ผลของการใช้เถ้าไม้ยางพาราต่อสมบัติทางเคมีดินและการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในดินกรด

Effects of Rubber Wood Ash on Soil Chemical Properties and Sweet Corn Growth in Acidic Soil

สุชาวดี จันจาตุรงค์[1] ขวัญตา ขาวมี[1*] จำเป็น อ่อนทอง[1] และจักรกฤษณ์ พูนภักดี[1]

Suchawadee Chanchaturong[1], Khwunta Khawmee[1*], Jumpen Onthong[1] and Chakkrit Poonpakdee[1]

Received: October 17, 2024
Revised: November 5, 2024
Accepted: November 6, 2024

Abstract: Rubber wood ash is a by-product from various industries or biomass power plants. There is a large amount of waste from fuel production. The ash of rubber wood is highly alkaline. It is also a source of important plant nutrients. The aim was therefore to investigate the effects of applying rubber wood ash on the chemical properties of the soil and the growth and nutrient uptake of sweetcorn in acidic soil. The experimental design was completely randomized with 3 treatments and 4 replications consist of control, added with lime at the rate of 1.5 times of lime requirement and added with rubber wood ash at the rate of 1.5 times of lime requirement. The results showed that application of rubber wood ash increased soil pH and macronutrients. In addition, this applying could be promoted greater growth and nutrient uptake of sweet corn compared to lime application. Our results suggest that rubber wood ash is able to substitute for conventional liming agents and it is also a source of plant nutrients.

Keywords: Acid soil, Rubber wood ash, Sweet corn

บทคัดย่อ: เถ้าไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ หรือโรงไฟฟ้าชีวมวล มีปริมาณเหลือทิ้งจากการผลิตเป็นเชื้อเพลิงจำนวนมาก เถ้าไม้ยางพารามีสมบัติเป็นด่างสูง และยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชที่สำคัญ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใส่เถ้าไม้ยางพาราต่อสมบัติทางเคมีของดิน การเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานในดินกรด โดยมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ทรีตเมนต์ 4 ซ้ำ ประกอบด้วย ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงใส่ปูนขาวอัตรา 1.5 เท่าของความต้องการปูน และใส่เถ้าไม้ยางพาราอัตรา 1.5 เท่าของความต้องการปูน พบว่าการใส่เถ้าไม้ยางพาราทำให้พีเอชของดิน ธาตุอาหารหลักและรองเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังทำให้การเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานสูงกว่าใส่ปูนขาว ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าเถ้าไม้ยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินกรดทดแทนวัสดุปูนทางการเกษตรได้ รวมทั้งยังเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชด้วย

คำสำคัญ: ดินกรด, เถ้าไม้ยางพารา, ข้าวโพดหวาน

---

[1] สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

[1] Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Kor-Hong, Hat Yai, Songkhla 90110

*Corresponding author: khwunta.k@psu.ac.th

คำนำ

ดินในประเทศไทยส่วนใหญ่มีสภาพเป็นกรด (ค่าพีเอชต่ำกว่า 5.5) ซึ่งพบกระจายทั่วไปทุกภาคของประเทศ ที่มีเนื้อที่ประมาณ 95,410,591 ไร่ (Land Development Department, 2015) ดินกรดเกิดจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่ เกิดการชะละลายแคตไอออนชนิดเบสออกไปจากดิน การใช้ปุ๋ยเคมีที่ให้ผลตกค้างเป็นกรดติดต่อเป็นเวลานาน เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและปุ๋ยยูเรีย ซึ่งความเป็นกรดของดินส่งผลต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช โดยทั่วไปพีเอชที่เหมาะสมกับการปลูกพืช คือ 5.5-7.0 (Brady and Weil, 2008) ซึ่งเป็นช่วงที่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชโดยส่วนใหญ่ มีความเป็นประโยชน์ได้มาก ดังนั้น ในดินที่มีความเป็นกรดจัด หรือพีเอชต่ำกว่า 5.0 จึงจำเป็นต้องปรับพีเอชของดินให้สูงขึ้น เนื่องจากดินกรดมีอะลูมินัม เหล็ก และแมงกานีส ละลายออกมามากจนอาจเป็นพิษ และดินกรดทำให้ขาดแคลนธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (Brady and Weil, 2008; Land Development Department, 2015) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

