

คุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และ ความสามารถในการปรับปรุงดินกรด

Characteristics of Biochar Derived from Cashew Nut Shell and Potential for Acid Soil Amelioration

พจนีย์ แสงมณี*
Podjanee Sangmanee*

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จ. อุดรดิตถ์ 53000
Division of Agriculture, Faculty of Agriculture, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000, Thailand

*Corresponding author: Email: psangmanee191@gmail.com

(Received: 2 February 2020; Accepted: 1 December 2020)

Abstract: Uttaradit province is the largest area of cashew nut (*Anacardium occidentale*) production in Thailand. The average yield of cashew nut is 5,000 ton in each year. Cashew nut shell, is a waste of community derived after shelling process, produced 3,700 - 4,000 ton annually. Presently, some of cashew nut shell has been exported for industrial use or compressed for cashew nut shell liquid commonly known as CNSL. Although, the crude of cashew nut shell still remained problematic and should be upcycled. Biochar obtained from cashew nut shell was studied about its benefits for agricultural application such as a soil conditioner or plant nutrients resource. Therefore, the chemical properties of cashew nut shell biochar (CNSC) was characterised. The effect of CNSC on changing of soil pH, EC and mineralization of some nutrients was also investigated employing liming material and FGD gypsum as a benchmark. The study showed that CNSC has pH of 10.3 and contains mainly stable carbon (57.71 %) and 3.24 % of K. The efficacy of CNSC is inferior to lime considering from the rate of CNSC between 10 - 50 times of LR were applied in order to rise soil pH. Potassium was the main component of CNSC that play a key role in decrease of soil acidity. Moreover, available P and exchangeable K were increased after CNSC application which has not effect EC values.

Keywords: Biochar, cashew nut shell, acid soil, soil amendment

บทคัดย่อ: จังหวัดอุดรธานีเป็นแหล่งเพาะปลูกมะม่วงหิมพานต์แหล่งใหญ่ที่สุดของประเทศไทย มีผลผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยเฉลี่ย 5,000 ตันต่อปี ภายหลังจากกระบวนการกะเทาะเมล็ดจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นของเสียชุมชนประมาณ 3,500 - 4,000 ตัน ปัจจุบันได้มีการกำจัดโดยการขายออกนอกพื้นที่หรือมีการบีบอัดเอาน้ำมัน (cashew nut shell liquid, CNSL) เพื่อนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม กระบวนการดังกล่าวยังคงเหลือกากของเปลือกหุ้มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สร้างปัญหาขยะชุมชนที่จำเป็นต้องหาแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเปลือกหุ้มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาเป็นวัตถุดิบในการทำถ่านชีวภาพ (cashew nut shell biochar, CNSC) และศึกษาการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น สารปรับปรุงดิน และแหล่งธาตุอาหารพืช ดังนั้นจึงทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี ผลของการใช้ CNSC ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH, EC และการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช โดยใช้ปูนขาวและยิปซัมในการเปรียบเทียบ ผลการศึกษา พบว่า CNSC มีคุณสมบัติเป็นต่างจัดโดยมีค่า pH 10.3 และมีคาร์บอนที่เสถียรเป็นองค์ประกอบหลัก (57.71%) มีโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พบมากที่สุดคือ 3.24 % ประสิทธิภาพในการปรับค่า pH ของ CNSC น้อยกว่าปูนขาวพิจารณาจากอัตราการใช้ CNSC เพื่อการปรับค่า pH ของดินที่อยู่ในช่วง 10-50 เท่าของ LR โดยมีโพแทสเซียมซึ่งเป็นแคทไอออนที่เป็นด่างเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความเป็นกรดในดินลดลง นอกจากนี้ การใส่ CNSC ยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยไม่ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้า

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ดินกรด สารปรับปรุงดิน

คำนำ

จังหวัดอุดรธานีเป็นแหล่งเพาะปลูกมะม่วงหิมพานต์แหล่งใหญ่ที่สุดของประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูก 27,286 ไร่ ส่วนใหญ่เป็นการเพาะปลูกแบบอาศัยน้ำฝน สภาพดินมีความเป็นกรดจัดรุนแรง ปัจจุบันมะม่วงหิมพานต์ให้ผลผลิตรวม 7,192 ตัน (Uttaradit Provincial Agriculture and Cooperatives Office, 2019) ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวมีการกะเทาะเมล็ดและแปรรูปในพื้นที่ เมื่อกะเทาะเมล็ดแล้วจะได้เปลือกเมล็ดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีเนื่องจากมีผลผลิตที่เริ่มเก็บเกี่ยวได้แล้วและจากการขยายพื้นที่เพาะปลูก ปัจจุบันมีการจัดการเปลือกเมล็ดด้วยการบีบอัดเพื่อสกัดเป็นน้ำมันที่เรียกว่า cashew nut shell liquid (CNSL) จำหน่ายออกนอกพื้นที่เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรม เปลือกเมล็ดที่ผ่านการบีบอัดเอาน้ำมันออกแล้วถูกปล่อยทิ้งไว้ให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ไม่ต่ำกว่าปีละ 2,880 - 3,120 ตัน (Klaichom *et al.*, 2017) เศษเหลือดังกล่าวไม่นิยมนำมาทำปุ๋ยหมัก เนื่องจาก เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ยังมี CNSL ที่ยังหลงเหลืออยู่ มีความเป็นกรดรุนแรง และเป็นพิษต่อผิวหนัง (Andonaba *et al.*, 2017)

