

# การใช้ Quantity/Intensity (Q/I) concept เพื่อประมาณปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียม สำหรับข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินตาคลี

## Using Quantity/Intensity (Q/I) Concept to Estimate Potassium Fertilizer for Sweet Corn Grown in Takhli Soil Series

สุภาวดี เกิดบัวทอง<sup>1</sup> ศุภิมา ธนะจิตต์<sup>1,\*</sup> และ สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม<sup>1</sup>

Supawadee Kerdbuathong<sup>1</sup>, Suphicha Thanachit<sup>1,\*</sup> and Somchai Anusontpornperm<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>1</sup>Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

รับเรื่อง: 30 กันยายน 2565 Received: 30 September 2022

ปรับแก้ไข: 7 พฤศจิกายน 2565 Revised: 7 November 2022

รับตีพิมพ์: 10 พฤศจิกายน 2565 Accepted: 10 November 2022

\* Corresponding author: agrspc@ku.ac.th

**ABSTRACT:** The Quantity/Intensity (Q/I) concept can be used to assess soil K for efficient fertilizer management. Therefore, a study on K in the Takhli soil series was carried out using the Q/I concept to estimate the suitable rate of K fertilizer for sweet corn, Insee 2, and Songkhla 84-1 cultivars in the greenhouse. The experiments were arranged in a randomized complete block design with 10 treatments, comprising no K fertilization, K fertilizer applied at the rate of 0.5, 1.0 and 1.25 time of K estimated from K activity ratio ( $AR^k_e$ ) with each of these rates being applied as a single soil application, equally split soil application, and equally split soil and foliar application. The K rate at  $AR^k_e$  was 25.58 mg  $K_2O/kg$ . Results revealed that K fertilization estimated from  $AR^k_e$  at all rates had no impact on yield of sweet corn, Insee 2 cultivar but increased fresh ear weight of sweet corn, Songkhla 84-1 cultivar in a similar manner, except the rate at  $0.5AR^k_e$  ( $P < 0.01$ ). The rate of K added at  $AR^k_e$  and  $1.25AR^k_e$  both similarly improved sweetness (22.0–22.7 and 13.0–13.7 °brix) and reducing sugar (121–141 and 102–120 mg/L) of sweet corn, Insee 2 ( $P < 0.01$ ) and Songkhla 84-1 ( $P < 0.01$ ) cultivars. The single soil application gave yield and most of sweet corn qualities better than did the equally split application when compared at the same rate. Soil after harvesting sweet corn statistically contained greater water-soluble K ( $P < 0.05$ ) and exchangeable K ( $P < 0.01$ ) except for the addition at the rate of  $0.5AR^k_e$ . Furthermore, K parameters estimated from the Q/I concept were statistically increased ( $P < 0.01$ ). The  $AR^k_e$  can be used to assess soil K availability for fertilizer management but it should be conducted further under field conditions.

**Keywords:** Clay loam, available K, K fertilizer management

## บทคัดย่อ

แนวความคิด Quantity/Intensity (Q/I) ใช้ประเมินโพแทสเซียมในดินเพื่อการจัดการปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้ศึกษาโพแทสเซียมในชุดดินตาคลีโดยใช้แนวความคิด Q/I เพื่อประมาณอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 และพันธุ์สงขลา 84-1 ในโรงเรือนทดลองวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์จำนวน 10 ดำรับการทดลอง คือ ไผ่ใส่โพแทสเซียม ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ 0.5 1.0 และ 1.25 เท่าของโพแทสเซียมที่ประมาณจากค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ( $AR^k$ ) โดยใส่ทางดินครั้งเดียว หรือแบ่งใส่ทางดินสองครั้ง หรือแบ่งใส่ทางดินและฉีดพ่นทางใบ โดยอัตราปุ๋ยที่  $AR^k$  เท่ากับ 25.58 มิลลิกรัม  $K_2O$  ต่อกิโลกรัม ผลการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ประมาณจาก  $AR^k$  ในทุกอัตราไม่มีผลต่อผลผลิตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 แต่ทำให้น้ำหนักฝักสดข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 84-1 เพิ่มขึ้นได้ไม่แตกต่างกัน (42.23–52.40 กรัมต่อกระถาง) ยกเว้นที่  $0.5AR^k$  ( $P < 0.01$ ) การใส่โพแทสเซียมที่  $AR^k$  และ  $1.25AR^k$  ต่างเพิ่มความหวาน (22.0–22.7 และ 13.0–13.7 องศาบริกซ์) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (121–141 และ 102–120 มิลลิกรัมต่อลิตร) ของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ( $P < 0.01$ ) และสงขลา 84-1 ( $P < 0.01$ ) ได้ไม่แตกต่างกัน การใส่ปุ๋ยครั้งเดียวให้ผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวานส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าการแบ่งใส่เมื่อใส่ปุ๋ยในอัตราเดียวกัน ดินหลังปลูกข้าวโพดมีโพแทสเซียมที่ละลายน้ำ ( $P < 0.05$ ) และที่แลกเปลี่ยนได้ ( $P < 0.01$ ) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นการใส่ที่  $0.5AR^k$  นอกจากนี้โพแทสเซียมพารามิเตอร์ที่ประเมินจาก  $Q/I$  เพิ่มขึ้นทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) ค่า  $AR^k$  ประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินเพื่อจัดการปุ๋ยได้แต่ควรนำไปศึกษาเพิ่มเติมในสภาพไร่

คำสำคัญ: ดินร่วนเหนียว, โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์, การจัดการปุ๋ยโพแทสเซียม

## บทนำ

ข้าวโพดหวานเป็นพืชอายุสั้นที่สร้างรายได้สู่ประเทศเป็นมูลค่าสูง ซึ่งนิยมบริโภคโดยตรงในรูปของฝักสด ดังนั้น ความหวานจึงเป็นคุณภาพที่สำคัญโพแทสเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นต่อกระบวนการสร้างสารต่าง ๆ รวมถึงกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต การเคลื่อนย้ายและการสะสมน้ำตาลจึงมีผลต่อคุณภาพด้านความหวานของข้าวโพดหวาน (Mengel and Kirby, 1987; Minjian *et al.*, 2007) โดยพืชดูดใช้โพแทสเซียมจากดินในส่วนที่อยู่ในสารละลายดินและในส่วนที่แลกเปลี่ยนได้ โพแทสเซียมทั้งสองรูปนี้รวมเรียกว่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ซึ่งนำมาพิจารณาในการแนะนำอัตราปุ๋ยสำหรับข้าวโพดหวาน โดยหากมีค่าน้อยกว่า 60, 60–100 และมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 10, 5–10 และ 5 กิโลกรัม  $K_2O$  ต่อไร่ ตามลำดับ (Department of Agriculture, 2005) แต่การศึกษาของ Chalernthai and Santasup (2018) กลับไม่พบการตอบสนองของข้าวโพดหวานต่อการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 7.5–30 กิโลกรัม  $K_2O$  ต่อไร่ ถึงแม้ว่าดินมีระดับโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ (56.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แสดงให้เห็นว่า การพิจารณาเพียงปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินยังคงไม่เพียงพอต่อการวางแผนการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม ทั้งนี้ เนื่องจากโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ถูกพบในดินน้อยมากเพียงร้อยละ 1.0–2.0 ของโพแทสเซียมทั้งหมด (Havlin *et al.*, 2005) ขณะที่โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกตรึงอยู่ในโครงสร้างของแร่ถึงแม้จะไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชทันที แต่จะค่อย ๆ ถูกปลดปล่อยออกมา (Richards and Bates, 1988) จึงส่งผลกระทบต่อระดับความเป็น

