การใช้ประโยชน์จากเถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เพื่อเป็นแหล่งโพแทสเซียมแก่พืช

Utilization of Ash and Potassium Extracted from Empty Palm Oil Bunch Ash for Source of Potassium to Plant

รติมาวดี ฤทธิ์ทอง จักรกฤษณ์ พูนภักดี* ขวัญตา ขาวมี และจำเป็น อ่อนทอง
Ratimawadee Ritthong, Chakkrit Poonpakdee*, Khwunta Khawmee and Jumpen Onthong

สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110
Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources Prince of Songkla University, Songkla 90110, Thailand
* Corresponding author: chakkrit.p@psu.ac.th

(Received: Nov 21, 2024; Revised: Feb 4, 2024; Accepted: Feb 19, 2024)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันซึ่งมีโพแทสเซียมสูงเป็นชีวมวลในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้าในภาคใต้ ส่งผลให้เถ้าซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์ ปัจจุบันมีการสกัดโพแทสเซียมในเถ้าใช้เป็นแหล่งให้โพแทสเซียมแก่พืช งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งให้โพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 4 ทรีตเมนต์ จำนวน 4 ซ้ำ คือ 1) ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม) 2) ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 3) ใส่เถ้า (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) 4) ใส่โพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยใส่วัสดุที่เป็นแหล่งให้โพแทสเซียมแบบโรยผิวดินในอัตรา 100 มิลลิกรัม K_2O ต่อกิโลกรัม จากนั้นปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ซุปเปอร์สวีตเป็นพืชทดสอบในดินชุดดินทุ่งหว้าซึ่งเป็นดินเนื้อดินหยาบมีธาตุอาหารโดยเฉพาะโพแทสเซียมต่ำ ผลการทดลองพบว่า การใส่โพแทสเซียมไม่เพียงแต่ส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง ลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น แต่ยังส่งเสริมให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารโดยเฉพาะโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น โดยการใส่เถ้าโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและโพแทสเซียมคลอไรด์ให้ผลการเจริญเติบโตของข้าวโพดไม่แตกต่างกัน แต่การใส่เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันส่งเสริมให้ข้าวโพดดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียม รวมทั้งช่วยให้ดินหลังปลูกมีแนวโน้มของค่าพีเอช โพแทสเซียม แคลเซียมเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันสามารถใช้เป็นแหล่งทางเลือกให้โพแทสเซียมแก่พืชได้

คำสำคัญ : แหล่งโพแทสเซียม เถ้า วัสดุอินทรีย์ สมบัติเคมีของดิน

Abstract

Currently, empty palm oil bunches, which high potassium (K) content, are widely used as biomass for production processes in industrial factories and power plants in the southern region. This has resulted in an increasing amount of ash, a by-product of combustion, which needs to be disposed or utilized. Nowadays, K in ash was extracted and used for sources of K to plant. The objective was to study the effects of ash and K extracted from ash of empty palm oil bunch (PEA) as a K source on plant growth and nutrients uptake. The experimental design was a completely randomized design with 4 treatments and 4 replications: 1) control (no applied K fertilizer), 2) KCl, 3) ash (empty palm oil bunch), and 4) PEA applications. Various K sources were applied by top dressing at a rate of 100 mg K_2O/kg. Sweet corn of the Super Sweet variety was grown as a test crop in the Thung Wa soil series, which is characterized by coarse textural soil with low nutrients content, especially low K level. The results showed that K application not only increased the height, stem diameter, fresh weigh, and dry weight of the sweet corn, but also promoted nutrients uptake, particularly K. The growth of sweet corn applied ash, PEA, and KCl was not different. However, the application of ash and PEA not only promoted Ca and Mg in plants but also increased soil pH, K, and Ca. Therefore, ash and PEA can be used for alternative K source to plant.

Keywords: Potassium sources, Ash, Organic materials, Chemical soil properties

บทนำ

ดินในประเทศไทยส่วนใหญ่มีพีเอชต่ำ มีอินทรียวัตถุต่ำ ร้อยละของแคตไอออนสภาพเบส โดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียม (K) ในดินต่ำ (< 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Land Development Department, 2015) ในภาพรวมดินในประเทศไทยจึงมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดังนั้น จึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ รวมทั้งปุ๋ยโพแทสเซียม เพื่อให้ดินมีสมบัติที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช โพแทสเซียมเป็นธาตุที่ช่วยในการทำงานของเอนไซม์ ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปสู่ผล ควบคุมการเปิดปิดของปากใบ และช่วยให้ผลผลิตมีคุณภาพดี (Osotsapa, 2015) แหล่งให้โพแทสเซียมที่นิยมใช้ คือ ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) และจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งเถ้าเป็นหนึ่งในวัสดุอินทรีย์ที่สามารถช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดินได้