ถ่านชีวภาพ (biochar) เป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ด้วยสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำหรือ กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) โดยวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ส่วนใหญ่ ได้แก่ เศษเหลือทางการเกษตร เช่น ช้างข้าวโพด เศษไม้ แกลบ ชนิดของถ่านชีวภาพ ชนิดของดิน และสภาพแวดล้อมทางดิน มีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชและการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของดิน (pH) เช่น การใส่ถ่านชีวภาพจากช้างข้าวโพด อัตรา 2.5 % โดยน้ำหนัก ทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้นและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพริกที่ปลูกในดินเปรี้ยว (Pearaksa and Saeng-ngam, 2018) ในขณะที่การใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบ อัตรา 2 ตันต่อไร่ในดินเนื้อปูนสภาพน้ำขัง ทำให้ดินมีค่า pH ลดลงเล็กน้อย และส่งเสริมการสะสมธาตุหลักและทองแดงในเมล็ดข้าว โดยการลดลงของค่า pH ในสภาพน้ำขังเกิดจากคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในถ่านชีวภาพละลายออกมาและเปลี่ยนโครงสร้างเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ต่อจนกลายเป็นไบคาร์บอเนตไฮดรอกไซด์ (HCO_3^-) และไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์ (H^+) (Leksungnoen *et al.*, 2017) ในขณะที่การใส่ถ่านชีวภาพจากไม้ยูคาลิปตัส อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ในดินน้ำขังทำให้ค่า pH สูงขึ้น และมีแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น แต่ทำให้อินทรีย์วัตถุในดิน ไนโตรเจนทั้งหมด และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง ถ่านชีวภาพส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงอายุ 30 และ 45 วันหลังหว่านข้าว แต่ในระยะ 70 วันหลังหว่านกลับพบว่า ข้าวมีการสะสมน้ำหนักแห้งของรากลดลง (Manaonok *et al.*, 2017) จะเห็นได้ว่าถ่านชีวภาพแต่ละชนิดมีผลต่อค่า pH ของดิน การเปลี่ยนแปลงและการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน ดังนั้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และเปรียบเทียบผลของการใช้ถ่านชีวภาพจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์กับสารปรับปรุงดินชนิดอื่นในการปรับปรุงดินกรดและการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

เนื่องจากคุณสมบัติและความสามารถในการปรับค่า pH ของ CNCS ยังไม่ทราบแน่ชัด จึงเลือกวัสดุปรับปรุงดินมาเทียบเคียงกับ CNCS เป็นวัสดุที่เป็นต่างจัด แต่ความสามารถในการปรับค่า pH

มีความแตกต่างกัน ได้แก่ ปูนขาว และยิปซัมและวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดิน ได้แก่ ค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า (EC) คาร์บอนทั้งหมด ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด และรูปที่เป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ รวมถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และ ค่าสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต (CCE) (Table 1) ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง วัสดุปรับปรุงดินทุกชนิดจะนำมาร่อนผ่านตะแกรกร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบด้วยอุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่

การเตรียมวัสดุปรับปรุงดินที่จะนำมาทดสอบทำโดยนำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บีบอัดเอาน้ำมันออกแล้วมาเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าด้วยอุณหภูมิต่ำกว่า 500 °C การเผาถ่านดังกล่าวทำให้เกิดถ่านชีวภาพประมาณ 35 % ผลผลิตที่ได้เป็นถ่านชีวภาพจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (cashew nut shell biochar หรือ CNCS) เปรียบเทียบกับวัสดุปรับปรุงดิน ได้แก่ ปูนขาว (slaked lime หรือ Ca(OH)_2) และยิปซัมสังเคราะห์ (flue gas desulfurization gypsum หรือ FGD - gypsum) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Table 1. Chemical properties and methods of analysis

Chemical properties	Methods of analysis
pH	pH meter (soil : water = 1 : 5) *
EC	Conductivity meter (soil : water = 1 : 5)*
Total C and organic C	Dry combustion and Walkley and Black (1934)
Total P	Nitric - perchloric digestion, Vanadomolybdate method**
Total K, Ca, Mg	Nitric - perchloric digestion, Atomic absorption spectrophotometry (AAS)**
Available P	Extracted the soil with Bray II and determined calorimetrically using molybdenum blue method*
Exchangeable K, Ca, Mg	Extracted the soil with 1M NH_4OAc pH 7 determined with atomic absorption spectrophotometer*
Total S	Nitric-perchloric digestion, Turbidimetric method*
Cation exchange capacity (CEC)	Leach the soil with ammonium acetate method at pH 7.0 followed by Kjeldahl Distillation*
Calcium carbonate equivalent (CCE)	Titrimetric method* and Erich and Ohno (1992)

* Therajindakajorn (2009), ** Suwanwong (2001)

ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Kaweewong, 2018)

สำหรับการเปรียบเทียบผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดินและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ ดินที่ใช้ในการทดลองเก็บจากพิกัด 100.93824E, 17.819018N พื้นที่เพาะปลูกจัดอยู่ในชุดดินปึกธงชัย (Coarse - loamy, siliceous, subactive, isohyperthermic Typic (Kandic) Peleustults) เป็นพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (slope complex) ที่มีการชะล้างดินสูง เนื้อดินร่วนปนทราย เมื่อนำดินมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมี (Table 1) พบว่า ดินมีค่า pH เป็นกรดจัดมาก (4.95), ค่า EC 0.04 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร, ความต้องการปูน (lime requirement: LR) เท่ากับ 1.1 ตันต่อไร่ วัดค่าโดยใช้ชุดทดสอบดินที่พัฒนาโดยคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นวิธีการสกัดดินด้วยน้ำยา Woodruff buffer สำหรับปริมาณธาตุอาหารในดิน พบว่า มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 342 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, โพแทสเซียม, แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 228, 818 และ 221 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

