

จลนศาสตร์การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินที่ลุ่มบริเวณที่ราบภาคกลาง ของประเทศไทย

Kinetics of Potassium Release of Lowland Soils in Central Plain of Thailand

ทิมทอง ดรุณสนธยา^{1*} พัสกร ทะसानนท์² วิทยา จินดาลวง¹ และ กรุณา พุ่มทรง¹
Timtong Darunsontaya^{1*}, Patsakorn Thasanon², Wittaya Jindaluang¹ and Karuna Poomsong¹

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

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

²กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ 10900

²Policy and Land Use Planning Division, Land Development Department, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: Email: fagrttd@ku.ac.th

(Received: 29 April 2019; Accepted: 4 September 2019)

Abstract: The study on kinetics of potassium (K) release in lowland soils, Central Plain of Thailand was carried out by selecting representative soils with different soil development from 10 areas. The studied soils included Sapphaya (Sa1, Sa2), Ratchaburi (Rb), Bang Phae (Bph1, Bph2), Bang Len (Bl1, Bl2), Nakhon Pathom (Np1, Np2) and Pak Tho (Pth) soil series. The soil samples were collected at Ap horizon and under Ap horizon to 60 cm depths. The kinetics of K release was studied by extract soils with Mehlich 1 and K content was determined at various times from 1 to 168 hours. The data then were fitted by various equations to describe the release of K from soils. The result showed that Np1 soil series had the highest K release (816 mg kg⁻¹) while Pth soil series had the lowest K release (240 mg kg⁻¹). Kinetics of K release for Bl1, Bl2, Bph1, Bph2, Np1 and Pth were fitted-well by parabolic diffusion and power function equations. These results suggested that kinetic of K release in these soils involved with diffusion process and the rate of K release decreased with increasing time. Kinetics of K release for Sa1, Sa2, Rb and Np2 were fitted-well by zero order equation, suggesting different rate of K release in these soils. At the initial stage of release, K may slowly release from the external sites of clay minerals whereas the rapid K release may occur from interlayer sites of clay minerals afterwards.

Keywords: Non-exchangeable K, K availability, paddy soils, illite

บทคัดย่อ: ทำการศึกษาลักษณะการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินที่ลุ่มบริเวณที่ราบภาคกลางที่มีพัฒนาการแตกต่างกัน จำนวน 10 บริเวณ ได้แก่ ชุดดินสรรพยา (Sa1, Sa2) ชุดดินราชบุรี (Rb) ชุดดินบางเลน (BI1, BI2,) ชุดดินบางแพ (Bph1, Bph2) ชุดดินนครปฐม (Np1, Np2) และชุดดินปากท่อ (Pth) ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากดินโดยการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Mehlich 1 และวัดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 168 ชั่วโมง จากนั้นนำข้อมูลปริมาณโพแทสเซียมสะสมมาอธิบายจนศาสตร์การปลดปล่อยด้วยสมการการปลดปล่อยแบบต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงระยะเวลา 168 ชั่วโมง ชุดดิน Np1 มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมสูงที่สุด (861 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และชุดดิน Pth มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมน้อยที่สุด (240 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โดยลักษณะการปลดปล่อยโพแทสเซียมในชุดดิน BI1, BI2, Bph1, Bph2, Np1 และ Pth สามารถอธิบายได้ดีโดยสมการ parabolic diffusion และ power function แสดงให้เห็นว่าดินกลุ่มนี้มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมโดยกระบวนการการแพร่และมีอัตราเร็วในการปลดปล่อยลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ส่วนลักษณะการปลดปล่อยโพแทสเซียมของชุดดิน Sa1, Sa2, Rb และ Np2 สามารถอธิบายได้ดีด้วยสมการ zero order ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ดินกลุ่มนี้มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกันอย่างมาก 2 ช่วง โดยการปลดปล่อยโพแทสเซียมในช่วงแรกซึ่งเกิดอย่างช้า ๆ เกิดจากการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาจากพื้นที่ผิวดูดซับภายนอก (external sites) และการปลดปล่อยช่วงที่สองซึ่งมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น เกิดจากการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาจากพื้นที่ผิวดูดซับภายใน (interlayer sites)

คำสำคัญ: โพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียม ดินนา แร่ซิลิเกต

คำนำ

ปัจจุบันการวิเคราะห์ระดับของโพแทสเซียมในดินเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ ส่วนใหญ่จะวิเคราะห์เพียงปริมาณ โพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) ซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ทันที ที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวภายนอก (external site) ของแร่ดินเหนียว อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่า โพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (non-exchangeable K) ในดิน ซึ่งส่วนใหญ่ถูกตรึงไว้ในหลืบของแร่ดินเหนียว (interlayer site) นั้นมีสหสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในเนื้อเยื่อพืช แสดงให้เห็นว่าโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ อาจมีบทบาทต่อการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีพัฒนาการน้อย และดินที่มีองค์ประกอบของแร่ที่สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมสู่สารละลายดินได้ (Cox *et al.*, 1999) ดังนั้น การประเมินเพียงปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้เพียงอย่างเดียว อาจไม่สามารถประเมินความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากพืชอาจดูดใช้โพแทสเซียมจากรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ด้วยเช่นกัน การประเมินปริมาณและอัตราการปลดปล่อย

โพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ จึงอาจช่วยให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ดินที่ลุ่มบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศไทย เป็นที่ราบต่อเนื่องเป็นบริเวณกว้าง ส่วนมากพบแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 (แร่ซิลิเกตและแร่สเมกไทต์) เกิดร่วมกับแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 (แร่เคโอลิไนต์) ซึ่งสมบัติของดินและชนิดของแร่ดินเหนียวในดินจะผันแปรไปตามตำแหน่งของดินตามสภาพภูมิประเทศ วัตถุดิบกำเนิดดิน และช่วงระยะเวลาในการขังน้ำ และส่งผลให้ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน (Rezapour *et al.*, 2010; Yoothong *et al.*, 1997) ดินส่วนมากมีศักยภาพทางการเกษตรค่อนข้างสูง และมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการปลูกข้าว แต่อย่างไรก็ตาม มีพื้นที่บางส่วนที่เป็นพื้นที่ปลูกข้าวเริ่มแสดงให้เห็นถึงปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลางถึงต่ำ เช่น บริเวณจังหวัดสิงห์บุรี ชัยนาท สุพรรณบุรี เป็นต้น (Land Development Department, 2015) นอกจากนี้ ในดินที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวจัดก็อาจมีปัญหการขาดธาตุโพแทสเซียมได้เช่นกัน (Laungta *et al.*, 2015; Thasanon *et al.*, 2018) ดังนั้น การศึกษาถึงปริมาณโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดิน

รวมกับการศึกษาปริมาณและอัตราเร็วในการปลดปล่อยโพแทสเซียม จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับการปลูกข้าวของดินที่ลุ่มในบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์เคมี และแร่วิทยาของดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ลุ่มในบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศไทย จำนวน 10 บริเวณ โดยเลือกตัวแทนชุดดินที่มีพัฒนาการทางดินแตกต่างกัน ประกอบด้วยชุดดินสรรพยา (Sa1, Sa2) ชุดดินราชบุรี (Rb) ชุดดินบางเลน (Bl1, Bl2,) ชุดดินบางแพ (Bph1, Bph2) ชุดดินนครปฐม (Np1, Np2) และชุดดินปากท่อ (Pth) โดยรายละเอียดสถานที่เก็บตัวอย่างดินได้แสดงไว้ใน Table 1 เก็บตัวอย่างแบบ composite sampling โดยใช้สว่านเจาะดินที่ 2 ระดับความลึก ได้แก่ ชั้นไถพรวน (Ap horizon) ซึ่งดินแต่ละบริเวณมีความลึกไม่เท่ากัน (Table 2) โดยพิจารณาจากสีและโครงสร้างของดินเป็นหลัก และเก็บตัวอย่างดินชั้นล่างที่ระดับความลึกจากใต้ฐานชั้นไถพรวนถึง 60 เซนติเมตร (Ap-60) ทำการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินตามวิธีมาตรฐาน (National Soil Survey Center, 1996) ประกอบด้วย เนื้อดิน (soil texture) โดยวิธี pipette พีเอชดิน (soil pH)

ที่วัดในน้ำ และวัดในสารละลาย 1 M KCl ในอัตราส่วนดินต่อน้ำ และดินต่อสารละลาย KCl เท่ากับ 1:1 วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) โดยวิธี wet-oxidation ปริมาณไนโตรเจนรวม (total N) โดย Kjeldahl method ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โดยวิธี Bray II ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) ด้วย $1\text{ M NH}_4\text{OAc}$ pH 7.0 (Thomas, 1982) วิเคราะห์ชนิดของแร่องค์ประกอบในอนุภาคขนาดดินเหนียว และอนุภาคขนาดทรายแป้ง (Mineral species in clay and silt fractions) ด้วยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) (Whittig, 1965)

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดิน

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายดินซึ่งเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ (water soluble K) โดยชั่งตัวอย่างดิน 3 กรัม เขย่าด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที และนำส่วนสารละลายใส่ไปวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) จากนั้นนำตะกอนดินที่เหลือมาวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) โดยเติม $1\text{ M NH}_4\text{OAc}$ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 30 นาที และนำสารละลายใส่ไปวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง AAS (Thomas, 1982) ทำการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (non-exchangeable K) โดยนำตะกอนดินที่เหลือใส่

Table 1. Soil sampling sites

Soil series	Soil order	Location			Coordinate
		Subdistrict	District	Province	
Sapphaya 1 (Sa1)	Inceptisol	Tha Ngam	In Buri	Sing Buri	47P 643359N 1656511E
Sapphaya 2 (Sa2)	Inceptisol	Ban Mo	Phrom Buri	Sing Buri	47P 655904N 1630176E
Ratchaburi (Rb)	Inceptisol	Chaiyaphum	Chaiyo	Ang Thong	47P 656475N 1626819E
Bang Len 1 (Bl1)	Mollisol	Don Yai Hom	Mueang	Nakhon Pathom	47P 616865N 1518488E
Bang Len 2 (Bl2)	Mollisol	Lak Song	Ban Phaeo	Samut Sakhon	47P 621132N 1507926E
Bang Phae 1 (Bph1)	Mollisol	Bua Ngam	Damnoen Saduak	Ratchaburi	47P 610504N 1505861E
Bang Phae 2 (Bph2)	Mollisol	Pho Hak	Bang Phae	Ratchaburi	47P 616909N 1507791E
Nakhon Pathom 1 (Np1)	Alfisol	Plai Na	Si Prachan	Suphan Buri	47P 629769N 1622120E
Nakhon Pathom 2 (Np2)	Alfisol	Plai Na	Si Prachan	Suphan Buri	47P 629459N 1624013E
Pak Tho (Pth)	Alfisol	Sanam Khli	Mueang	Suphan Buri	47P 602823N 1610413E

