ศึกษาการตอบสนองและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน ในกลุ่มดินร่วน-ร่วนเหนียว

Study on Nutrient Response and Uptake of Sweet Corn Grown on Loamy to Clay Loam Soil

ชัชธนพร เกื้อหนุน *สายน้ำ อุดพ้วย* *พีรพงษ์ เชาวนพงษ์* *ทิวาพร ผดุง*
บรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์ *กิตจเมธ แจ้งศิริกุล*
Chattanaporn Kueanoon *Sainam Udpuay* *Peerapong Chaowanapong* *Tiwaporn Phadung*
Bhannapitch Samrit *Kitchamet Chaengsirikul*

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

A field experiment was conducted in farmer's field at Uthai Thani province, during 2016-2021 to study nutrient response and nutrient uptake of sweet corn on loamy to clay loam soil at Uthai Thani province. Treatments were laid out in Randomized Complete Block (RCB) with four replicates. The treatments consisted of six levels of nitrogen (0 8 16 24 32 and 40 kg N/rai), seven levels of phosphate (0 4 8 12 16 20 and 24 kg P_2O_5/rai) and seven levels of potash (0 6 12 18 24 30 and 36 kg K_2O/rai). Studying the influence of each nutrient was conducted for 2 years, i.e. (1) the 1^{st}-2^{nd} year (2016-2017), studying the response to nitrogen fertilizer and applied phosphate and potash fertilizer according to soil analysis (2) the 3^{rd}-4^{th} year (2018-2019), studying the response to phosphate fertilizer that applied potash fertilizer according to soil analysis but nitrogen fertilizer applied from the result of the first two years of experiment (3) the 5^{th}-6^{th} year (2020-2021), studying the response to potash fertilizer that nitrogen fertilizer applied from the result of the first two years of experiment and phosphate fertilizer applied from the result of the 3^{rd}-4^{th} years of experiment, respectively.

The result showed that applying nitrogen phosphate and potash fertilizer increased unhusked ear fresh weight and plant fresh weight higher than without fertilizer statistically significantly. While sweetness, dry matter of stalk, leave, seed, husk and cob of sweet corn were not significant. Moreover, growing Hybrix 3 variety sweet corn on clay loam soil at Uthai Thani province with low to medium soil organic matter, very high available P and medium to high exchangeable K showed that plants response to nitrogen phosphate and potash fertilizer with quadratic equation by $Y=-0.6989x^2+44.985x+2803$ $R^2=0.9106$, $Y=-3.1704x^2+96.699x+3200$ $R^2=0.6398$ and $Y=-4.2337x^2+119.76x+2727$ $R^2=0.631$, respectively. The amount of total N P and K uptake in plant were 28.2 4.5 and 23.0 kg N P and K/rai, respectively, while the amount of total N P and K lost by yield removal were 11.0 2.4 and 6.6 kg N P and K/rai, respectively. Economic return by VCR method found that nitrogen application at the rate of 16 kg N/rai with phosphate and potash fertilizer at the rate of 4 and 6 kgP_2O_5-K_2O/rai, respectively, can maximize yield and benefit for economic returns in the highest VCR value.

Keywords: Sweet corn, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Nutrient response, Nutrient Uptake

บทคัดย่อ

การศึกษาการตอบสนองและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานในกลุ่มดินร่วน-ร่วนเหนียว จ.อุทัยธานี ระหว่างปีพ.ศ. 2559-2564 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) 4 ซ้ำ กรรมวิธีคือ ปุ๋ยไนโตรเจน 6 ระดับ คือ 0 8 16 24 32 และ 40 กิโลกรัม N ต่อไร่ ปุ๋ยฟอสเฟต 7 ระดับ คือ 0 4 8 12 16 20 และ 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และ ปุ๋ยโพแทช 7 ระดับ คือ 0 6 12 18 24 30 และ 36 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ โดยศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารแต่ละชนิด ๆ ละ 2 ปี ปีที่ 1-2 (2559-2560) ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ใส่ปุ๋ย P และ K ตามค่าวิเคราะห์ดิน ปีที่ 3-4 (2561-2562) ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟต ใส่ปุ๋ย N จากผลการทดลองสองปีแรก ส่วนปุ๋ย K ตามค่าวิเคราะห์ดิน ปีที่ 5-6 (2563-2564) ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทช ใส่ปุ๋ย N และ P จากผลการทดลองปี 1-2 และ 3-4 ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทชให้ผลผลิตข้าวโพดหวานทั้งเปลือกและน้ำหนักสดต้นสูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่คุณภาพด้านความหวาน น้ำหนักแห้งต้น ใบ เมล็ด กาบฝักและซังของข้าวโพดไม่แตกต่างกันเลย การปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริกซ์ 3 ในดินร่วนเหนียว จังหวัดอุทัยธานี ที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ-ปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงมาก และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ปานกลาง-สูง ข้าวโพดตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ดังสมการ $Y=-0.6989x^2+44.985x+2803$ โดยมีค่า $R^2=0.9106$ การตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟต ดังสมการ $Y=-3.1704x^2+96.699x+3200$ โดยมีค่า $R^2=0.6398$ และการตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทช ดังสมการ $Y=-4.2337x^2+119.76x+2727$ โดยมีค่า $R^2=0.631$ ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารทั้งหมดของข้าวโพด 28.2 4.5 และ 23.0 กิโลกรัม N P K ต่อไร่ ขณะที่ปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับผลผลิต 11.0 2.4 และ 6.6 กิโลกรัม N P K ต่อไร่ เมื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ด้วยวิธี VCR พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 16 กิโลกรัม N ต่อไร่ ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทชอัตรา 4 และ 6 กิโลกรัม P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

คำหลัก: ข้าวโพดหวาน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม การตอบสนองต่อธาตุอาหาร การดูดใช้ธาตุอาหาร

คำนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานทั้งหมดในปีพ.ศ. 2560 ประมาณ 234,259 ไร่ ผลผลิตรวม 502,711 ตัน ปริมาณผลผลิตเฉลี่ย 2,169 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) มีการส่งออกข้าวโพดหวานสูงเป็นอันดับ 2 ของโลก มูลค่ารวม 6,638 ล้านบาท (ฐานเศรษฐกิจ, 2561) อย่างไรก็ตาม ความต้องการข้าวโพดหวานฝักสดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ทั้งเพื่อใช้บริโภคฝักสดและอุตสาหกรรมส่งออก ซึ่งมีปริมาณผลผลิตยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูป (สมาคมผู้ผลิตอาหารสำเร็จรูป, 2556)

