

การให้ปุ๋ยโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตและผลผลิตที่เหมาะสมต่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.<sup>1/</sup>  
Potassium Fertilization for Optimal Growth and Yield in Maize.<sup>1/</sup>

ผู้ทำสัมมนา  
อาจารย์ที่ปรึกษา

นางสาวเนรัฐชรา หอมสมบัติ<sup>2/</sup>

### บทคัดย่อ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อภาคการเกษตรของประเทศไทย โดยธาตุอาหารที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของพืชคือธาตุโพแทสเซียมซึ่งมีหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แป้ง การลำเลียงน้ำตาล และการพัฒนาระบบราก ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพและปริมาณของผลผลิต การขาดธาตุโพแทสเซียมจะส่งผลให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่และผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมและวิเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับการจัดการธาตุโพแทสเซียมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยผลการศึกษาค้นคว้าพบว่า การขาดโพแทสเซียมส่งผลกระทบต่อพืชในหลายด้าน ทั้งทางกายภาพและสรีรวิทยา ได้แก่ การลดลงของชีวมวล พื้นที่ใบเล็กลง ระบบรากและลำต้นไม่สมดุล การสังเคราะห์แสงลดลง ปากใบทำงานผิดปกติ รวมถึงประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนก๊าซและการคายน้ำที่ลดลง ซึ่งส่งผลต่อสมดุลน้ำและกระบวนการดำรงชีวิตของพืชโดยรวม ดังนั้นการจัดการธาตุโพแทสเซียมให้เหมาะสมตามความต้องการของพืชจึงมีความจำเป็น เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้แข็งแรงเพิ่มผลผลิตทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ และสนับสนุนการพัฒนาภาคการเกษตรอย่างยั่งยืนในระยะยาว

**คำสำคัญ:** ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์; ปุ๋ยโพแทสเซียม; การเจริญเติบโตของพืช; ผลผลิตข้าวโพด

<sup>1/</sup>เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนาพืชไร่

<sup>2/</sup>นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

## 1. บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) นับเป็นธัญพืชเชิงยุทธศาสตร์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อภาคเศรษฐกิจและการเกษตรกรรมของประเทศไทย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมปศุสัตว์ ซึ่งต้องพึ่งพาข้าวโพดในฐานะแหล่งพลังงานและโปรตีนหลักสำหรับอาหารสัตว์หลากหลายชนิด อาทิ โค กระบือ สุกร และสัตว์ปีก จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2567/68) พบว่า พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 6.46 ล้านไร่ ลดลงจากปีก่อนประมาณร้อยละ 1.37 เนื่องจากต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น และเกษตรกรบางส่วนหันไปปลูกพืชชนิดอื่นที่ให้ผลตอบแทนดีกว่า แม้ว่าผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่จะเพิ่มขึ้น จาก 727 กิโลกรัมเป็น 734 กิโลกรัม แต่ผลผลิตรวมกลับลดลงเหลือ 4.74 ล้านตัน ในขณะที่เดียวกันความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายในประเทศเพิ่มขึ้นเป็น 8.91 ล้านตัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.57 ทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าข้าวโพดจากต่างประเทศมากถึง 2.01 ล้านตัน และแทบไม่เหลือผลผลิตเพื่อการส่งออก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567)

สถานการณ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้ได้ทั้งปริมาณและคุณภาพที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยองค์ประกอบหลายด้านร่วมกัน โดยเฉพาะการจัดการธาตุอาหารพืชอย่างแม่นยำให้สอดคล้องกับความต้องการของพืชในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ในบรรดาธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช ธาตุโพแทสเซียม (K) นับว่ามีบทบาทสำคัญในหลายกระบวนการทางสรีรวิทยา เช่น การสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต การควบคุมการคายน้ำผ่านปากใบ และการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารภายในพืช อีกทั้งยังช่วยเสริมสร้างความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Bappa et al., 2020)

ธาตุโพแทสเซียม (Potassium: K) จัดเป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช การขาดธาตุโพแทสเซียมส่งผลกระทบต่อ การสังเคราะห์แสง การควบคุมการคายน้ำผ่านปากใบ การลำเลียงสารอาหาร และความสามารถในการทนต่อความเครียดจากสิ่งแวดล้อม (Bappa et al., 2020) สำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โพแทสเซียมมีส่วนช่วยในการเสริมสร้างความแข็งแรงของลำต้น การสะสมแป้งในเมล็ด การปรับปรุงคุณภาพของผลผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมธาตุอาหารอื่น ๆ ซึ่งล้วนส่งผลต่อศักยภาพการให้ผลผลิต และคุณภาพของเมล็ด (จิระศักดิ์ และคณะ, 2562)

ดังนั้นสัมมนาฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและสังเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับการให้ปุ๋ยโพแทสเซียม เพื่อการเจริญเติบโตและผลผลิตที่เหมาะสมต่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยครอบคลุมถึงบทบาทของโพแทสเซียมต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา ผลกระทบของการขาดธาตุโพแทสเซียม และแนวทางการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพ อันจะนำไปสู่การใช้ทรัพยากรปุ๋ยอย่างคุ้มค่าและส่งเสริมการพัฒนาภาคการเกษตรของประเทศไทยอย่างยั่งยืน