Table 2. Physical and chemical properties of studied soils

Soils series	Depth (cm)	pH (1:1)		OM (----- g kg ⁻¹ -----)	Total N (mg kg ⁻¹)	Avail. P (mg kg ⁻¹)	CEC cmol _c kg ⁻¹	Textural class
		H ₂ O	KCl					
Sa1	0-20	5.2	4.3	29	1.1	29	15	Clay Loam
	20-60	6.5	5.3	14	0.41	6.0	13	Clay Loam
Sa2	0-20	5.3	4.5	23	0.70	9.9	15	Clay Loam
	20-60	5.6	4.7	14	0.49	11	23	Loam
Rb	0-20	5.0	4.2	24	1.1	11	21	Silty Clay Loam
	20-60	5.7	4.7	14	0.35	8.1	16	Clay Loam
Bl1	0-30	6.0	4.4	32	1.5	9.3	35	Silty Clay
	30-60	6.4	5.8	19	0.76	6.2	28	Silty Clay
Bl2	0-25	5.9	5.4	33	1.1	5.6	37	Clay
	25-60	6.1	5.4	18	0.91	10	32	Clay
Bph1	0-30	6.7	5.5	28	1.1	3.1	42	Silty Clay
	30-60	7.1	6.1	19	0.82	1.4	41	Silty Clay
Bph2	0-30	7.0	6.2	32	1.6	8.4	40	Silty Clay
	30-60	7.5	6.4	20	0.34	2.1	32	Silty Clay
Np1	0-20	6.4	5.7	23	0.90	58	11	Loam
	20-60	7.1	6.0	15	0.42	51	13	Loam
Np2	0-25	6.0	5.3	24	0.98	25	14	Clay Loam
	25-60	6.8	6.1	16	0.48	10	14	Clay Loam
Pth	0-20	5.3	4.5	24	0.96	16	11	Clay Loam
	20-60	5.0	3.6	13	0.28	4.7	9.2	Clay

หลอดย่อยตัวอย่าง (digestion tube) เติม 1M HNO₃ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างมากรองและล้างตะกอนที่เหลือด้วย 0.01 M HNO₃ ปรับปริมาตรสารละลายเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย 0.01 M HNO₃ (Pratt, 1965) และนำสารละลายไปวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง AAS

การศึกษาจลนศาสตร์การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน

ชั่งตัวอย่างดิน 2.5 กรัม ใส่หลอด centrifuge เติมน้ำยาสกัด Mehlich 1 (0.05 M HCl + 0.0125 M H₂SO₄) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการเหวี่ยงและเก็บสารละลายใสเพื่อนำไปวัดปริมาณ

โพแทสเซียมด้วย AAS จากนั้นนำตัวอย่างดินในหลอดเดิมมาเติมน้ำยาสกัด Mehlich 1 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และเขย่าต่อเนื่องจนครบระยะเวลาต่าง ๆ ได้แก่ 24, 48, 72, 96, 120, 144 และ 168 ชั่วโมง ตามลำดับ ทำการเหวี่ยงและเก็บสารละลายใสเมื่อครบตามระยะเวลาต่าง ๆ ดังกล่าวไปวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง AAS (Silva *et al.*, 2013) นำปริมาณโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณหาปริมาณโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยสะสม (cumulative K released) และนำข้อมูลปริมาณโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยสะสมที่ระยะเวลาต่าง ๆ มาอธิบายลักษณะการปลดปล่อยด้วยสมการต่าง ๆ ซึ่งเป็นสมการที่ใช้อธิบายจลนศาสตร์การปลดปล่อยธาตุอาหารในดิน (Havlin and Westfall, 1985; Jardine and Sparks, 1984; Sparks *et al.*, 1980) ได้แก่

Parabolic diffusion equation $K = a + bt^{1/2}$

Power function equation $\ln(K) = \ln(a) + b \ln(t)$

Elovich equation $K = a + b \ln(t)$

First order equation $\ln(K_{\max} - K) = a + bt$

Zero order equation $(K_{\max} - K) = a + bt$

เมื่อ K คือ ปริมาณโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยที่ระยะเวลา t (มิลลิกรัม/กิโลกรัม); $K_{\max}$ คือ ปริมาณโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยมากที่สุดที่ 168 ชั่วโมง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม); t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดโพแทสเซียม (ชั่วโมง) โดยค่าจุดตัดแกนตั้ง (a) สามารถบ่งบอกถึงปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียม และค่าความชัน (b) สามารถบ่งบอกถึงอัตราเร็วในการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้

ผลการทดลองและวิจารณ์

สมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และแร่วิทยาของดินที่ทำการศึกษา

ดินที่ทำการศึกษามีสมบัติดินและมีพัฒนาการแตกต่างกัน โดยชุดดินสรพยา (Sa) และชุดดินราชบุรี (Rb) จัดเป็นดินในอันดับอินเซปทิซอลส์ ชุดดินบางเลน (Bl) และชุดดินบางแพ (Bph) เป็นดินในอันดับมอลลิซอลส์ ชุดดินนครปฐม (Np) เป็นดินในอันดับอัลฟิซอลส์ และชุดดินปากท่อ (Pth) เป็นดินใน