การผลิตข้าวโพดให้ได้ผลผลิตและมีคุณภาพสูง ต้องมีการจัดการดินและการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ร่วมกับการเลือกใช้พันธุ์ที่ดี เพราะการดูดใช้ธาตุอาหารในพืชแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและดินเป็นสำคัญ ข้าวโพดหวานมีความต้องการไนโตรเจนในปริมาณมาก โดยเฉพาะในระยะออกดอกตัวผู้และตัวเมีย (สันติ, 2541) สุรเดช และพัชราภรณ์ (2529) ศึกษาการให้ปุ๋ยไนโตรเจนกับข้าวโพดในชุดดินกำแพงแสน อัตรา 0, 12, 24 และ 36 กิโลกรัม N ต่อไร่ พบว่าการให้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราสูงขึ้นจะทำให้ขนาดของฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝัก จำนวนแถวต่อฝักและน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยที่ให้สูงขึ้น สอดคล้องกับกำธร (2530) รายงานว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 15 และ 30 กิโลกรัม N ต่อไร่ ส่งผลให้ข้าวโพดมีจำนวนฝัก น้ำหนักฝัก ขนาดฝัก และน้ำหนักเมล็ดต่อต้นสูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเด่นชัด ให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในเมล็ด ใบและกาบใบมีความแตกต่างกันทางสถิติ ข้าวโพดที่มีอายุ 10 วัน จะสะสมไนโตรเจนไว้ในใบและลำต้นประมาณ 4.5-4.7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง เมื่อข้าวโพดมีอายุมากขึ้นปริมาณธาตุอาหารที่สะสมจะลดลงเรื่อย ๆ อัตราการลดลงของไนโตรเจนในลำต้นและกาบใบเร็วกว่าในใบ การขาดไนโตรเจนจะชักนำให้ข้าวโพดมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสจากดินต่ำลง (สรสิทธิ์ และคณะ, 2511) การผลิตข้าวโพดในชุดดินท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี การใส่ปุ๋ย 20-10-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ได้ผลผลิต 2,002 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยเลย (ดิสสพันธุ์ และคณะ, 2541) ในขณะที่ การผลิตข้าวโพดในดินเหนียวสีแดง ชุดดินวังไฮ

จังหวัดกาญจนบุรี การใส่มูลวัวหมักอัตรา 1 ตันโดยน้ำหนักแห้งต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี 10-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ได้ผลผลิต (2,241 กิโลกรัมต่อไร่) สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 20-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ และการไม่ใส่ปุ๋ยเลย (สมควร และคณะ, 2551)

ข้าวโพดแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะและมีการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยแตกต่างกัน แต่พบว่าอัตราปุ๋ยที่แนะนำให้ใช้ในปัจจุบัน ยังเป็นคำแนะนำแบบกว้างๆ ไม่ได้เฉพาะเจาะจงกับสภาพพื้นที่ปลูกและสายพันธุ์ ที่มีข้อจำกัดชนิดของดิน ความหนาแน่นดิน สภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ เป็นต้น จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตต่ำไม่เป็นไปตามเป้าหมาย อีกทั้งข้อมูลพื้นฐานด้านการจัดการธาตุอาหารในการผลิตข้าวโพดที่เหมาะสมกับชนิดของดินยังมีจำกัด จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาคำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับข้าวโพดหวานให้มีความเฉพาะเจาะจงกับสภาพพื้นที่ เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงการให้คำแนะนำการจัดการดินและการใช้ปุ๋ยสำหรับข้าวโพดหวานให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1) เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน พันธุ์ไฮบริกซ์ 3 (Hybrix 3)
2) ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) ปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)
3) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินและพืช
4) สารเคมีวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช
5) อุปกรณ์ให้น้ำชลประทาน

วิธีการ

การศึกษาการตอบสนองและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานในกลุ่มดินร่วน-ร่วนเหนียว ประกอบด้วย 3 การทดลอง ได้แก่

1) ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน (ปีที่ 1-2, 2559-2560)

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) มี 4 ซ้ำ กรรมวิธีประกอบด้วยอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 6 ระดับ ได้แก่ 0 8 16 24 32 และ 40 กก.N/ไร่ ใส่ปุ๋ย P และ K ตามค่าวิเคราะห์ดิน ปลูกข้าวโพดวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2559 และ วันที่ 10 มกราคม 2560 เก็บเกี่ยววันที่ 14 เมษายน 2559 และวันที่ 23 มีนาคม 2560

2) ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟต (ปีที่ 3-4, 2561-2562)

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) มี 4 ซ้ำ กรรมวิธีประกอบด้วยอัตราปุ๋ยฟอสเฟต 7 ระดับ ได้แก่ 0 4 8 12 16 20 และ 24 กก.P_2O_5/ไร่ ใส่ปุ๋ย N จากผลการทดลองสองปีแรก ส่วนปุ๋ย K ใส่ตามค่าวิเคราะห์ดิน ปลูกข้าวโพดวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2561 และ วันที่ 17 มกราคม 2562 เก็บเกี่ยววันที่ 4 พฤษภาคม 2561 และวันที่ 25 มีนาคม 2562

3) ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทช (ปีที่ 5-6, 2563-2564)

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) มี 4 ซ้ำ กรรมวิธีประกอบด้วยอัตราปุ๋ยโพแทช 7 ระดับ ได้แก่ 0 6 12 18 24 30 และ 36 กก.K_2O/ไร่ แทช ใส่ปุ๋ย N และ P จากผลการทดลองปีที่ 1-2 และปีที่ 3-4 ปลูกข้าวโพดวันที่ 24 มีนาคม 2563 และ วันที่ 21 ธันวาคม 2564 เก็บเกี่ยววันที่ 6 มิถุนายน 2563 และวันที่ 11 มีนาคม 2564

ไถเตรียมดินและเตรียมแปลงย่อยขนาด 4.5x6.0 เมตร พร้อมเก็บตัวอย่างดินทุกแปลงย่อย ปลูกข้าวโพดพันธุ์ไฮบริกซ์ 3 ใช้ระยะปลูก 0.75x0.25 เมตร แล้วถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งแรก รองพื้นก่อนปลูกด้วย P+K ครั้งที่สอง ที่ข้าวโพดอายุ 14 วันหลังปลูกด้วย ½ N ครั้งที่สาม ที่ข้าวโพดอายุ 25 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่วน

ที่เหลือ โดยใส่ปุ๋ยสองข้างของแถวปลูกพร้อมพรวนดินกลบ ให้น้ำข้าวโพดแบบน้ำพุ่ง ปริมาณและระยะถี่บ่อยในการให้น้ำโดยการสังเกตจากความชื้นในดินเป็นหลัก

<u>การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน</u>

เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร วิเคราะห์หาความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) โดยเครื่อง pH meter อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 (Davis, 1943) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic matter) โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) สกัดโดยวิธี Bray II และ วิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Colorimetric method (Bray and Kurtz, 1945) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable potassium) สกัดโดยวิธี NH_4OAc pH7 วิเคราะห์ปริมาณโดย Atomic Absorption Spectrophotometer (Pratt, 1965)

<u>การวิเคราะห์ธาตุอาหารในตัวอย่างพืช</u>

เก็บตัวอย่างพืชที่ระยะเก็บเกี่ยว จำนวน 2 ต้นต่อแปลงย่อย แยกเป็นส่วนของลำต้น ใบ เมล็ด ซังและกาบฝัก ชั่งน้ำหนักสด อบแห้ง บดละเอียดวิเคราะห์หาปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหาร N P K โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ย่อยสลายด้วยกรดกำมะถันเข้มข้น (conc. H_2SO_4) และตัวเร่งปฏิกิริยา วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี Micro-Kjeldahl method (Bremner, 1960) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ในวิธีของ Piper (1966) คือ wet oxidation โดยย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดผสมเข้มข้ม ($HClO_4$+HNO_3; อัตราส่วน 1:2) นำสารละลายที่ย่อยได้บางส่วนไปทำให้เกิดสีด้วยน้ำยา Molybdate-vanadate และวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K) นำตัวอย่างพืชไปย่อยสลายโดยวิธี wet oxidation เช่นเดียวกับการหาฟอสฟอรัสทั้งหมด นำสารละลายที่ได้วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Piper, 1966)