## 2. บทบาทและความสำคัญของปุ๋ยโพแทสเซียม

การให้ธาตุอาหารแก่พืชเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด โดยทั่วไป ธาตุอาหารที่พืชต้องการสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก (Macronutrients) ธาตุอาหารรอง (Secondary Nutrients) และจุลธาตุ (Micronutrients) (Marschner, 2012)

ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) โดยเฉพาะโพแทสเซียม ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ ควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการสังเคราะห์แสง รวมถึงการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช (Mengel & Kirkby, 2001)

ธาตุอาหารรอง เช่น แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) มีหน้าที่สนับสนุนการสร้างผนังเซลล์ เสริมความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืช และช่วยในการทำงานของระบบเมแทบอลิซึม

จุลธาตุ เช่น เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) และแมงกานีส (Mn) แม้จะมีความต้องการในปริมาณน้อย แต่ก็เป็นส่วนสำคัญในการกระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีน และการเจริญเติบโตของพืชให้สมบูรณ์ (Epstein & Bloom, 2005)

ด้วยบทบาทสำคัญของโพแทสเซียมต่อการพัฒนาโครงสร้างและเพิ่มปริมาณผลผลิตของข้าวโพด การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมจึงเป็นวิธีหลักในการจัดหาโพแทสเซียมให้แก่พืช โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของ "แม่ปุ๋ย" หรือปุ๋ยเดี่ยวที่มีความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมสูง ซึ่งการเลือกใช้แม่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ควรพิจารณาจากชนิดของพืช ความสมบูรณ์ของดิน และความพร้อมของธาตุอาหารอื่นร่วมด้วย (Havlin et al., 2014)

### 2.1 ความสำคัญของปุ๋ยโพแทสเซียม

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญสำหรับพืช เนื่องจากช่วยในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด ควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ ส่งเสริมการสังเคราะห์แสง และช่วยในการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารภายในพืช นอกจากนี้โพแทสเซียมยังช่วยเพิ่มความต้านทานของพืชต่อโรคและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ความแห้งแล้งและความเค็มของดิน

### 2.2 บทบาทและหน้าที่ของปุ๋ยโพแทสเซียม

การจัดหาโพแทสเซียมให้แก่พืชมักทำได้โดยการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแม่ปุ๋ยที่มีปริมาณโพแทสเซียมสูง (Potassium Fertilizers) การเลือกใช้แม่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ระบบดิน และความพร้อมของธาตุอาหารอื่น ๆ ประกอบกัน (Havlin et al., 2014) โพแทสเซียมช่วยเสริมสร้างโครงสร้างพืช เพิ่มความแข็งแรงของลำต้น และส่งเสริมการลำเลียงน้ำและสารอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช ส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิต โดยแม่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่นิยมใช้ในการปลูกข้าวโพดมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) และ โพแทสเซียมซัลเฟต ( $K_2SO_4$ )

โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium Chloride, KCl) หรือ ปุ๋ย 0-0-60 โพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นแม่ปุ๋ยที่ได้รับความนิยมสูงสุดในภาคการเกษตรทั่วโลก เนื่องจากให้ธาตุโพแทสเซียมในรูปของ  $K_2O$  สูงถึง 60% และมีต้นทุนที่ไม่สูงมากนัก (Fageria, 2009) อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยชนิดนี้ยังมีคลอไรด์

(Cl<sup>-</sup>) อยู่ในองค์ประกอบ ซึ่งหากใช้ในปริมาณมากหรือต่อเนื่องในพื้นที่เดิมอาจทำให้เกิดการสะสมของคลอไรด์ในดินได้ แต่สำหรับพืชไร่อย่างข้าวโพดซึ่งมีความสามารถในการทนต่อคลอไรด์ในระดับปกติจึงสามารถใช้ปุ๋ยชนิดนี้ได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium Sulfate, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) หรือ ปุ๋ย 0-0-50

โพแทสเซียมซัลเฟตถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สำคัญสำหรับเกษตรกร โดยให้โพแทสเซียมในปริมาณประมาณ 50% พร้อมกับธาตุกำมะถัน (S) ประมาณ 18% ซึ่งเป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (Havlin et al., 2014) ปุ๋ยชนิดนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีปัญหาการขาดกำมะถันหรือกรณีที่ปลูกพืชที่ไวต่อคลอไรด์เช่น ผักหรือพืชอ่อนไหวอื่น ๆ แม้ว่าราคาของโพแทสเซียมซัลเฟตจะสูงกว่าโพแทสเซียมคลอไรด์เล็กน้อย แต่ก็ถือเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในพื้นที่เฉพาะหรือกับพืชที่ต้องการความระมัดระวังเรื่องธาตุคลอไรด์

