ผลของการใส่เถ้าไม้ยางพาราต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวในดินกรด

Effects of Para Rubber Ash Application on Growth and Yield of Rice (*Oryza sativa* indica) Grown in Acidic Soils

ณัฐวุฒิ เอ้งฉ้วน,[1] สุริยา สาสนรักกิจ,[2] จันทร์จรัส วีรสาร[3] และ อรุณศิริ กำลัง[1]*

Nuttavuth Angchuan,[1*] Suriya Sasanarakkit,[2] Janjarus Verasan[3] and Arunsiri Kumlung[1]

ABSTRACT

A large amount of para rubber wood ash is produce as a by-product from biomass energy electricity production system. The ash has a high pH and potassium content. According to the properties, it is potentially be used to improve acid soils. This study consisted of two experiments; the first experiment was conducted in the pots in the greenhouse of Applied Scientific Research Corporation of Thailand (ASRCT), KlongHa, PathumThani. The objective of this experiment was to study the effect of rate of application of the ash on growth and yield of rice grown in acid soils. Experimental design was Completely Randomized Design (CRD) with 4 replications of 6 treatments. Treatment 1, dolomite was applied 600kg./rai. Treatments 2-6 were the different rates of para rubber ash; 300, 600, 900, 1,200, and 1,500 kg./rai, respectively. The results revealed that there was no statistical difference of grain yield as the result of rates between 600-1,500 kg./rai of the ash and dolomite treatments. The available phosphorus and exchangeable potassium in soil under the ash treatments were higher than dolomite treatment. The second experiment was to study the effects of para rubber ash pellet use in combination with chemical fertilizer on growth and yield of rice grown in the acid soil at the experimental field of Rice Department of Thailand, Amphoe Khlong Luang, PathumThani. Experimental design of the second experiment was Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications of 7 treatments: 1) no chemical fertilizer (control), 2) 25 kg./rai of 12-6-6 chemical fertilizer, 3) 50 kg./rai of 12-6-6 chemical fertilizer, 4) 25 kg./rai of 12-6-6 chemical fertilizer + para rubber ash pellet 600 kg./rai, 5) 25 kg./rai of 12-6-6 chemical fertilizer + para rubber ash pellet 1,200 kg./rai, 6) 50 kg./rai of 12-6-6 chemical fertilizer + para rubber ash pellet 600 kg./rai, and 7) 50 kg./rai of 12-6-6 chemical fertilizer + para rubber ash pellet 1,200 kg./rai The 50 kg/rai of 12-6-6 chemical fertilizer is the recommended rate of the Rice Research and Development Institute. The

[1*]ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

[2]สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
Thailand Institute of Scientific and Technology, TambonKhlong Ha, Amphoe KhlongLuang, Pathum Thani 12120, Thailand.

[3]ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Central Laboratory and Greenhouse Complex, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

[*]Corresponding author: Tel.08-5875-9895, E-mail address: tone_2531@hotmail.com

results drawn from the 2nd experiment revealed that the treatments of para rubber ash pellet plus chemical fertilizer (T4-T7) had higher yields than the treatments of chemical fertilizer only (T2,T3).