<u>การบันทึกข้อมูล</u>

เก็บเกี่ยวในพื้นที่ 15 $ม^2$ ผลผลิต คุณภาพด้านความหวาน (^oBrix) น้ำหนักสด-แห้งของลำต้น ใบ เมล็ด ซังและกาบฝัก ปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหาร N P K ในลำต้น ใบ เมล็ด ซังและกาบฝัก วิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจโดยใช้อัตราส่วนระหว่างรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยต่อรายจ่ายจากการใช้ปุ๋ย หรือ ค่า Value to Cost Ratio (VCR) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (analysis of variance) วัดประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย N P K ของข้าวโพดหวาน ตามวิธีของ Fageria *et. al*. (1997) โดยการคำนวณ (1) Agronomic Nutrient Use Efficiency (ANUE) (2) Physiological Nutrient Use Efficiency (PNUE) และ (3) Apparent Nutrient Recovery Efficiency (ANRE) ดังนี้

$$\text{ANUE (กก./กก.)} = \frac{\text{ผลผลิต (ใส่ปุ๋ย N, P หรือ K) - ผลผลิต (ไม่ใส่ปุ๋ย N, P หรือ K)}}{\text{ปริมาณปุ๋ย N, P หรือ K ที่ใส่}}$$

$$\text{PNUE (กก./กก.)} = \frac{\text{ผลผลิต (ใส่ปุ๋ย N, P หรือ K) - ผลผลิต (ไม่ใส่ปุ๋ย N, P หรือ K)}}{\text{ธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ (ใส่ปุ๋ย N, P หรือ K) - ธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ (ไม่ใส่ปุ๋ย N, P หรือ K)}}$$

$$\text{ANRE (\%)} = \frac{\text{ธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ (ใส่ปุ๋ย N, P หรือ K) - ธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ (ไม่ใส่ปุ๋ย N, P หรือ K)}}{\text{ปริมาณปุ๋ย N, P หรือ K ที่ใส่}} \times 100$$

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2558 สิ้นสุด กันยายน 2564

สถานที่ทำการทดลอง - แปลงเกษตรกร ตำบลเกาะเทโพ อำเภอเมืองอุทัยธานี จังหวัดอุทัยธานี
- กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1.สมบัติของดินก่อนปลูก

ดินในพื้นที่ทดลองเป็นดินร่วนเหนียว เป็นกรดจัด-กรดปานกลาง (pH 5.4-6.0) ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (0.94-1.77 เปอร์เซ็นต์) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับสูงมาก (88-133 มิลลิกรัม P ต่อกิโลกรัม) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในระดับปานกลาง-สูง (71-116 มิลลิกรัม K ต่อกิโลกรัม) (Table 1) จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน แนะนำการใช้ปุ๋ยในการผลิตข้าวโพดหวานอัตรา 20-5-10 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่

Table 1 Soil properties before planting sweet corn at Uthai Thani province in 2016-2021

Years	pH (soil:water, 1:1)	Organic Matter (%)	Available P ($mgkg^{-1}$)	Exchangeable K ($mgkg^{-1}$)
1^{st}-2^{nd} year	5.4	1.34	103	94
3^{rd}-4^{th} year	5.4	0.94	88	71
5^{th}-6^{th} year	6.0	1.77	133	116

2. ผลผลิตข้าวโพดหวาน

2.1 ผลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อการให้ผลผลิตของข้าวโพด

ผลผลิตข้าวโพดทั้งเปลือกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกับกรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ได้ผลผลิตฝักทั้งเปลือกต่ำสุด 2,803 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 2) เปรียบเทียบกรรมวิธีปุ๋ยไนโตรเจนแต่ละอัตรา (8 16 24 32 และ 40 กิโลกรัม N ต่อไร่) จะให้ผลผลิตไม่มีความแตกต่างกัน มีค่า 3,213 3,419 3,353 3,510 และ 3,525 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ แม้การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยที่ใส่เพิ่มก็ตาม เมื่อนำปริมาณผลผลิตฝักไปหาความสัมพันธ์กับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน พบว่ามีความสัมพันธ์แบบ quadratic ตามสมการ $Y=-0.6989x^2+44.985x+2803$ โดยมีค่า $R^2=0.9106$ (Figure 1) ซึ่งปริมาณผลผลิตฝักและน้ำหนักสดต้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Table 2)

2.2 ผลของการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตต่อการให้ผลผลิตของข้าวโพด

อิทธิพลของปุ๋ยฟอสเฟตต่อผลผลิตข้าวโพดทั้งเปลือกในทุกกรรมวิธีปุ๋ย (4 8 12 16 20 และ 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) ไม่แตกต่างกัน (3,838 3,788 3,771 3,827 3,949 และ 3,708 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) แต่สูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตอย่างเด่นชัด ซึ่งได้ผลผลิตต่ำสุด 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 2) ผลผลิตฝักมีความสัมพันธ์กับอัตราปุ๋ยฟอสเฟต แบบ quadratic ตามสมการ $Y=-3.1704x^2+96.699x+3200$ โดยมีค่า $R^2=0.6398$ (Figure 2) อิทธิพลของปุ๋ยฟอสเฟตต่อน้ำหนักสดต้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลผลิตฝัก (Table 2)

2.3 ผลของการใช้ปุ๋ยโพแทชต่อการให้ผลผลิตของข้าวโพด

ผลผลิตฝักทั้งเปลือกของข้าวโพดในกรรมวิธีที่ได้รับการใส่ปุ๋ยโพแทชสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยโพแทชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การให้ปุ๋ยโพแทชอัตรา 6 12 18 24 30 และ 36 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ได้ผลผลิต 3,517 3,368 3,458 3,440 3,488 และ 3,193 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ กรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยโพแทชได้ผลผลิต 2,727 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 2) ปริมาณผลผลิตฝักกับอัตราปุ๋ยโพแทชมีความสัมพันธ์แบบ quadratic ตามสมการ $Y=-4.2337x^2+119.76x+2727$ โดยมีค่า $R^2=0.631$ (Figure 3) ปริมาณผลผลิตฝักและน้ำหนักสดต้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Table 2)

Khan *et. al*. (2018) รายงานว่า การปลูกข้าวโพดหวานในดินร่วนเหนียวปนทรายที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินต่ำ แต่โพแทสเซียมในดินปานกลาง การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 4.5 9.6 14.4 และ 19.2 กิโลกรัม N ต่อไร่ จะให้ผลผลิต 34%, 44%, 52% และ 54% ตามลำดับ และสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 19.2 กิโลกรัม N ต่อไร่ ถือว่าให้ผลคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ หากปลูกข้าวโพดในดินที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม 54 และ 94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปุ๋ย 19.2-9.6-14.4 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ร่วมกับการให้น้ำทุกๆ 2 วัน จะได้รับผลผลิตข้าวโพดสูงสุด (Muhumed *et. al.,* 2014) แต่หากดินมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตจะไม่ช่วยเพิ่มผลผลิต

และคุณภาพของข้าวโพดหวาน (Geleta *et. al.,* 2004) การปลูกข้าวโพดหวานในชุดดินแม่ริม จ.เชียงใหม่ ที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ ให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 25-30 กิโลกรัม N ต่อไร่ (Kaweewong and Moonta, 2020)

3. องค์ประกอบของผลผลิตข้าวโพดหวาน

3.1 ผลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อองค์ประกอบของผลผลิตข้าวโพด

ความหวานของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราต่างๆมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน 14.3-14.9 องศาบริกซ์ เพราะการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราสูงจะทำให้ soluble sugar ลดลง แต่ปริมาณไลซีนในเมล็ด (kernel) เพิ่มขึ้น (Wu *et. al*., 1993) จากการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งลำต้น เมล็ด กาบฝัก ซังและใบของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราต่างๆนั้น พบว่าทุกกรรมวิธีปุ๋ยไม่ทำให้ค่าดังกล่าวแตกต่างกัน (Table 2)

3.2 ผลของการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตต่อองค์ประกอบของผลผลิตข้าวโพด

การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตอัตราต่างๆให้คุณภาพด้านความหวานไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 14.2-14.6 องศาบริกซ์ ในขณะที่น้ำหนักแห้งลำต้น เมล็ด กาบฝัก ซังและใบเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลผลิตของข้าวโพด (Table 2)

3.3 ผลของการใช้ปุ๋ยโพแทชต่อองค์ประกอบของผลผลิตข้าวโพด

การจัดการปุ๋ยโพแทชอัตราต่างๆให้คุณภาพความหวาน (13.9-14.4 องศาบริกซ์) ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยเลย (13.9 องศาบริกซ์) Risorto (2008) รายงานว่า ราสเบอร์รี่ที่ได้รับปุ๋ยโพแทช 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีความหวาน (10.6 องศาบริกซ์) สูงกว่าการใส่ปุ๋ยโพแทชอัตรา 0 และ 67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (10.2 และ 10.3 องศาบริกซ์) จากการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งลำต้น เมล็ด กาบฝัก ซังและใบของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ยโพแทชอัตราต่างๆนั้น พบว่าทุกกรรมวิธีปุ๋ยไม่ทำให้ค่าดังกล่าวแตกต่างกัน (Table 2)

Table 2 Yield and yield components of sweet corn grown at Uthai Thani province in 2016-2021

Treatments	Unhusk ear fresh wt.[1/]	Plant fresh wt.[1/]	Brix [1/]	Dry Matter (kg/rai)[1/]				
	(kg/rai)	(kg/rai)	(°Brix)	Seed	Stalk	Leave	Cob	Husk
Nitrogen (kg N/rai)								
0	2,803b	3,758b	14.6	306	499	382	141b	323
8	3,213a	4,581a	14.2	361	542	473	169b	351
16	3,419a	4,382a	14.5	345	573	471	166b	339
24	3,353a	4,372a	14.9	353	532	461	166b	369
32	3,510a	4,485a	14.3	346	506	447	163b	365
40	3,525a	4,401a	14.3	367	460	447	214a	361
mean	3,304	4,329	14.5	346	519	447	170b	351
CV. (%)	7.6	7.7	4.5	14.5	17.8	11.8	11.1	15.3
Phosphate (kg P_2O_5/rai)								
0	3,200c	3,621b	12.8	389	446b	494	191c	220
4	3,838ab	4,360a	12.4	479	510ab	548	226ab	239
8	3,788ab	4,335a	12.4	483	487ab	548	216b	239
12	3,771ab	4,219a	12.7	476	539a	543	218ab	211
16	3,827ab	4,286a	13.0	483	548a	638	224ab	254
20	3,949ab	4,622a	12.1	487	535a	608	235a	250
24	3,708b	4,216a	13.0	465	532a	522	219ab	246
mean	3,726	4,237	12.6	466	514	557	218	237
CV. (%)	5.0	9.9	3.0	9.1	13.5	18.6	7.2	13.0
Potash (kg K_2O/rai)								
0	2,727b	4,677b	13.9	321b	522	558	170b	165
6	3,517a	5,703a	14.1	414a	599	709	233a	206
12	3,368a	5,140a	13.9	393ab	578	574	216a	203
18	3,458a	5,510a	14.0	441a	557	665	240a	196

Treatments	Unhusk ear fresh wt.[1/]	Plant fresh wt.[1/]	Brix [1/]	Dry Matter (kg/rai)[1/]				
	(kg/rai)	(kg/rai)	(°Brix)	Seed	Stalk	Leave	Cob	Husk
24	3,440a	5,413a	14.4	433a	579	740	242a	208
30	3,488a	5,507a	14.3	408a	634	630	235a	212
36	3,193a	5,514a	14.4	377ab	561	665	220a	199
mean	3,313	5,352	14.2	398	576	649	222	198
CV.(%)	6.7	9.3	5.8	10.8	10.6	16.8	12.4	12.9

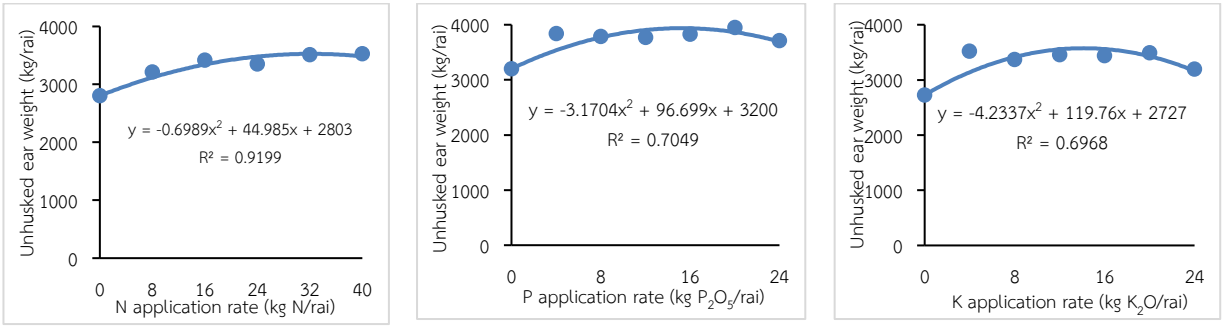

Figure 1-3 Response curve of N P K fertilizers and sweet corn yield

4. ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน

4.1 ผลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของปุ๋ย

การไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ข้าวโพดมีการดูดใช้ไนโตรเจนต่ำสุด (21.99 กิโลกรัม N ต่อไร่) จึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตข้าวโพดต่ำ (2,803 กิโลกรัมต่อไร่) และต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราอื่นๆที่ทำให้ข้าวโพดมีการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจน 25.34 26.3 25.92 25.38 และ 25.42 กิโลกรัม N ต่อไร่ และให้ผลผลิต 3,213 3,419 3,353 3,510 และ 3,525 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณผลผลิตมีความสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน แบบ quadratic ตามสมการ $Y=5.7738x^2-125.15x+2803$ โดยมีค่า $R^2=0.7573$ (Figure 4) Seepaul *et. al*. (2019) รายงานว่า การเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจนให้กับพืช จะมีผลทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดและตอซังเพิ่มตามไปด้วย