อันดับอัลทิซอลส์ ดินที่ทำการศึกษามีเนื้อดินอยู่ในกลุ่มเนื้อปานกลางถึงเนื้อละเอียด (Table 2) โดยชุดดินบางเลนและชุดดินบางแพมีเนื้อดินอยู่ในกลุ่มเนื้อละเอียด ในขณะที่ชุดดินอื่นๆ มีเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นกลุ่มดินเนื้อปานกลาง

ค่าพีเอชของดินผันแปรตั้งแต่เป็นกรดจัดมากจนถึงเป็นด่างเล็กน้อย ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง และมีปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนผันแปรตั้งแต่ระดับค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก โดยชุดดินบางเลนและชุดดินบางแพมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูงมาก สอดคล้องกับลักษณะของเนื้อดินซึ่งเป็นดินเหนียวและมีแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 คือ แร่สมกไทต์เป็นองค์ประกอบหลัก (Table 3) ส่วนชุดดินปากท่อซึ่งเป็นดินในอันดับอัลทิซอลส์มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ เนื่องจากดินมีพัฒนาการสูงและมีแร่เคโอลิไนต์เป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่สูงกว่าดินในอันดับอื่นๆ (Buol *et al.*, 2011)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่วิทยาในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินที่ทำการศึกษพบว่า ดินในทุกอันดับมีแร่องค์ประกอบ ได้แก่ แร่เคโอลิไนต์ แร่อีไลต์ และแร่สมกไทต์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ดินมีแร่ดินเหนียวสอดขึ้น (interstratified clay minerals) และแร่ควอตซ์เป็นองค์ประกอบในปริมาณเล็กน้อย (Table 3) สอดคล้องกับการศึกษาของ Yoothong *et al.* (1997)

Table 3. Minerals composition in silt and clay fractions of soils

Soils	Clay fraction					Silt fraction					
	Kao	Ill	Smc	Int 10 and 14 A°	Qtz	Qtz	Cal	Ant	7 A° clay	10 A° clay	Others
Sa1	xx	xx	xx	tr	-	xxxx	-	-	tr	tr	Ab tr.
Sa2	xx	xx	xx	tr	-	xxxx	-	-	tr	tr	Mc tr.
Rb	xx	xx	xx	-	-	xxxx	-	-	tr	tr	Mc tr. ; Ab tr.
Bl1	x	x	xx	-	-	xxxx	-	tr	tr	tr	Mc tr.
Bl2	x	x	xxx	-	-	xxxx	-	-	-	tr	Mc tr. ; Ab tr.
Bph1	tr	tr	xxxx	-	tr	xxxx	-	-	tr	tr	Ab tr.
Bph2	tr	tr	xxxx	-	tr	xxxx	-	-	-	tr	Mc. tr. ; Ab tr.
Np1	xx	xx	xx	-	-	xxxx	-	-	tr	tr	Mc. tr. ; Ab tr.
Np2	xx	xx	xx	-	-	xxxx	-	-	-	tr	Mc. tr. ; Ab tr.
Pth	xx	xx	-	-	tr	xxxx	-	-	-	-	Mc. tr.

Kao = Kaolinite; Ill = Illite; Smc = Smectite; Int = Interstratified clay minerals; Qtz = Quartz; Cal = Calcite; Ant = Anatase; Mc = Microcline; Ab = Albite; tr = trace (<5%), x = small (5-20%), xx = moderate (20-40%), xxx = large (40-60%), xxxx = dominant (>60%)

ที่รายงานไว้ว่า แร่องค์ประกอบหลักในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทยประกอบด้วยแร่เคลอิไนต์ แร่สเมกไทต์ แร่อิลไลต์ และอาจพบแร่สตรักชัน (interstratified clay minerals) แร่เกอไทต์ และแร่ควอตซ์ได้ในปริมาณเล็กน้อย โดยชุดดินบางเลนและชุดดินบางแพ พบแร่สเมกไทต์เป็นแร่องค์ประกอบหลัก และพบแร่เคลอิไนต์และอิลไลต์ปะปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ดินมีการระบายน้ำเลว กระบวนการชะละลายต่ำ และมีค่าพีเอชดินเป็นด่าง จึงส่งเสริมการเพิ่มเติมซิลิกาในสารละลายดิน (resilication) รวมทั้งการสะสมแคลไซต์ไฮดรอกไซด์ที่จำเป็นสำหรับการสร้างตัวของแร่สเมกไทต์ (Kittrick, 1971; Weaver *et al.*, 1971) ส่วนชุดดินอื่น ๆ พบแร่เคลอิไนต์ แร่อิลไลต์ และแร่สเมกไทต์ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

แสดงให้เห็นว่าดินมีพัฒนาการค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับชุดดินปากท่อซึ่งเป็นดินในอันดับอัลทิสซอลส์ที่ไม่พบแร่สเมกไทต์เป็นองค์ประกอบ สำหรับองค์ประกอบทางแร่วิทยาในอนุภาคขนาดทรายแป้งพบว่า ดินในทุกอันดับมีแร่ควอตซ์เป็นแร่องค์ประกอบหลัก และพบแร่ 10 อังสตรอม แร่ไมโครไคลน์ และแร่แอลไบต์ ในปริมาณเล็กน้อย

ผลการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดิน

ดินที่ทำการศึกษาที่มีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำได้อยู่ในพิสัย 11-117 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Table 4) ซึ่งมีอยู่ในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับโพแทสเซียมรูปอื่น ๆ ในดิน อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาพบว่าดินที่ทำการศึกษาบางบริเวณมีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่

Table 4. K content in various forms and cumulative K released at 168 hours

Soil series	Depth (cm)	Water K (-----mg kg ⁻¹ -----)	ExK	NEK	Cumulative K released at 168 h
Sa1	0-20	11	34	465	462
	20-60	21	25	467	536
Sa2	0-20	26	33	479	480
	20-60	22	33	488	496
Rb	0-20	20	36	410	430
	20-60	27	32	359	418
BI1	0-30	70	142	287	531
	30-60	44	108	308	451
BI2	0-25	63	157	243	467
	25-60	111	221	321	603
Bph1	0-30	45	65	255	294
	30-60	10	55	369	352
Bph2	0-30	25	111	339	406
	30-60	21	77	508	489
Np1	0-20	108	236	458	816
	20-60	117	387	511	974
Np2	0-25	40	26	290	301
	25-60	41	41	411	837
Pth	0-20	56	48	165	240
	20-60	45	39	183	182

Water K = water soluble K; ExK = exchangeable K; NEK = non-exchangeable K

ละลายน้ำได้อยู่สูง ซึ่งอาจเป็นผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยในพื้นที่หรืออิทธิพลจากน้ำชลประทานในพื้นที่แต่ละบริเวณ (Thasanon *et al.*, 2018)

ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ของดินที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ในพิสัย 25-387 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยชุดดินบางเลนและชุดดินบางแพมีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าชุดดินอื่น ๆ เนื่องมาจากดินดังกล่าวมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่าชุดดินอื่น ๆ จึงทำให้ดินสามารถดูดยึดโพแทสเซียมไว้ที่บริเวณพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนได้มาก นอกจากนี้ ผลการศึกษายังพบว่า ชุดดินนครปฐมมีปริมาณโพแทสเซียมในชั้นดินล่างสูงกว่าชั้นดินบน ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลจากกระบวนการชะละลาย (Buol *et al.*, 2011) ส่วนชุดดินปากท่อมีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำสูงกว่ารูปที่แลกเปลี่ยนได้ ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ชุดดินปากท่อมียุคความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างต่ำ ทำให้ดินมีความสามารถในการดูดยึดโพแทสเซียมไว้ที่บริเวณพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนได้น้อย จึงทำให้โพแทสเซียมส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนมาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากกว่ารูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Suttanukool *et al.*, 2019)

ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ของดินที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ในพิสัย 165-508 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Table 4) ซึ่งดินที่ทำการศึกษาล้วนส่วนใหญ่มีแร่ซิลิเกตเป็นองค์ประกอบในอนุภาคขนาดดินเหนียวจึงทำให้ดินส่วนใหญ่มีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (Rao *et al.*, 2010) อย่างไรก็ตาม ชุดดินปากท่อมียุคความจุแลกเปลี่ยนไม่ได้ต่ำกว่าชุดดินอื่น ๆ ซึ่งอาจเนื่องมาจากชุดดินปากท่อเป็นดินที่มีพัฒนาการสูงกว่าชุดดินอื่น ๆ และระดับการพองตัวของแร่ซิลิเกตอาจมากกว่าดินอื่น ๆ จึงทำให้โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ซิลิเกตลดลง (McLean, 1979)

ผลการศึกษาจลนศาสตร์การปลดปล่อยโพแทสเซียม

ผลการศึกษาลักษณะการปลดปล่อยโพแทสเซียมด้วยน้ำยาสกัด Mehlich 1 ที่ระยะเวลา 1 ถึง 168 ชั่วโมง พบว่า ดินมีลักษณะการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน โดยชั้นดินบนมีปริมาณการ

ปลดปล่อยโพแทสเซียมสะสม ตลอดช่วงระยะเวลา 168 ชั่วโมง อยู่ในพิสัย 240-816 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนดินชั้นล่างมีปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมอยู่ในพิสัย 182 - 974 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Table 4) โดยพบว่า ชุดดินปากท่อ มีปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับชุดดินอื่น ๆ ส่วนชุดดินนครปฐม 1 มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมสูงที่สุด (Figure 1)

เมื่อนำข้อมูลปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมมาอธิบายลักษณะการปลดปล่อยด้วยสมการทั้ง 5 สมการ พบว่า ทุกสมการยกเว้นสมการ Elovich สามารถอธิบายลักษณะการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ทำการศึกษาได้ดี โดยสมการ parabolic และ สมการ power function สามารถอธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในชุดดินบางเลนทั้ง 2 บริเวณ ชุดดินบางแพทั้ง 2 บริเวณ ชุดดินนครปฐม 1 และชุดดินปากท่อ ได้ดีกว่า ชุดดินสรรพยาทั้ง 2 บริเวณ ชุดดินนครปฐม 2 และชุดดินราชบุรี และมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) ของสมการ parabolic diffusion สมการ power function อยู่ในพิสัย 0.98-0.99 และ 0.91-0.98 ตามลำดับ สมการ parabolic diffusion สามารถอธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ทำการศึกษาได้ดี (Figure 2) แสดงให้เห็นว่า ดินที่ทำการศึกษามีกระบวนการปลดปล่อยโพแทสเซียมโดยกระบวนการแพร่ (diffusion controlled-process) ซึ่งมีรายงานว่าสมการ parabolic diffusion สามารถใช้อธิบายลักษณะการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแร่ไมกา และจากดินหลาย ๆ ลักษณะได้เป็นอย่างดี (Darunsontaya *et al.*, 2010; Dhillon and Dhillon, 1992) และสามารถอธิบายลักษณะการปลดปล่อยแอมโมเนียม (NH_4^+) จากดิน ซึ่งมีลักษณะประจุ ไกล่เคียงกับโพแทสเซียมได้ดีอีกด้วย (Darunsontaya *et al.*, 2018)