Key words: rice, para rubber ash, acid soils

บทคัดย่อ

เถ้าไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้จำนวนมากจากโรงผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวล มีค่าพีเอชและปริมาณโพแทสเซียมสูง การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการนำเถ้าไม้ยางพารามาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินกรดเพื่อปลูกข้าว ประกอบด้วย 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 เพื่อศึกษาผลของอัตราการใส่เถ้าไม้ยางพาราต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินที่มีสภาพกรดทำในโรงเรือนปลูกพืชทดลองของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เทคโนธานีคลองห้า จังหวัดปทุมธานี วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ทำ 4 ซ้ำ 6 ตำรับการทดลองคือ ตำรับที่ 1 โดโลไมท์ อัตรา 600 กก./ไร่ ตำรับที่ 2–6 ใส่เถ้าไม้ยางพารา อัตรา 300, 600, 900, 1,200 และ 1,500 กก./ไร่ ตามลำดับ พบว่าผลผลิตข้าวในกลุ่มตำรับเถ้าไม้ยางพารา 600-1,500 กก./ไร่ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับโดโลไมท์ โดยที่ตำรับเถ้าไม้ยางพารา 600 กก./ไร่ ขึ้นไปให้ผลผลิตข้าวมากที่สุด ดินในกลุ่มตำรับทดลองที่ใส่เถ้าไม้มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าตำรับโดโลไมท์ การทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาผลของการใช้เถ้าไม้ยางพาราร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตข้าวในดินกรด ในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยข้าวคลองหลวง ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ทำ 3 ซ้ำ 7 ตำรับการทดลองคือ ตำรับที่ 1ไม่ใส่เถ้าไม้ยางพาราและไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (ตำรับควบคุม) ตำรับที่ 2–7 เป็นตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-6-6 โดยตำรับที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 25 กก./ไร่ ตำรับที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 กก./ไร่ ตำรับที่ 4 และ 5 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 25 กก./ไร่ ร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา 600 และ 1,200 กก./ไร่ ตามลำดับ ตำรับที่ 6 และ 7 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 กก./ไร่ ร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา 600 และ 1,200 กก./ไร่ ตามลำดับ ปุ๋ยเคมีสูตร 12-6-6 อัตรา 50 กก./ไร่ เป็นอัตราแนะนำของสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว (2552) พบว่ากลุ่มตำรับที่มีการใส่เถ้าไม้ยางพาราร่วมกับปุ๋ยเคมี (T4-T7) ให้ผลผลิตสูงกว่ากลุ่มตำรับปุ๋ยเคมี (T2, T3)

คำสำคัญ: ข้าว เถ้าไม้ยางพารา ดินกรด

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงมากเป็นอันดับที่สี่ รองจากน้ำมันดิบ ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ (พิมพ์อนงค์, 2545) การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล เช่น ปีกไม้ยางพารา ทะลายปาล์มเปล่า และไม้ชิ้นสับ ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมาก จะช่วยลดรายจ่ายจากการนำเข้าน้ำมัน และเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้ในประเทศด้วย (กระทรวงพลังงาน, 2549) เถ้าไม้ (wood ash) เป็นสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้ ไม้เนื้อแข็งให้เถ้ามากกว่าไม้เนื้ออ่อน เปลือกไม้ให้เถ้ามากกว่าเนื้อไม้ โดยเฉลี่ยการเผาไม้จะได้เถ้าไม้ 6-10% เถ้าไม้ที่ได้จะมีสมบัติแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดและชิ้นส่วนของไม้ที่นำมาเผา กรรมวิธีหรืออุณหภูมิที่ใช้ในการเผา และการเก็บรักษาเถ้าไม้ (University of Georgia, 2013) Etiegni and Campbell (1991) รายงานว่าเถ้าไม้มากกว่า 80% มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคคาร์บอนที่มีรูพรุนขนาดใหญ่และอนุภาคอนินทรีย์อีกหลายชนิด ส่วนสารประกอบอนินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่เป็นแคลไซต์ ($CaCO_3$) สารประกอบอื่นที่พบได้แก่ ปูน (CaO) รีเบกไดต์($(NaCa)_2 (FeMn)_3 Fe_2 (SiAl)_8$) พอร์ตแลนด์ไดต์ ($Ca(OH)_2$) แคลเซียมซิลิเกต ($Ca_2 SiO_4$) ไฮโดรทัลไซต์ ($Mg_6 Al_{12} CO_3 (OH)_{16} \cdot 4 H_2O$) เซอแรนไดต์ ($(Na(MnCa)_2Si_3O_8(OH))$) เนื่องจากเถ้าไม้มีสมบัติของความเป็นด่างสูง (pH 9.0-13.5) จึงสามารถ

นำมาใช้ทางการเกษตรเพื่อยกระดับ pH ของดินได้ (Demeyer *et al*., 2001; James *et al*., 2012) และยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารที่พืชนั้นดูดใช้จากดินเพื่อการเจริญเติบโตด้วย (Demeyer *et al*., 2001;University of Georgia, 2013)