### 3. สรีรวิทยาและบทบาทของโพแทสเซียมในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพสูงสุด การจัดการธาตุอาหารพืชจึงเป็นปัจจัยสำคัญ โดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียม (K) ซึ่งมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการทางสรีรวิทยาหลายประการ การทำความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ของโพแทสเซียมในระดับเซลล์พืช ตลอดจนช่วงเวลาเวลาที่พืชต้องการธาตุอาหารชนิดนี้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต จะช่วยให้สามารถวางแผนการจัดการธาตุอาหารได้อย่างแม่นยำและส่งผลกระทบต่อศักยภาพการผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 3.1. บทบาททางสรีรวิทยาของโพแทสเซียมในพืช

3.1.1. กระตุ้นกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช โพแทสเซียมไม่เพียงเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชในปริมาณมาก แต่ยังทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์มากกว่า 60 ชนิด ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเมตาบอลิซึม เช่น การสังเคราะห์โปรตีนจากกรดอะมิโน การเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นแป้งเพื่อเก็บสะสม และการสร้างพลังงานในรูป ATP ที่จำเป็นต่อกิจกรรมทางสรีรวิทยาของเซลล์ (Bappa et al., 2020; Marschner, 2012) การมีโพแทสเซียมในระดับที่เหมาะสมช่วยให้กระบวนการเหล่านี้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

3.1.2. ควบคุมสมดุลน้ำและการเปิด-ปิดของปากใบ โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการควบคุมแรงดันเต่งของเซลล์คุมปากใบ กลไกการเคลื่อนที่ของไอออนโพแทสเซียมเข้าสู่หรือออกจากเซลล์คุมปากใบส่งผลต่อปริมาณน้ำในเซลล์ ทำให้ปากใบสามารถเปิดหรือปิดได้อย่างเหมาะสม การควบคุมนี้ส่งผลต่ออัตราการคายน้ำและการแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง (Taiz & Zeiger, 2010) ซึ่งช่วยเพิ่มความทนทานของพืชต่อภาวะขาดน้ำ

3.1.3. ลำเลียงสารอาหารและสารสังเคราะห์ภายในพืช โพแทสเซียมช่วยส่งเสริมการลำเลียงน้ำ แร่ธาตุ และสารสังเคราะห์แสง เช่น น้ำตาลซูโครส จากใบไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชที่กำลังเติบโตหรือสะสม เช่น ราก ลำต้น และเมล็ดที่กำลังพัฒนา กลไกนี้มีความสำคัญต่อกระบวนการเติมเต็มเมล็ด (grain filling) ซึ่งส่งผลให้น้ำหนักและคุณภาพผลผลิตดีขึ้น (Bappa et al., 2020)

3.1.4 เสริมสร้างความแข็งแรงและโครงสร้างของพืช โภทสเทียมช่วยเสริมความแข็งแรงของผนังเซลล์และรักษาแรงดันเต่งของเซลล์ การมีโภทสเทียมเพียงพอช่วยให้ลำต้นแข็งแรงและลดปัญหาการหักล้มของต้นข้าวโพดในช่วงฝนตกหรือมีลมแรง โดยเฉพาะในช่วงที่ต้นออกฝักหรือเริ่มร่วง (Zorb et al., 2014)

3.1.5 เพิ่มความต้านทานต่อความเครียดทางชีวภาพและกายภาพ พืชที่ได้รับโภทสเทียมอย่างเหมาะสมมีความสามารถต้านทานต่อภาวะแห้งแล้ง ความเค็ม อุณหภูมิสุดขีด และโรคแมลงศัตรูพืชได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากโภทสเทียมช่วยรักษาสมดุลไอออนในเซลล์และส่งเสริมระบบสารต้านอนุมูลอิสระ (Hasanuzzaman et al., 2018)

### 3.2 ความต้องการโภทสเทียมของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

3.2.1 ความต้องการตลอดวงจรชีวิต ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชที่ต้องการโภทสเทียมในปริมาณสูงตลอดช่วงชีวิต โดยเฉพาะในระยะเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative stage) และมีความต้องการสูงขึ้นในช่วงก่อนออกดอกถึงหลังออกดอก ซึ่งเป็นช่วงที่พืชสะสมแป้งและพัฒนาเมล็ด ทำให้น้ำหนักและคุณภาพของเมล็ดสูงสุด (Bappa et al., 2020)

3.2.2 ความสำคัญในแต่ละระยะ ในระยะต้นกล้า (V-stages) โภทสเทียมช่วยพัฒนาระบบรากและส่งเสริมการเจริญเติบโตของมวลชีวภาพเริ่มต้น ส่วนในระยะออกดอกถึงติดเมล็ด (R-stages) เป็นช่วงที่พืชต้องการโภทสเทียมสูงสุด เพื่อสนับสนุนการทำงานของเอนไซม์และการลำเลียงสารอาหารเข้าสู่เมล็ด ซึ่งมีผลต่อน้ำหนักและคุณภาพของเมล็ด (จิระศักดิ์ และคณะ, 2562)