ประโยชน์ของโพแทสเซียมในดิน นอกจากนี้ ดินที่มีสมบัติดินแตกต่างกันถึงแม้จะมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่เท่ากัน แต่อาจมีความยากง่ายในการดูดใช้โพแทสเซียมแตกต่างกัน (Zharikova, 2004; Suttanukool *et al.*, 2019) การศึกษาโพแทสเซียมในแนวความคิด Quantity/Intensity (Q/I) สามารถนำมาใช้ประเมินความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมสำหรับพืชในระยะสั้นได้ดีกว่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพื่อการประมาณอัตราแนะนำสำหรับปุ๋ยโพแทสเซียม (Beckett, 1964; Wang and Scott, 2001; Bedrossian and Singh, 2004) เนื่องจากเป็นการตรวจสอบระดับโพแทสเซียมในดินที่พืชจะดูดใช้ได้ ซึ่งขึ้นกับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดินและปัจจัยด้านความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายดิน ซึ่งจะบ่งบอกถึงปริมาณของโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ทันทีที่มีอยู่ในดินที่ถูกดูดซับอยู่บริเวณพื้นที่ผิวไม่จำเพาะ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช หรือระดับความยากง่ายของพืชในการดูดใช้โพแทสเซียมในสภาวะที่อยู่ร่วมกับธาตุแคลเซียมและธาตุแมกนีเซียม รวมถึงความสามารถของดินในการรักษาระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมเมื่อพืชดูดใช้โพแทสเซียม (Beckett, 1964)

วิธีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเป็นสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยคำแนะนำปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับข้าวโพดจะเป็นการใส่รองพื้นครั้งเดียว (Department of Agriculture, 2005) ซึ่งโพแทสเซียมอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต เนื่องจากโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์โดยเฉพาะในรูปที่ละลายน้ำได้จะสูญหายออกไปจากเขตรากพืชอย่างรวดเร็วจากกระบวนการชะละลาย (Havlin *et al.*, 2005) การแบ่งใส่ปุ๋ยเป็นวิธีการหนึ่งที่ลดการสูญเสียโพแทสเซียมไปจากดิน (Cakmak, 2010; Lu *et al.*, 2014) ขณะที่ การฉีดพ่นทางใบเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการใส่ทางดินเนื่องจากพืชสามารถดูดซึมธาตุอาหารโดยตรงผ่านทางปากใบและเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชอย่างรวดเร็ว

จึงส่งเสริมเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืชหลายชนิด (Mann *et al.*, 2004; Aown *et al.*, 2012) รวมถึงข้าวโพดหวาน โดย Suwanarit and Sestapukdee (1989) พบว่า ข้าวโพดหวานที่ได้รับโพแทสเซียมทางดินเพียงพอจะมีผลผลิตและคุณภาพความหวานเพิ่มขึ้นเมื่อมีการฉีดพ่นโพแทสเซียมทางใบเพิ่มเติม โดยเฉพาะเมื่อฉีดพ่นในช่วงเวลาที่ดอกตัวผู้ของข้าวโพดหวานบานเกินกว่าร้อยละ 50 เพียงครั้งเดียว การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมจากโพแทสเซียมในดินตามแนวความคิด Q/I และศึกษาผลของอัตราและรูปแบบการให้ปุ๋ยโพแทสเซียมต่อผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินตาคลีในสภาพโรงเรือนทดลอง ผลการศึกษาที่ได้จะสร้างองค์ความรู้ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น เพื่อประโยชน์ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### ดินที่ใช้ในการทดลอง

ชุดดินที่ใช้ในการศึกษาคือชุดดินตาคลี (Takhli soil series, Tk: loamy-skeletal, carbonatic, isohyperthermic Entic Haplustolls) เนื่องจากเป็นดินที่ใช้ปลูกข้าวโพดหวานอย่างแพร่หลายของประเทศโดยเฉพาะในภาคกลาง โดยเก็บตัวอย่างดินในชั้นดินบน (ความลึกประมาณ 25 เซนติเมตร) ในแปลงเกษตรกรรมที่ใช้ปลูกข้าวโพดอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี เพื่อนำไปวิเคราะห์โพแทสเซียมในดินในการประเมินเป็นอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่จะใช้ทดสอบกับข้าวโพดหวาน จากผลการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นก่อนทำการทดลองพบว่า ดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนเหนียว มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน (Soil pH (1:1) = 7.7) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 23.9 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 3.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 23.7 เซนติโมลต่อกิโลกรัม

**แผนการทดลองและดำรับการทดลอง**

ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดหวานต่อการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราและวิธีการที่แตกต่างกันโดยใช้ข้าวโพดหวาน จำนวน 2 พันธุ์ เป็นพืชทดสอบ ได้แก่ พันธุ์อินทรี 2 และสงขลา 84-1 ในแต่ละพันธุ์วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ จำนวน 10 ดำรับการทดลอง ประกอบด้วย T1 ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (ควบคุม) ส่วนดำรับการทดลองที่เหลือ (T2-T10) ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 0.5 1 และ 1.25 เท่าของโพแทสเซียมที่

ประมาณจากค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Activity ratio of K at equilibrium,  $AR^k$ ) แต่มีวิธีการใส่แตกต่างกันโดย T2-T4 เป็นการใส่ทางดินหลังจากข้าวโพดงอก 7 วัน T5-T7 เป็นการแบ่งใส่ทางดินครั้งละเท่า ๆ กันหลังจากข้าวโพดงอก 7 วัน และระยะที่ข้าวโพดออกดอกตัวผู้เกินร้อยละ 50 และ T8-T10 เป็นการแบ่งใส่ทางดินครึ่งหนึ่งหลังจากข้าวโพดงอก 7 วัน และอีกครึ่งหนึ่งฉีดพ่นในระยะที่ข้าวโพดออกดอกตัวผู้เกินร้อยละ 50 (Table 1)

**Table 1** Detail of K fertilizer applied into each treatment

Treatment	K rate (times of $AR^k$ )	K rate (mg $K_2O/kg$ )
T1	0 (No K fertilizer)	-
T2, T5, T8	0.5	12.80
T3, T6, T9	1.0	25.58
T4, T7, T10	1.25	31.98
Recommended rate basing soil analysis <sup>1</sup>		16.03
Treatment	Details of application method	
T2, T3, T4	Soil application at 7 days after germination (DAG)	
T5, T6, T7	Soil applications equally split at 7 DAG and at 50% tasselling date	
T8, T9, T10	Equally split soil and foliar applications performed at 7 DAG and at 50% tasselling date, respectively	

<sup>1</sup>Available K content of Tk soil was 348 mg/kg. Available K of soils (mg/kg) analyzed by the  $NH_4OAC$  method was <60, 60-100, and >100, the recommended K fertilizer were applied at 32.06, 13.03-32.06, and 16.03 mg  $K_2O/kg$  (equal to 10, 5-10, and 5 kg  $K_2O/rai$ ), respectively (Department of Agriculture, 2005).

