกิจกรรมของโพแทสเซียมในดิน (AR^k) สามารถคำนวณได้จากจุดตัดแกน x ของกราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง ΔK° และ AR^k ซึ่งค่า AR^k เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความเข้มข้น (Intensity) ของโพแทสเซียมส่วนที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายในดิน และสามารถบอกถึงระดับความยากง่ายในการดูดใช้โพแทสเซียมในดินโดยพืช ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่โพแทสเซียมถูกดูดยึดไว้ในแร่ดินเหนียว (Schouwenburg and Schuffelen, 1963; Sparks and Liebhardt, 1981) โดยผลการศึกษา พบว่า ดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษามีค่า AR^k อยู่ในพิสัย -0.0005 ถึง $0.0058 \text{ (mol L}^{-1}\text{)}^{1/2}$ และส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 0.001 ถึง $0.01 \text{ (mol L}^{-1}\text{)}^{1/2}$ (Table 4) ซึ่งจากการศึกษาของ Schouwenburg and Schuffelen (1963) รายงานว่า หากดินมีค่า AR^k อยู่ระหว่าง 0.001 ถึง $0.01 \text{ (mol L}^{-1}\text{)}^{1/2}$ แสดงว่าโพแทสเซียมในดินส่วนใหญ่อาจถูกดูดซับอยู่ที่พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนบริเวณขอบผลึก (Edge site) ของแร่ดินเหนียว ซึ่งโพแทสเซียมที่ถูกดูดยึดไว้ในบริเวณดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่พืชสามารถดูดใช้โพแทสเซียมได้ง่ายในระดับปานกลาง อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับโพแทสเซียมที่ถูกดูดยึดไว้ที่พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนบริเวณผิวหน้าผลึก (Planar position) ของแร่ดินเหนียว ($AR^k > 0.01 \text{ (mol L}^{-1}\text{)}^{1/2}$) โพแทสเซียมที่ถูกดูดยึดไว้ที่พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนบริเวณขอบผลึกของแร่ดินเหนียวจะมีความยากต่อการถูกดูดใช้โดยพืชมากกว่า ส่วนโพแทสเซียมที่ถูกดูดยึดไว้ในหลืบ (Interlayer) ระหว่างโครงสร้างของแร่ดินเหนียวจะเป็นส่วนที่พืชดูดใช้ยากที่สุด ($AR^k < 0.001 \text{ (mol L}^{-1}\text{)}^{1/2}$) (Schouwenburg and Schuffelen, 1963; Zharikova, 2004) โดยเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้กับปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำได้ของดินที่ศึกษา (Table 3)

อาจมีความเป็นไปได้ว่าเมื่อดินมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้น แคลเซียมดังกล่าวอาจเข้าไปไล่ที่โพแทสเซียมที่ถูกดูดยึดอยู่บนพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนภายนอกของแร่ดินเหนียว โดยเฉพาะในบริเวณผิวหน้าผลึกของแร่ดินเหนียวได้ง่ายกว่าบริเวณพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนในบริเวณขอบผลึก จึงส่งผลให้โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งถูกดูดยึดไว้ในบริเวณผิวหน้าผลึกของแร่ดินเหนียวถูกไล่ที่ออกมาอยู่ในรูปโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้มากขึ้น และส่งผลให้บริเวณขอบผลึกของแร่ดินเหนียวมีปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าบริเวณผิวหน้าผลึก ดังนั้น การใส่ปุ๋ยในดินเปรี้ยวจัดจึงเป็นการเพิ่มปริมาณแคลเซียมให้กับดิน ถึงแม้ว่าจะช่วยปรับปรุงและเพิ่มค่าความสามารถในการรักษาความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียม (PBC_k) ให้กับดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษา แต่หากมีการใส่ปุ๋ยในอัตราที่สูงเกินไปอาจส่งผลให้ดินมีค่า AR^k ลดลงได้ ซึ่งจะส่งผลให้พืชสามารถดูดใช้โพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ยากมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาอื่น ๆ ที่รายงานว่าการใส่ปุ๋ยส่งผลให้ดินมีค่า AR^k ลดลง (Wooldridge, 1990; Rungruang, 2017)

สรุป

ดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษามีปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ในชั้นไทรพรวนอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากดินส่วนใหญ่มีค่า PBC_k อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ดังนั้น การจัดการดินโดยการเพิ่มเติมปุ๋ยโพแทสเซียมยังมีความจำเป็นโดยเฉพาะในชุดดินเสนาทั้ง 2 บริเวณ เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมให้เพียงพอต่อการดูดใช้โดยพืช และเมื่อพิจารณาจากค่า ΔK^o ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ แสดงให้เห็นว่า ดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษาสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่ายเมื่อมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มเติมให้แก่ดิน อย่างไรก็ตาม อาจมีโพแทสเซียมในดินเพียงบางส่วนเท่านั้นที่พืชสามารถดูดใช้ได้จริง ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่