## 4. ผลของการให้ปุ๋ยโภทสเทียมเพื่อการเจริญเติบโตและผลผลิตที่เหมาะสมต่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Bappa et al. (2020) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยโภทสเทียมสำหรับข้าวโพด (*Zea mays* L.) ในพื้นที่ดินตะกอนใหม่ของรัฐเบงกอลตะวันตก โดยงานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบ Randomized Block Design (RBD) แบ่งเป็น 6 กลุ่มตามระดับการให้โภทสเทียมออกไซด์ ( $K_2O$ ) ได้แก่ 0, 30, 60, 90, 120 และ 150 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โดยแต่ละกลุ่มทำซ้ำ 4 ครั้ง ผลการทดลองพบว่าข้าวโพดที่ได้รับโภทสเทียมในระดับ 90–150 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ มีความสูงเฉลี่ยของต้นประมาณ 304.23 เซนติเมตร และมีดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI) สูงสุดถึง 6.71 ที่ 90 วันหลังปลูกในระยะเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative stage) ขณะที่กลุ่มที่ไม่ได้รับโภทสเทียมมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าโภทสเทียมมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาความสูงของต้นและขนาดพื้นที่ใบของข้าวโพด

**ตาราง 1** ความสูงของต้น ดัชนีพื้นที่ใบ ความยาวของฝักข้าวโพด เส้นรอบวงของฝักข้าวโพด ที่ได้รับผลกระทบจากการทดลองที่แตกต่างกัน

Treatments	Plant height at 90 DAS (cm)	LAI at 90 DAS	Length of cob (cm)	Girth of cob (cm)
T1- RDF of nitrogen and phosphorus + 0 kg potassium per ha	283.33	5.25	12.22	12.54
T2-RDF of nitrogen and phosphorus + 30 kg potassium per ha	279.13	5.44	13.77	13.08
T3 RDF of nitrogen and phosphorus + 60 kg potassium per ha	284.66	5.51	13.49	13.00
T4 RDF of nitrogen and phosphorus + 90 kg potassium per ha	299.98	6.57	14.30	13.32
T5 - RDF of nitrogen and phosphorus + 120 kg potassium per ha	302.06	6.60	15.30	13.08
T6 - RDF of nitrogen and phosphorus + 150 kg potassium per ha	304.23	6.71	15.23	13.86
Sem ±	2.12	0.22	1.09	0.42
CD at 5%	6.69	0.70	NS	NS

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความหมายทางสถิติ

ที่มา: Bappa et al. (2020)

ทั้งนี้การให้โพแทสเซียมยังช่วยเพิ่มความยาวและเส้นรอบวงของฝักข้าวโพด รวมถึงผลผลิตเมล็ดและผลผลิตทางชีวมวล โดยพบว่า การให้โพแทสเซียมในระดับ 90–150 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ให้ผลผลิตเมล็ดสูงสุดระหว่าง 7.78–7.86 ตันต่อเฮกตาร์ และผลผลิตทางชีวมวล (Stover yield) สูงถึง 9.12 ตันต่อเฮกตาร์

**ตาราง 2** ผลผลิตเมล็ด ผลผลิตฟาง ผลตอบแทนสุทธิ และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนของข้าวโพดที่ได้รับผลกระทบจากการทดลองที่แตกต่างกัน

Treatments	Grain yield (t ha <sup>1</sup> )	Stover yield (t ha <sup>1</sup> )	Net Return (Rs ha <sup>1</sup> )	B:C
T1- RDF of nitrogen and phosphorus + 0 kg potassium per ha	5.253	6.863	27202.67	1.55
T2-RDF of nitrogen and phosphorus + 30 kg potassium per ha	5.973	7.416	35843	1.71
T3 RDF of nitrogen and phosphorus + 60 kg potassium per ha	6.575	7.977	43691	1.85
T4 RDF of nitrogen and phosphorus + 90 kg potassium per ha	7.397	8.711	54226.83	2.04
T5 - RDF of nitrogen and phosphorus + 120 kg potassium per ha	7.782	8.948	58515.33	2.11
T6 - RDF of nitrogen and phosphorus + 150 kg potassium per ha	7.861	9.125	59019.33	2.10
Sem ±	0.199	143.69	2517.27	0.05
CD at 5%	0.628	452.79	7932.07	0.16

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความหมายทางสถิติ

ที่มา: Bappa et al. (2020)

จากตารางดังกล่าวจะเห็นว่า การเพิ่มระดับโพแทสเซียมช่วยให้ผลผลิตและผลตอบแทนสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยให้ผลตอบแทนสุทธิสูงสุดที่ 59,019 รูปีต่อเฮกตาร์ และมี B:C ratio เท่ากับ 2.11 ซึ่งใกล้เคียงกับการให้ระดับ 150 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ แต่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการให้โพแทสเซียมในระดับ 90 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการเพิ่มผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้สภาพพื้นที่ตะกอนใหม่ของรัฐเบงกอลตะวันตก

สายน้ำ และคณะ (2565) ศึกษาผลของปุ๋ยโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในดินร่วนเหนียว การทดลองดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2560–2561 ณ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้ข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 3 และ Pacific 339 ภายใต้การออกแบบการทดลองแบบวางแผนการทดลองแบบ factorials in RCB มี 12 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วยปัจจัยที่ 1 คือ พันธุ์ข้าวโพด เลี้ยงสัตว์ลูกผสม 2 พันธุ์ ได้แก่ 1) พันธุ์นครสวรรค์ 3 (NS 3) และ 2) พันธุ์แปซิฟิก 339 (PAC 339) ปัจจัยที่ 2 คือ ระดับของ ปุ๋ยโพแทสเซียม 6 ระดับ ได้แก่ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 กก. K<sub>2</sub>O/ไร่ ผลการทดลองพบว่าพันธุ์ Pacific 339 ให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ด และผลผลิต