ปาล์มน้ำมันเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจของไทยที่มีการปลูกกันมากโดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งมีพื้นที่ปลูกถึง 5 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ยของปาล์มน้ำมันในภาคใต้อยู่ที่ 16,000 ตันต่อปี (Office of Agricultural Economics, 2022) เมื่อมีการใช้ประโยชน์จากผลปาล์มส่งผลให้เกิดเศษเหลือทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันซึ่งมีปริมาณร้อยละ 20-30 ของผลปาล์มทั้งทะลาย ซึ่งในส่วนของทะลายปาล์มยังมีธาตุอาหารสูงโดยเฉพาะโพแทสเซียม ในภาคใต้ของประเทศไทยมีการใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นชีวมวลในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้า โดยการเผาไหม้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันทำให้เกิดเถ้าร้อยละ 4.8-8.7 (Cherypiew, 2015) จึงก่อเกิดเป็นเถ้าจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันทั้งหมดในภาคใต้ประมาณ 280 ตันต่อปี ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดทิ้ง ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้การฝังกลบในพื้นที่ว่างเปล่า ส่งผลให้ดินบริเวณดังกล่าว มีพีเอชเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้าสูง รวมทั้งอาจมีการสะสมโลหะหนัก (Johansen *et al*., 2021) ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา มีการพยายามนำเถ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ทางการเกษตร เช่น วัสดุปรับปรุงดิน (Damrongrak, 2019; Baloch *et al*., 2024) และแหล่งให้ธาตุอาหารแก่พืช (Zhao *et al*., 2019; Ondrasek *et al*., 2021) เนื่องจากเถ้ามีธาตุอาหารพืช ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม รวมทั้งจุลธาตุ ได้แก่ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี (Kurzemann *et al*., 2021) แต่ข้อจำกัดของเถ้า คือ เป็นด่างสูง (Ondrasek *et al*., 2021) อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่า การใส่เถ้าเพื่อเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารและวัสดุปรับปรุงดินในปริมาณที่เหมาะสมส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดี แต่ถ้าใส่ในอัตราสูงเกินไปส่งผลให้ดินเป็นด่างและยับยั้งการเจริญเติบโตพืช (Ondrasek *et al*., 2021)

ในปัจจุบันมีการสกัดโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้า โดยนำเถ้ามาสกัดกับสารอินทรีย์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด จากนั้นนำมาอบให้แห้งเป็นของแข็งที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบสูงและมีพีเอชต่ำกว่าเถ้า (Poonpakdee *et al*., 2024) ซึ่งคาดว่าสามารถใช้เป็นแหล่งให้โพแทสเซียมแก่พืชได้ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานตลอดจนเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้วัสดุดังกล่าวเป็นแหล่งให้โพแทสเซียมแก่พืช ดังนั้น งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งให้โพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน ทั้งนี้หากโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันสามารถใช้เป็นแหล่งให้โพแทสเซียมให้แก่พืชได้ อาจเป็นแนวทางในการลดปริมาณเถ้าที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเป็นการใช้วัสดุเหลือทิ้งให้ก่อประโยชน์

วิธีดำเนินการวิจัย

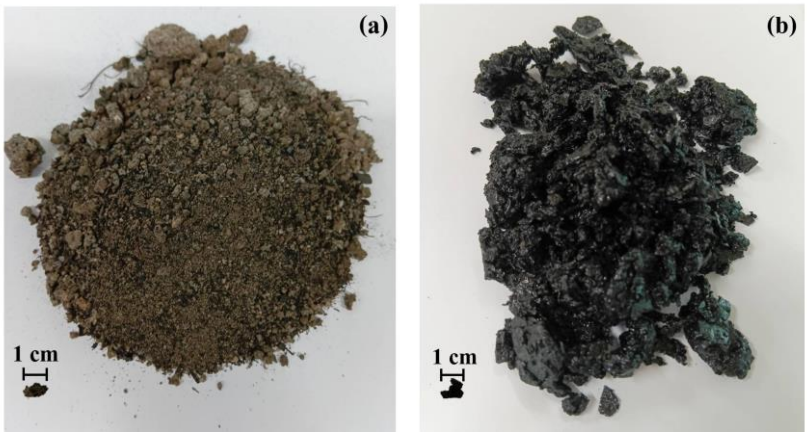
1. การเก็บตัวอย่างดิน

ดินที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้เป็นชุดดินทุ่งหว้า (Thung Wa series: Tg; Coarse-loamy, siliceous, subactive, isohyperthermic Typic Paleudults) ซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบ มีธาตุอาหารโดยเฉพาะโพแทสเซียมต่ำ ทำการเก็บดินที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร นำดินผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แบ่งดินออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 มิลลิเมตร สำหรับใช้วิเคราะห์พีเอช (ดิน:น้ำ = 1:5 w/v) ค่าการนำไฟฟ้า (ดิน:น้ำ = 1:5 w/v) ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (1 M NH_4OAc pH 7.0) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (1 M NH_4OAc pH 7.0) และร้อยละอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว (hydrometer) (Onthong & Poonpakdee, 2020) และร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 0.5 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์อินทรียวัตถุ (Walkley and Black) ส่วนดินส่วนที่สองร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิดขนาด 2 เซนติเมตร เพื่อใช้ปลูกพืชในกระถางสภาพโรงเรือน

2. วิเคราะห์สมบัติเถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

นำเถ้าลอยทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (เถ้า) ซึ่งเก็บจากโรงงานไฟฟ้าในภาคใต้ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำเถ้าไปสกัดโพแทสเซียมโดยใช้สารสกัดอินทรีย์ ทั้งนี้จะได้ผลิตภัณฑ์โพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันประมาณร้อยละ 49 ของปริมาณเถ้าที่ใช้ในการสกัด โดยวิธีและสภาวะการสกัดตามวิธีการที่