**การปลูกข้าวโพดหวานและการดูแลรักษา**

ปลูกข้าวโพดหวานในโรงเรือนทดลอง ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระหว่างเดือนตุลาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2564 โดยขังดินแห้งหนัก 7.5 กิโลกรัม ใส่กระถางพลาสติกกันทึบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร รดน้ำด้วยน้ำกลั่นและรักษาความชื้นของดินให้เท่ากับ

ร้อยละ 60 ของความจุความชื้นสนาม (ความชื้นดินที่ความจุความชื้นสนามมีค่าเท่ากับร้อยละ 32 โดยน้ำหนัก) เป็นเวลา 7 วัน จากนั้น หยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานจำนวน 5 เมล็ดต่อกระถาง แล้วถอนแยกเหลือ 1 ต้นต่อกระถาง หลังจากข้าวโพดงอก 5 วัน โดยรดน้ำทุก 2 วัน ด้วยน้ำกลั่นในอัตรา 500 มิลลิลิตรต่อกระถางตลอดระยะเวลาของการทดลอง

ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใส่ใช้ในรูปปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) การฉีดพ่นทางใบจะฉีดพ่นบนใบในตำแหน่งที่สูงกว่าตอนกลางของลำต้น โดยฉีดพ่นโพแทสเซียมความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ใน T8-T10 เพื่อป้องกันปัญหาใบไหม้ และฉีดพ่นน้ำกลั่นในปริมาณเท่ากันในการทำการทดลองที่เหลือ ในทุกทำการทดลองใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักที่เหลือตามอัตราแนะนำ (Department of Agriculture, 2005) หลังข้าวโพดงอก 7 วัน ในอัตรา 0.18 กรัม N ต่อกระถาง และ 0.24 กรัม  $P_2O_5$  ต่อกระถาง (เทียบเท่ากับ 7.5:10 กิโลกรัม N: $P_2O_5$  ต่อไร่) ในรูปปุ๋ยเรีย (46-0-0) และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) ตามลำดับ เมื่อข้าวโพดอายุ 30 วัน จึงแต่งหน้าด้วยยูเรียอัตรา 0.18 กรัม N ต่อกระถาง (เทียบเท่ากับ 7.5 กิโลกรัม N ต่อไร่) และฉีดพ่นด้วยสังกะสีซัลเฟตและเหล็กซัลเฟตที่มีความเข้มข้นของสังกะสีและเหล็กเท่ากับร้อยละ 1 และ 0.5 ตามลำดับ

## การเก็บข้อมูล

### ผลผลิตพืช

เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดหลังออกไหม 20 วัน และบันทึกข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตพืช ประกอบด้วยน้ำหนักต่อแห้งซึ่งข้าวโพด น้ำหนักฝักสด ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของฝักปอกเปลือก และเก็บตัวอย่างพืชที่อายุเก็บเกี่ยว ได้แก่ 1) เมล็ดข้าวโพด เพื่อนำไปวิเคราะห์ความหวานด้วย hand reflectometer (รุ่น REF113 ผลิตโดย Silverado) และปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ (Miller, 1959) และ 2) ตอซึ่งข้าวโพด เพื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักโดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรด  $H_2SO_4-Na_2SO_4-Se$  เพื่อวัดปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1965) และการย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรด  $HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$  (Johnson and Ulrich, 1959) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer (รุ่น Lambda 365 ผลิตโดย PerkinElmer) และโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) (รุ่น AA240

ผลิตโดย Agilent) ตามลำดับ จากนั้น นำความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ได้และน้ำหนักแห้งมาคำนวณเป็นปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลักต่อกระถาง

### ตัวอย่างดิน

หลังจากเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน นำตัวอย่างจากทำการทดลองเดียวกันที่ได้จากข้าวโพดหวานทั้งสองพันธุ์มาผสมคลุกเคล้ากัน และนำมาวิเคราะห์รูปทางเคมีของโพแทสเซียม และพารามิเตอร์โพแทสเซียมของดินที่ประเมินจากแนวคิด Q/I ได้แก่  $PBC_k$ ,  $\Delta K^\circ$  และ  $AR_k^e$

### การศึกษาโพแทสเซียมในดิน

นำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำ รูปที่แลกเปลี่ยนได้ และรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้โดยใช้วิธีสกัดแบบลำดับส่วน (Pratt, 1965) เริ่มต้นจากการสกัดโพแทสเซียมที่ละลายน้ำในดินด้วยน้ำกลั่น จากนั้น สกัดโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วย 1 M  $NH_4OAc$  ที่ pH 7 โดยใช้สัดส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:10 เขย่า 30 นาที นำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงนาน 10 นาที ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที เพื่อแยกตะกอนดินไปสกัดในขั้นต่อไป และนำส่วนสารละลายใส่ไปวัดปริมาณโพแทสเซียมโดยในขั้นสุดท้าย ทำการย่อยตะกอนดินด้วย 1 M  $HNO_3$  ปริมาณ 30 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองแล้วล้างตะกอนด้วย 0.01 M  $HNO_3$  ปรับปริมาตรสารละลายใส่เป็น 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ ปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายใส่ที่กรองได้จากทุกวิธีการถูกวัดด้วยเครื่อง AAS ผลรวมของโพแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำและรูปที่แลกเปลี่ยนได้คือ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีมาตรฐาน (1 M  $NH_4OAc$  method) ที่ใช้ทั่วไป รวมถึงในประเทศไทย ซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณร้อยละความอิ่มตัวของโพแทสเซียมของดินโดยการหารด้วยความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

### การวิเคราะห์โพแทสเซียมในดินตามแนวความคิด Q/I

นำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์โพแทสเซียมตามแนวความคิด Q/I ตามวิธีการของ Wang *et al.* (2004) โดยนำดินมาเติม 0.01 M CaCl<sub>2</sub> ที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมในรูปของ KCl แตกต่างกัน (0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิโมล) ในสัดส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:10 เขย่านาน 60 นาที ปล่อยตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงนาน 5 นาที ที่ความเร็ว 3,900 รอบต่อนาที กรองแล้วนำสารละลายใส่ไปวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ด้วยเครื่อง AAS เพื่อนำไปคำนวณ ค่า ΔK และ ค่า AR<sub>k</sub> ดังนี้

$$\Delta K = (CK_i - CK_f) \times (v/w)$$
$$AR_k = CK_f / (Ca + Mg)^{1/2}$$

เมื่อ CK<sub>i</sub> คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เพิ่มให้แก่ดิน (มิลลิโมล) CK<sub>f</sub> คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียม ณ จุดสมมูล (มิลลิโมล) v คือ ปริมาตรสารละลาย (มิลลิลิตร) w คือ น้ำหนักดิน (กรัม) Ca และ Mg คือ ความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียม (โมลต่อลิตร) ตามลำดับ จากนั้น นำค่า ΔK และ ค่า AR<sub>k</sub> ที่แต่ละระดับความเข้มข้นมาสร้างกราฟความสัมพันธ์เพื่อคำนวณพารามิเตอร์โพแทสเซียมของดิน ได้แก่ 1) ความชันของกราฟ แสดงถึงศักยภาพความจุบัฟเฟอร์ของโพแทสเซียม (Potential buffering capacity, PBC<sub>k</sub>) ซึ่งเป็นความสามารถของดินในการรักษาระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมเมื่อพืชมีการดูดใช้โพแทสเซียม 2) จุดตัดแกน y แสดงถึงค่า ΔK° (Readily exchangeable K held on the non-specific site) ซึ่งบ่งชี้ถึงปริมาณ (Quantity) ของโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ทันทีที่มีอยู่ในดินซึ่งถูกดูดซับอยู่บริเวณพื้นที่ผิวไม่จำเพาะ 3) จุดตัดแกน x แสดงถึงค่า AR<sub>k</sub> เป็นความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Intensity) หรือระดับความยาก