เตรียมหน่วยทดลองโดยการชั่งดิน 100 กรัม ใส่ภาชนะพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร สูง 9.5 เซนติเมตร แล้วชั่งวัสดุปรับปรุงดินตามอัตราที่กำหนดโดยพิจารณาจากค่า CCE ของสารปรับปรุงดินแต่ละชนิด เช่น อัตรา LR ของปูนขาวใช้น้ำหนัก 0.35 กรัม ผสมคลุกเคล้ากับดินให้เข้ากัน และเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ทำให้ดินมีความชื้นเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับสารปรับปรุงดิน รักษาความชื้นทุก 3 วัน โดยพิจารณาจากน้ำหนักที่หายไปแล้วเติมน้ำกลั่นจนหน่วยทดลองมีน้ำหนักเท่ากับตอนใส่น้ำลงไปครั้งแรก

วางแผนการทดลองแบบ สุ่ม สมบูรณ์ (completely randomized design) จำนวน 4 ซ้ำ ทั้งหมด 10 กรรมวิธี ดังนี้ ควบคุม, ปูนขาว ยิปซัม และ CNSC อัตรา LR, 10 LR, 50 LR จากนั้นจึงติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดิน เช่น pH EC ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

(Table 1) ภายหลังจากการใส่สารปรับปรุงดินที่ระยะเวลา 3, 7, 14, 30 และ 60 วัน

การวิเคราะห์หาความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีของ Tukey HSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Statistix 8.0

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดิน

จากการวิเคราะห์วัสดุปรับปรุงดินที่นำมาใช้ในการทดสอบทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ปูนขาว ยิปซัม และ CNSC พบว่า วัสดุทุกชนิดมีฤทธิ์เป็นด่าง สำหรับค่า CCE ของปูนขาวมีค่ามากที่สุด คือ 135 % ขณะที่ยิปซัมและ CNSC มีค่า CCE ใกล้เคียงกันคือ 114 และ 113 % สำหรับ CNSC ซึ่งเป็นถ่านชีวภาพ พบว่า มีปริมาณคาร์บอนที่เสถียรเป็นหลัก (57.71 %) สำหรับคาร์บอนอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้พบน้อยมาก (0.71 %) แสดงให้เห็นว่าการใส่ CNSC เป็นการเพิ่มคาร์บอนที่เสถียรในดิน มีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทั้งหมดสูง ในขณะที่ปูนขาวและยิปซัมซึ่งเป็นแร่ พบว่า มีปริมาณแคลเซียมทั้งหมดสูงมาก สำหรับปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด มีปริมาณต่ำและใกล้เคียงกันในวัสดุปรับปรุงดินทุกชนิด ส่วนกำมะถันทั้งหมดพบมากที่สุด ในยิปซัม 12.87 % ปริมาณธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ พบว่า มีสัดส่วนเป็นไปตามปริมาณธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้ในรูปของปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด โดยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของ CNSC พบมากที่สุด ในขณะที่ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของปูนขาวและยิปซัมมากกว่า CNSC ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก หรือค่า CEC พบว่า CNSC มีค่ามากที่สุดรองลงมาคือ ปูนขาวและยิปซัม ตามลำดับ (Table 2) เนื่องจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์มีคาร์โบไฮเดรต และฟีนอลเป็นองค์ประกอบเมื่อเผาเป็นถ่านชีวภาพแล้วทำให้กลายเป็นหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิลจำนวนมากที่ทำให้ถ่านชีวภาพมีค่า CEC สูง (Kookana et al., 2011) จากการพิจารณา

สมบัติทางเคมี สามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่า CNSC เป็นถ่านชีวภาพที่มีฤทธิ์เป็นด่าง มีคาร์บอนในรูปที่เสถียร มีปริมาณธาตุอาหารหลักโดยเฉพาะอย่างยิ่งโพแทสเซียมสูง และมีปริมาณธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าปูนขาวและยิปซัม

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างและการนำไฟฟ้าของดินภายหลังการใส่สารปรับปรุงดิน

การใส่สารปรับปรุงดินทุกชนิดมีผลทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมตลอดช่วงที่ทำการศึกษ เมื่อพิจารณาค่า pH ที่เกิดจากการใส่วัสดุทั้ง 3 ชนิดในอัตราเดียวกัน ในระยะเวลา 3 วันหลังจากใส่ จะเห็นว่าการใส่ปูนขาวอัตรา LR มีประสิทธิภาพทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นและแตกต่างจากการใส่ยิปซัมและ CNSC อัตรา LR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วง 7 และ 14 วัน เป็นช่วงที่ค่า pH เพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธี แต่พบว่า การใส่ยิปซัมและ CNSC อัตรา LR กลับไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม และในช่วง 30 และ 60 วันหลังจากใส่ พบว่า

ค่า pH ของการใส่ CNSC อัตรา 10 LR ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใส่ปูนขาว อัตรา LR การใส่ปูนขาวในอัตรา 10 LR และ 50 LR รวมถึงยิปซัมและ CNSC อัตรา 50 LR ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงในช่วง 6.16 - 8.42 (Table 3)