ได้อธิบายไว้โดย Poonpakdee *et al*., (2024) นำเถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันวิเคราะห์พีเอช (วัสดุ:น้ำ = 1:2 w/v) ค่าการนำไฟฟ้า (วัสดุ:น้ำ = 1:2 w/v) ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl method) และย่อยด้วยกรดไนทริก-เพอร์คลอริก (HNO_3-$HClO_4$) สำหรับวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยวัดด้วยเครื่อง Visible spectrophotometer วิเคราะห์โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงทั้งหมดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) (Jones, 2001)



ภาพที่ 1 เถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (a) และโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (b)

3. แผนการทดลอง การปลูกพืช และการดูแล

ปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ซุปเปอร์สวีตในกระถางขนาด 10 นิ้ว จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง โดยใช้ดินชุดดินทุ่งหว้าที่ร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 เซนติเมตร ประมาณ 10 กิโลกรัม ดูแลรดน้ำ เมื่อกล้าข้าวโพดเริ่มตั้งตัวได้ใส่ปุ๋ยตามทรีตเมนต์ที่กำหนด วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 4 ทรีตเมนต์ จำนวน 4 ซ้ำ คือ 1) ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม) 2) ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) 3) ใส่เถ้า (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) และ 4) ใส่โพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยทุกกรรมวิธีใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และฟอสฟอรัส แบบคลุกกับดิน ในอัตรา N 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ P_2O_5 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในรูปของยูเรียและไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ตามลำดับ สำหรับทรีตเมนต์ 2-4 ใส่วัสดุที่เป็นแหล่งให้โพแทสเซียมแบบโรยผิวดินในอัตรา 100 มิลลิกรัม K_2O ต่อกิโลกรัม โดยแบ่งใส่สัปดาห์ละครั้งเป็นเวลา 5 สัปดาห์ และรดด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชไฮโดรพอนิกส์ A และ B ที่เจือจาง และไม่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบต้นละ 100 มิลลิลิตร สัปดาห์ละครั้ง เพื่อป้องกันข้อจำกัดของปัจจัยธาตุตัวอื่นต่อการเจริญเติบโต

4. การเก็บข้อมูล

4.1 การเจริญเติบโตข้าวโพดหวาน ทำการวัดความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ส่วนที่กว้างที่สุด) และนับจำนวนใบของข้าวโพดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (50 วันหลังปลูก) นำตัวอย่างพืชแยกชิ้นส่วนราก ลำต้น และใบ จากนั้นล้าง สิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับพืชด้วยน้ำที่ปราศไอออน ชั่งน้ำหนักสด และอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 3-4 วัน เพื่อหาน้ำหนักแห้ง จากนั้นบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืช นำตัวอย่างพืชวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนราก ลำต้น และใบ โดยย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเพื่อวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl method) และย่อยด้วยกรดไนทริก-เพอร์คลอริก (HNO_3-$HClO_4$; 3:1 v/v) เพื่อวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Molybdovanadate method) และวัดด้วยเครื่อง Visible spectrophotometer วิเคราะห์โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงทั้งหมด โดยวัดด้วยเครื่อง AAS (Jones, 2001)

4.2 สมบัติดินหลังปลูก เก็บตัวอย่างดินในกระถางที่ใช้ปลูกพืช และนำไปวิเคราะห์พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ เช่นเดียวกับดินก่อนการทดลอง

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน ได้แก่ ความสูง จำนวนใบ และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น รวมทั้งธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ โดยนำข้อมูลหาค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และเปรียบเทียบหาความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS (Wanichbancha, 2002)

ผลการวิจัย

สมบัติดินก่อนและหลังปลูก เถ้า และโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

ดินที่ศึกษามีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีอนุภาคส่วนใหญ่เป็นทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวร้อยละ 78 16 และ 6 ตามลำดับ ดินเป็นดินกรดปานกลาง (pH = 5.47) มีไนโตรเจนทั้งหมดต่ำ (0.73 กรัมต่อกิโลกรัม) อินทรียวัตถุต่ำ (21.66 กรัมต่อกิโลกรัม) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ (8.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โพแทสเซียมต่ำ (44.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำ (47.11 และ 26.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ (2.48 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 1) ส่วนดินหลังปลูกพบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ เถ้า และโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ไม่ส่งผลให้สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกเปลี่ยนแปลงมากนัก มีเพียงค่า พีเอช และค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์ควบคุม (ตารางที่ 2)

เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีสมบัติเป็นด่าง โดยมีค่าพีเอช 9.46 และ 8.85 ตามลำดับ มีค่าการนำไฟฟ้า 6.75 และ 58.46 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ ในส่วนของธาตุอาหาร พบว่า เถ้ามีปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่าโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยเถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.11 และ 0.91 ตามลำดับ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) ร้อยละ 1.35 และ 1.63 ตามลำดับ แมกนีเซียมทั้งหมดร้อยละ 1.30 และ 1.80 ตามลำดับ โพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) ร้อยละ 11.80 และ 12.96 ตามลำดับ และแคลเซียมทั้งหมดร้อยละ 6.90 และ 7.90 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 1 สมบัติดินก่อนปลูกของชุดดินทุ่งหว้าที่ใช้ในการศึกษา