ง่ายของพืชในการดูดใช้โพแทสเซียมในสภาวะที่อยู่ร่วมกับธาตุแคลเซียมและธาตุแมกนีเซียม ซึ่งถูกนำมาประมาณเป็นอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมเพื่อใช้ในการทดสอบสำหรับการศึกษาคั้งนี้ 4) พลังงานอิสระในการแทนที่โพแทสเซียม (Free energy of K replenishment, -ΔG = 2.30 RT log AR<sub>k</sub> เมื่อ R คือ ค่าคงที่ของแก๊สเท่ากับ 8.315 จูลต่อโมล และ T คือ อุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส (Beckett, 1972)) และ 5) สัมประสิทธิ์ Gapon (Gapon selectivity coefficient, K<sub>G</sub>) ซึ่งคำนวณจาก PBC<sub>k</sub>/AR<sub>k</sub> (Evangelou *et al.*, 1986)

### การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไป

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### โพแทสเซียมในดิน

ชุดดินตาคลีที่ศึกษามีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูง โดยส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่าในรูปที่ละลายน้ำโดยมีค่าเท่ากับ 288.83 และ 59.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Table 2) เนื่องจากดินมีเนื้อดินละเอียดและมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง นอกจากนี้ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (0.892 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) มีค่าอยู่ในพิสัยเดียวกับค่า ΔK° ที่ประเมินจาก Q/I (-0.884 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ซึ่งมีค่าติดลบ แสดงให้เห็นว่าโพแทสเซียมในดินที่ถูกดูดซับไว้ที่พื้นผิวแลกเปลี่ยนภายนอกจะปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายดินได้ง่ายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโพแทสเซียมในดิน สอดคล้องกับค่า AR<sub>k</sub> ของดินที่มีค่าต่ำกว่า 0.01 (mol/L)<sup>1/2</sup> แต่สูงกว่าค่าวิกฤต (0.008 เปรียบเทียบกับ 0.001 (mol/L)<sup>1/2</sup>) ที่รายงานโดย Beckett (1964)

แสดงให้เห็นว่า โปแทสเซียมถูกดูดซับอยู่ที่ขอบผลึกของแร่ดินเหนียว ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทำให้พืชดูดใช้ โปแทสเซียมในระดับปานกลางแม้ว่าความเข้มข้นของโปแทสเซียมในดินจะสูงก็ตาม (Saleque *et al.*, 2009; Suttanukool *et al.*, 2019) จากผลการศึกษาข้างต้นบ่งชี้ให้เห็นว่า แหล่งของโปแทสเซียมที่พืชดูดใช้ได้จริงจะอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่าในรูปที่ละลายน้ำได้

ดินมีค่า  $PBC_k$  และ  $\Delta G$  สูงโดยมีค่าเท่ากับ 106.45 (cmol/kg)/(mol/L)<sup>1/2</sup> และ 203 cal/mole ตามลำดับ (Table 2) แสดงให้เห็นว่า ดินจะรักษาระดับความเป็นประโยชน์ของโปแทสเซียมได้ดีถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปแทสเซียมในดินจากการใส่ปุ๋ย และการสูญเสียจากการดูดใช้ของพืช และการถูกชะละลาย ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับร้อยละ

ความอิ่มตัวของโปแทสเซียมที่มีค่าสูงเกินกว่าร้อยละ 1.5 แสดงให้เห็นว่า ตำแหน่งพื้นที่ผิวที่แลกเปลี่ยนของคอลลอยด์ดินจะมีโปแทสเซียมอยู่มาก ทำให้โปแทสเซียมที่เพิ่มเติมภายหลังจะอยู่ในสารละลายดินซึ่งจะมีปริมาณมากเพียงพอที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้อย่างต่อเนื่องตลอดฤดูกาลเพาะปลูก (Wang *et al.*, 2004) ระดับของโปแทสเซียมในดินจึงไม่เป็นปัญหาต่อการปลูกพืชส่วนใหญ่ ถึงแม้ว่าดินจะมีปริมาณโปแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูง แต่โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ของดินมีค่าต่ำกว่า 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่า แหล่งสำรองของโปแทสเซียมในดินต่ำ (Rao *et al.*, 2010) จึงอาจไม่เพียงพอต่อพืชในระยะยาวหากไม่มีการใส่ปุ๋ยโปแทสเซียมโดยเฉพาะเมื่อปลูกพืชที่ต้องการโปแทสเซียมสูง

**Table 2** Various K forms in the studied soils

Soil K	Takhli soil series
Form of K	
Water soluble K (mg/kg)	59.39
Exchangeable K (mg/kg)	288.83
Non-exchangeable K (mg/kg)	98.61
Available K (cmol/kg)	0.892
K saturation (%)	3.73
K parameter from Q/I concept	
$AR^k_e$ (mol/L) <sup>1/2</sup>	0.008
$PBC_k$ (cmol/kg)/(mol/L) <sup>1/2</sup>	106.45
$\Delta K^\circ$ (cmol/kg)	-0.884
$K_G$ (mol/L) <sup>1/2</sup>	4.45
$\Delta G$ (cal/mole)	203

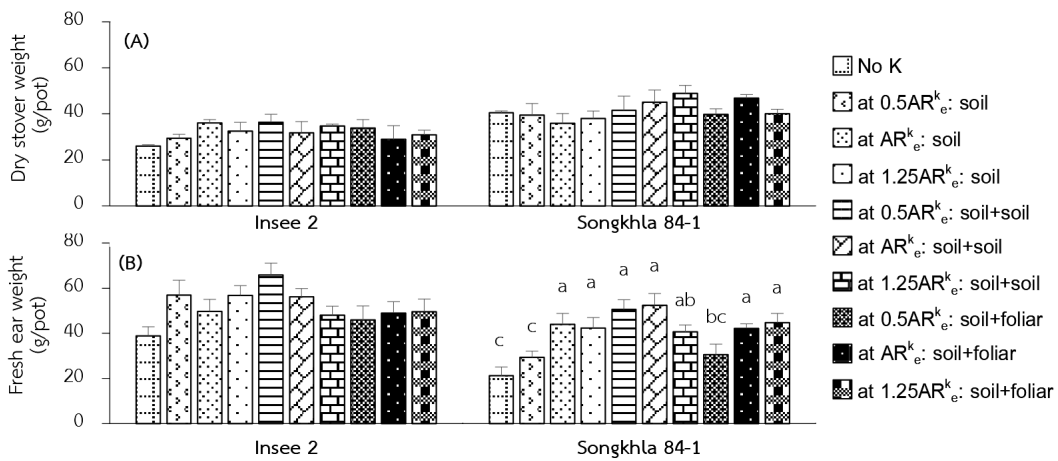
นอกจากนี้ ค่า  $AR^k_e$  จะบ่งบอกถึงความเข้มข้นของโปแทสเซียมในดิน (Beckett, 1964) จึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเป็นประโยชน์ของโปแทสเซียมสำหรับพืชในระยะสั้นได้ดีกว่าโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Wang and Scott, 2001; Bedrossian and Singh, 2004) จึงอาจนำมาใช้ในการประเมินอัตราปุ๋ย