เมล็ดสูงกว่าพันธุ์ นครสวรรค์ 3 อย่างมีนัยสำคัญ โดยระดับโพแทสเซียมที่ให้ผลผลิตสูงสุดคือ 5 กิโลกรัม  $K_2O$  ต่อไร่ ซึ่งมีค่าผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้โพแทสเซียมสูงที่สุด

**ตารางที่ 3** การลอกเมล็ด ผลผลิตเมล็ด และดัชนีการเก็บเกี่ยวของการผลิตข้าวโพดภายใต้อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมต่างๆ ในดินร่วนเหนียวระหว่างปี 2017-2018

Factors	Shelling (%)	Grain Yield <sup>1/</sup> (kg/rai)	Harvest index
Varieties (V)			
Nakhon Sawan 3	81.1 b	1,299 b	0.34 b
PaciFic 339	86.4 a	1,639 a	0.36 a
F-test (V)	**	**	*
Potash fertilizer <sup>2/</sup> (F)			
0 kg $K_2O$ /rai	82.6 c	1,430 c	0.35
5 kg $K_2O$ /rai	84.8 a	1,535 a	0.36
10 kg $K_2O$ /rai	83.2 ab	1,520 ab	0.35
15 kg $K_2O$ /rai	84.2 ab	1,455 ab	0.35
20 kg $K_2O$ /rai	83.8 abc	1,413 c	0.34
25 kg $K_2O$ /rai	83.8 abc	1,464 abc	0.35
F-test (F)	*	**	ns
F-test (V x F)	ns	ns	ns
CV(%)	1.7	5.8	7.5

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกัน (เช่น a, b, c) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 5% โดยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, \* = ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

$P < 0.05$ , \*\* = ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $P < 0.01$

<sup>1/</sup> ผลผลิตเมล็ดคำนวณที่ความชื้น 15%

<sup>2/</sup> ปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยฟอสเฟตถูกใส่ในอัตรา 15 กก. N/ไร่ และ 5 กก.  $P_2O_5$ /ไร่

**ที่มา:** สายน้ำ และคณะ (2565)

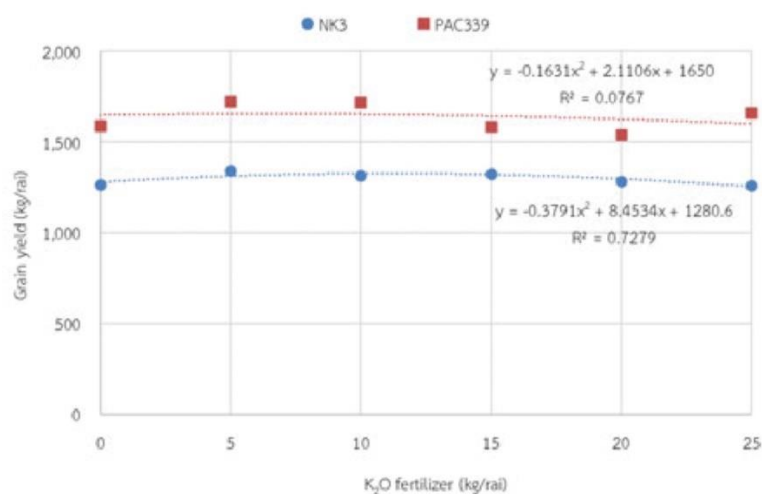
**ตารางที่ 4** ประสิทธิภาพการใช้โพแทสเซียมทางการเกษตร (AKUE) ของข้าวโพดภายใต้ระดับปุ๋ยโพแทสเซียมในดินร่วนเหนียว ปี 2560–2561

Potash Fertilizer <sup>1/</sup> (kg K <sub>2</sub> O/rai)	Nakhon Sawan 3		Pacific 339	
	Grain yield (kg /rai)	AKUE <sup>2/</sup> (kg grain/kg K <sub>2</sub> O)	Grain yield (kg/rai)	AKUE (kg grain/kg K <sub>2</sub> O)
0	1,294	-	1,719	-
5	1,354	11.9	1,871	21.20
10	1,306	1.15	1,770	4.45
15	1,336	2.77	1,784	1.00
20	1,317	1.13	1,715	-1.43
25	1,289	-0.22	1,854	3.38

<sup>1/</sup> ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสเฟตในอัตรา 15 กก. N/ไร่ และ 5 กก. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ไร่ ตามลำดับ

<sup>2/</sup> AKUE (กก.เมล็ด/กก. K<sub>2</sub>O): ประสิทธิภาพการใช้โพแทสเซียมทางการเกษตร (Agronomic K Use Efficiency

ที่มา: สายน้ำ และคณะ (2565)