การปรับปรุงดินกรดทำได้โดยใส่ปูนทางการเกษตร (agricultural lime) เช่น ปูนขาว หินปูนฝุ่น ปูนโดโลไมต์ ปูนมาร์ล เปลือกหอยเผา ในปริมาณที่เหมาะสม (Brady and Weil, 2008; Damrongrak, 2019) นอกจากวัสดุปูนต่างๆ แล้ว ยังพบว่า มีเถ้าไม้ต่างๆ ซึ่งมีสมบัติเป็นด่างสามารถนำมาปรับปรุงดินกรดได้ (Etiegni and Campbell, 1991; Angchuan *et al*., 2015; Dourado *et al*., 2021) นอกจากนี้ เถ้าไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้จากการนำไม้ยางพารามาผลิตเป็นเชื้อเพลิง ในปัจจุบันมีความต้องการเชื้อเพลิงชีวมวลจำนวนมาก ทั้งโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ หรือในโรงงานไฟฟ้าชีวมวล ไม้ยางพาราเป็นแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นอีกตัวชี้วัดในการพิจารณาความมั่นคงด้านปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวล และทำให้ง่ายต่อการจัดการสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล เมื่อเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นที่มีผลผลิตผันแปรตามฤดูกาลเก็บเกี่ยว ยางพาราที่ถูกตัดโค่นสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้หลายส่วน ได้แก่ ปลายไม้ยางพารา ตอ ราก กิ่งก้าน และปีกไม้ยางพารา ตลอดจนขี้เลื่อยและเศษไม้ยางพารา ซึ่งสวนยางพาราพื้นที่ 1 ไร่ จะให้เชื้อเพลิงชีวมวล ประมาณ 32 ตัน (ไม่รวมส่วนไม้ที่ถูกแปรรูป) (Phumichai *et al*., 2020) ทำให้มีปริมาณเหลือทิ้งจากการผลิตเป็นเชื้อเพลิงจำนวนมาก และโดยทั่วไปเถ้าไม้ถูกกำจัดโดยการฝังกลบ ส่งผลให้ดินพื้นที่นั้นมีพีเอชสูง เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช ตลอดจนส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม (Angchuan *et al*., 2015) ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดปัญหามลพิษในอนาคต จึงมีความจำเป็นต้องหาวิธีกำจัดหรือใช้ประโยชน์เถ้าที่มีมากเกินไปอย่างเร่งด่วน

สำหรับในแง่การเกษตร เนื่องจากเถ้าไม้มีสมบัติเป็นด่างสูง นอกจากนี้เถ้าไม้ที่ได้จะมีสมบัติแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดและชิ้นส่วนของไม้ที่นำมาเผา กรรมวิธีหรืออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ (Demeyer *et al*., 2001) ซึ่งอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จะมีคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตมากกว่าอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ทำให้เถ้าไม้เผาไหม้อุณหภูมิต่ำมีค่าพีเอชสูงกว่าเถ้าไม้เผาไหม้อุณหภูมิสูง (Meiwes, 1995) เถ้าไม้มีค่าสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate equivalent; CCE) ระหว่างร้อยละ 13.2 ถึง 92.4 (Vance, 1996) ด้วยสมบัติดังกล่าว จึงสามารถนำมาใช้ทางการเกษตรเพื่อยกระดับพีเอชของดินกรดได้ (Etiegni and Campbell, 1991) และเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืช ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น (Demeyer *et al*., 2001) เถ้าไม้มีธาตุอาหารที่พืชต้องการมากกว่าปูนทางการเกษตรชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามหากใส่เถ้าไม้ในปริมาณมากเกินไป ทำให้เกิดผลเช่นเดียวกับการใส่ปูนมากจนเกิดภาวะเกินปูน (over liming) ซึ่งส่งผลต่อความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืชในดิน และส่งผลให้พืชเจริญเติบโตลดลง (Damrongrak, 2019) ทั้งนี้ค่าพีเอชของดินเป็นส่วนของกรดจริงในดิน หลังจากที่กรดส่วนนี้ถูกสะเทินก็จะมีกรดที่แลกเปลี่ยน

ได้ถูกปลดปล่อยออกมาในดิน ทำให้ดินมีสมบัติที่ต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอช และในดินเนื้อละเอียดก็มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชดินได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบ (Onthong, 2017) ในการประเมินความต้องการปูนเพื่อยกระดับพีเอชดินจึงต้องคำนึงถึงสมบัติดิน พีเอช และเนื้อดิน ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการปูนและผลของเถ้าไม้ยางพาราต่อสมบัติทางเคมีของดิน การเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานในสภาพดินกรด

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บ เตรียม และวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินกรด

เก็บตัวอย่างดินกรดที่ใช้ทดลองจาก ต.น้ำน้อย อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา (ชุดดินท่าแซะ (Te); Fine-loamy, kaolinitic, isohyperthermic Typic Kandiudults) โดยใช้สว่านเจาะดินแบบทำลายโครงสร้างดิน สุ่มเก็บแบบ X-shape ทั้งหมด 9 จุด ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เก็บดินแต่ละจุดให้มีปริมาตรใกล้เคียงกัน นำดินแต่ละจุดมาผสมคลุกเคล้ากัน จากนั้นนำไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดและร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 มิลลิเมตร สำหรับนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ และร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 0.5 มิลลิเมตร เพื่อใช้วิเคราะห์อินทรียวัตถุ (Onthong and Poonpakdee, 2017) วิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของดินก่อนปลูก ได้แก่ การแจกกระจายอนุภาคดิน (Pipette method) (Gee and Bauder, 1986) พบว่า ดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ประกอบด้วย อนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ร้อยละ 69, 9 และ 22 ตามลำดับ หาความต้องการปูนของดินกรด โดยใช้วิธีของเวียช (Vietch method) (Onthong and Poonpakdee, 2017) พบว่า ดินกรดมีความต้องการปูนแคลเซียมคาร์บอเนต เท่ากับ 229.15 กิโลกรัมต่อไร่ จากนั้นนำค่าปริมาณปูนที่ได้มาคำนวณเป็นปริมาณเถ้าไม้ยางพาราที่ต้องใช้ โดยอาศัยค่าสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนตของเถ้าไม้ยางพารา นอกจากนั้น วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกหลังบ่มดิน 7 วัน ด้วยเถ้าไม้ยางพาราและปูนขาว เนื่องจากค่าพีเอชเริ่มคงที่ และดินหลังปลูก 56 วัน ได้แก่ พีเอช (ดินต่อน้ำ 1:5 w/v) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน (ดินต่อน้ำ 1:5 w/v) อินทรียวัตถุ (Walkley and Black method) ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl Method) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II method) ส่วนแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่สกัดได้ ทำได้โดยนำดินมาสกัดด้วย 1 โมลาร์ NH_4OAc pH 7 และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) (Onthong and Poonpakdee, 2017)