โปแทสเซียมได้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ผลการศึกษาพบว่า อัตราปุ๋ยโปแทสเซียมที่  $AR^k_e$  มีค่าสูงกว่าอัตราที่แนะนำโดย Department of Agriculture (2005) ซึ่งพิจารณาจากปริมาณโปแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของดิน (25.58 เปรียบเทียบกับ 16.03 มิลลิกรัม  $K_2O$  ต่อกิโลกรัม; Table 1)

**ผลของการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมต่อผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวาน**

ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ไม่ตอบสนองทางสถิติต่อการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม ( $P > 0.05$ ) โดยให้น้ำหนักแห้งต่อชั่งและน้ำหนักฝักสดอยู่ในพิสัย 26.0–36.4 และ 38.9–65.8 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ (Figure 1) เช่นเดียวกับข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 84-1 ที่ปุ๋ยโพแทสเซียมไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งต่อชั่ง (26.0–36.4 กรัมต่อกระถาง; Figure 1A) แต่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม

ในเกือบทุกตำรับการทดลองให้น้ำหนักฝักสดสูงสุด (42.23–52.40 กรัมต่อกระถาง) แตกต่างจากตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) รองลงมาคือ อัตรา  $0.5AR_e^k$  ที่แบ่งใส่ทางดินและฉีดยังพ่นทางใบ (30.50 กรัมต่อกระถาง) ขณะที่ การใส่ในอัตรานี้ทางดินเพียงครั้งเดียว (29.30 กรัมต่อกระถาง) ให้ผลผลิตฝักสดต่ำที่สุด ซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติจากตำรับควบคุม (21.15 กรัมต่อกระถาง; Figure 1B)



**Figure 1** Yield response of two sweet corn varieties, Insee 2 and Songkhla 84-1, to K fertilizer: (A) dry stover weight, (B) fresh ear weight. Different lowercase letters on bars grouped within same variety are significantly different at  $P < 0.05$ . Error bars indicate standard deviation.

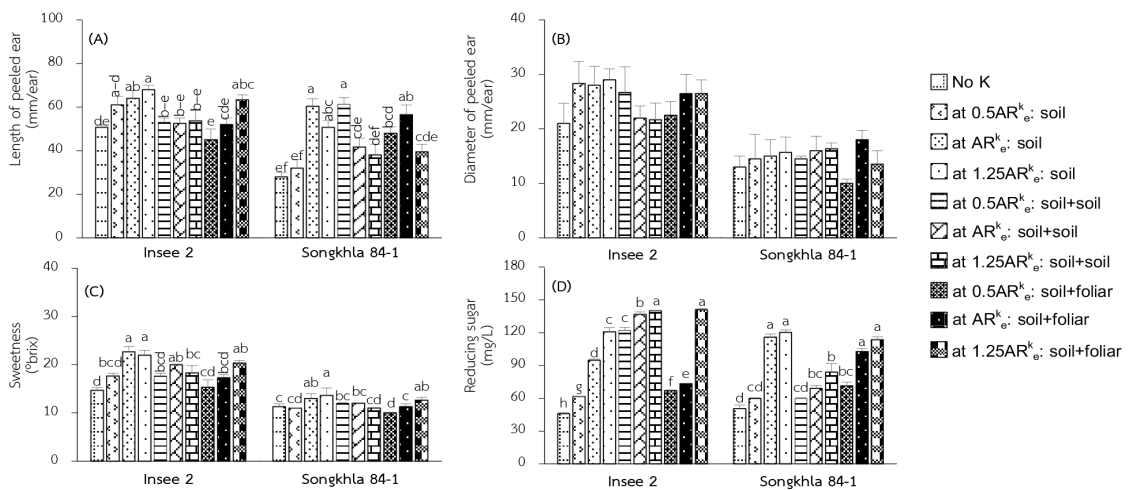
การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมส่งผลต่อคุณภาพของข้าวโพดหวานทั้งสองพันธุ์อย่างชัดเจน ยกเว้นเส้นผ่านศูนย์กลางฝัก (Figure 2B) ในข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มความหวาน และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) ยกเว้น อัตรา  $0.5AR_e^k$  ที่แบ่งใส่ทางดินและฉีดยังพ่นทางใบที่ให้ความยาวฝักต่ำกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (45.0 เปรียบเทียบกับ 50.7 มิลลิเมตร) การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่  $1.25AR_e^k$  เพิ่มคุณภาพของข้าวโพดได้ดีที่สุดโดยการใส่

ครั้งเดียวให้ความยาวฝัก (68.0 มิลลิเมตร,  $P < 0.01$ ) และความหวาน (22.0 องศาบริกซ์,  $P < 0.01$ ) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figures 2A, 2C) แต่หากแบ่งใส่ทางดิน หรือแบ่งใส่ทางดินและฉีดยังพ่นทางใบจะ ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดไม่แตกต่างกันเท่ากับ 140 และ 141 มิลลิกรัมต่อลิตร ( $P < 0.01$ ) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การแบ่งใส่ทางดินและฉีดยังพ่นทางใบให้ความหวานและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำกว่าการแบ่งใส่ทางดินสองครั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อใส่โพแทสเซียมที่  $0.5AR_e^k$  และ  $AR_e^k$  (Figure 2D)



สำหรับข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 84-1 การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในทุกตำรับการทดลองทำให้ความยาวฝัก ( $P < 0.01$ ) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ( $P < 0.01$ ) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความยาวฝักมีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกันเมื่อใส่ครั้งเดียวที่  $AR^k_e$  และ  $1.25AR^k_e$  การแบ่งใส่ทางดินสองครั้งที่  $0.5AR^k_e$  และการแบ่งใส่ทางดินและฉีดพ่นทางใบ  $AR^k_e$  (50.7–61.3 มิลลิเมตร; Figure 2A) ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกันเมื่อใส่ในอัตรา  $AR^k_e$  และ

$1.25AR^k_e$  เพียงครั้งเดียวหรือแบ่งใส่ทางดินและฉีดพ่นทางใบ (103–120 มิลลิกรัมต่อลิตร; Figure 2D) อย่างไรก็ตาม ตำรับการทดลองส่วนใหญ่ให้ความหวานของข้าวโพดแตกต่างจากตำรับควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (10.00–12.00 เปรียบเทียบกับ 11.3 องศาบริกซ์) ยกเว้น การใส่ทางดินในอัตรา  $AR^k_e$  และ  $1.25AR^k_e$  และอัตรา  $1.25AR^k_e$  ที่แบ่งใส่ทางดินและฉีดพ่นทางใบ ซึ่งให้ค่าสูงสุดไม่แตกต่างกัน (12.67–13.67 องศาบริกซ์) ดังแสดงใน Figure 2C



**Figure 2** Effect of K fertilization on the quality of two sweet corn varieties, Insee 2 and Songkhla 84-1: (A) length and (B) diameter of peeled ear, (C) sweetness, and (D) reducing sugar in corn grain. Different lowercase letters on bars grouped within same variety are significantly different at  $P < 0.05$ . Error bars indicate standard deviation.