โพแทสเซียมถูกดูดซับไว้ในบริเวณพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนของแร่ดินเหนียว เมื่อพิจารณาจากค่า AR^k ของดินส่วนใหญ่ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.001 ถึง 0.01 (mol L^{-1})^{1/2} แสดงให้เห็นว่า โพแทสเซียมในดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษาส่วนใหญ่ถูกดูดซับไว้ในบริเวณพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนบริเวณขอบผลึกของแร่ดินเหนียว ซึ่งพืชสามารถดูดใช้ประโยชน์ได้ง่ายในระดับปานกลาง และเนื่องจากค่า PBC_k ของดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าพีเอชดิน ดังนั้น การจัดการดินโดยการใส่ปุ๋ยอาจส่งเสริมให้ดินเปรี้ยวจัดในบริเวณที่ศึกษามีความสามารถในการรักษาความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยในอัตราสูงอาจส่งผลให้โพแทสเซียมถูกพืชดูดใช้ได้ยากขึ้นด้วย จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงอัตราการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมในดินเปรี้ยวจัดที่ศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยรหัสรวม 2.57 ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรสำหรับความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. *The Nature and Properties of Soils*. 14th edition. Practice Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891–901. *In* C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis*. Part II. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Darunsontaya, T., N. Chittamart, W. Jindaluang, A. Suddhiprakarn, R. Jaroenchasri and I. Kheoruenromne. 2019. Assessment of Potential Lands for Oil Palm Growing Basing on Properties of Soils and Climate in Central Plain and Eastern Region of Thailand. Agricultural Research Development Agency (Public Organization). (in Thai)
- Dobermann, A. and T.H. Fairhurst. 2000. *Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management*. Oxford Graphic Printers Pte Ltd, Singapore.
- Herbert, R. 1997. Properties of goethite and jarosite precipitated from acid groundwater, Dalarna, Sweden. *Clays Clay Miner.* 45: 261–273.
- Hosseinpour, A.R. and M.R. Tadayon. 2013. Potassium quantity–intensity parameters and their correlation with bean plant indices in some calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 44: 1480–1488.
- Jackson, M.L. 1965. *Soil Chemical Analysis: Advanced Course*. Department of Soils, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA.
- Kheoruenromne, I. 1990. *Soils of Thailand: Characteristics, Distribution and Uses*. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Kheoruenromne, I. 2007. *Acid Sulfate Soils in Thailand*. Kasetsart University Press, Bangkok. 37 pp. (in Thai).
- Land Development Department. 2015. *State of Soil and Land Resources of Thailand*. Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 304 pp. (in Thai)
- Murphy, J. and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27: 31–36.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Conservation Service, United States Department of Agriculture.

- Osotsapar, Y. 2003. Plant Nutrition. 2nd edition. Kasetsart University Press, Bangkok. 548 pp. (in Thai)
- Osotsapar, Y., A. Wongmaneeroj and C. Hongprayoon. 2013. Fertilizers for Sustainable Agriculture. 3rd edition. Kasetsart University Press, Bangkok. 519 pp. (in Thai).
- Palykaew, S. 2016. Suitability of Acid Sulfate Soils for Growing Oil Palm in Central Plain, Thailand. MS Thesis, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Peech, M. 1965. Exchange acidity, pp. 905–913. *In* C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Pratt, P.E. 1965. Potassium, pp. 1023–1031. *In* C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Rao, C.S., A.S. Rao, K.V. Rao, B. Venkateswarlu and A.K. Singh. 2010. Categorisation of districts based on nonexchangeable potassium: implications in efficient K fertility management in Indian agriculture. *Indian J. Fert.* 6: 40–54.
- Rungruang, C. 2017. Effect of Hydrated Lime and Dolomite on Potential Buffering Capacity of Acid Sulfate Soils in Thailand. BS Special Problem. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Rupa, T.R., S. Srivastava, A.S. Swarup, D.A. Sahoo and B.R. Tembhare. 2003. The availability of potassium in Aeric Haplaquept and Typic Haplustert as affected by long-term cropping, fertilization and manuring. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 65: 1–11.
- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Handbook No. 18. United States Department of Agriculture, Washington D.C., USA.
- Sparks, D.L. and W.C. Liebhardt. 1981. Effect of long-term lime and potassium applications on quantity-intensity (Q/I) relationships in sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 786–790.
- Suttanukool, P., T. Darunsontaya and W. Jindaluang. 2019. A study on the quantity/intensity relationships of potassium of sugarcane growing soils eastern Thailand. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 50(2): 153–163.
- 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, Madison, Wisconsin, USA.

- van Schouwenburg, J.C.H. and A.C. Schuffelen. 1963. Potassium-exchange behaviour of an illite. *Neth. J. Agri. Sci.* 11(1): 13-22.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the digestion method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Wang, J.J., D.L. Harrell and P.F. Bell. 2004. Potassium buffering characteristics of three soils low in exchangeable potassium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 654-661.
- Wooldridge, J. 1990. Effect of liming and parent material on the potassium quantity/intensity relationships of some upland soils of the Western Cape. *S. Afr. J. Plant Soil.* 7(1): 62-67.
- Zharikova, E.A. 2004. Potential buffer capacity of soils with respect to potassium (by the example of the Amur River region). *Eurasian Soil Sci.* 37(7): 710-717.