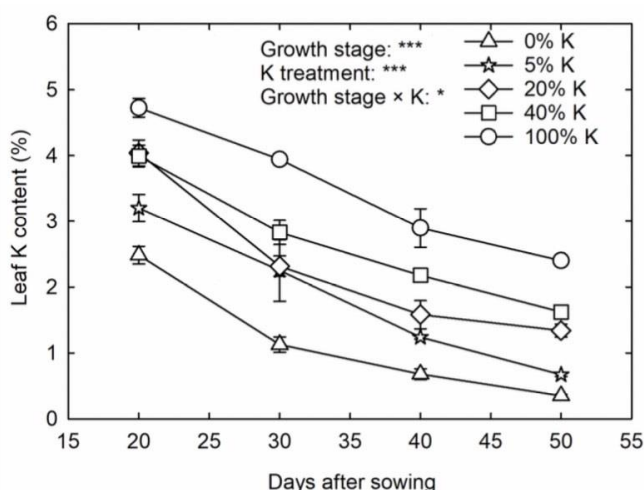
ที่มา: สายน้ำ และคณะ (2565)

**ภาพที่ 1** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมกับผลผลิตข้าวโพด

การให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในระดับ 5 กิโลกรัม K<sub>2</sub>O ต่อไร่ ส่งผลให้พันธุ์ Pacific 339 มีผลผลิตเมล็ดสูงสุด (1,871 กก./ไร่) และมีค่า AKUE สูงสุด (21.20 กก.ผลผลิต/กก. K<sub>2</sub>O) โดยผลผลิตในระดับ 5 และ 10 กิโลกรัม K<sub>2</sub>O ต่อไร่ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่สูงกว่าระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3 และ 4)

ผลลัพธ์นี้สะท้อนว่าการให้โพแทสเซียมในปริมาณที่เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร การสะสมชีวมวล และสัดส่วนผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ดีที่สุดโดยเฉพาะที่ระดับ 5 กิโลกรัม  $K_2O$  ต่อไร่ ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ Pacific 339 ในสภาพดินร่วนเหนียวให้ผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารสูงสุดอีกทั้งยังให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจคุ้มค่าที่สุด

Naflath et al. (2024) ศึกษาผลของการให้ธาตุอาหารโพแทสเซียมต่อสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของข้าวโพด (*Zea mays* L.) เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง การทดลองในระบบไฮโดรโปนิคส์ภายใต้สภาพควบคุม โดยให้โพแทสเซียม 5 ระดับ 100%, 40%, 20%, 5% และ 0% พบว่าระดับโพแทสเซียมที่เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการคายน้ำ ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตแข็งแรงและสะสมชีวมวลได้สูงสุดในขณะที่การขาดโพแทสเซียมทำให้พื้นที่ใบและการเจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ



ที่มา: Naflath et al. (2024)

**ภาพที่ 2** แสดงปริมาณโพแทสเซียม (K) ใบของข้าวโพดในช่วงเวลาต่าง ๆ ภายใต้การให้โพแทสเซียม 5 ระดับ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ split-plot ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินผลของการให้ปุ๋ยต่อปริมาณ K ใบ \* และ \*\*\* แสดงถึงความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$  และ  $p < 0.001$  ตามลำดับ การวัดปริมาณ K ใบดำเนินการที่อายุ 20, 30, 40 และ 50 วัน หลังการหว่าน ซึ่งตรงกับระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพด V4, V6, V10 และ VT ตามลำดับ แต่ละจุดข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

จากภาพที่ 2 พบว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) ระหว่างระดับ K ที่ได้รับระดับ K ต่ำ (0%) ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในใบลดลงถึง 85% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (100%) แสดงให้เห็นถึงความต้องการโพแทสเซียมของพืชที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงการเจริญของข้าวโพด

**ตาราง 5** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณธาตุอาหารในใบที่ได้รับอิทธิพลจากระยะการเจริญเติบโตและการให้โพแทสเซียม (K)