จากปริมาณโพแทสเซียมในดินและพารามิเตอร์ของโพแทสเซียมที่ประเมินจากแนวคิด Q/I ของดินซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่า ชุดดินตาคาลิที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูง และสามารถให้โพแทสเซียมแก่พืชได้อย่างต่อเนื่องตลอดฤดูกาลเพาะปลูก อย่างไรก็ตาม โพแทสเซียมในดินอาจยังคงไม่เพียงพอสำหรับข้าวโพดหวานเนื่องจากข้าวโพดหวานตอบสนองเชิงบวกต่อปุ๋ยโพแทสเซียม ข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 84-1 เป็นพันธุ์ที่พัฒนาปรับปรุงล่าสุดกว่าพันธุ์อินทรี 2 (Chai Nat Field Crops Research Center,

2019) จึงตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทสเซียมอย่างชัดเจนทั้งทางด้านผลผลิตและคุณภาพ การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่  $AR^k_e$  และ  $1.25AR^k_e$  ต่างทำให้คุณภาพของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 84-1 เพิ่มขึ้นได้ไม่แตกต่างกัน ซึ่งอัตราของโพแทสเซียมที่ใส่มีค่าสูงกว่าอัตราที่แนะนำสำหรับข้าวโพดหวานประมาณสองเท่า โดยทั่วไปโพแทสเซียมมีความสำคัญในการเคลื่อนย้ายสารอาหารหรือผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงในพืช ข้าวโพดที่ได้รับโพแทสเซียมเพียงพอจะแข็งแรงและต้านทานต่อโรค

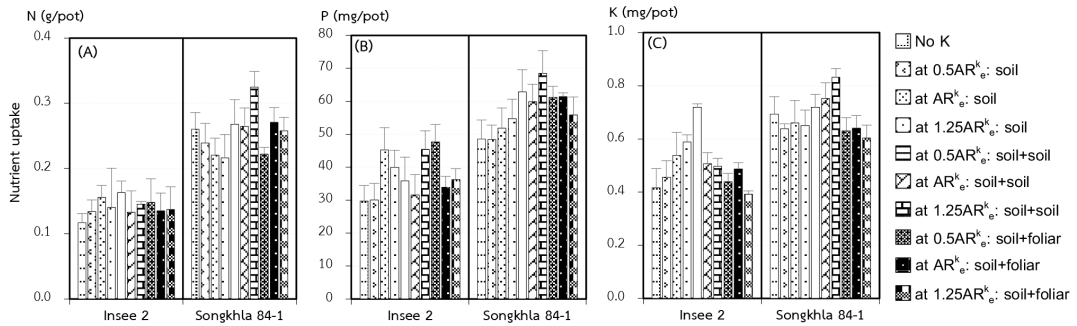
แมลง (Mengel and Kirby, 1987) จึงทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (Mam Rasul, 2010; Jiang *et al.*, 2018) นอกจากนี้ โพแทสเซียมมีบทบาทกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตและการเคลื่อนย้ายน้ำตาล จึงส่งเสริมการติดเมล็ดและการสะสมน้ำตาลในเมล็ด (Minjian *et al.*, 2007) ทำให้ข้าวโพดมีความหวานเพิ่มขึ้น (Suwanarit and Sestapukdee, 1989; Pettigrew, 2008)

การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพียงครั้งเดียวทำให้ผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวานส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าการแบ่งใส่เมื่อใส่ปุ๋ยในอัตราเดียวกัน แต่การแบ่งใส่ปุ๋ยจะเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับข้าวโพดหวานพันธุ์ 84-1 เมื่อใส่ในอัตราต่ำที่  $0.5AR^k$  โดยผลผลิตฝักสดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้นมากกว่ารูปแบบการให้ปุ๋ยอื่น ๆ เมื่อแบ่งใส่ทางดินสองครั้ง และแบ่งใส่ทางดินและฉีดพ่นทางใบ ตามลำดับ สาเหตุที่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทางดินมีประสิทธิภาพมากกว่าการฉีดพ่นทางใบโดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยเพียงครั้งเดียว อาจเป็นผลมาจากดินที่ศึกษาครั้งนี้มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จึงดูดซับโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยจากปุ๋ยไม่ให้เกิดการสูญหาย ทำให้ข้าวโพดดูดใช้ได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ ข้าวโพดหวานเป็นพืชที่ต้องการโพแทสเซียมสูงในช่วงที่มีการเจริญเติบโตและพัฒนาอย่างมากกว่าในระยะอื่น ๆ โดยเฉพาะในระยะ 14 วันหลังออก (Pettigrew, 2008) ดังนั้น การแบ่งใส่ปุ๋ยอาจทำให้มีโพแทสเซียมไม่เพียงพอสำหรับข้าวโพดในช่วงแรกของการเจริญเติบโต การใส่อีกครั้งหรือการฉีดพ่นในระยะที่ข้าวโพดออกดอกตัวผู้อาจไม่ทันการจึงส่งผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพของ

ข้าวโพดหวาน สอดคล้องกับ Suwanarit and Sestapukdee (1989) ที่พบว่า ข้าวโพดหวานที่ได้รับโพแทสเซียมทางดินเพียงพอ การฉีดพ่นโพแทสเซียมเพิ่มเติมจะเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวาน โดยเมื่อดอกตัวผู้หวานบานเกินกว่าร้อยละ 50 เป็นระยะที่ดีที่สุด ซึ่งทำให้ผลผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.3 และ 30.6 จากการไม่ฉีดพ่นตามลำดับ

### ผลของปุ๋ยโพแทสเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าวโพดหวาน

แม้ว่าข้าวโพดหวานตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตต่อปุ๋ยโพแทสเซียม แต่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราและวิธีการที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ข้าวโพดหวานทั้งสองพันธุ์ดูดใช้ธาตุอาหารหลักแตกต่างกันทางสถิติ (Figures 3A-3C) ข้าวโพดหวานเป็นพืชที่มีความต้องการโพแทสเซียมสูง (Pettigrew, 2008) จึงดูดใช้โพแทสเซียมสูงกว่าธาตุอาหารหลักอื่น ๆ โดยข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 และพันธุ์สงขลา 84-1 ดูดใช้โพแทสเซียมอยู่ในพิสัยใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.42-0.72 และ 0.64-0.83 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ขณะที่ ข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 84-1 ดูดใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่าประมาณสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ถึงแม้ว่าดินที่ศึกษาจะมีโพแทสเซียมสูง แต่ใน 1 ฤดูกาลเพาะปลูก จะเกิดการสูญเสียโพแทสเซียมออกไปจากดินในปริมาณมาก การปลูกข้าวโพดหวานอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอาจมีผลทำให้โพแทสเซียมในดินลดลงจนมีปริมาณไม่เพียงพอ