สมการ Power function สามารถอธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมใน ชุดดินบางเลนทั้ง 2 บริเวณ ชุดดินบางแพทั้ง 2 บริเวณ ชุดดินนครปฐม 1 และชุดดินปากท่อได้ดีเช่นกัน (Figure 2) ซึ่งสมการดังกล่าวสามารถใช้อธิบายลักษณะการปลดปล่อยโพแทสเซียมภายในช่วงเวลาน้อย ๆ หรือช่วงต้นของการทดลอง (ช่วงต้นของปฏิกิริยาแบบ S-curve) และเป็นลักษณะการปลดปล่อยที่เกิดจากพื้นผิวตัวดูดซับที่มีความสม่ำเสมอ

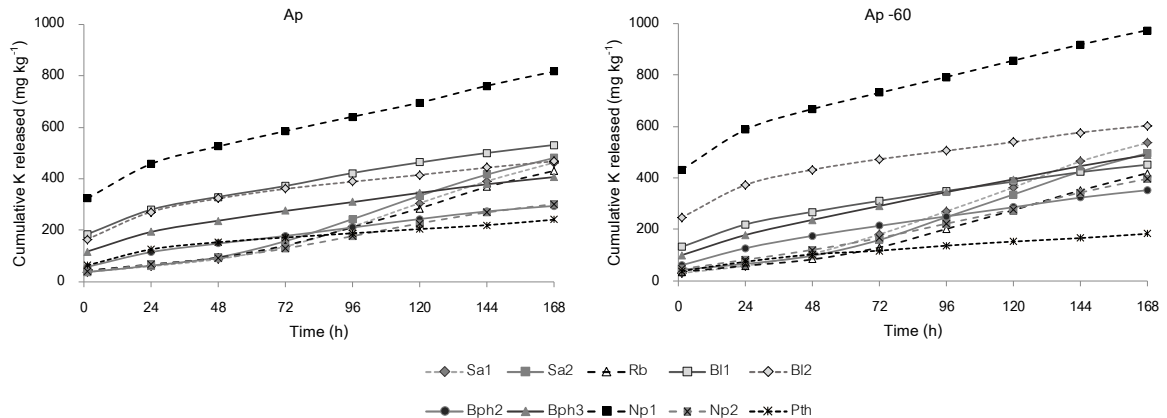


Figure 1. Potassium release between 0 and 168 hours for topsoil (Ap) and subsoil (Ap-60) samples

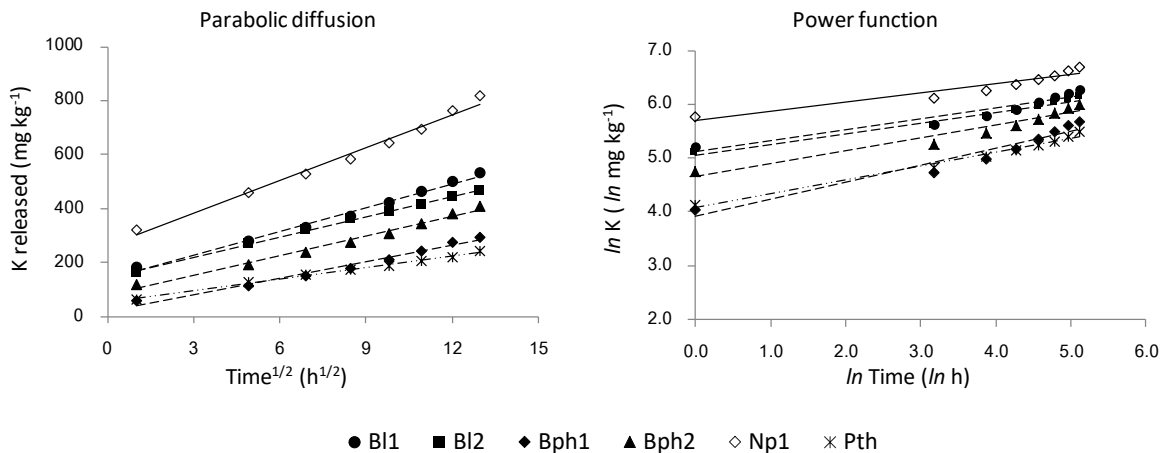


Figure 2. Data fitted to parabolic diffusion and power function describing K release from topsoil (Ap) of BI1, BI2, Bph1, Bph2, Np1 and Pth

(homogeneous surfaces) (Aharoni and Suzin, 1982; Sparks, 2003) ลักษณะดังกล่าวอาจแสดงให้เห็นว่า ในช่วงแรกของการทดลอง ดินที่ทำการศึกษา อาจเกิดการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนของแร่ดินเหนียวเพียงอย่างเดียว หลังจากนั้นกระบวนการปลดปล่อยจึงเกิดจากพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนทั้งภายใน และภายนอก รวมถึงการปลดปล่อยจากอินทรีย์วัตถุไปพร้อม ๆ กัน