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเถ้าไม้ยางพารา

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเถ้าไม้ยางพารา ได้แก่ พีเอชและค่าสภาพการนำไฟฟ้าของเถ้าไม้ยางพารา (เถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำ 1:5 w/v) อินทรียวัตถุ (Walkley and Black method) ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl Method) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด ย่อยสลายด้วยกรดผสมไนทริกและเพอร์คลอริค (HNO_3 : $HClO_4$; 3 : 1 v/v) วิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสด้วยวิธี Vanadomolybdate วัดด้วยเครื่อง Visible spectrophotometer วิเคราะห์โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยนำไปวัดด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Onthong and Poonpakdee, 2017) และสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนตในเถ้าไม้ยางพารา (CCE) วิเคราะห์ด้วย Wet Method (Land Development Department, 2004)

การวางแผนการทดลองปลูกพืชในกระถาง

ทดลองปลูกข้าวโพดหวานลูกผสม พันธุ์สงขลา 84-1 ที่กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรุงเทพมหานคร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 ทรีตเมนต์ ได้แก่ ทรีตเมนต์ที่ 1 ไม่ใส่วัสดุปรับปรุง ทรีตเมนต์ที่ 2 ใส่ปูนขาวอัตรา 1.5 เท่าของความต้องการปูน (344 กิโลกรัมต่อไร่) และทรีตเมนต์ที่ 3 ใส่เถ้าไม้ยางพาราอัตรา 1.5 เท่าของความต้องการปูน (807 กิโลกรัมต่อไร่) เนื่องจากการใส่ปูนขาวและเถ้าไม้ยางพาราอัตรา 1.5 เท่าของความต้องการปูน

ทำให้ยกระดับพีเอชดินใกล้เคียง 6.5 ทำการผสมคลุกเคล้ากับดินและบ่มดิน 7 วัน ก่อนนำไปปลูกพืช ทำการปลูกข้าวโพดหวานในกระถาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว ใช้ดิน 7 กิโลกรัมต่อกระถาง โดยใช้ดินกรดร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 เซนติเมตร หยอดเมล็ดข้าวโพดหวาน 3 เมล็ดต่อกระถาง ที่ระดับความลึก 2-3 เซนติเมตร เมื่อต้นกล้าอายุ 7 วัน ถอนต้นกล้าให้เหลือเพียง 1 ต้นต่อกระถาง ให้น้ำทุกวัน จำนวน 2 ครั้ง เช้าและเย็นจนถึงอายุเก็บเกี่ยว และมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนใส่ในรูปยูเรีย ($CO(NH_2)2$: 46-0-0) ฟอสฟอรัสใส่ในรูปไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ($(NH_4)_2HPO_4$: 18-46-0) และโพแทสเซียมใส่ในรูปโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl: 0-0-60) ทุกทรีตเมนต์ใส่ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยแบ่งใส่ตอนข้าวโพดหวาน อายุ 7, 20 และ 40 วันหลังปลูก ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (K_2O) 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใส่ตอนข้าวโพดหวาน อายุ 7 วันหลังปลูก (Khawmee, 2014) และใช้ปูนขาว ($Ca(OH)_2$) เกรดวิเคราะห์ยี่ห้อ QReC จากนั้นเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน ได้แก่ ความสูงลำต้น (ใช้ตลับเมตรวัดตั้งแต่ส่วนเหนือดินไปจนถึงข้อแรกที่อยู่บนสุดของต้น) เส้นรอบวงลำต้น โดยวัดรอบโคนต้นที่ตำแหน่งเหนือผิวดิน 5 เซนติเมตร และนับจำนวนใบ ระหว่างการทดลองทุกๆ 14 วัน จนเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานที่ อายุ 56 วันหลังปลูก

การเก็บตัวอย่างพืชและการวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช

เก็บตัวอย่างข้าวโพดหวาน โดยการแยกส่วนใบ ลำต้น และราก ทำความสะอาด และกำจัดสิ่งปนเปื้อน โดยล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วใช้ผ้าที่สะอาดซับให้แห้ง นำส่วนต่างๆ ของข้าวโพดหวานไปชั่งน้ำหนักสด แล้วนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน เมื่อตัวอย่างแห้งและน้ำหนักคงที่ นำมาชั่งหาน้ำหนักแห้ง นำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืชผ่านตะแกรงร่อนช่องเปิด 20 เมช เก็บไว้ในถุงกระดาษ หลังจากนั้นนำตัวอย่างพืชที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืช ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl Method) โดยย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก (98% w/w H_2SO_4) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในพืช โดยย่อยด้วยกรดผสมไนทริก-เพอร์คลอริก (HNO_3: $HClO_4$; 3:1 v/v) โดยฟอสฟอรัสวัดด้วยเครื่อง Visible spectrophotometer ส่วนโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม วัดด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Onthong and Poonpakdee, 2017)