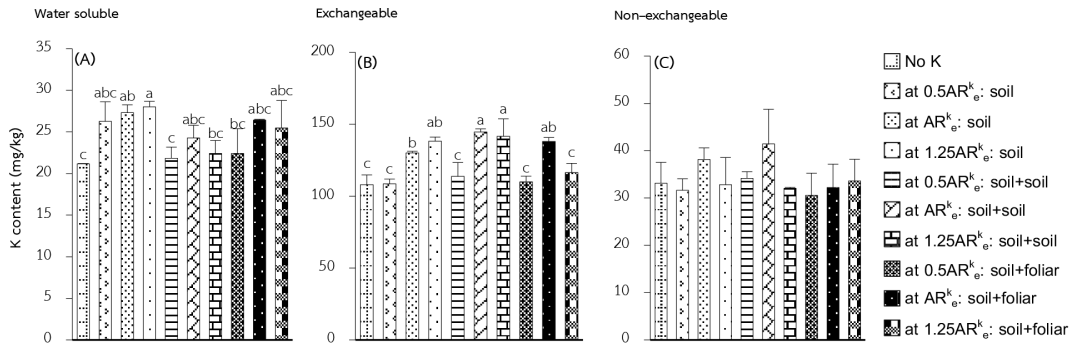
**Figure 3** Effect of K fertilization on plant nutrient uptake of two sweet corn varieties, Insee 2 and Songkhla 84-1: (A) nitrogen, (B) phosphorus, (C) potassium. Error bars indicate standard deviation.

### ผลของปุ๋ยโพแทสเซียมต่อโพแทสเซียมในดินหลังปลูกข้าวโพด

การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน ( $P < 0.05$ ) ยกเว้น ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (30.56–41.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม; Figure 4) มีเพียงการแบ่งใส่ทางดินสองครั้งที่ AR<sup>k</sup> ที่ทำให้โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ในดินมีค่าต่ำที่สุด ไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุม (21.84 เปรียบเทียบกับ 21.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยโพแทสเซียมเมื่อใส่ปุ๋ยเพียงครั้งเดียวและมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เท่ากับ 28.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อใส่ที่อัตรา 1.25AR<sup>k</sup> (Figure 4A) การใส่โพแทสเซียมที่ 0.5AR<sup>k</sup> ในทุกรูปแบบให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าต่ำที่สุดไม่แตกต่างทางสถิติจากค่ารับควบคุม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราของโพแทสเซียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น เมื่อแบ่งใส่ทางดินและฉีด

พ่นทางใบที่อัตรา 1.25AR<sup>k</sup> และมีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกันเมื่อใส่ทางดินที่ 1.25AR<sup>k</sup> และที่ AR<sup>k</sup> ที่แบ่งใส่ทางดิน หรือที่แบ่งฉีดพ่นทางใบโดยให้ค่าอยู่ในพิสัย 138–145 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Figure 4B) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า โพแทสเซียมจากปุ๋ยจะหลงเหลือในดินโดยเฉพาะในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ เนื่องจากดินมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จึงดูดซับโพแทสเซียมไว้ให้อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้มาก

นอกจากนี้ ปริมาณโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ของดินในทุกค่ารับการทดลองลดลงจากดินก่อนปลูกข้าวโพดอย่างชัดเจนเนื่องจากโพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่แลกเปลี่ยนได้เป็นรูปที่พืชดูดใช้จากดิน ส่วนโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้นั้นจะถูกปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืช เนื่องจากช่องว่างระหว่างแร่ดินเหนียวเกิดการเปิดอัด เกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างแคตไอออนที่อยู่ในสารละลายดินและที่แลกเปลี่ยนได้ โพแทสเซียมที่ถูกตรึงจึงถูกปลดปล่อยออกมาให้พืชดูดใช้ (Richards and Bates, 1988; Rao *et al.*, 2010)



**Figure 4** Effect of K fertilization on the content of K in various forms: (A) soluble-, (B) exchangeable-, and (C) non-exchangeable K in soil after harvesting sweet corn across two varieties. Different lowercase letters on bars are significantly different at  $P < 0.05$ . Error bars indicate standard deviation.

สำหรับพารามิเตอร์ของโพแทสเซียมที่ประเมินจาก Q/I concept ของดินหลังปลูกข้าวโพด (Table 3) พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในทุกตำรับการทดลองทำให้ค่า  $AR_e^k$ ,  $\Delta K^e$  และ  $PBC_K$  เพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) โดยการใส่ทางดินเพียงครั้งเดียวที่อัตรา  $AR_e^k$  และ  $1.25AR_e^k$  ให้ค่า  $\Delta K^e$  (-0.203 และ -0.202 cmol/kg ตามลำดับ) และ  $PBC_K$  (171.0 และ 170.2 (cmol/kg)/(mol/L)<sup>1/2</sup> ตามลำดับ) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) ซึ่งให้ค่า  $PBC_K$  สูงไม่แตกต่างจากอัตรา  $1.25AR_e^k$  ที่แบ่งใส่ทางดินและฉีดพ่นทางใบ (170.4 (cmol/kg)/(mol/L)<sup>1/2</sup>) ขณะที่ การใส่โพแทสเซียมทางดินครั้งเดียวในทุกอัตรา และการแบ่งใส่ทางดินสองครั้งที่  $AR_e^k$  และ  $1.25AR_e^k$  ต่างให้ค่า  $AR_e^k$  สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติไม่แตกต่างกัน (0.0011–0.0013 (mol/L)<sup>1/2</sup>) ถึงแม้ว่าดินที่ศึกษาจะมีแหล่งสำรองของโพแทสเซียมต่ำ แต่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทำให้ดินหลังปลูกข้าวโพดมีปริมาณโพแทสเซียมซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อพืชในฤดูการถัดไป เนื่องจากดินมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น จึงไม่มีผลทำให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมจากดินได้ยากขึ้น โดยโพแทสเซียมยังคงถูกดูดซับอยู่ที่ขอบผลึกของแร่ดินเหนียวซึ่งเป็นแหล่งโพแทสเซียมหลักที่พืชดูดใช้ได้จริง อย่างไรก็ตาม ดินรักษาระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมได้ดีขึ้น จึงอาจมีความจำเป็นในการปรับปริมาณการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมให้สูงขึ้นในฤดูการถัดไปเพื่อให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมได้ง่ายขึ้น (Zharikova, 2004)

**Table 3** Effect of K fertilization on Q/I parameters of K in soil after harvesting sweet corn across two varieties

K fertilization treatment	$PBC_k$ (cmol/kg)/(mol/L) <sup>1/2</sup>	$\Delta K^\circ$ (cmol/kg)	$AR_e^k$ (mol/L) <sup>1/2</sup>
No K	147.1 <sup>e</sup>	-0.052 <sup>e</sup>	0.0006 <sup>d</sup>
K at 0.5AR <sub>e</sub> <sup>k</sup> : soil	155.4 <sup>d</sup>	-0.154 <sup>bc</sup>	0.0011 <sup>ab</sup>
K at AR <sub>e</sub> <sup>k</sup> : soil	171.0 <sup>a</sup>	-0.203 <sup>a</sup>	0.0013 <sup>a</sup>
K at 1.25AR <sub>e</sub> <sup>k</sup> : soil	170.2 <sup>a</sup>	-0.202 <sup>a</sup>	0.0012 <sup>a</sup>
K at 0.5AR <sub>e</sub> <sup>k</sup> : soil + soil	156.6 <sup>cd</sup>	-0.115 <sup>cd</sup>	0.0009 <sup>c</sup>
K at AR <sub>e</sub> <sup>k</sup> : soil + soil	155.6 <sup>d</sup>	-0.148 <sup>bcd</sup>	0.0012 <sup>a</sup>
K at 1.25AR <sub>e</sub> <sup>k</sup> : soil + soil	158.4 <sup>cd</sup>	-0.160 <sup>b</sup>	0.0011 <sup>ab</sup>
K at 0.5AR <sub>e</sub> <sup>k</sup> : soil + foliar	159.9 <sup>bc</sup>	-0.107 <sup>d</sup>	0.0008 <sup>cd</sup>
K at AR <sub>e</sub> <sup>k</sup> : soil + foliar	163.0 <sup>b</sup>	-0.147 <sup>bcd</sup>	0.0009 <sup>c</sup>
K at 1.25AR <sub>e</sub> <sup>k</sup> : soil + foliar	170.4 <sup>a</sup>	-0.146 <sup>bcd</sup>	0.0009 <sup>c</sup>
F-test	**	**	**
CV (%)	1.21	15.62	12.37
SE	3.80	0.0005	1.533 × 10 <sup>-8</sup>