Parameter	Analysis value
pH (1:5, soil:water w/v)	5.47
EC (dS/m)	0.02
Organic matter (g/kg)	21.66
Total N (g/kg)	0.73
Available P (mg/kg)	8.27
Extractable K (mg/kg)	44.05
Extractable Ca (mg/kg)	47.11
Extractable Mg (mg/kg)	26.08
CEC ($cmol_c$/kg)	2.48
Sand (%)	78
Silt (%)	16
Clay (%)	6
Soil texture	Sandy loam

ตารางที่ 2 สมบัติดินหลังปลูก

Treatment	pH (1:5 w/v)	EC (dS/m)	Total N (g/kg)	Avail. P (mg/kg)	Extr.K (mg/kg)	Extr.Ca (mg/kg)	Extr.Mg (mg/kg)
Control	5.56	0.04	0.82 a	113.62	28.07	31.80 b	4.99
KCl	5.61	0.07	0.75 ab	108.71	30.75	39.64 a	3.92
Ash	5.62	0.08	0.73 ab	108.10	30.30	30.65 b	4.82
PEA	5.65	0.08	0.68 b	109.74	29.30	32.89 b	5.31
F-test	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
C.V. (%)	4.22	1.49	5.90	12.84	14.78	10.05	16.88

Note: PEA = K extracted from ash, K application at the rate of 100 mg K_2O/kg. ns: not significant difference; * significantly different at 0.05 probability levels; means with different letters within a column indicated a significant difference by DMRT test.

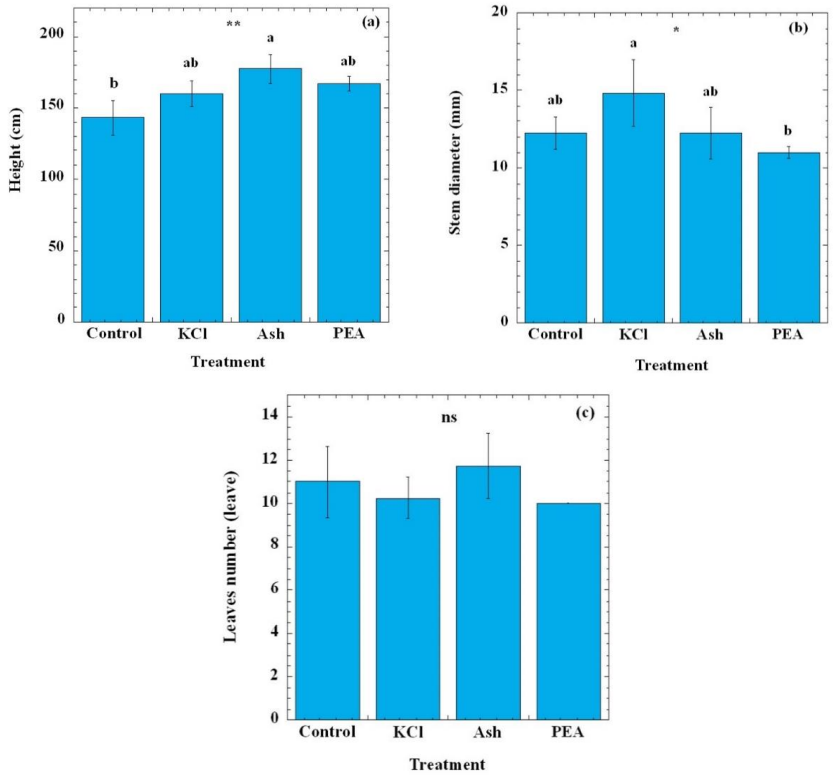
ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีของแหล่งให้โพแทสเซียมที่ใช้ในการศึกษา

Parameter	KCl	Ash	K extracted from ash (PEA)
pH (1:2 w/v)	8.88	9.46	8.85
EC (1:2 w/v; dS/m)	322.75	6.75	58.46
Total N (%)	-	0.11	0.91
Total P_2O_5 (%)	-	1.35	1.63
Total K_2O (%)	60	11.80	12.96
Total Ca (%)	-	6.90	7.90
Total Mg (%)	-	1.30	1.80

การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน

เมื่อข้าวโพดหวานได้รับโพแทสเซียมเพิ่มเติมจากแหล่งต่าง ๆ พบว่า ข้าวโพดหวานมีการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และจำนวนใบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์ควบคุม การใช้เถ้าเป็นแหล่งให้โพแทสเซียมส่งผลให้ข้าวโพดหวานมีความสูงสูงสุด (177.43 เซนติเมตร) ในขณะที่การใส่โพแทสเซียมคลอไรด์ส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงสุด (14.84 มิลลิเมตร) เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่โพแทสเซียมจากแหล่งอื่น อย่างไรก็ตาม การใส่โพแทสเซียมจากแหล่งที่ต่างกันไม่ได้ส่งผลให้จำนวนใบของข้าวโพดหวานแตกต่างกัน (ภาพที่ 2c) นอกจากนั้น เมื่อข้าวโพดหวานได้รับโพแทสเซียมยังส่งผลให้มีความสูงและความยาวของรากเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ (ภาพที่ 3)