การวิเคราะห์สถิติ

นำข้อมูลสมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกและหลังการทดลอง รวมทั้งการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดหวานจากการปรับปรุงดินกรดด้วยปูนขาวและเถ้าไม้ยางพารา หาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ P = 0.05 และ 0.01

ผลการทดลอง

สมบัติและปริมาณธาตุในเถ้าไม้ยางพารา

เถ้าไม้ยางพารามีสมบัติเป็นด่าง ค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูง สมมูลแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 57.54 มีธาตุอาหารพืชสูง โดยเฉพาะโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด (Table 1)

Table 1 The properties of rubber wood ash.

Material	pH 1:5 H_2O	EC 1:5 H_2O (dS m^{-1})	CCE (%)	OM (g kg^{-1})	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg
					----------(g kg^{-1})----------				
Rubber wood ash	13.30	33.96	57.54	109.23	0.66	17.91	136.93	154.19	22.23

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินกรดก่อนปลูกและหลังการทดลอง

เมื่อปรับปรุงดินกรดด้วยปูนขาวและเถ้าไม้ยางพารา และบ่มดินก่อนปลูกพืช พบว่า การปรับปรุงดินกรดด้วยเถ้าไม้ยางพาราทำให้พีเอช ค่าสภาพการนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้สูงกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงดินอย่างชัดเจน การใช้ปูนขาวปรับปรุงดินกรดทำให้ดินมีพีเอชและแคลเซียมที่สกัดได้สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การใช้เถ้าไม้ยางพาราทำให้ดินมีปริมาณธาตุอาหารพืชหลังปลูกพืชสูงกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดินและที่ใส่ปูนขาวอย่างชัดเจน (Table 2)

Table 2 Chemical properties of acid soil before planting (after incubation) and after experiment.

Treatment	pH 1:5 H_2O	EC 1:5 H_2O (dS m^{-1})	OM (g kg^{-1})	Avail. P (mg kg^{-1})	Extr. K	Extr. Ca	Extr. Mg
					----------(cmolc kg^{-1})----------		
Before planting							
Control	5.44c	0.05b	6.65b	8.06b	0.13b	0.16c	0.06b
Lime	8.15a	0.10a	7.43a	8.47b	0.12b	6.35a	0.02b
Rubber wood ash	6.95b	0.11a	7.13ab	23.24a	0.85a	2.94b	0.51a
F-test	**	**	*	**	**	**	**
C.V. (%)	4.84	25.88	5.31	10.65	17.33	21.31	22.74
After experiment							
Control	6.67	0.03	5.82	13.97b	0.39a	0.26b	0.03b
Lime	6.78	0.02	6.48	10.33b	0.12b	4.73a	0.01b
Rubber wood ash	6.81	0.03	6.49	28.80a	0.45a	6.14a	0.49a
F-test	ns	ns	ns	**	**	**	**
C.V. (%)	2.10	36.85	6.67	27.30	26.38	43.57	36.52

Remark: Different letters indicate significant differences between treatment means at $P \leq 0.05$, * = significant at $P \leq 0.05$, ** = significant at $P \leq 0.01$ and ns = non-significant

ผลของเถ้าไม้ยางพาราต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในดินกรด

การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน หลังจากปลูก 14, 28, 42 และ 56 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ที่ใช้ปูนขาวและเถ้าไม้ยางพาราทำให้ความสูง เส้นรอบวงลำต้น และจำนวนใบของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (Table 3 และ Figure 1) และเมื่อนำตัวอย่างพืชมาหาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง พบว่า ทรีตเมนต์ที่ใส่ปูนขาวและเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้มีน้ำหนักสดรวม (ลำต้น ใบ และราก) สูงขึ้นจาก 120.15 กรัม (ทรีตเมนต์ไม่ใส่วัสดุปรับปรุง) เป็น 292.45 และ 349.22 กรัม ตามลำดับ และทรีตเมนต์ที่ใส่เถ้าไม้ยางพารามีน้ำหนักแห้งรวม (ลำต้น ใบ และราก) สูงขึ้นจาก 21.07 กรัม (ทรีตเมนต์ไม่ใส่วัสดุปรับปรุง) เป็น 78.13 กรัม และมีแนวโน้มสูงกว่าทรีตเมนต์ปูนขาว 54.01 กรัม (Table 4)

Table 3 Effect of rubber wood ash on sweet corn growth at 14, 28, 42 and 56 days after planting in acid soil.