สำหรับชุดดินสรวพยาทั้ง 2 บริเวณ ชุดดินนครปฐม 2 และชุดดินราชบุรี สามารถอธิบายลักษณะการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีด้วยสมการ ordered-equation (Figure 3) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) ของสมการ zero order และสมการ first order อยู่ในพิสัย 0.95-0.99 และ 0.83-0.87 ตามลำดับ ซึ่งสมการ

ordered-equation เป็นสมการที่บ่งบอกถึงปฏิกิริยาที่มีอัตราเร็วของการปลดปล่อยแตกต่างกันมาก อัตราเร็วกล่าวคือ ปฏิกิริยาเริ่มต้นด้วยอัตราที่ช้า และตามด้วยอัตราที่เร็วขึ้นมาก (Sparks, 2003) ซึ่งลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินกลุ่มนี้มาจากสองบริเวณ หรือสองพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยในช่วงแรกอาจเกิดการปลดปล่อยจากพื้นที่ผิวดูดซับภายนอก (external site) ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และช่วงที่สองเป็นการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากพื้นที่ผิวดูดซับภายใน (interlayer site) ของโครงสร้างแร่ดินเหนียว ซึ่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นในอัตราที่เร็วกว่า นอกจากนี้ สมการ zero order ยังบ่งบอกถึงปฏิกิริยาที่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของปริมาณโพแทสเซียมในดิน ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่า

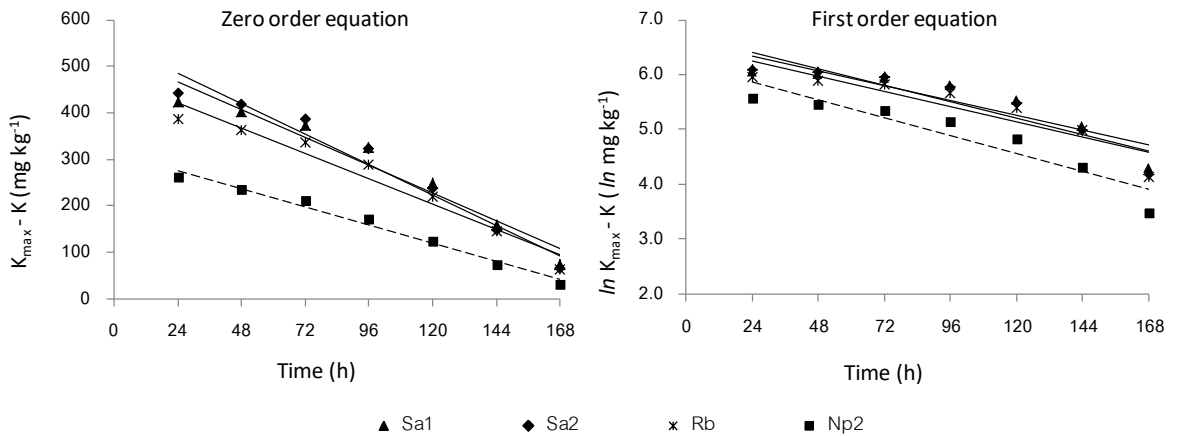


Figure 3. Data fitted to zero order equation and first order equation describing K release from topsoil (Ap) of Sa1, Sa2, Rb and Np2

ปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ที่มีอยู่ในระดับต่ำของชุดดินสรวยาทั้ง 2 บริเวณ ชุดดินนครปฐม 2 และชุดดินราชบุรี มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่ออัตราเร็วในการปลดปล่อยโพแทสเซียม

สรุป

ผลการศึกษาลักษณะการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ทำการศึกษา พบว่ามีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้ และโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ในดิน โดยปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อทั้งลักษณะการปลดปล่อยและอัตราเร็วในการปลดปล่อยโพแทสเซียม โดยชุดดินที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ทันทีอยู่ในระดับต่ำและมีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้อยู่ในระดับสูง ได้แก่ ชุดดินสรวยาทั้ง 2 บริเวณ ชุดดินนครปฐม 2 และชุดดินราชบุรี จะมีอัตราเร็วในการปลดปล่อยโพแทสเซียมในช่วงแรกของการศึกษาค่า และมีปริมาณการปลดปล่อยที่น้อย ต่อมาจะมีการปลดปล่อยในอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของการศึกษา ในขณะที่ชุดดินที่มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งรูปที่แลกเปลี่ยนได้ และรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้อยู่ในระดับสูง ได้แก่ ชุดดินบางเลน ทั้ง 2 บริเวณ ชุดดินบางแพทั้ง 2 บริเวณ และชุดดินนครปฐม 1 จะมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมในอัตราเร็วที่มากกว่า และมีปริมาณการปลดปล่อยสูงกว่าชุดดินใน

กลุ่มแรก ส่วนชุดดินปากท่อ ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้้อยู่ต่ำที่สุด มีปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับชุดดินอื่น ๆ ดังนั้น ในชุดดินสรวยา ชุดดินราชบุรี และชุดดินปากท่อ ที่มีปริมาณโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทันทีอยู่ในระดับต่ำ มีการสูญเสียโพแทสเซียมได้ง่าย และมีอัตราเร็วการปลดปล่อยโพแทสเซียมในช่วงแรกต่ำ ควรมีการพิจารณาเพิ่มปุ๋ยโพแทสเซียมในช่วงต้นฤดูการเพาะปลูกเพื่อให้ข้าวสามารถดูดใช้โพแทสเซียมได้ในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการ และสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาหาอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลในการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมในดินนาบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศไทยที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยรหัส ป-3.1(ด)53.61 ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