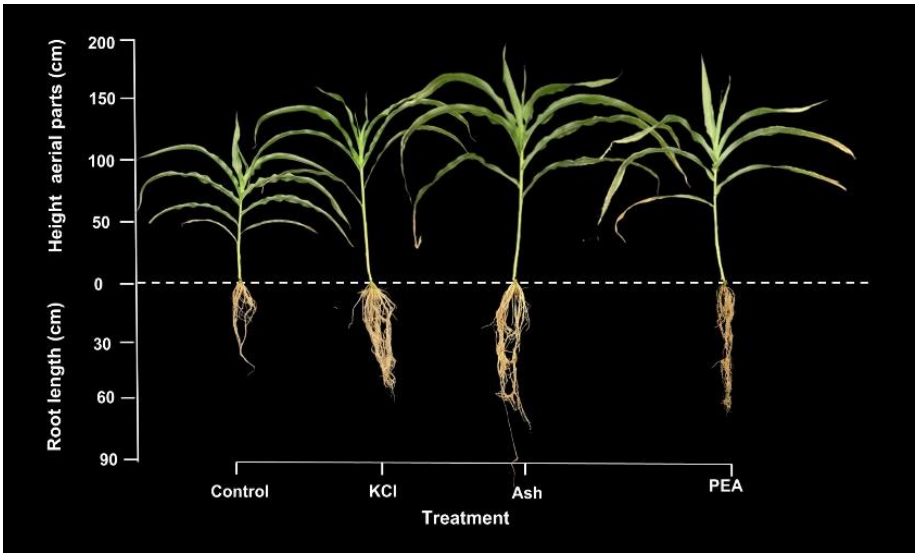
ข้าวโพดหวานที่ได้รับโพแทสเซียมเพิ่มเติมจากแหล่งต่าง ๆ มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น โดยการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ส่งผลให้ข้าวโพดหวานมีน้ำหนักสด (224.21 กรัม) และน้ำหนักแห้งสูงสุด (21.66 กรัม) แต่ใกล้เคียงกับการใช้เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดจากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดหวาน พบว่า ส่วนของลำต้น > ใบ >ราก ในขณะที่น้ำหนักแห้ง พบว่า ใบ > ลำต้น > ราก (ตารางที่ 4)



ภาพที่ 2 การเจริญเติบโตข้าวโพดหวานที่ 50 วันหลังปลูก ความสูง (a), เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (b) และจำนวนใบ (c)

Note: PEA = K extracted from ash; K application at the rate of 100 mg K_2O/kg.

*, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels; means with different letters within a column indicated a significant difference by DMRT test.



ภาพที่ 3 ความสูงและความยาวของรากของข้าวโพดหวานที่ 50 วันหลังปลูก
Note: PEA = K extracted from ash; K application at the rate of 100 mg K_2O/kg

ตารางที่ 4 น้ำหนักสดและแห้งของต้นข้าวโพดหวาน

Treatment	Fresh weight (g)			Total (g)	Dry weight (g)			Total (g)
	Stem	Leave	Root		Stem	Leave	Root	
Control	62.41 b	52.84	21.36 b	136.61 b	4.37 b	8.99	1.51 b	14.88 b
KCl	101.30 a	76.27	46.75 a	224.21 a	6.61 a	10.70	3.20 a	21.66 a
Ash	97.99 a	68.84	36.37 ab	203.20 ab	6.40 a	11.40	2.44 ab	20.24 ab
PEA	80.82 ab	56.27	23.30 a	160.39 ab	6.67 a	11.84	1.85 ab	19.22 ab
F-test	*	ns	*	*	*	ns	**	*
C.V. (%)	19.65	27.10	32.65	22.34	17.49	18.80	25.57	17.04

Note: PEA = K extracted from ash; K application at the rate of 100 mg K_2O/kg. ns = not significant difference; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels; means with different letters within a column indicated a significant difference by DMRT test.

การดูดใช้ธาตุอาหาร

ข้าวโพดหวานที่ได้รับโพแทสเซียมเพิ่มเติมจากแหล่งต่าง ๆ พบว่า ข้าวโพดหวานดูดใช้ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุได้เพิ่มขึ้น และการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่โพแทสเซียม การใส่เถ้าส่งผลให้ข้าวโพดหวานดูดใช้โพแทสเซียมได้สูงสุด (487.45 มิลลิกรัมต่อกระถาง) แต่มีค่าใกล้เคียงกับการได้รับโพแทสเซียมจากแหล่งอื่น ๆ นอกจากนั้น การใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ เถ้า และโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน พบว่า ส่งผลให้ข้าวโพดหวานดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม สังกะสี และทองแดงได้ไม่แตกต่างกัน และพบสัดส่วนการดูดใช้ระหว่าง K:Mg ในส่วนเหนือดินใกล้เคียงกันเมื่อใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ เถ้า และโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งให้โพแทสเซียม การสะสมธาตุอาหารของข้าวโพดหวานส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่ใบ ยกเว้นการดูดใช้เหล็กส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่ราก ในขณะที่สังกะสีและทองแดงส่วนใหญ่จะสะสมที่ลำต้นมากกว่าส่วนอื่น ๆ (ตารางที่ 5 6 7 8 และ 9)

ตารางที่ 5 การดูดใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของต้นข้าวโพดหวาน