Day after planting	Treatment	Parameters		
		Height (cm)	Stem circumference (cm)	Leaf No. (leaf No. / Plant)
14	Control	8.38ab	2.00b	3.75
	Lime	6.75b	2.13ab	3.75
	Rubber wood ash	11.05a	3.00a	4.25
	F-test	**	**	ns
	C.V. (%)	18.50	16.63	12.77
28	Control	16.63b	3.75b	6.25
	Lime	18.33b	4.57ab	6.67
	Rubber wood ash	24.43a	5.48a	7.00
	F-test	*	**	ns
	C.V. (%)	16.79	11.15	9.85
42	Control	28.03b	4.05b	2.75b
	Lime	38.53ab	5.67ab	5.00a
	Rubber wood ash	53.75a	6.40a	5.00a
	F-test	**	**	**
	C.V. (%)	15.15	13.62	14.03
56	Control	58.70b	3.90b	10.00b
	Lime	92.77ab	5.07ab	12.00a
	Rubber wood ash	139.20a	5.93a	12.75a
	F-test	**	*	*
	C.V. (%)	20.16	15.82	10.04

Remark: Different letters indicate significant differences between treatment means at $P \leq 0.05$, * = significant at $P \leq 0.05$, ** = significant at $P \leq 0.01$ and ns = non-significant

Table 4 Effect of rubber wood ash on fresh weight and dried weight in sweet corn grown in acid soil.

Treatment	Fresh weight (g)				Dry weight (g)			
	Stalk	Leaf	Root	Whole plant	Stalk	Leaf	Root	Whole plant
Control	44.44b	29.44b	46.27b	120.15b	6.20b	6.89b	7.99b	21.07b
Lime	118.20ab	62.50a	111.75ab	292.45a	18.18ab	12.40ab	23.44ab	54.01ab
Rubber wood ash	147.19a	61.26a	140.77a	349.22a	28.80a	16.77a	32.57a	78.13a
F-test	**	*	*	*	**	**	*	*
C.V. (%)	36.19	28.14	44.15	36.47	37.57	28.42	60.28	43.22

Remark: Different letters indicate significant differences between treatment means at $P \leq 0.05$, * = significant at $P \leq 0.05$, ** = significant at $P \leq 0.01$ and ns = non-significant

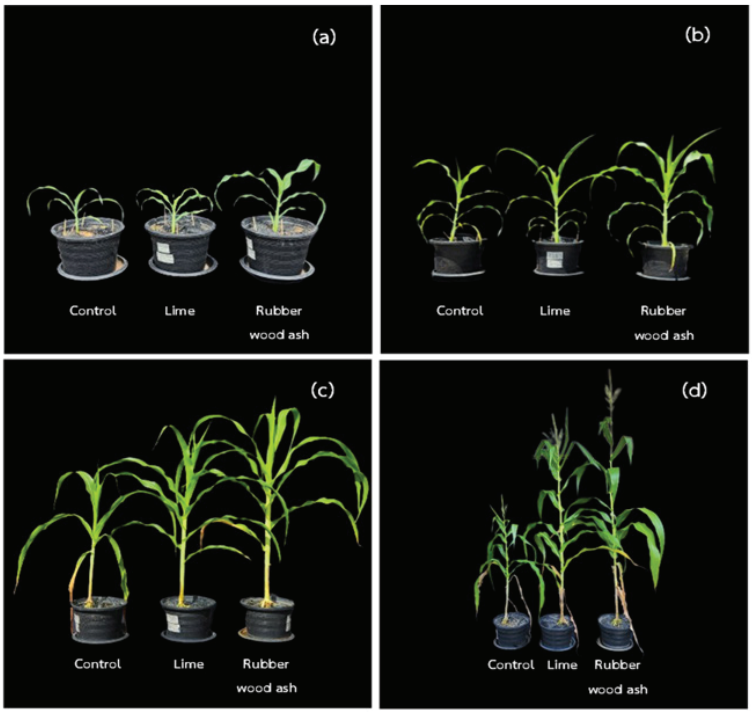


Figure 1 Effect of rubber wood ash on sweet corn growth at 14 (a), 28 (b), 42 (c) and 56 (d) days after planting in acid soil

ผลของเถ้าไม้ยางพาราต่อความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารพืช

ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพดหวาน พบว่า ไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนของรากและใบในทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงสูงกว่าทรีตเมนต์ที่ใส่ปูนขาวและเถ้าไม้ยางพารา แต่ในส่วนของลำต้นไม่แตกต่างกัน และสำหรับฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงทำให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดในรากข้าวโพดหวานสูงกว่าทรีตเมนต์ที่ใส่ปูนขาวและเถ้าไม้ยางพารา และในส่วนของลำต้น พบว่า ทรีตเมนต์ที่ใส่ปูนขาวทำให้ข้าวโพดหวานมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงกว่าทรีตเมนต์ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงและเถ้าไม้ยางพารา และในส่วนของใบไม่แตกต่างกัน (Table 5) ส่วนโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่า ทรีตเมนต์ที่ใส่ปูนขาวทำให้โพแทสเซียมในใบข้าวโพดหวานสูงกว่าทรีตเมนต์ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงและเถ้าไม้ยางพารา แต่ในส่วนของรากและลำต้นไม่แตกต่างกัน ในขณะที่แคลเซียมทั้งหมดในส่วนของรากในทรีตเมนต์ที่ใส่ปูนขาวสูงกว่าทรีตเมนต์ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงและเถ้าไม้ยางพารา แต่ในส่วนของลำต้นและใบไม่แตกต่างกัน และทุกทรีตเมนต์มีแมกนีเซียมทั้งหมดในส่วนของราก ลำต้น และใบ ไม่แตกต่างกัน (Table 6)