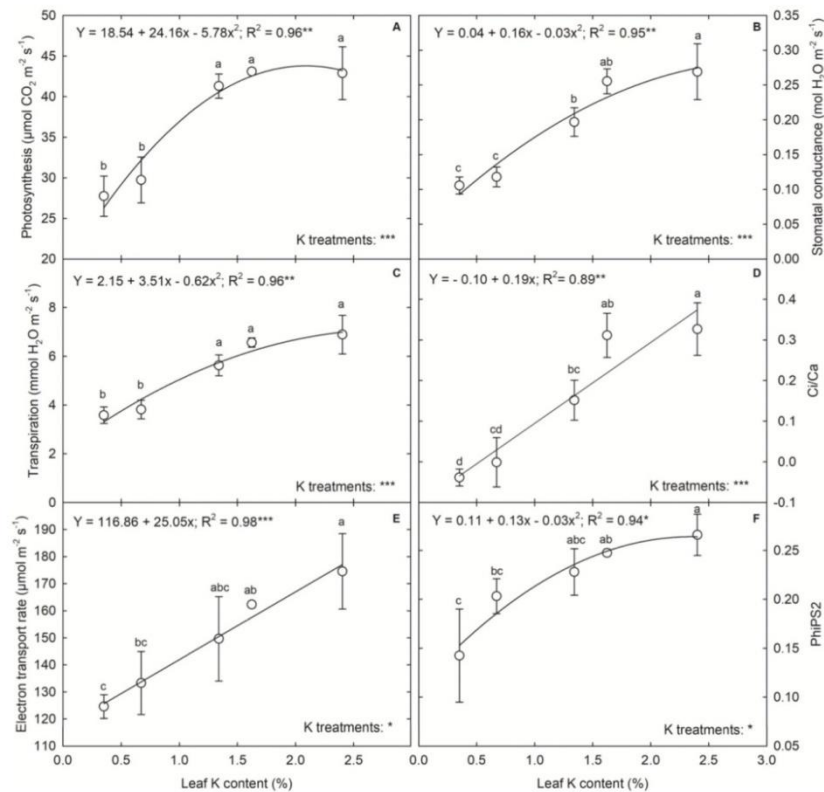
Mineral (%)	Growth Stage	Potassium (K)	Growth Stage x K
Nitrogen	***	*	ns
Phosphorus	***	***	*
Potassium	***	***	ns
Calcium	***	***	ns
Magnesium	***	***	***
Sulfur	***	***	***
Zinc	***	ns	ns
Boron	***	*	**
Iron	***	ns	**
Manganese	***	***	***
Copper	***	***	ns

\*, \*\*, และ \*\*\* แสดงถึงความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $p < 0.001$ ,  $0.01$ , และ  $0.05$  ตามลำดับ

ns หมายถึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

**ที่มา:** Naflath et al. (2024)

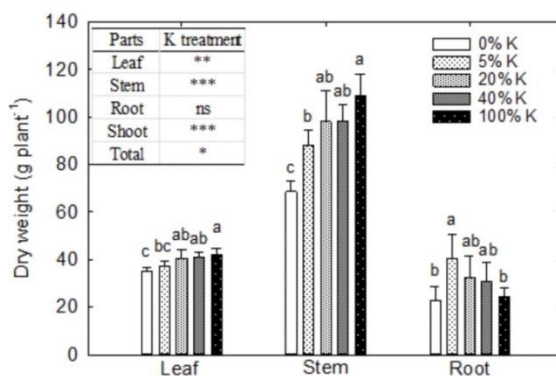
จากตารางนี้พบว่าระดับโพแทสเซียมมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, Ca, Mg และ S) ในใบข้าวโพด โดยระดับ K ที่ต่ำส่งผลให้ค่าธาตุเหล่านี้ลดลง ซึ่งบ่งชี้ถึงความสำคัญ  
ของโพแทสเซียมในการรักษาสมดุลของธาตุอาหารในพืช



ที่มา: Naflath et al. (2024)

**ภาพที่ 3** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียม (K) ใบกับ (A) อัตราการสังเคราะห์แสง, (B) การนำของปากใบ, (C) การคายน้ำ, (D) อัตราส่วน Ci/Ca, (E) อัตราการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และ (F) PhiPS2 ของข้าวโพด แต่ละจุดข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ตัวอักษรเหนือแต่ละจุดแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่น้อยที่สุดระหว่างการให้โพแทสเซียมทั้ง 5 ระดับ จากการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ การให้โพแทสเซียมที่มีตัวอักษรเหมือนกันถือว่า ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ สมการการถดถอยพร้อมค่าตัวบ่งชี้การถดถอย ( $R^2$ ) และค่า p ได้ระบุไว้ในคำอธิบาย (\*, \*\*, \*\*\* แสดงถึงความมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$  และ  $p < 0.001$  ตามลำดับ).

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า การขาดโพแทสเซียมมีผลโดยตรงต่อกระบวนการสรีรวิทยาที่สำคัญของข้าวโพดได้แก่ การสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) การนำคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ใบ (Stomatal conductance) และการคายน้ำ (Transpiration) ในระดับโพแทสเซียมต่ำ ( $\leq 0.5\%$ ) พบว่าค่าการสังเคราะห์แสงลดลง 31–35% และอัตราการคายน้ำลดลงกว่า 60% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม สะท้อนให้เห็นว่าการขาดโพแทสเซียมรุนแรงจำกัดการเปิดปากใบและการแลกเปลี่ยนแก๊สของพืช



ที่มา: Naflath et al. (2024)

**ภาพที่ 4** ผลของการให้โพแทสเซียม (K) ต่อชีวมวลของใบ ลำต้น และรากของข้าวโพด วัดเมื่ออายุ 50 วันหลังการหว่านหรือ 45 วันหลังการให้ปุ๋ย เส้นแนวตั้งแสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยจากการทำซ้ำ 12 ครั้ง ตัวอักษรเหนือแต่ละแท่งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่น้อยที่สุด (LSD) ระหว่างการให้โพแทสเซียมทั้ง 5 ระดับ สำหรับใบ ลำต้น และรากแต่ละส่วน การให้โพแทสเซียมที่มีตัวอักษรเหมือนกันถือว่า ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน \*, \*\* และ \*\*\* แสดงถึงความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$  และ  $p < 0.001$  ตามลำดับ และ 'ns' หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากภาพพบว่า การให้โพแทสเซียมส่งผลต่อชีวมวลของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในส่วนของใบและลำต้น ( $p < 0.001$ ) ขณะที่น้ำหนักแห้งของรากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การขาดโพแทสเซียม (0% K) ทำให้ชีวมวลของใบและลำต้นลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับโพแทสเซียมในระดับ 40%–100% ซึ่งให้ค่าน้ำหนักแห้งสูงสุด แสดงให้เห็นว่าโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตส่วนเหนือดินของพืชมากกว่าส่วนราก