Aharoni, C. and Y. Suzin. 1982. Application of the Elovich equation to the kinetics of

- occlusion: Part 3. Heterogenous microporosity. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions I: Physical Chemistry in Condensed Phases* 78(8): 2329-2336.
- Buol, S.W., R.J. Southard, R.C. Graham and P.A. McDaniel. 2011. *Soil Genesis and Classification*. 6th ed. Wiley-Blackwell, Chichester. 543 p.
- Cox, A.E., B.C. Joern, S.M. Brouder and D. Gao. 1999. Plant-available potassium assessment with a modified sodium tetraphenylboron method. *Soil Science Society of America Journal* 63(4): 902-911.
- Darunsontaya, T., A. Sudcharoen and W. Jindaluang. 2018. Fixation and release of ammonium (NH_4^+) in soils containing 2:1 clay minerals. *Journal of Agriculture* 34(1): 41-53. (in Thai)
- Darunsontaya, T., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne and R. J. Gilkes. 2010. The kinetics of potassium release to sodium tetraphenylboron solution from the clay fraction of highly weathered soils. *Applied Clay Science* 50(3): 376-385.
- Dhillon, S.K. and K.S. Dhillon. 1992. Kinetics of release of potassium by sodium tetraphenyl boron from some top soil samples of red (Alfisols) , black (Vertisols) and alluvial (Inceptisols and Entisols) soils of India. *Fertilizer Research* 32: 135-138.
- Havlin, J.L. and D.G. Westfall. 1985. Potassium release kinetics and plant response in calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal* 49(2): 366-370.
- Jardine, P.M. and D.L. Sparks. 1984. Potassium–calcium exchange in a multireactive soil system: I. Kinetics. *Soil Science Society of America Journal* 48(1): 39-45.
- Kittrick, J.A. 1971. Stability of montmorillonites: II. Aberdeen montmorillonite. *Soil Science Society of America Journal* 35(5): 820-823.
- Land Development Department. 2015 . *State of Soil and Land Resources of Thailand*. Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 304 p. (in Thai)
- Laungta, S., N. Chittamart and S. Tawompruek. 2015. Agricultural potential evaluation of rice-based Thai vertisols. *Songklanakarin Journal of Plant Science* 2(4): 40-51. (in Thai)
- McLean, O.E. 1979. Schematic weathering of mica and their transformation into clay minerals: A matter of K release and fixation. pp. 1-13. *In: G.S. Sekhon (ed.). Potassium in Soils and Crops*. Potash Research Institute of India, Gurgaon, Haryana, New Delhi.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigation No. 42, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington, DC.
- Pratt, P.E. 1965. Potassium. pp. 1023-1031. *In: C.A. Black (ed.). Methods of Soil Analysis: Part 2—Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy Inc., Madison, WI.
- 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 Journal of Fertilisers* 6(7): 40-54.

- Rezapour, S., A. Samadi, A. A. Jafarzadeh and S.H. Oustan. 2010. Impact of clay mineralogy and landscape on potassium forms in calcareous soils, Urmia region. *Journal of Agricultural Science and Technology* 12(4): 495-507.
- Silva, A.A.S.da, J.A. Sampaio, A.B.da Luz, S.C.A. França and C.M. Ronconi. 2013. Modeling controlled potassium release from phlogopite in solution: exploring the viability of using crushed phlogopite rock as an alternative potassium source in Brazilian soil. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 24(8): 1366-1372.
- Sparks, D.L. 2003. *Environmental Soil Chemistry*. 2nd ed. Academic Press, San Diego. 352 p.
- Sparks, D.L., L.W. Zelazny and D.C. Martens. 1980. Kinetics of potassium desorption in soil using miscible displacement. *Soil Science Society of America Journal* 44(6): 1205-1208.
- Suttanukool, P., T. Darunsontaya and W. Jindaluang. 2019. A study on the quantity/intensity relationships of potassium of sugarcane growing soils, eastern Thailand. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 50(2): 153-163.
- Thasanon, P., T. Darunsontaya, W. Jindaluang and C. Khongkaew. 2018. Forms of potassium in paddy soils, Central Plain of Thailand. *Songklanakarin Journal of Plant Science* 5(3): 58-66. (in Thai)
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. pp. 159-165. *In*: C.A. Black (ed.). *Methods of Soil Analysis: Part 2—Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy Inc., Madison, WI.
- Weaver, R.M., M.L. Jackson and J.K. Syers. 1971. Magnesium and silicon activities in matrix solutions of montmorillonite-containing soils in relation to clay mineral stability. *Soil Science Society of America Journal* 35(5): 823-830.
- Whittig, L.D. 1965. X-ray diffraction technique for minerals identification and mineralogical composition. pp. 671-698. *In*: C.A. Black (ed.). *Methods of Soil Analysis: Part 2—Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy Inc., Madison, WI.
- Yoothong, K., L. Moncharoen, P. Vijarnson and H. Eswaran. 1997. Clay mineralogy of Thai soils. *Applied Clay Science* 11(5-6): 357-371.