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) จากการใส่ปูนขาว และ CNSC ทุกอัตราส่วนใหญ่ ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมตลอดช่วงที่ทำการทดลองและให้ค่า EC ต่ำกว่า 0.2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (Table 3) การใส่ยิปซัมทำให้ค่า EC เพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใส่ทุกอัตรา โดยเฉพาะอัตรา 10 LR และ 50 LR ทำให้ค่า EC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น และอยู่ในช่วง 1.02 - 1.73 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จะเห็นว่าการใช้ CNSC ทุกอัตราไม่ทำให้เกิดไอออนอิสระในดินมากเกินไปจนส่งผลให้เกิดดินเค็มหรือมีผลกระทบต่อพืช ในขณะที่ยิปซัมทำให้ค่า EC สูงขึ้นได้ตามอัตราที่ใช้และอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดได้ เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมและกำมะถันที่สูงแต่มีธาตุอื่น ๆ ในปริมาณน้อย (Table 1)

Table 2. Characteristic of lime, FGD gypsum and cashew nut shell char used in the experiment

Parameter	Slaked lime	FGD gypsum	CNSC
pH	13.2	12.4	10.3
Calcium carbonate equivalent (CCE, %)	135	114	113
Total C (dry combustion, %)	ND	ND	57.71
Organic C (wet combustion, %)	ND	ND	0.71
Total P (%)	0.01	0.01	0.50
Total K (%)	0.11	0.10	3.24
Total Ca (%)	64.16	21.57	0.57
Total Mg (%)	0.570	0.004	0.040
Total S (%)	ND	12.87	0.14
Available P (mg/kg)	66	56	576
Exchangeable K (mg/kg)	229	434	8,679
Exchangeable Ca (mg/kg)	19,182	26,680	1,387
Exchangeable Mg (mg/kg)	253	640	1,063
Cation exchange capacity (cmol/kg)	16.65	10.90	33.53

ND = Not detected

Table 3. Changing of soil pH and soil electrical conductivity after application of lime, FGD gypsum and CNSC at different rates

Treatment	pH					EC (mS/cm)				
	3 DAA [#]	7 DAA	14 DAA	30 DAA	60 DAA	3 DAA	7 DAA	14 DAA	30 DAA	60 DAA
1. Control	5.00 ^e	4.86 ^{fg}	5.27 ^f	4.41 ^f	4.69 ^e	0.05 ^c	0.09 ^{def}	0.08 ^f	0.16 ^d	0.16 ^d
2. Lime LR	5.79 ^c	5.74 ^{de}	6.02 ^d	5.69 ^d	6.04 ^c	0.05 ^c	0.06 ^{ef}	0.13 ^e	0.17 ^d	0.16 ^d
3. Gypsum LR	4.75 ^f	4.77 ^g	5.25 ^f	4.85 ^e	5.41 ^d	0.28 ^c	0.31 ^c	0.34 ^c	0.41 ^c	0.35 ^c
4. CNSC LR	5.05 ^e	5.11 ^{fg}	5.39 ^f	4.96 ^e	5.21 ^d	0.23 ^c	0.07 ^{ef}	0.10 ^f	0.18 ^d	0.14 ^d
5. Lime 10LR	7.74 ^a	7.32 ^b	7.98 ^b	7.98 ^a	7.76 ^a	0.93 ^c	0.13 ^{de}	0.19 ^d	0.22 ^d	0.20 ^d
6. Gypsum 10LR	4.95 ^{ef}	5.01 ^{fg}	5.42 ^f	5.05 ^e	5.33 ^d	1.02 ^b	1.03 ^b	1.14 ^b	1.25 ^b	1.08 ^b
7. CNSC 10LR	5.30 ^d	5.37 ^{ef}	5.75 ^e	5.48 ^d	5.68 ^{cd}	0.05 ^c	0.05 ^f	0.08 ^f	0.16 ^d	0.15 ^d
8. Lime 50LR	7.94 ^a	7.87 ^a	8.42 ^a	8.16 ^a	8.14 ^a	0.11 ^c	0.15 ^d	0.19 ^d	0.24 ^d	0.22 ^d
9. Gypsum 50LR	6.16 ^b	6.24 ^{cd}	6.94 ^c	6.88 ^c	7.08 ^b	1.63 ^a	1.49 ^a	1.60 ^a	1.73 ^a	1.53 ^a
10. CNSC 50LR	6.31 ^b	6.46 ^c	7.10 ^c	7.22 ^b	7.27 ^b	0.07 ^c	0.09 ^{def}	0.12 ^e	0.19 ^d	0.13 ^d
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by Tukey's HSD test

** = Significantly different at $P < 0.01$, [#] = Days after application

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการกำหนดอัตราการใช้วัสดุปรับปรุงดินที่จำแนกเป็นวัสดุปูนสามารถพิจารณาได้จากค่า LR อย่างไรก็ตาม การใส่ CNSC เพื่อทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นจนอยู่ในระดับใกล้เคียงกับการใส่วัสดุปูน ยังต้องใส่ในอัตราที่มากกว่า ดังจะเห็นได้จากกรณีที่ใช้ CNSC ในอัตรา 10 LR แสดงให้เห็นว่า ไม่สามารถใช้ค่า CCE ของ CNSC ในการกำหนดอัตราการใช้ CNSC ได้ เนื่องจากความสามารถในการปรับค่า pH ของถ่านชีวภาพมีความจำเพาะกับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาเผาเป็นถ่านชีวภาพและชนิดของดิน ความสามารถในการเพิ่มค่า pH ขึ้นอยู่ปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณธาตุที่เป็นด่าง (basic cations) ที่เป็นองค์ประกอบของถ่านชีวภาพ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และ โซเดียม (Novotny *et al.*, 2015) ในกรณีของ CNSC จะเห็นได้ชัดเจนว่าโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้น โดย CNSC ยังมีบทบาทเช่นเดียวกับบทบาทของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของวัสดุปูน คือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable form) ที่ดูดซับ