Treatment	N uptake (mg/pot)			Total (mg/pot)	P uptake (mg/pot)			Total (mg/pot)
	Stem	Leave	Root		Stem	Leave	Root	
Control	12.04b	28.45	4.53	45.02	6.32b	14.56b	33.47a	54.35b
KCl	14.94ab	35.56	5.68	56.18	18.99a	30.11a	5.40b	54.50b
Ash	17.31a	35.65	3.78	56.74	18.65a	37.49a	5.73b	61.87a
PEA	14.71ab	30.27	3.89	48.88	20.28a	15.06b	5.27b	40.61b
F-test	*	ns	ns	ns	**	*	**	*
C.V. (%)	17.30	23.22	33.10	24.15	25.48	19.15	7.61	11.65

Note: PEA = K extracted from ash; K application at the rate of 100 mg K_2O/kg. ns: not significant difference; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels; means with different letters within a column indicated a significant difference by DMRT test.

ตารางที่ 6 การดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียมของต้นข้าวโพดหวาน

Treatment	K uptake (mg/pot)			Total (mg/pot)	Ca uptake (mg/pot)			Total (mg/pot)
	Stem	Leave	Root		Stem	Leave	Root	
Control	39.44b	110.47a	13.28b	163.19b	8.20b	19.57ab	2.32b	30.07b
KCl	189.95a	204.12ab	23.81a	417.90a	21.11a	11.67b	4.43b	37.21b
Ash	170.93a	302.78a	13.74b	487.45a	18.12a	36.47a	10.94a	65.53a
PEA	141.02a	238.67a	15.07ab	394.75a	8.20b	13.21b	1.88b	23.29b
F-test	**	**	*	**	**	*	**	*
C.V. (%)	13.22	16.24	27.17	9.65	12.89	32.11	47.21	22.07

Note: PEA = K extracted from ash; K application at the rate of 100 mg K_2O/kg. *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels; means with different letters within a column indicated a significant difference by DMRT test.

ตารางที่ 7 การดูดใช้แมกนีเซียมของต้นข้าวโพดหวาน

Treatment	Mg uptake (mg/pot)			Total (mg/pot)	K:Mg uptake ratio in shoot
	Stem	Leave	Root		
Control	5.72b	9.68b	2.33	17.73b	9.73
KCl	13.62a	14.87ab	1.63	30.12ab	13.83
Ash	14.31a	22.90a	1.20	38.41a	12.73
PEA	18.25a	15.17ab	1.19	34.61ab	11.36
F-test	**	*	ns	*	-
C.V. (%)	19.70	38.59	52.24	26.52	-

Note: PEA = K extracted from ash; K application at the rate of 100 mg K_2O/kg. ns: not significant difference; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels; means with different letters within a column indicated a significant difference by DMRT test.

ตารางที่ 8 การดูดใช้เหล็กและสังกะสีของต้นข้าวโพดหวาน

Treatment	Fe uptake (mg/pot)			Total (mg/pot)	Zn uptake (mg/pot)			Total (mg/pot)
	Stem	Leave	Root		Stem	Leave	Root	
Control	0.03a	0.17ab	0.24b	0.44b	0.48	0.51ab	0.09b	1.08
KCl	0.02b	0.20a	0.59a	0.81a	0.64	0.78a	0.19a	1.61
Ash	0.05a	0.16ab	0.23b	0.44b	0.63	0.44b	0.11b	1.18
PEA	0.04ab	0.07b	0.41ab	0.52ab	0.56	0.41b	0.11b	1.08
F-test	*	*	**	**	ns	**	*	ns
C.V. (%)	22.56	28.47	16.11	14.28	21.35	19.31	25.01	10.90

Note: PEA = K extracted from ash; K application at the rate of 100 mg K_2O/kg. ns: not significant difference; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels; means with different letters within a column indicated a significant difference by DMRT test.

ตารางที่ 9 การดูดใช้แมงกานีสและทองแดงของต้นข้าวโพดหวาน

Treatment	Mn uptake (mg/pot)			Total (mg/pot)	Cu uptake (mg/pot)			Total (mg/pot)
	Stem	Leave	Root		Stem	Leave	Root	
Control	1.36b	4.19b	0.72b	6.27b	0.003	0.008	0.01	0.02
KCl	4.32ab	4.34b	4.75a	13.41ab	0.02	ND	0.01	0.03
Ash	6.67a	11.54a	4.60a	22.81a	0.01	ND	0.005	0.02
PEA	4.85ab	8.96ab	2.83ab	16.64ab	ND	0.008	0.007	0.02
F-test	**	**	*	*	-	-	*	-
C.V. (%)	25.92	19.20	29.67	17.05	-	-	48.29	-

Note: PEA = K extracted from ash; K application at the rate of 100 mg K_2O/kg; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels; means with different letters within a column indicated a significant difference by DMRT test. ND = not detectable.