การนำต้นข้าวโพดออกไปจากพื้นที่ทำให้สูญเสียไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม 15.1 1.8 และ 15.9 กิโลกรัม N P K ต่อไร่ เทียบเท่าเนื้อปุ๋ย 15.1 4.2 และ 19.0 กิโลกรัม N P_2O_5 K_2O ต่อไร่ ที่น้ำหนักแห้ง 966 กิโลกรัมต่อไร่ หากนำผลผลิตฝักที่มีเมล็ด กาบฝักและซังออกไปด้วยที่น้ำหนักแห้งเฉลี่ย 346 351 และ 170 กิโลกรัมต่อไร่ ความเข้มข้นของธาตุอาหาร 0.81-1.80, 0.15-0.29 และ 0.76-1.02 เปอร์เซ็นต์ N, P และ K ตามลำดับ จะสูญเสียธาตุอาหาร 10.6 1.8 และ 7.8 กิโลกรัม N P K ต่อไร่ หรือเทียบเท่ากับปุ๋ย 10.6 4.2 และ 9.4 กิโลกรัม N P_2O_5 K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ แต่การนำทั้งต้นและฝักออกไปนอกพื้นที่ ธาตุอาหารทั้งหมดที่สูญเสีย 25.7 8.4 และ 28.4 กิโลกรัม N P_2O_5 K_2O ต่อไร่ต่อฤดู (Table 3)

4.2 ผลของการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตต่อปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตทำให้ข้าวโพดมีการดูดใช้ฟอสฟอรัส 4.72 4.85 4.48 4.95 4.72 และ 4.33 กิโลกรัม P ต่อไร่ ส่งผลให้ได้รับผลผลิตข้าวโพดทั้งเปลือก 3,838 3,788 3,771 3,827 3,949 และ 3,708 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่มีปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัส 3.99 กิโลกรัม P ต่อไร่ และให้ผลผลิตข้าวโพดทั้งเปลือก 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ โดยปริมาณผลผลิตมีความสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัส แบบ quadratic ตามสมการ $Y=107.41x^2-379.1x+3200$ โดยมีค่า $R^2=0.6599$ (Figure 5)

ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สูญเสียไปกับต้น 18.4 2.1 และ 17.1 กิโลกรัม N P K ต่อไร่ เทียบเท่าเนื้อปุ๋ย 18.4 4.8 และ 20.5 กิโลกรัม N P_2O_5 K_2O ต่อไร่ ที่น้ำหนักแห้ง 1,073 กิโลกรัมต่อไร่ การนำผลผลิตฝักซึ่งเป็นส่วนของเมล็ด กาบฝักและซังออกไปที่มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 465 238 และ 219 กิโลกรัมต่อไร่ ความเข้มข้นของธาตุอาหาร 0.86-1.85, 0.16-0.40 และ 0.54-0.90 เปอร์เซ็นต์ N, P และ K ตามลำดับ จะสูญเสียธาตุอาหาร 11.9 2.7 และ 6.7

กิโลกรัม N P K ต่อไร่ หรือเทียบเท่ากับปุ๋ย 11.9 6.2 และ 8.0 กิโลกรัม N P_2O_5 K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ แต่หากนำต้นและฝักออกไปจากพื้นที่ จะสูญเสียธาตุอาหารทั้งหมด 30.3 11.0 และ 28.6 กิโลกรัม N P_2O_5 K_2O ต่อไร่ต่อฤดู (Table 3)

4.3 ผลของการใช้ปุ๋ยโพแทชต่อปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยโพแทชทำให้ปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมในข้าวโพดมีค่า 24.06 19.26 21.77 22.24 22.50 และ 22.51 กก.K/ไร่ ส่งผลให้ได้รับผลผลิตข้าวโพดทั้งเปลือก 3,517 3,368 3,458 3,440 3,488 และ 3,193 กก./ไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ได้รับการใส่ปุ๋ยโพแทชที่มีการดูดใช้โพแทสเซียม 17.26 กก.K/ไร่ และที่ผลผลิต 2,727 กก./ไร่ ปริมาณผลผลิตมีความสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียม แบบ quadratic ตามสมการ $Y=3.5501x^2-49.406x+2727$ โดยมีค่า $R^2=0.6216$ (Figure 5) พืชสามารถดูดใช้ปุ๋ยโพแทชได้เพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยที่สูงขึ้น แต่ไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มหรือแม้ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อจะเพิ่มขึ้น ก็ไม่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสัมพัทธ์ของพืชเพิ่ม เรียกว่า พืชดูดใช้ธาตุอาหารแบบฟุ่มเฟือย (luxury consumption) สอดคล้องกับ Mohammad and Ayadi, (2004), Torabian *et. al*., (2021) Wijk *et. al*., (2003) Fahrurrozi *et. al*. (2018) รายงานว่า เมื่อมีการดูดใช้โพแทสเซียมทำให้ผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่ไม่ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

การนำต้นข้าวโพดน้ำหนักแห้ง 1,225 กิโลกรัมต่อไร่ ออกไปจากพื้นที่ จะสูญเสียธาตุอาหาร 18.3 2.3 และ 16.2 กิโลกรัม N P K ต่อไร่ เทียบเท่าเนื้อปุ๋ย 18.3 5.3 และ 19.4 กิโลกรัม N P_2O_5 K_2O ต่อไร่ แต่การนำผลผลิตฝักออกไปนอกพื้นที่ ๆ มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 398 198 และ 222 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ความเข้มข้นของธาตุอาหาร 0.57-1.81, 0.10-0.31 และ 0.52-0.86 เปอร์เซ็นต์ N, P และ K ตามลำดับ จะสูญเสียธาตุอาหาร 10.4 2.8 และ 5.3 กิโลกรัม N P K ต่อไร่ เทียบเท่ากับปุ๋ย 10.4 6.4 และ 6.4 กิโลกรัม N P_2O_5 K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ แต่การนำทั้งฝักและต้นข้าวโพดออกไปทำให้ธาตุอาหารทั้งหมดที่สูญเสีย 28.7 11.7 และ 25.8 กิโลกรัม N P_2O_5 K_2Oต่อไร่ต่อฤดู (Table 3)

จะเห็นว่า การปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริกซ์ 3 ในดินร่วนเหนียว จังหวัดอุทัยธานี ข้าวโพดมีการดูดใช้ธาตุอาหารทั้งหมด 28.2 4.5 และ 23.0 กิโลกรัม N P K ต่อไร่ ในขณะที่ธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต 11.0 2.4 และ 6.6 กิโลกรัม N P K ต่อไร่

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยโพแทชมีผลต่อการดูดใช้ไนโตรเจนและโพแทสเซียมในฝัก จึงทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นชัดเจนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟต หรือ อาจเป็นเพราะดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูง การตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตจึงไม่ชัดเจน สอดคล้องกับ Geleta *et. al*. (2004) สมศักดิ์ และคณะ (2563) รายงานว่า ปริมาณการสะสมของฟอสฟอรัสในผลแตงกวาที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยพบสหสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างผลผลิตและการดูดใช้ฟอสฟอรัส (r= 0.84**) ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง (r=0.84**) และให้ค่าสหสัมพันธ์กำหนด (R2) เท่ากับ 0.71

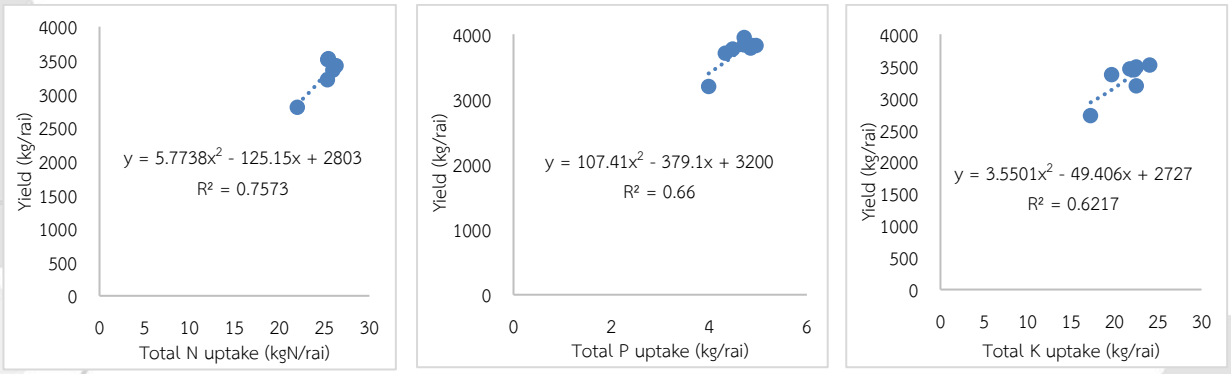

Figure 4-6 Relationship between sweet corn yield and total N P K uptake in sweet corn