อยู่บนผิวของอนุภาคดิน กล่าวคือทำให้ปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable acidity) ในดินลดลง (Chintala *et al.*, 2014) นอกจากนี้ CNSC ยังมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลที่ช่วยดูดซับโปรตอนในสารละลายดินหรือเกิดปฏิกิริยาการใช้โปรตอน (proton consumption reaction) ส่งผลให้ความเข้มข้นของโปรตอนในสารละลายดินลดลงจนทำให้ความเป็นกรดของดินลดลง (Chintala *et al.*, 2014; Kookana *et al.*, 2011)

สำหรับยิปซัม ซึ่งจัดเป็นแร่เกลือซัลเฟตและเมื่อใส่ลงไปในดินจะแตกตัวอย่างสมบูรณ์ไม่ทำให้ pH เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้วัสดุปูนในอัตราเดียวกัน แม้ยิปซัมจะมีปริมาณแคลเซียมที่ละลายได้มากกว่าวัสดุชนิดอื่น แต่ในงานวิจัยนี้สันนิษฐานได้ว่า ยิปซัมมีคุณสมบัติในการเป็นวัสดุปรับปรุงดินกรดในลักษณะของการเข้าไปทำปฏิกิริยากับเหล็กและอลูมิเนียมในดินเช่นเดียวกับปูนขาว แต่ประสิทธิภาพยังไม่เท่ากับการใช้ปูนขาว การเปลี่ยนแปลงค่า pH เพียงเล็กน้อยภายหลังจากการใส่ยิปซัม สอดคล้องกับการศึกษาของ Kaweewong *et al.* (2018) ที่พบว่า

ค่า pH เพิ่มขึ้นเพียง 0.1 หน่วยจากการใส่ยิปซัมอัตรา 2 ตันต่อไร่ Siriwal (2011) อธิบายกลไกการเพิ่มค่า pH ของยิปซัมจากการที่ยิปซัมทำปฏิกิริยากับเหล็ก และอลูมิเนียมในดินเป็นหลัก โดยการที่แคลเซียมเข้าไปแทนที่อลูมิเนียมในดิน จากนั้นอลูมิเนียมจึงไปจับกับซัลเฟต เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมไฮดรอกซีซัลเฟต (AlOHSO_4) หรืออะลูมิเนียมซัลเฟตแคตไอออน (AlSO_4^+ complex ion) หรือจากการที่หมู่ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่แตกตัวจากยิปซัมเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ในดินแล้ว ไฮดรอกไซด์ถูกปลดปล่อยออกมาเป็นอิสระในดินและรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออน (H^+) เกิดเป็นน้ำ

ปริมาณธาตุอาหารพืชภายหลังการใส่สารปรับปรุงดิน

ภายหลังการใส่สารปรับปรุงดิน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมในทุกช่วงเวลาภายหลังการใส่ (Table 4) แต่การใส่ปูนขาวอัตรา 10 LR และ 50 LR พบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม การเปลี่ยนแปลงค่า pH มีผลต่อรูปของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เช่น กรณีที่ดินมีค่า pH

ต่ำกว่า 6 ฟอสฟอรัสมักอยู่ในรูป H_2PO_4^- แต่เมื่อค่า pH สูงกว่า 6 ฟอสฟอรัสจะเปลี่ยนรูปเป็น HPO_4^{2-} การเปลี่ยนรูปดังกล่าว ทำให้แรงดูดยึดฟอสฟอรัสกับเหล็กออกไซด์ลดลง ทำให้พืชดูดไปใช้ได้ง่ายขึ้น (Ruksabo *et al.*, 2018) อย่างไรก็ตามหากค่า pH สูงเกินไป ฟอสฟอรัสจะถูกตรึงโดยแคลเซียมไอออน เกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟตหรือเกิดสภาวะเกินปูน (over liming) ภายหลังจากการใส่สารปรับปรุงดิน จะเห็นได้ว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ยิปซัมและ CNSC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม อันเป็นผลมาจากค่า pH เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่เหมาะสมต่อการละลายของธาตุฟอสฟอรัสที่มีอยู่เดิมในดินและปลดปล่อยออกมา การใส่ยิปซัมทุกอัตราและการใส่ CNSC อัตรา 10 LR และ 50 LR ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นตลอดช่วงที่ทำการทดลอง การใส่ปูนขาวกลับทำให้ค่าฟอสฟอรัสต่ำลงอย่างชัดเจนอันเกิดจากสภาวะเกินปูน จึงสรุปได้ว่าการใส่ยิปซัมทุกอัตราและ CNSC ที่อัตรา 10 LR และ 50 LR ไม่เกิดผลกระทบต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน แต่ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชดูดใช้ได้มากขึ้น

Table 4. Changing of available phosphorus and exchangeable potassium after application of lime, FGD gypsum and CNSC at different rates