\*\* Significant at 99% probability levels. Mean followed by different subscript letters within the same column indicate significant difference at  $P < 0.05$ . CV = coefficient of variation, SE = standard error.

### สรุป

โพแทสเซียมในดินตามแนวความคิด Q/I สามารถใช้เพื่อประมาณปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินตาคลี ข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 84-1 ตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทสเซียมชัดเจนกว่าข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทางดินเพียงครั้งเดียวที่ AR<sub>e</sub><sup>k</sup> เป็นอัตราและวิธีการที่เหมาะสมที่จะใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวาน แต่ปริมาณน้ำตลิ่งดิบในข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 เพิ่มขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อแบ่งใส่สองครั้งทั้งทางดินหรือทางใบที่อัตรา 1.25AR<sub>e</sub><sup>k</sup> การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทำให้โพแทสเซียมที่ละลายน้ำและที่แลกเปลี่ยนได้หลงเหลือในดินหลังปลูกข้าวโพดเพิ่มขึ้น ยกเว้น การใส่โพแทสเซียมที่ 0.5AR<sub>e</sub><sup>k</sup> ในวิธีการต่าง ๆ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม

ยังมีผลทำให้ค่า AR<sub>e</sub><sup>k</sup>,  $\Delta K^\circ$  และ  $PBC_k$  ของดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการใส่ทางดินครั้งเดียวที่ AR<sub>e</sub><sup>k</sup> และ 1.25AR<sub>e</sub><sup>k</sup> ซึ่งโพแทสเซียมในดินเหล่านี้จะบ่งชี้ถึงปริมาณของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ทันทีที่มีอยู่ในดิน ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ต่อพืชในฤดูกาลถัดไป โดยพืชยังคงดูดใช้โพแทสเซียมได้ง่ายปานกลาง อย่างไรก็ตาม ควรนำผลการศึกษานี้ไปทดสอบเพิ่มเติมในดินที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันในสภาพไร่เนาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่เกษตรกร

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2564

## เอกสารอ้างอิง

- Aown, M., S. Raza, M.F. Saleem, S.A. Anjum, T. Khaliq and M.A. Wahid. 2012. Foliar application of potassium under water deficit conditions improved the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Anim. Plant Sci.* 22(2): 431–437.
- Beckett, P.H.T. 1964. Studies on soil potassium II. The 'immediate' Q/I relations of labile potassium in the soil. *Eur. J. Soil Sci.* 15(1): 9–23.
- Beckett, P.H.T. 1972. Critical cation activity ratios. *Adv. Agron.* 24: 379–412.
- Bedrossian, S. and B. Singh. 2004. Potassium adsorption characteristics and potassium forms in some New South Wales soils in relation to early senescence in cotton. *Aust. J. Soil Res.* 42(7): 747–753.
- Cakmak, I. 2010. Potassium for better crop production and quality. *Plant Soil.* 335: 1–2.
- Chai Nat Field Crops Research Center. 2019. Production Sweet Corn Hybrid Variety Handbook. Field and Renewable Energy Crops Research Institute, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Chalernthai, P. and C. Santasup. 2018. Effects of potassium fertilizer on quality and yield of sweet corn in Ngao district, Lampang province. *Journal of Agriculture* 34(1): 29–40 (in Thai)
- Department of Agriculture. 2005. Recommended Rate of Fertilization for Economic Crops. Available Source: <http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00271.pdf>, November 11, 2020. (in Thai)
- Evangelou, V.P., A.D. Karathanasis and R.L. Blevins. 1986. Effect of soil organic matter accumulation on potassium and ammonium quantity-intensity relationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50(2): 378–382.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 7<sup>th</sup> edition. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Jackson, M.L. 1965. *Soil Chemical Analysis: Advanced Course*. Department of Soils, University of Wisconsin, Wisconsin, USA.
- Jiang, W., X. Liu, Y. Wang, Y. Zhang and W. Qi. 2018. Responses to potassium application and economic optimum K rate of maize under different soil indigenous K supply. *Sustainability.* 10: 2267.

- Johnson, C.M. and A. Ulrich. 1959. Analytical methods for use in plant analysis, pp. 26–78. *In* Bulletin of the California Agricultural Experiment Station No. 766. Berkeley, California, USA.
- Lu, Q., D. Jia, Y. Zhang, X. Dai and M. He. 2014. Split application of potassium improves yield and end-use quality of winter wheat. *Agron. J.* 106(4): 1411–1419.
- Mam Rasul, G.A. 2010. Effect of potassium fertilizer on growth and yield of corn plants in some soils at Sulaimani Governorate. *Mesopotamia J. Agric.* 38(1): 35–44.
- Mann, R.L., P.S. Kettlewell and P. Jenkinson. 2004. Effect of foliar-applied potassium chloride on septoria leaf blotch of winter wheat. *Plant Pathol.* 53(5): 653–659.
- Mengel, K. and E.A. Kirby. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Miller, G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. *Anal. Chem.* 31(3): 426–428.
- Minjian, C., Y. Haiqiu, Y. Hongkui and J. Chungji. 2007. Difference in tolerance to potassium deficiency between two maize inbred lines. *Plant Prod. Sci.* 10(1): 42–46.
- Pettigrew, W.T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiol. Plant.* 133(4): 670–681.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1022–1030. *In* C.A. Black, ed. *Method of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Inc., 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.
- Richards, J.E. and T.E. Bates. 1988. Studies on the potassium-supplying capacities of southern Ontario soils. II. Nitric acid extraction of nonexchangeable K and its availability to crops. *Can. J. Soil Sci.* 68(2): 199–208.
- Saleque, M.A., M. Anisuzzaman and A.Z.M. Moslehuddin. 2009. Quantity–intensity relationships and potassium buffering capacity of four Ganges river floodplain soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 40: 1333–1349.
- 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.

- Suwanarit, A. and M. Sestapukdee. 1989. Stimulating effects of foliar K-fertilizer applied at the appropriate stage of development of maize: a new way to increase yield and improve quality. *Plant Soil*. 120: 111–124.
- Wang, J.J. and A.D. Scott. 2001. Effect of experimental relevance on potassium Q/I relationships and its implications for surface and subsurface soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32(15–16): 2561–2575.
- 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(2): 654–661.
- 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.