Table 3 Nutrient removal in sweet corn production

Plant parts	Dry matter	Nutrient concentration (%)			Amount of nutrient (kg/rai)		
	(kg/rai)	N	P	K	N	P	K
			1st-2nd year				
Stalk	519	1.03	0.13	1.47	5.33	0.66	7.57
Leave	447	2.19	0.26	1.84	9.77	1.17	8.28
Seed	346	1.80	0.29	1.02	6.24	1.01	3.60
Husk	351	0.81	0.15	0.76	2.86	0.52	2.65
Cob	170	0.89	0.18	0.92	1.51	0.31	1.55
Total	1,833				25.71	3.67	23.65
			3rd-4th year				
Stalk	515	0.90	0.11	1.19	4.75	0.56	6.52
Leave	558	1.99	0.25	1.68	13.67	1.56	10.55
Seed	465	1.85	0.40	0.90	7.99	1.85	4.20
Husk	238	0.88	0.16	0.54	2.04	0.38	1.26
Cob	219	0.86	0.20	0.59	1.89	0.43	1.28
Total	1,995				30.34	4.78	23.81
			5th-6th year				
Stalk	576	0.83	0.12	1.04	4.79	0.67	5.97
Leave	649	2.08	0.25	1.57	13.53	1.60	10.20
Seed	398	1.81	0.31	0.61	7.17	1.23	2.41
Husk	198	0.57	0.10	0.86	1.13	1.13	1.70
Cob	222	0.93	0.18	0.52	2.05	0.39	1.16
Total	2,043				28.67	6.68	21.44

5. ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยของข้าวโพดหวาน

ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยแสดงถึงความสามารถของพืชในการให้ผลผลิตต่อหน่วยของปุ๋ยที่ใช้ เป็นความสามารถในการดึงดูดธาตุอาหารไปสะสมไว้ในต้นแล้วเปลี่ยนเป็นผลผลิต (Moll *et. al.,* 1982) ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของธาตุอาหารจากปุ๋ย หาได้โดยการวัดประสิทธิภาพการผลิตพืชและประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ย

5.1 ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวโพด

เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนข้าวโพดจะดูดใช้ไนโตรเจนสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย (Figure 4) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการผลิตและการใช้ไนโตรเจนจากปุ๋ยจะลดลง เพราะมีการสูญเสียของปุ๋ยในดินเกิดขึ้น โดยมีค่า 54 39 23 22 และ 18 กก./กก.N และ 50% 28% 10% 9% และ 5% ตามลำดับ การใช้ปุ๋ยอัตราต่ำจะให้ ANUE สูงเพราะพืชต้องการใช้ปุ๋ยให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโต แต่การใช้ปุ๋ยอัตราสูงให้ค่า ANUE และ ANRE ต่ำ เพราะมีปุ๋ยเพียงพอกับความต้องการของพืชอยู่แล้ว (พืชเขตร้อน ANRE มีค่า 30-50%) ส่วนผลผลิตข้าวโพดที่ได้ต่อหน่วยของธาตุอาหารจากปุ๋ยไนโตรเจนที่พืชดูดใช้ (PNUE) พบว่าการใส่ปุ๋ยอัตรา 16 32 และ 40 กก.N/ไร่ ให้ประสิทธิภาพเชิงสรีระหรือผลผลิตเพิ่มใกล้เคียงกัน (166 192 และ 225 กก./กก.N) และมีค่าสูงสุด (Table 4) โดยปกติถ้า PNUE มากกว่า 60 กก./กก.ธาตุอาหาร จัดว่าให้ปุ๋ยได้เหมาะสมกับความต้องการของพืช (Fixen *et. al*., 2014)

5.2 ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตของข้าวโพด

การเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสเฟตไม่ทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวโพดเพิ่มขึ้นต่างกัน (Figure 5) แต่ประสิทธิภาพการผลิตและการใช้ฟอสฟอรัสจากปุ๋ยจะลดลง เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเพิ่มมากขึ้น (160 74 48 39 37 และ 21 กก./กก.P และ 18.3% 10.9% 4.1% 5.4% 3.6% และ 1.5% ตามลำดับ) ส่วนผลผลิตของข้าวโพดที่ได้ต่อหน่วยของธาตุอาหารจากปุ๋ยฟอสเฟตที่พืชดูดใช้ (PPUE) พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตอัตรา 4 8 12 16 20 และ 24 กก.P_2O_5/ไร่ ให้ประสิทธิภาพเชิงสรีระหรือผลผลิตเพิ่ม 1,032 806 3,421 749 1,150 และ 1,021 กก./กก.P ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกัน (Table 4)

5.3 ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยโพแทชของข้าวโพด

การใส่ปุ๋ยโพแทชให้อัตราการดูดใช้โพแทสเซียมในข้าวโพดใกล้เคียงกัน (Figure 6) แต่การใส่ปุ๋ยโพแทชเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพการผลิตและการใช้ธาตุอาหารโพแทสเซียมจากปุ๋ยนั้นลดลง โดยมีค่า 132 48 38 30 25 และ 17 กก./กก.K และ 113% 20% 25% 21% 17% และ 15% ตามลำดับ ส่วนปริมาณผลผลิตข้าวโพดที่ได้ต่อหน่วยของธาตุอาหารจากปุ๋ยโพแทชที่พืชดูดใช้ (PPUE) จะให้ประสิทธิภาพเชิงสรีระหรือผลผลิตเพิ่มไม่แตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วง 114 340 159 148 148 และ 87 กก./กก.K ภายใต้การจัดการปุ๋ยโพแทชตามอัตรา 6 12 18 24 30 และ 36 กก.K_2O/ไร่ ตามลำดับ (Table 4)

Fageria *et. al.* (2014) รายงานว่า พืชมีประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนประมาณ 30–60 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 30–50 เปอร์เซ็นต์

Table 4 Fertilizer use efficiency on sweet corn production

Items	Nitrogen (kg N/rai)					*P*
	8	16	24	32	40	
N removal (kg N/rai)	26	29	26	26	27	ns
Agronomic N Use Efficiency (kg/kg N)	54	39	23	22	18	*
Physiological N Use Efficiency (kg/kg N)	92	166	113	225	192	ns
Apparent N Recovery Efficiency (%)	50	28	10	9	5	ns

	Phosphate (kg P_2O_5/rai)						*P*
	4	8	12	16	20	24	
P removal (kg P/rai)	4.7	4.9	4.5	5.0	4.7	4.3	ns
Agronomic P Use Efficiency (kg/kg P)	160	74	48	39	37	21	**
Physiological P Use Efficiency (kg/kg P)	1032	806	3421	749	1150	1021	ns
Apparent P Recovery Efficiency (%)	18.3	10.9	4.1	5.4	3.6	1.5	**