Treatment	Available P (mg/kg)					Exchangeable K (mg/kg)				
	3 DAA [#]	7 DAA	14 DAA	30 DAA	60 DAA	3 DAA	7 DAA	14 DAA	30 DAA	60 DAA
1. Control	255 ^{de}	285 ^d	289 ^{de}	270 ^{ef}	319 ^d	325 ^c	262 ^c	108 ^c	193 ^c	173 ^c
2. Lime LR	244 ^{de}	288 ^d	269 ^{de}	283 ^{def}	348 ^{cd}	264 ^c	274 ^{bc}	129 ^c	199 ^c	206 ^{bc}
3. Gypsum LR	356 ^{bc}	344 ^{bcd}	448 ^{bcd}	323 ^{cde}	418 ^{bcd}	356 ^c	276 ^b	171 ^c	188 ^c	159 ^c
4. CNSC LR	306 ^{bcd}	322 ^{cd}	343 ^{cde}	325 ^{cde}	326 ^d	182 ^c	159 ^d	200 ^c	185 ^c	279 ^{bc}
5. Lime 10LR	266 ^{cde}	288 ^d	309 ^{cde}	271 ^{ef}	373 ^{cd}	234 ^c	248 ^{bcd}	126 ^c	229 ^{bc}	250 ^{bc}
6. Gypsum 10LR	364 ^b	421 ^{ab}	473 ^{bc}	387 ^{abc}	512 ^b	215 ^c	182 ^{cd}	183 ^c	182 ^c	305 ^{bc}
7. CNSC 10LR	313 ^{bcd}	374 ^{bc}	423 ^{bcd}	360 ^{bcd}	370 ^{cd}	273 ^c	223 ^{bcd}	307 ^{bc}	327 ^b	481 ^b
8. Lime 50LR	179 ^e	195 ^e	218 ^e	210 ^f	304 ^d	247 ^c	260 ^{bc}	109 ^c	151 ^c	145 ^c
9. Gypsum 50LR	466 ^a	464 ^a	553 ^{ab}	458 ^a	665 ^a	1,220 ^a	438 ^a	1,354 ^a	699 ^a	253 ^{bc}
10. CNSC 50LR	371 ^b	492 ^a	684 ^a	418 ^{ab}	476 ^{bc}	675 ^b	503 ^a	761 ^b	729 ^a	1,317 ^a
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by Tukey's HSD test

** = Significantly different at $P < 0.01$, [#] = Days after application

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีความแตกต่างกันจากการใส่วัสดุปรับปรุงดินแต่ละชนิด ส่วนใหญ่ การใส่ยิปซัมและ CNSC โดยเฉพาะในอัตรา 50 LR ทำให้ค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูงกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกช่วงเวลาทำการทดลอง (Table 4) เช่น การใส่ยิปซัมจะทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเป็น 1,220 และ 1,354 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในช่วง 3 และ 14 วันหลังจากใส่และลดลงหลังจากนั้น ในขณะที่การใส่ CNSC ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเป็น 1,317 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในช่วง 60 วันหลังจากใส่ สำหรับการใส่ปูนขาว ยิปซัม และ CNSC ในอัตราอื่น ๆ ไม่ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดช่วงทำการศึกษ ส่วนใหญ่ต่ำกว่า 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 4)

ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ปูนขาวและยิปซัมและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีควบคุมตลอดช่วงทำการทดลอง (Table 5) โดยเฉพาะการใส่ยิปซัมในอัตรา

50 LR มีปริมาณมากกว่า 15,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือการใส่ปูนขาวในอัตรา 50 LR, ยิปซัมและปูนขาวอัตรา 10 LR ตามลำดับ และการใส่ยิปซัมอัตรา 10 LR ทำให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การเพิ่มอัตรา CNSC ไม่มีผลทำให้ปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น และการใส่ CNSC อัตรา 50 LR ไม่ทำให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม (Table 5)

จะเห็นได้ว่า การใส่ CNSC ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน สอดคล้องกับปริมาณแคลเซียมทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ใน CNSC ที่มีเพียง 0.57 % (Table 2) แต่การใส่ยิปซัมสามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และส่งผลโดยตรงต่อค่า EC แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมแม้จะไปทำปฏิกิริยาบางส่วนกับเหล็กและอะลูมิเนียมในดินแล้วยังมีส่วนของแคลเซียมที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเป็นไอออนที่อยู่อย่างอิสระในสารละลายดิน การที่มีแคลเซียมไอออนละลายอยู่ในดินมากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืช เช่น เกิดภาวะดื้อใช้ธาตุอาหารแบบปฏิปักษ์ (antagonism) ระหว่างแคลเซียมกับ

Table 5. Changing of exchangeable calcium and magnesium after application of lime, FGD gypsum and CNSC at different rates

Treatment	Exchangeable Ca (mg / kg)					Exchangeable Mg (mg / kg)				
	3 DAA [#]	7 DAA	14 DAA	30 DAA	60 DAA	3 DAA	7 DAA	14 DAA	30 DAA	60 DAA
1. Control	949 ^{cd}	676 ^d	588 ^c	1,175 ^c	817 ^d	233 ^b	241 ^b	202 ^{bc}	215 ^c	200 ^c
2. Lime LR	1,312 ^{cd}	1,088 ^d	797 ^c	1,115 ^c	1,254 ^{cd}	218 ^{bc}	238 ^b	199 ^{bc}	214 ^c	216 ^c
3. Gypsum LR	1,308 ^{cd}	1,022 ^d	1,027 ^c	1,168 ^c	1,389 ^{cd}	224 ^b	234 ^b	201 ^{bc}	209 ^{cd}	235 ^c
4. CNSC LR	878 ^{cd}	711 ^d	655 ^c	822 ^c	1,005 ^d	220 ^{bc}	238 ^b	216 ^{bc}	218 ^{bc}	1,156 ^b
5. Lime 10LR	2,822 ^{bc}	3,004 ^c	2,398 ^b	2,811 ^b	2,732 ^{bc}	166 ^d	190 ^c	147 ^c	157 ^e	172 ^c
6. Gypsum 10LR	3,476 ^b	3,554 ^{bc}	3,081 ^b	3,592 ^b	3,700 ^b	173 ^{cd}	201 ^c	165 ^{bc}	197 ^{de}	169 ^c
7. CNSC 10LR	880 ^{cd}	717 ^d	606 ^c	840 ^c	1,149 ^{cd}	225 ^b	231 ^b	149 ^c	236 ^{bc}	1,277 ^b
8. Lime 50LR	3,898 ^b	4,004 ^b	3,695 ^b	3,883 ^b	3,929 ^b	143 ^d	181 ^c	120 ^c	131 ^e	169 ^c
9. Gypsum 50LR	19,920 ^a	21,010 ^a	19,367 ^a	22,100 ^a	15,757 ^a	619 ^a	378 ^a	436 ^a	475 ^a	1,105 ^b
10. CNSC 50LR	816 ^d	660 ^d	593 ^c	719 ^c	1,040 ^{cd}	265 ^b	259 ^b	270 ^b	260 ^b	3,240 ^a
F - test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by Tukey's HSD test