ศึกษาการดูดใช้ธาตุอาหารในข้าวโพดหวาน พบว่า การดูดใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในส่วนลำต้น ใบ และรากของข้าวโพดหวานที่ปลูกในทรีตเมนต์ใส่เถ้าไม้ยางพาราและใส่ปูนขาวสูงกว่า ทรีตเมนต์ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดินอย่างชัดเจน และพบว่าทรีตเมนต์ใส่เถ้าไม้ยางพาราทำให้ปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมมีแนวโน้มสูงกว่าการใช้ปูนขาว (Table 7 และ 8)

Table 5 Effect of rubber wood ash on nitrogen and phosphorus concentration in sweet corn grown in acid soil.

Treatment	Total N (g kg^{-1})			Total P (g kg^{-1})		
	Stalk	Leaf	Root	Stalk	Leaf	Root
Control	7.97	17.74a	14.72a	1.54ab	1.50	1.63a
Lime	7.97	11.99ab	8.75b	2.00a	1.55	1.33ab
Rubber wood ash	5.99	9.81b	7.54b	1.08b	1.02	1.17b
F-test	ns	**	**	*	ns	*
C.V. (%)	18.41	22.43	21.08	26.40	36.07	16.68

Remark: Different letters indicate significant differences between treatment means at $P \leq 0.05$, * = significant at $P \leq 0.05$, ** = significant at $P \leq 0.01$ and ns = non-significant

Table 6 Effect of rubber wood ash on potassium, calcium and magnesium concentration in sweet corn grown in acid soil.

Treatment	Total K (g kg^{-1})			Total Ca (g kg^{-1})			Total Mg (g kg^{-1})		
	Stalk	Leaf	Root	Stalk	Leaf	Root	Stalk	Leaf	Root
Control	13.36	14.54b	7.12	4.71	4.62	2.22b	1.24	1.01	0.80
Lime	14.59	20.01a	7.77	4.76	6.02	3.95a	1.60	1.26	0.96
Rubber wood ash	10.42	14.95b	9.30	2.79	4.89	1.91b	0.93	0.98	0.76
F-test	ns	*	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
C.V. (%)	25.29	16.19	25.13	40.45	29.76	19.49	39.84	22.25	20.83

Remark: Different letters indicate significant differences between treatment means at $P \leq 0.05$, * = significant at $P \leq 0.05$, ** = significant at $P \leq 0.01$ and ns = non-significant

Table 7 Effect of rubber wood ash on nitrogen and phosphorus uptake in sweet corn grown in acid soil.

Treatment	N uptake (g pot^{-1})				P uptake (g pot^{-1})			
	Stalk	Leaf	Root	Whole plant	Stalk	Leaf	Root	Whole plant
Control	0.05a	0.12	0.12	0.28b	0.01b	0.01b	0.01b	0.03b
Lime	0.14a	0.14	0.18	0.46ab	0.04a	0.02a	0.03ab	0.08a
Rubber wood ash	0.17b	0.16	0.24	0.57a	0.03a	0.02a	0.04a	0.08a
F-test	*	ns	ns	*	*	**	*	*
C.V. (%)	46.46	22.80	53.03	34.82	50.40	21.96	50.24	49.10

Remark: Different letters indicate significant differences between treatment means at $P \leq 0.05$, * = significant at $P \leq 0.05$, ** = significant at $P \leq 0.01$ and ns = non-significant

Table 8 Effect of rubber wood ash on potassium, calcium and magnesium uptake in sweet corn grown in acid soil.

Treatment	K uptake (g pot^{-1})				Ca uptake (g pot^{-1})				Mg uptake (g pot^{-1})			
	Stalk	Leaf	Root	Whole plant	Stalk	Leaf	Root	Whole plant	Stalk	Leaf	Root	Whole plant
Control	0.08 b	0.10b	0.04b	0.23b	0.02b	0.03b	0.01b	0.05b	0.01b	0.01b	0.01b	0.02b
Lime	0.25ab	0.25a	0.19a	0.68ab	0.13a	0.10a	0.11a	0.33a	0.02a	0.02ab	0.03a	0.07a
Rubber wood ash	0.30a	0.26a	0.28a	0.82a	0.08ab	0.07a	0.07ab	0.23a	0.03a	0.02a	0.02ab	0.05ab
F-test	**	*	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**
C.V. (%)	40.71	36.34	26.17	28.99	41.55	20.14	30.00	22.00	42.56	30.98	29.00	35.17

Remark: Different letters indicate significant differences between treatment means at $P \leq 0.05$, * = significant at $P \leq 0.05$, ** = significant at $P \leq 0.01$ and ns = non-significant