	Potash (kg K_2O/rai)						*P*
	6	12	18	24	30	36	
K removal (kg K/rai)	24	20	22	22	22	22	ns
Agronomic K Use Efficiency (kg/kg K)	132	48	38	30	25	17	**
Physiological K Use Efficiency (kg/kg K)	141	340	159	148	148	87	ns
Apparent K Recovery Efficiency (%)	113	20	25	21	17	15	**

6.ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้ปุ๋ยในการผลิตข้าวโพดหวาน

เมื่อพิจารณาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจโดยใช้อัตราส่วนระหว่างรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยต่อรายจ่ายจากการใช้ปุ๋ย หรือ ค่า Value to Cost Ratio (VCR) พบว่า การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 16 กก.N/ไร่ ให้ผลตอบแทนสุทธิและค่า VCR สูงสุด ส่วนการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทชอัตรา 4 และ 6 กก.P_2O_5-K_2O/ไร่ ได้ผลผลิตเพิ่มและค่า VCR สูงสุด ดังนั้น การผลิตข้าวโพดหวานในดินร่วนเหนียว จ.อุทัยธานี ที่มีอินทรียวัตถุต่ำ-ปานกลาง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

สูงมากและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินปานกลาง-สูง แนะนำใส่ปุ๋ยอัตรา 16-4-6 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ซึ่งถือว่าคุ้มค่ากับการลงทุนที่ให้ผลตอบแทนในค่า VCR สูงสุด (Table 5)

Table 5 Economic return in sweet corn production

Treatments (kg N-P_2O_5-K_2O/rai)	Yield (kg/rai)	Increased Yield (kg/rai)	Gross return (Baht/rai)	Cost of fertilizer (Baht/rai)	Net return (Baht/rai)	Value/cost ratio (VCR)
1^{st}-2^{nd} year						
T1 (0-5-10)	2,803	0	0	508	-	-
T2 (8-5-10)	3,213	410	2,050	770	1,280	3
T3 (16-5-10)	3,419	616	3,080	1,033	2,047	3
T4 (24-5-10)	3,353	550	2,750	1,296	1,454	2
T5 (32-5-10)	3,510	707	3,535	1,559	1,976	2
T6 (40-5-10)	3,525	722	3,610	1,822	1,788	2
3^{rd}-4^{th} year						
T1 (16-0-10)	3,200	0	0	751	-	-
T2 (16-4-10)	3,838	638	3,190	977	2,964	14
T3 (16-8-10)	3,788	588	2,940	1,203	2,488	7
T4 (16-12-10)	3,771	571	2,855	1,429	2,177	4
T5 (16-16-10)	3,827	627	3,135	1,655	2,231	3
T6 16-20-10	3,949	749	3,745	1,881	2,615	3
T7 (16-24-10)	3,708	508	2,540	2,107	1,183	2
5^{th}-6^{th} year						
T1 (16-4-0)	2,727	0	0	752	-	-
T2 (16-4-6)	3,517	790	3,950	887	3,815	29
T3 (16-4-12)	3,368	641	3,205	1,022	2,935	12
T4 (16-4-18)	3,458	731	3,655	1,157	3,250	9
T5 (16-4-24)	3,440	713	3,565	1,292	3,025	7
T6 (16-4-30)	3,488	761	3,805	1,427	3,130	6
T7 (16-4-36)	3,193	466	2,330	1,562	1,520	3

* 21-0-0=6.90 Baht/kg N, 0-46-0=26.00 Baht/kg P_2O_5, 0-0-60=13.50 Baht/kg K_2O, Sweet corn pirce 6.40 Baht/kg

7. ผลวิเคราะห์ดินหลังปลูก

7.1 ผลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อสมบัติทางเคมีของดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลให้พีเอชของดินอยู่ในช่วง 4.4-5.5 อินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 1.29-1.45% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในช่วง 127-131 มก.P/กก. และ 88-105 มก.K/กก. ซึ่งไม่แตกต่างกันในทุกกรรมวิธีปุ๋ย (Table 6)

7.2 ผลของการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตต่อสมบัติทางเคมีของดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

การจัดการปุ๋ยฟอสเฟตตามกรรมวิธีปุ๋ยต่างๆไม่ทำให้ค่าพีเอชของดิน อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแตกต่างกันทางสถิติ โดยพีเอชของดินอยู่ในช่วง 4.5-4.9 อินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 1.09-1.50% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในช่วง 53-70 มก.P/กก. และ 81-95 มก.K/กก. (Table 6)

7.1 ผลของการใช้ปุ๋ยโพแทชต่อสมบัติทางเคมีของดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

การจัดการปุ๋ยโพแทชให้ค่าพีเอชของดินอยู่ในช่วง 4.2-4.4 อินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 1.66-1.93% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน อยู่ในช่วง 118-143 มก.P/กก. และ 41-104 มก.K/กก. ซึ่งไม่แตกต่างกันในทุกกรรมวิธีปุ๋ย (Table 6)

Table 6 Soil properties after planting sweet corn at Uthai Thani province in 2016-2021

Treatments	pH (soil:water, 1:1)	Organic Matter (%)	Available P ($mgkg^{-1}$)	Exchangeable K ($mgkg^{-1}$)
Nitrogen (kg N/rai)				
0	5.5	1.45	125	97
8	5.3	1.34	131	96
16	5.2	1.36	127	88
24	4.8	1.45	129	105
32	5.2	1.35	127	91
40	4.4	1.29	120	96
mean	5.1	1.37	127	96
CV. (%)	9.8	8.2	13.8	28.1
Phosphate (kg P_2O_5/rai)				
0	4.7	1.24	63	95
4	4.9	1.09	53	81
8	4.7	1.13	58	83
12	4.6	1.13	63	74
16	4.5	1.25	58	69
20	4.5	1.50	66	91
24	4.5	1.14	70	87
mean	4.6	1.21	61	83
CV. (%)	5.2	18.9	12.8	23.1
Potash (kg K_2O/rai)				
0	4.4	1.66	118	41
6	4.4	1.88	133	84
12	4.2	1.90	126	63
18	4.4	1.84	127	84
24	4.2	1.70	129	95
30	4.4	1.92	136	104
36	4.3	1.93	143	103
mean	4.3	1.83	130	81
CV. (%)	6.0	14.1	18.3	40

สรุปผลการทดลอง

1) การปลูกข้าวโพดหวานในดินร่วนเหนียว จังหวัดอุทัยธานี ที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ-ปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงมาก และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินปานกลาง-สูง ข้าวโพดมีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ดังสมการ $Y=-0.6989x^2+44.985x+2803$ โดยมีค่า $R^2=0.9106$ การตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟต ดังสมการ $Y=-3.1704x^2+96.699x+3200$ โดยมีค่า $R^2=0.6398$ และการตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทช ดังสมการ $Y=-4.2337x^2+119.76x+2727$ โดยมีค่า $R^2=0.631$ เมื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ด้วยวิธี VCR พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 16 กิโลกรัม N ต่อไร่ ปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทชอัตรา 4 และ 6 กิโลกรัม P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

2) การปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริกซ์ 3 ในดินร่วนเหนียว จังหวัดอุทัยธานี พบว่า มีการดูดใช้ธาตุอาหารทั้งหมด 28.2 4.5 และ 23.0 กิโลกรัม N P K ต่อไร่ ในขณะที่ ปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับผลผลิต 11.0 2.4 และ 6.6 กิโลกรัม N P K ต่อไร่

3) อิทธิพลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟตและโพแทชต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดไม่แตกต่างกันทางสถิติ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สำหรับให้คำแนะนำการจัดการปุ๋ยในการผลิตข้าวโพดหวานที่ปลูกในพื้นที่ดินร่วนเหนียว จังหวัดอุทัยธานี และสามารถนำไปปรับใช้กับการปลูกข้าวโพดหวานในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน ซึ่งการจัดการปุ๋ยแบบดังกล่าวจะช่วยให้เพิ่มผลผลิตข้าวโพดหวานได้อย่างมีศักยภาพ

เอกสารอ้างอิง

กำธร สุทธิสารากร. 2530. อิทธิพลของอัตราน้ำ ปุ๋ยไนโตรเจน และการคลุมดินที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานพิเศษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดิสสพันธุ์ ธรรมาภิรมย์ สันติ ธีราภรณ์ และ สุทัย วุธรา. 2541. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟต และโพแทชต่อผลผลิตข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วนเหนียว. รายงานบทคัดย่อผลงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ ปี 2541. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

ฐานเศรษฐกิจ. 2561. ข้าวโพดหวาน. แหล่งข้อมูล : https//www.thansettakij.com สืบค้น 24 ธันวาคม 2561.

สมาคมผู้ผลิตอาหารสำเร็จรูป. 2556. การตลาดสินค้าข้าวโพดหวาน. แหล่งข้อมูล: https//www.ap.mju.ac.th สืบค้น 24 ธันวาคม 2561.

สมควร คล้องช้าง สันติ ธีราภรณ์ สมปอง หมื่นแจ้ง และปราโมทย์ ไตรเพียร. 2551. ผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพ มูลวัวหมัก และปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตข้าวโพดหวาน. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2551. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ ฉิมมา สายชล สุขญาณกิจ สิริรรณ สมิทธิอาภาณ์ และโสภิดา จิวประเสริฐ. 2563. การตอบสนองด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของแตงกวาลูกผสมต่อปุ๋ยฟอสฟอรัส. *Thai Journal of Science and Technology*. Vol. 9(2): March-April 2020. p. 276-286.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน สมเจตน์ จันทวัฒน์ ปิยะ ดวงพัตรา และ ยงยุทธ โอสถสภา. 2511. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตกับการสะสมน้ำหนักแห้งและธาตุอาหารของข้าวโพดกัวเตมาลา. น. 72-79. *ใน* รายงานประจำปี 2511-2512. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สันติ ธีราภรณ์. 2545. เอกสารวิชาการเรื่องดินและธาตุอาหารพืชกับข้าวโพดฝักสด. 2545. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. 114 หน้า.

สุรเดช จินตกานนท์ และ พัชราภรณ์ ไขรัศมี. 2529. อิทธิพลของอัตราและวิธีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีต่อปริมาณและคุณภาพของเมล็ดข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. *ใน* รายงานการประชุมวิชาการพืชผักแห่งชาติครั้งที่ 6, 13-17 มกราคม 2529. วิทยาเขตเกษตรนครศรีธรรมราช นครศรีธรรมราช.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. ตารางแสดงรายละเอียดข้าวโพดหวาน. แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/view/TH-TH สืบค้น 12 ตุลาคม 2561.

Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus In soil. *Soil Sci*. 59:39-45.

Bremner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *Journal of Agricultural Science*. 55:11–33.

Davis, L.E. 1943. Measurements of pH with the glass electrode as affected by soil moisture. *Soil Sci*. 56(6): 405-422.

Fageria, N.K., A.B. dos Santos and A.M. Coelho. 2011. Growth, yield and yield components of lowland rice as influenced by ammonium sulfate and urea fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 34: 371–386.

Fageria, N.K., H.R. Gheyi and C.S. Carvalho. 2014. Yield, potassium uptake, and use efficiency in upland rice genotypes. II INOVAGRI International Meeting, 13–16 April, Fortaleza, Brazil. pp. 4515–4520.

Fageria, N.K., V.C. Baligar and C.A. Jones. 1997. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops, 2nd ed. New York: Marcel Dekker.

Fahrurrozi, F., Z. Muktamar, M. Chozin, N. Setyowati and S. Sudjatmiko. 2018. Relationships Between potassium uptakes and yield performances of sweet corn grown under organic production system. *International Journal of Agricultural Technology*, Vol. 14(7): 1171-1180.

Fixen, P., F. Brentrup, T. Bruulsema, F. Garcia, R. Norton and S. Zingore. 2014. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. Available at: https://www.fertilizer.org Accessed: 26 October 2021.

Geleta, S.B., R.B. Brinsfield, F.R. Mulford, H.E. Womack, C.H. Briand and J.A. O'Keefe. 2004. Managing phosphorus for yield and quality of sweet corn grown on high phosphorus soils of Maryland's eastern shore. Can. *J. of Plant Sci*. 713-718.

Kaweewong, J. and A. Moonta. 2020. Nitrogen Requirements of Sweet Corn Grown on Mea Rim soil series. *Thai Journal of Science and Technology*. Vol. 9, No. 6 November - December 2020. 811-820.

Khan, A.A., A. Hussain, M.A. Ganai, N.R. Sofi and S.T. Hussain. 2018. Yield, nutrient uptake and quality of sweet corn as influenced by transplanting dates and nitrogen levels. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(2): 3567-3571.

Mohammad, M.J. and M. Ayadi, 2004. Forage Yield and Nutrient Uptake as Influenced by Secondary Treated Wastewater. *J. of Plant Nutrition*. Vol. 27, No. 2, pp. 351-365.

Moll, R.H., E.J. Kamprath and W.A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency to nitrogen utilization. *Agronomy. J.* 74: 562-564.

Muhumed, M.A., S. Jusop, C.T.B. Sung, P.E.M. Wahab and Q.A. Panhwar. 2014. Influence of NPK fertilizer rates and irrigation frequencies on the biomass and yield components of sweet corn (*Zea mays* L.*). Journal of Food, Agriculture & Environment,* Vol.12 (2): 1308-1313.

Piper, C.S. 1966. Soil and Plant Analysis*, Academic Press, New York*, pp. 47-77.

Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. *In* C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part II. *Amer. Soc. of Agron*, Inc. Madison, Wisconsin.

Seepaul, R., J. Marois, I.M. Small, S. George and D.L. Wright. 2019. Carinata dry matter acclumucation and nutrient uptake responses to nitrogen fertilizer. *Agronomy J*., vol. 111 issue 4, July-August 2019. pp. 2038-2046.

Torabian, S., S. Farhangi-Abriz, R. Qin, C. Noulas, V. Sathuvalli, B. Charlton and D. A. Loka. 2021. Potassium: A Vital Macronutrient in Potato Production-A Review. Agronomy. Available at: https://doi.org/10.3390/agronomy11030543 Accessed: 29 October 2021

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method**.** *Soil Sci.* 37: 29-38.

Wijk, M.T.V., M. Williams, L. Gough, S.E. Hobbie and G.R. Shaver. 2003. Luxury consumption of soil nutrients: a possible competitive strategy in above-ground and below-ground biomass allocation and root morphology for slow-growing arctic vegetation. *Journal of Ecology, vol.* 91, 664–676.

Wu, P., Q. Dai and Q. Tao. 1993. Effect of fertilizer rates on the growth, yield, and kernel composition of sweet corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Vol 24.237-253.