** = Significantly different at $P < 0.01$, [#] = Days after application

โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส และโบรอน ในดิน อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาก็เห็นได้ว่า ยิปซัม เป็นแหล่งแคลเซียมที่สำคัญ ละลายน้ำได้ดี แคลเซียมสามารถเคลื่อนที่ในดินได้ดี และไปทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียม จึงช่วยลดพิษของอะลูมิเนียมที่มีต่อการเจริญเติบโตของรากพืชได้ นิยมใช้ยิปซัมในการปรับสมดุลธาตุโซเดียมในดินเค็ม (Wang *et al.*, 2017; Watt and Dick, 2014) เนื่องจากยิปซัมมีแคลเซียมและกำมะถันเป็นองค์ประกอบหลัก จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในใบทุเรียนและลองกองที่ปลูกในระบบวนเกษตร ของจังหวัดอุดรธานี พบว่าส่วนใหญ่ธาตุอาหารแคลเซียมอย่างชัดเจน และมีปริมาณกำมะถันในดินค่อนข้างต่ำ (Sangmanee *et al.*, 2011, 2018) และแคลเซียมเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ไม่ได้ในพืช ดังนั้น วิธีการที่ได้ผลดีที่สุดคือการใส่ทางดินมากกว่าการฉีดพ่นทางใบ แต่ข้อควรระวังระวังในการใช้ยิปซัมปรับปรุงดิน คือ เป็นสารที่ให้แคลเซียมอย่างเดียว แต่ไม่ปรับค่า pH ดังนั้น จึงควรมีการใช้วัสดุปูนที่มีความสามารถในการปรับค่า pH ก่อนจากนั้นจึงใช้ยิปซัมในปริมาณที่เหมาะสมในช่วงที่พืชต้องการแคลเซียมในปริมาณมาก เช่น ช่วงที่ทุเรียนเริ่มออกดอกซึ่งเป็นช่วงเดียวกับที่ทุเรียนแตกรากอ่อนที่จะสามารถดูดซึมธาตุอาหารในดินได้มากจนถึงช่วงการสร้างผลผลิต

ปริมาณ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาภายหลังจากใส่วัสดุปรับปรุงดิน ในช่วงภายหลังจากใส่ 30 วันแรกการใส่ยิปซัม 50LR ทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และส่วนใหญ่ต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 4) แต่ที่ระยะ 60 วัน พบว่า แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรรมวิธีที่ใส่ CNSC อัตรา 50LR พบแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเป็น 3,240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างจากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือ CNSC อัตรา 10LR และ LR ซึ่งมีปริมาณไม่แตกต่างจากการใส่ยิปซัมอัตรา 50LR และอยู่ในช่วง 1,105 - 1,277 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่กรรมวิธีอื่นมีปริมาณต่ำลงไปอยู่ในช่วงไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 5)

การเพิ่มขึ้นของปริมาณแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้นตามเวลาอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนกันระหว่างแคลเซียม โพแทสเซียม กับแมกนีเซียมในดิน (Table 5)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินทั้งสามชนิดจะเห็นว่า CNSC เป็นถ่านชีวภาพที่มีฤทธิ์เป็นด่างจัด สามารถใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินกรดเป็นวัสดุที่ช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ให้แก่ดิน ทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นได้หากใช้ในอัตรา 10 LR หรือ 11 ตันต่อไร่ จากข้อมูลปริมาณของเศษเหลือของเปลือกเมล็ดในแต่ละปีมีประมาณ 2,880 - 3,120 ตัน (Klaichom *et al.*, 2017) เมื่อนำมาเผาเป็นถ่านชีวภาพ CNSC จะได้ 1,008 - 1,092 ตัน หากนำไปใช้เพื่อปรับปรุงดินกรดในอัตรา 11 ตันต่อไร่ จะใช้ปรับปรุงพื้นที่เพาะปลูกพืชที่มีสภาพเป็นดินกรดเพียง 91 - 99 ไร่ ซึ่งถือว่าใช้ได้กับพื้นที่เพาะปลูกไม่มาก อย่างไรก็ตาม จากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีความพูนสูงและน้ำหนักเบา จึงควรนำมาพัฒนาเป็นสารปรับปรุงดินกรดร่วมกับวัสดุปูน นอกจากนี้ ควรมีการทดสอบต่อถึงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกรณีที่น่า CNSC ไปใช้กับดินที่ปลูกพืชหลากหลายชนิด เนื่องจาก CNSC ยังมีน้ำมันที่หลงเหลือจากการเผา ซึ่งอาจมีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืช หรือมีกลิ่นที่ช่วยไล่ศัตรูพืชในดิน