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าธาตุโพแทสเซียม (K) มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการทางสรีรวิทยาของข้าวโพด การขาดโพแทสเซียมอย่างรุนแรงส่งผลให้การสังเคราะห์แสงลดลง การเปิดปากใบและการคายน้ำลดลง การสะสมชีวมวลและขนาดใบลดลง รวมถึงทำให้ปริมาณธาตุอาหารอื่น ๆ เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียมลดลงด้วย ทั้งนี้เมื่อระดับโพแทสเซียมในใบสูงกว่า 1.6% จะไม่เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงหรือชีวมวลของพืชอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสะสม K เกินระดับที่ต้องการเป็นกลไกในการสร้างความทนทานของพืชต่อความเครียดจากสิ่งแวดล้อม มากกว่าการส่งเสริมการเจริญเติบโตโดยตรง ดังนั้นการให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในระดับที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการรักษาสมดุลทางสรีรวิทยา และส่งเสริมการเจริญเติบโตที่แข็งแรงของข้าวโพด ซึ่งสุดท้ายจะนำไปสู่ผลผลิตที่เหมาะสมและมีคุณภาพสูงสุด

## สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและสังเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับการให้ปุ๋ยโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตและผลผลิตที่เหมาะสมต่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการขาดธาตุโพแทสเซียมส่งผลกระทบต่อศักยภาพการผลิตของพืชในหลากหลายมิติในเชิงกายภาพ การขาดธาตุโพแทสเซียมส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสะสมชีวมวลลดลง ขนาดพื้นที่ใบมีขนาดเล็กลง และยังกระทบต่อความสมดุลระหว่างระบบรากและลำต้น ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาโครงสร้างโดยรวมของพืช ขณะเดียวกันในเชิงสรีรวิทยาพบว่า การขาดธาตุโพแทสเซียมทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ซึ่งเป็นกระบวนการหลักในการสร้างอาหารของพืช นอกจากนี้ ยังส่งผลให้การทำงานของปากใบผิดปกติ ทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนก๊าซและการคายน้ำลดลง และกระทบต่อสมดุลของน้ำและการดำรงชีวิตของพืชโดยรวมการจัดการธาตุโพแทสเซียมในปริมาณที่เหมาะสมและสอดคล้องกับความต้องการของพืชเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้แข็งแรงสมบูรณ์ ซึ่งจะนำไปสู่การเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตในระยะยาว และถือเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาภาคการเกษตรอย่างยั่งยืน

### เอกสารอ้างอิง

- จิระศักดิ์ ชงภักดิ์, วรพจน์ ทับทิม, และบุญส่ง เกษรศิริ. (2562). ผลของปุ๋ยโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในดินร่วนเหนียว. *วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25(2), 123–130.
- สายน้ำ อุดด้วย, ชัฐชนพร เกื้อหนุน, นุชนาฏ ตันวรรณ, และณิชากรนต์ เกื้อนพรม. (2565). ผลของปุ๋ยโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในดินร่วนเหนียว. *วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์ (Thai Agricultural Research Journal)*, 40(3), 307–318.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2567). *สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2568*. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.  
สืบค้นจาก <https://oae.go.th/home/article/393>
- Bappa, M., Sonali, B., Srabani, D., Abhijit, S., Susmita, M., & Gopal, D. (2020). Optimization of potassium fertilization for maize (*Zea mays* L.) in new alluvial zones of West Bengal. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(7), 1518–1523.
- Chakraborty, D., & Majumdar, K. (2020). Effect of potassium nutrition on the physiology and growth of maize (*Zea mays* L.) for crop modeling. *Field Crops Research*, 247, 107690.
- Chattopadhyay, A., & Bandyopadhyay, P. (2018). Optimization of potassium fertilizer for maize (*Zea mays* L.) in the new alluvial zone of West Bengal. *International Journal of Agricultural Science*, 10(5), 5642–5646.
- Epstein, E., & Bloom, A. J. (2005). *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives* (2nd ed.). Sinauer Associates.
- Fagena, N. K. (2009). *Nutrient use in crop plants*. CRC Press.
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., & Fujita, M. (2018). Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agriculture*, 8(3), 31.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management* (8th ed.). Pearson.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Meneel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principles of plant nutrition* (5th ed.). Springer.
- Naflath, T. I., Krishna, N. R., & Kambham, R. R. (2024). Effect of potassium nutrition on maize (*Zea mays* L.) physiology and growth for crop modeling. *Agriculture*, 14(7), 968.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.
- Zorb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture—Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 656–669.