อภิปรายผลการวิจัย

สมบัติดินก่อนและหลังปลูก

ดินที่ใช้ทดลองเป็นชุดดินทุ่งหว้าซึ่งจัดอยู่ในอันดับ Ultisols ดินมีเนื้อเป็นดินร่วนปนทราย มีสภาพเป็นกรด (pH 5.47) ค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ดินมีอินทรียวัตถุรวมทั้งธาตุอาหารในดินต่ำ ดินมีอนุภาคส่วนใหญ่เป็นทรายร้อยละ 78 ส่งผลให้ดินมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ โดยภาพรวมจึงกล่าวได้ว่า ดินที่ใช้ศึกษาเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ภาคใต้ในประเทศไทยมีสภาพอากาศร้อนชื้นและฝนตกชุก ทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารโดยกระบวนการชะละลายได้ง่าย จึงจำเป็นต้องเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการเพิ่มอินทรียวัตถุและธาตุอาหารโดยเฉพาะโพแทสเซียมในรูปของปุ๋ยให้กับดิน มีรายงานว่าเมื่อใส่ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ดินมีพีเอช อินทรียวัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น (Chen *et al*., 2017) สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในดินส่งผลให้โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้น (Htun, 2016) เมื่อใส่เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน พบว่า ดินหลังปลูกมีค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์ที่ใส่โพแทสเซียมจากปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ เนื่องจากเถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีค่าพีเอชและมีค่าการนำไฟฟ้าสูง ส่วนดินหลังปลูกเมื่อคลุกดินในกระถางแล้วนำดินไปวัดค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้า พบว่า การใส่วัสดุต่าง ๆ เป็นแหล่งให้โพแทสเซียมแก่พืช ส่งผลให้ดินหลังปลูกมีค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับทรีตเมนต์ควบคุม (ตารางที่ 2) สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า การใส่เถ้าในดินส่งผลให้ค่าพีเอช และค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราที่ใส่ (Ondrasek *et al*., 2021) ดังนั้น ดินในประเทศไทยซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินกรด มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การใส่เถ้าหรือโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันไม่เพียงแต่จะช่วยยกระดับพีเอชดินให้สูงขึ้นแต่ยังเป็นแหล่งเพิ่มเติมให้ธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดินอีกด้วย

การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน

ข้าวโพดหวานที่ได้รับโพแทสเซียมเพิ่มเติมจากแหล่งต่าง ๆ ส่งผลให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวรากของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะความสูง ที่พบว่า การใส่โพแทสเซียมส่งผลให้ข้าวโพดหวานมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ (ภาพที่ 3) โพแทสเซียมมีบทบาทในการควบคุมการเปิดปิดของปากใบ ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดี (Osotsapa, 2015) สอดคล้องกับผลการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมต่อข้าวสาลีที่พบว่า เมื่อใส่โพแทสเซียมในดินส่งผลให้ข้าวสาลีมีความสูงเพิ่มขึ้น รวมทั้งน้ำหนักสดและแห้งส่วนเหนือผิวดิน และรากเพิ่มขึ้น (El-Mageed *et al*., 2023) ข้าวโพดหวานที่ได้รับโพแทสเซียมจากเถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีความสูงสูงกว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (ภาพที่ 2a) พืชโดยทั่วไปต้องการโพแทสเซียมร้อยละ 2-5 ของน้ำหนักแห้ง (Osotsapa, 2015) เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่สูง (ตารางที่ 3) แม้พืชจะต้องการในปริมาณที่ไม่สูงเท่ากับโพแทสเซียม แต่แคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่นกัน ดังนั้น เมื่อดินที่ศึกษามีแคลเซียมและแมกนีเซียมต่ำ (ตารางที่ 1) การใส่เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันซึ่งมีธาตุดังกล่าวเป็นองค์ประกอบ (ตารางที่ 3) จึงส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดีขึ้น สอดคล้องที่มีรายงานว่า เมื่อใช้เถ้าส่งผลให้ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นยูคาลิปตัสเพิ่มสูงขึ้น (Hansted *et al*., 2023) การใส่เถ้าปรับปรุงดินกรดซึ่งมักมีแคลเซียมและแมกนีเซียมต่ำส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนโตดีกว่าการใส่ปูนขาว (CaOH) (Damrongrak, 2019) การใส่เถ้าแม้จะช่วยให้พืชเจริญเติบโตดีขึ้น แต่หากใส่ในปริมาณสูงจะส่งผลให้ดินเป็นด่างและส่งผลให้พืชเจริญเติบโตลดลงได้เช่นกัน (Ondrasek *et al*., 2021) เนื่องจากเถ้ามีความเป็นด่าง ในขณะที่การใช้โพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีพีเอชต่ำกว่าเถ้า (ตารางที่ 3) ดังนั้น ปริมาณที่ใส่เพื่อใช้เป็นแหล่งโพแทสเซียมกับพืชจึงใช้ได้ในปริมาณที่สูงกว่าได้