สรุป

ถ่านชีวภาพจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (cashew nut shell char, CNSC) ที่ได้จากการเผาด้วยสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ พบว่า มีคุณสมบัติเป็นด่างจัดโดยมีค่า pH 10.3 มีคาร์บอนที่เสถียรเป็นองค์ประกอบหลัก 57.71 % และมีโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พบมากที่สุดคือ 3.24 % การศึกษาอัตราการใช้ CNSC ในชุดดินปักษ์งชัย เพื่อการเพิ่ม pH ของดินให้เทียบเท่ากับค่า LR ต้องใช้ CNSC อัตรา 10 เท่าของ LR ทั้งนี้การเพิ่มค่า pH อาจเป็นผลจากบทบาทของโพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของ CNSC การใส่ CNSC ไม่ทำให้ค่า EC เพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใช้ การเพิ่มขึ้นของค่า pH ส่งผลให้การตรึงฟอสฟอรัส

ในดินลดลง ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากการที่ CNSC มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบปริมาณสูงทำให้มีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2560 จากสำนักงานวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่สนับสนุนพื้นที่ทำวิจัย และนายวัฒนา บุ่งตั้ง นายบรริพัฒน์ พุ่มพวง นักศึกษาผู้ช่วยวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Andonaba, J.-B., S.S. Lompo, V. Ouédraogo, F. Ouédraogo, M.S. Ouédraogo, I. Konaté, B. Diallo and A. Traoré. 2017. Skin damage and aesthetic disadvantage observed in women in the hand craft shelling chain of cashew nuts in a factory to Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications* 7: 211-220.
- Chintala, R., J. Mollinedo, T.E. Schumacher, D.D. Malo and J.L. Julson. 2014. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60(3): 393-404.
- Erich, M.S. and T. Ohno. 1992. Titrimetric determination of calcium carbonate equivalence of wood ash. *Analyst* 117(6): 993-995.
- Kaweewong, J. 2018. Using flue gas desulfurization (FGD) gypsum, by-product of coal-fired power plants in agriculture. *King Mongkut's Agricultural Journal* 36(1): 161-172. (in Thai)
- Kaweewong, J., J. Meesumlee and K. Sompuk. 2018. Effects of flue gas desulfurization gypsum on selected soil properties and rice growth cv. Sanpatong 1. *The Golden Teak: Science and Technology Journal* 5(2): 23-35. (in Thai)
- Klaichom, P., G. Intuwong and P. Nathiang. 2017. Participatory technology transfer of CNSL oil extraction for adding value to wasted cashew nut shell from food processing. pp. 271-279. *In: Proceedings of Thailand Research Symposium, Bangkok.* (in Thai)
- Kookana, R.S., A.K. Sarmah, L. van Zwieten, E. Krull and B. Singh. 2011. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. *Advances in Agronomy* 112: 103-143.
- Leksungsoen, P., W. Wisawapipat and D. Ketrot. 2017. Impacts of rice husk biochar on solubility of micronutrients and rice growth cultivated in a calcareous soil. *Songklanakarin Journal of Plant Science* 4(3): 65-74. (in Thai)
- Manaonok, J., S. Gonkhamdee, K. Dejbhimon, W.K. Polpinit and D. Jothiyangkoon. 2017. Biochar: its effect on soil properties and growth of wet-direct seeded rice (a pot trial). *Khon Kaen Agriculture Journal* 45(2): 209-220. (in Thai)
- Novotny, E.H., C.M.B. de Freitas Maia, M.T. de Melo Carvalho and B.E. Madari. 2015. Biochar: Pyrogenic carbon for agricultural use - A critical review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 39(2): 321-344.
- Pearaksa, P. and S. Saeng-ngam. 2018. Effect of biochar application on growth and efficiency of photosynthesis of pepper (*Capsicum annuum* L. cv. Super Hot) under acid soil. *Khon Kaen Agriculture Journal* 46(Suppl. 1): 338-343. (in Thai)

- Raksabo, T., W. Wisawapipat, S. Aramrak and N. Chittamart. 2018. Effects of rice husk ash and biochar on phosphorus fractions in an acid sulfate paddy soil and rice growth. *Songklanakarin Journal of Plant Science* 5(4): 85-99.
- Sangmanee, P., A. Bhromsiri and H. Tamura. 2011. Plant nutrient status of soil in durian and longkong orchards under agroforestry system in Uttaradit province. *Journal of Agriculture* 27(2): 197-208. (in Thai)
- Sangmanee, P., V. Somniyam and P. Chaikla. 2018. Development of plant analysis procedure to assist plant nutrition management for durian. Final report. The Thailand Research Fund, Bangkok. 86 p. (in Thai)
- Siriwal, N. 2011. Improving soil quality with gypsum for agricultural sustainability. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Research Journal 5(1): 118-126.
- Suwanwong, S. 2001. Method of Plant Analysis. Kasetsart University Press, Bangkok. 141 p. (in Thai)
- Therajindakajorn, P. 2009. Handbook of Soil Chemical Analysis. Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen. 169 p. (in Thai)
- Uttaradit Provincial Agriculture and Cooperatives Office. 2019. Agricultural data of Uttaradit province. (Online). Available: <https://www.opsmoac.go.th/uttaradit-home> (December 10, 2019). (in Thai)
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37(1): 29 - 38.
- Wang, S.J., Q. Chen, Y. Li, Y.Q. Zhuo and L.Z. Xu. 2017. Research on saline-alkali soil amelioration with FGD gypsum. *Resources, Conservation and Recycling* 121: 82-92.
- Watts, D.B. and W.A. Dick. 2014. Sustainable uses of FGD gypsum in agricultural systems: introduction. *Journal of Environmental Quality* 43(1): 246-252.
-