วิจารณ์

ผลของการใช้เถ้าไม้ยางพาราปรับปรุงดินกรดต่อสมบัติทางเคมีของดิน

ชุดดินที่ใช้ในการทดลอง คือ ชุดดินท่าแซะ (Tha Sae series; Te) ซึ่งจัดอยู่ในอันดับอัลทิซอลส์ (Ultisols) มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Sirichuaychu *et al*., 2005) เป็นดินที่มีสภาพกรดจัด (pH 5.44) ธาตุอาหารหลักและรองต่ำ (Table 2) เมื่อมีการใส่เถ้าไม้ยางพาราปรับปรุงดิน ส่งผลให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้นจาก 5.44 ซึ่งมีสภาพกรดจัด เปลี่ยนเป็น 6.95 ซึ่งมีสภาพเป็นกลาง (Office of the Royal Society, 2019) และส่งผลให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น (Table 2) เนื่องจากเถ้าไม้ยางพารามีสมบัติเป็นด่าง และมีธาตุอาหารพืชในปริมาณมาก (Table 1) และเมื่อมีการใส่ปูนขาว ทำให้ดินมีพีเอชสูงขึ้นมากและปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นกว่าการใส่เถ้าไม้ยางพารา (Table 2) เนื่องจากปูนขาวมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบสูง (Onthong, 2017) หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ 56 วัน พบว่า ดินที่ปรับปรุงด้วยเถ้าไม้ยางพารามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้สูง (Table 2) สอดคล้องกับ Nottidge and Nottidge (2012) ได้ศึกษาผลของการใช้ฝุ่นเถ้าไม้จากอุตสาหกรรมเบเกอรี่อัตราต่างกันต่อพีเอชของดิน ซึ่งดินที่ทำการศึกษาเป็นดินร่วนทราย มีค่าพีเอช 4.80 พบว่า การใส่เถ้าไม้ทำให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้น และมีปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Dourado *et al*. (2021) ได้ศึกษาผลของเถ้าไม้ยูคาลิปตัสอัตราต่างกันต่อสมบัติทางเคมีดิน ซึ่งดินที่ทำการศึกษาเป็นดินเหนียวปนทราย มีค่า pH 3.98 พบว่า ใส่เถ้าไม้อัตราเพิ่มขึ้น ทำให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้นตามลำดับ และมีปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ผลของเถ้าไม้ยางพาราในดินกรดต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน

การใช้เถ้าไม้ยางพาราและปูนขาวปรับปรุงดินกรด ส่งผลให้การเจริญเติบโตข้าวโพดหวาน ทั้งในด้านความสูง เส้นรอบวงลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของข้าวโพดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์ที่ไม่มีการปรับปรุงดินกรด (Table 3, 4 และ Figure 1) เนื่องจากการใส่ปูนขาวและเถ้าไม้ยางพาราซึ่งมีสมบัติเป็นด่าง ทำให้พีเอชของดินกรดเพิ่มขึ้น (Table 2) ทั้งนี้พีเอชของดินที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้การละลายของอะลูมินัมลดลง เนื่องจากอะลูมินัมไม่ใช่ธาตุอาหารพืช มีความเป็นพิษต่อพืช และเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในดินกรด (Brady and Weil, 2008) และพบว่า การใช้เถ้าไม้ยางพารา

ปรับปรุงดินกรดทำให้การเจริญเติบโต ของข้าวโพดหวานมีแนวโน้มสูงกว่าการใช้ปูนขาว (Table 3, 4 และ Figure 1) ทั้งนี้เนื่องจากในเถ้าไม้ยางพารามีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียมแมกนีเซียม และฟอสฟอรัส (Table 1) ซึ่งไม่มีในปูนขาว เมื่อใส่เถ้าไม้ยางพาราปรับปรุงดินจึงทำให้ดินมีธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น (Table 2) ทำให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารได้มากกว่าการใส่ปูนขาว จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองการใช้เถ้าไม้ปรับปรุงดินกรด ซึ่งมีรายงานการศึกษาผลของเถ้าไม้ยูคาลิปตัสต่อความสูงของต้นทานตะวันประดับในดินกรดที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย พีเอช 4.70 พบว่า การใส่เถ้าไม้ยูคาลิปตัสทำให้ความสูงของต้นทานตะวันประดับเพิ่มสูงขึ้น (Bonfim-Silva *et al*., 2015) นอกจากนี้มีรายงานว่า การใช้เถ้าไม้จากอุตสาหกรรมอาหารปรับปรุงดินกรดที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว พีเอช 4.00 ทำให้ความสูงต้นคำฝอยเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน และทำให้ต้นคำฝอยมีมวลแห้งดอก ลำต้น และรากเพิ่มสูงขึ้น (Bonfim-Silva *et al*., 2018)

ผลของเถ้าไม้ยางพาราในดินกรดต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน

การปรับปรุงดินกรดด้วยเถ้าไม้ยางพาราทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในส่วนของราก ลำต้น และใบต่ำกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่มีการปรับปรุงดิน (Table 5 และ 6) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เถ้าไม้ยางพาราปรับปรุงดินกรด ทำให้การเจริญเติบโตและมวลชีวภาพของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้น เมื่อมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นทำให้ธาตุอาหารพืชในเนื้อเยื่อถูกเจือจาง เนื่องจากผลของความเจือจาง (dilution effect) คือ ความเข้มข้นของธาตุอาหารบางธาตุในพืชลดลงเมื่อพืชโตขึ้น เพราะเมื่อพืชโตขึ้นอัตราการเพิ่มชีวมวลเร็วกว่าอัตราการดูดสะสมธาตุนั้น (Soil and Fertilizer Society of Thailand, 2021) นอกจากนี้ ผลจากการที่ใช้เถ้าไม้ยางพาราปรับปรุงดินกรดทำให้มีความอุดมสมบูรณ์สูงขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้น เนื่องจากพืชดูดธาตุอาหารได้ดี ทำให้เมื่อคำนวณเป็นปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน จึงพบว่า การปรับปรุงดินกรดด้วยเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้การดูดใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมได้สูงที่สุด (Table 7 และ 8) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองการใช้เถ้าไม้ปรับปรุงดินกรดเขตร้อนเพื่อปลูกพืช พบว่า การใช้เถ้าไม้ทำให้การเจริญเติบโตของหญ้าไรย์เพิ่มขึ้น การดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ปรับปรุงดินอย่างชัดเจน (Nkana *et al*., 1998)

สรุป

การปรับปรุงดินกรดโดยเถ้าไม้ยางพาราส่งผลให้ดินมีค่าพีเอชสูงขึ้น ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น เถ้าไม้ยางพารายังส่งผลให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน ได้แก่ ความสูงต้น เส้นรอบวงลำต้น และจำนวนใบเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีการดูดใช้ธาตุอาหารโดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น ดังนั้นสามารถนำเถ้าไม้ยางมาใช้ทดแทนปูนทางการเกษตรได้ นอกจากจะช่วยลดความเป็นกรดในดินแล้วยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

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

Bonfim-Silva, E.M., D.C. Freitas, E.R. Batista and M.A. de Lima. 2015. Wood ash as corrective of soil pH and as fertilizer in ornamental sunflower cultivation. African Journal of Agricultural 10(33): 3253-3264.

Bonfim-Silva, E.M., T.M. Santos, L.G.A. Dourado, C.T.R. Silva, W. Fenner and T.J.A. Silva. 2018. Wood ash as a corrective and fertilizer in safflower crop in oxisol of brazilian cerrado. Journal of Agricultural Science 10(9): 412-422.

Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. The nature and properties of soils. Prince Hall. New Jersey. 965 p.

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

Demeyer, A., J.C.V. Nkana and M.G. Verloo. 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. Bioresource Technology 77: 287-295.

Dourado, L.G.A., E.M. Bonfim-Silva, T.J.A. da Silva, E.A.R. Pinheiro and W. Fenner. 2021. Effects of wood ash and soil water potential on vegetative development of mung bean *(Vigna radiata* L.). Australian Journal of Crop Science 15(03): 354-362.

Etiegni, L. and A.G. Campbell. 1991. Physical and chemical characteristics of wood ash. Bioresource Technology 37: 173-178.

Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-411. In: A. Klute (Ed.). Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison.

Khawmee, K. 2014. Potassium release in rubber growing soils of southern Thailand. Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla. 81 p.

Land Development Department. 2004. Manual for the analysis for soil samples, water, fertilizers, plants, soil amendment and analysis for product standard certification, Volume 2. Bangkok: Office of Science for Land Development, Land Development Department. 270 p.

Land Development Department. 2015. Land Development Guide for Volunteered Soil Doctor and Farmers. Bangkok: Research and Development for Land Management Division, Land Development Department. 270 p.

Meiwes, K.J. 1995. Application of lime and wood ash to decrease acidification of forest soils. Water, Air and Soil Pollution 85: 143-152.

Nkana, J.C.V., A. Demeyer and M.G. Verloo. 1998. Availability of nutrients in wood ash amended tropical acid soils. Environmental Technology 19(12): 1213-1221.

Nottidge, D.O. and C.C. Nottidge. 2012. Effect of different rates of wood ash on exchangeable aluminum, growth, nodulation, nitrogen accumulation and grain yield of soybean (Glycine max (L.) Merrill) in an acid ultisol. Global Journal of Agricultural Sciences 11(2): 81-87.

Office of the Royal Society. 2019. Soil science dictionary. Royal Society edition. Bangkok: Office of the Royal Society. 452 p.

Onthong, J. 2017. Soil and plant analysis. Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla. 313 p.

Onthong, J. and C. Poonpakdee. 2017. Soil and plant analysis guide. Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla. 179 p.

Phumichai, T., T. Tonusin, S. Chotchutima, S. Jenweerawat and P. Maneesan. 2020. Evaluation of biomass production and energy properties of rubber wood. Rubber Journal 41(1): 2-17.

Sirichuaychu, W., N. Trisuwan, S. Boonpradab, S. Sukchan, K. Huntrakul, B. Sapmak, S. Wattana, A. Pinjongsakuldit, S. Chaiyathip, K. Saritsiri and A. Saphet. 2005. Miraculous soil species. Land Development Department, Bangkok. 144 p.

Soil and Fertilizer Society of Thailand. 2021. 40 years of soil and fertilizer society of Thailand: Part 1 history and achievements part 2 dictionary of fertilizer and plant nutrients. Soil and Fertilizer Society of Thailand, Bangkok. 326 p.

Vance, E.D. 1996. Land application of wood-fired and combination boiler ashes: An overview. Journal of Environmental Quality 25: 937-944.