การดูดใช้ธาตุอาหาร

เมื่อใส่โพแทสเซียมจากแหล่งต่าง ๆ ส่งผลให้ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีสสูงกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่ได้รับโพแทสเซียม โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการขนส่งน้ำและธาตุอาหารไปทั่วพืชในไซเลมและช่วยการทำงานของฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโตของพืช (Osotsapa, 2015) เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตดีส่งผลให้การดูดใช้ธาตุอาหารเพิ่มขึ้น การใส่เถ้าส่งผลให้ข้าวโพดหวานดูดใช้แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมสูงกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่เถ้า (Ondrasek *et al*., 2021) เช่นเดียวกับการใส่เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่พบว่า พืชมีการดูดใช้โพแทสเซียมได้เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 6) เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งของธาตุหลักโดยเฉพาะโพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง (ตารางที่ 3) และรวมไปถึงจุลธาตุ (Angchuan *et al*., 2015) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินที่มีโพแทสเซียมต่ำเมื่อได้รับโพแทสเซียมเพิ่มเติมส่งผลให้ข้าวโพดหวานมีการเจริญเติบโตด้านความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น รวมทั้งน้ำหนักสดและแห้ง และการดูดใช้โพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้น การใส่เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันให้ผลการเจริญเติบโตของพืชไม่แตกต่างกัน แต่การใส่เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันส่งเสริมให้ข้าวโพดหวานดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียม รวมทั้งช่วยให้ดินหลังปลูกมีแนวโน้มของค่าพีเอช โพแทสเซียม และแคลเซียมในดินเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์ควบคุม ดังนั้น การใช้เถ้าและโพแทสเซียมที่สกัดได้จากเถ้าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันสามารถใช้เป็นแหล่งทางเลือกให้โพแทสเซียมแก่พืชได้ อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงอัตราการใส่ในในสภาพแปลงทดลองกับเนื้อดินประเภทต่าง ๆ ในพืชหลาย ๆ ชนิดต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประจำปีงบประมาณ 2567 และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน พืช และปุ๋ย ตลอดจนเรือนปลูกพืชทดลองในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Angchuan, N., Sasanarakkit, S., Verasan, J. & Kumlung, A. (2015). Effects of para rubber ash application on growth and yield of rice grown in acidic soils. *Journal of Science and Technology*, *4*(3), 39-50. (in Thai).

El-Mageed, T. A. A., Semida, W. M., Abdou, N. M. & El-Mageed, S. A. (2023). Coupling effects of potassium fertilization rate and application time on growth and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown under cd-contaminated saline soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 23*, 1070–1084.

Baloch, S. B., Ali, S., Bernas, J., Moudrý, J., Konvalina, P., Mushtaq, Z. & Mustafa, A. (2024). Wood ash application for crop production, amelioration of soil acidity and contaminated environments. *Chemosphere, 357*, 141865.

Cherypiew, N. (2015). *Waste management in the oil palm industry: A case study of co-composting of oil palm empty fruit bunches*. Master's Thesis. Prince of Songkla University. (in Thai)

Chen, D., Yuan, L., Liu, Y., Ji, J. & Hou, H. (2017). Long-term application of manures plus chemical fertilizers sustained high rice yield and improved soil chemical and bacterial properties. *European Journal of Agronomy, 90*, 34-42.

Damrongrak, I. (2019). Acid Soil improvement by ash from bioelectric power plant for baby corn planting. *Thaksin University Journal, 22*(2), 37-43. (in Thai).

Hansted, A. L. S., Hansted, F. A. S., Silva, J. M. S., Yamaji, F. M. & Costa, V. E. (2023). Industrial waste from biomass boiler: Ash as a liming replacement for eucalyptus planting in brazil. *Industrial Crops & Products, 202*, 1170104.

Htun, K. M. (2016). *Effects of different rates of potassium fertilizer on rice productivity with or without rice husk ash minbya soil*. Master's Thesis. Yezin Agricultural, Nay Pyi Taw.

Johansen, J. L., Nielsen, M. L., Vestergard, M., Mortensen, L. H., Cruz-Paredes, C., Ronn, R., Kjoller, R., *et al*. (2021). The complexity of wood ash fertilization disentangled: Effect on soil pH, nutrient status, plant growth and cadmium accumulation. *Environmental and Experimental Botany, 185*, 104424.

Jones, B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. United States of America: CRC Press.

Wanichbancha, K. (2002). *Using SPSS for windows for data analysis* (5th ed.) Bangkok: C. K. & S. Photo Studio. (in Thai)

Kurzemann, F. R., Juarez, M. F-D., Probst, M., Gomez-Brandon, M., Partl, C. & Insam, H. (2021). Effect of biomass fly ashes from fast pyrolysis bio-oil production on soil properties and plant yield. *Journal of Environmental Management, 298*, 113479.

Land Development Department. (2015) . *State of soil and land resources of Thailand*. Bangkok: Land Development Department. (in Thai)

Office of Agricultural Economics. (2022). *Agricultural economic data on palm oil producing areas*. Bangkok: Office of Agricultural Economics. (in Thai)

Ondrasek, G., Zovko, M., Kranjcec, F., Savic, R. & Romic, D. (2021). Wood biomass fly ash ameliorates acidic, low-nutrient hydromorphic soil & reduces metal accumulation in maize. *Journal of Cleaner Production, 283*, 124650.

Onthong, J. & Poonpakdee, C. (2020). *Soil and plant analysis guide*. Songkla: Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University (in Thai)

Osotsapa, Y. (2015). *Plant nutrition*. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Poonpakdee, C., Khawmee, K., Onthong, J., Charnnok, B. & Chaiprapat, S. (2024). *Research report: Potassium extraction from ash for potassium material source for plant*. Songkla: Agricultural Innovation and Management Division. Faculty of Natural Resources, Prince of Sonkla University.

Zhao, Y., Ren, Q. & Na, Y. (2019). Potential utilization of phosphorus in fly ash from industrial sewage sludge incineration with biomass. *Fuel Processing Technology, 188*, 16-21.