ดินกรด หมายถึงดินที่มีระดับ pH ต่ำกว่า 7 ซึ่งสภาพกรดด่างของดินมีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช การใส่ปูนเพื่อยกระดับ pH ให้สูงขึ้นถึงจุดที่เหมาะสม เช่น pH 6.5 จึงเป็นเรื่องที่สำคัญเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ดินกรดที่มีค่า pH ต่ำกว่า 5.5 เป็นปัญหาทางด้านการเกษตร ซึ่งความเป็นกรดของดินจะมีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในดิน ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งถ้า pH ของดินน้อยกว่า 5.0 ความเป็นกรดจะมีผลกระทบต่อการละลายของธาตุอาหาร ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และอะลูมิเนียม ดินกรดจัดหรือดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดกำมะถันมีความเป็นกรดจากการออกซิเดชันของไพไรท์ (pyrite, FeS_2) ที่เป็นองค์ประกอบอยู่สูงในดิน เกิดเป็นแร่จาโรไซต์ (Jarosite, $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) ซึ่งมีสีเหลืองคล้ายฟางข้าวและกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ปริมาณมากในดินจนเป็นพิษต่อพืชที่ปลูก ความรุนแรงของกรดต่อพืชขึ้นกับระดับความลึกของจาโรไซต์จากผิวดิน(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; กรมพัฒนาที่ดิน,2543.) พื้นที่ดินกรดจัดในประเทศไทย มีอยู่ประมาณ 9 ล้านไร่ และประมาณ 5 ล้านไร่ อยู่ในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง ครอบคลุมพื้นที่ทำนาของหลายจังหวัดในภาคกลาง (กรมการข้าว, 2546) แม้ pH ที่เหมาะสมต่อข้าวอยู่ที่ 5.1-5.5 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) แต่ถ้าดินเป็นดินเปรี้ยวจัด pH $\leq$ 5.0 มักให้ผลผลิตต่ำ การจัดการดินกรดเพื่อให้สามารถปลูกข้าวให้ผลผลิตได้เป็นที่น่าพอใจอาจทำโดยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยการใส่ปูน รวมทั้งการจัดการปุ๋ยเคมีที่ถูกต้อง (กรมการข้าว, 2546)

โรงไฟฟ้าเศษไม้ขนาดใหญ่ที่สุดแห่งแรกของประเทศไทย คือ โรงไฟฟ้ากัลฟ์ยะลากรีน ตั้งอยู่ที่ ต.พร่อน อ.เมือง จ.ยะลา มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 23 เมกะวัตต์ต่อวัน ได้จ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเมื่อปี พ.ศ.2549 โดยใช้เศษไม้ยางพาราประมาณ 700 ตันต่อวันเป็นเชื้อเพลิง เถ้าไม้ยางพาราที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้ากำจัดโดยการฝังกลบ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2550) จากปัญหาเถ้าไม้ยางพาราปริมาณเพิ่มมากขึ้นจึงต้องหาวิธีการจัดการที่เหมาะสม การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราการใส่เถ้าไม้ยางพาราต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว และผลของการใช้เถ้าไม้ยางพาราร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตข้าวในดินกรด

อุปกรณ์และวิธีการ

เถ้าไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดลองนำมาจากโรงไฟฟ้ากัลฟ์ยะลากรีนมีสมบัติดังแสดงใน Table 1

Table 1 Analysis of the para rubber ash from Gulf Yala Green biomass power plant.

Properties	Analysisresult	Properties	Analysisresult
pH 1:10[1/]	10.86	soluble Na (%)	0.05
EC 1:10 (dS/m)[2/]	29.80	soluble N (mg/kg)	254.01
organic matter, OM[3/](%)	3.00	soluble P (mg/kg)	31.79
total N (%)[4/]	0.04	soluble K (%)	10.93
total P (%)[5/]	2.45	soluble Ca (mg/kg)	100.30
total K (%)[6/]	15.91	soluble Mg (mg/kg)	487.79
total Ca (%)[6/]	21.08	moisture (%)	8.24
total Mg (%)[6/]	2.94	density (g/cm^3)	0.60

[1/]1:10 soil/water measured by pH meter;[2/]1:10 soil/water measured by conductivity meter; [3/]Walkley and Black method; [4/]micro Kjeldahl; [5/]acid digestion measured by UV-VIS spectrophotometer; [6/]acid digestion measured by atomic spectrophotometer

1. การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ศึกษาผลของอัตราการใส่เถ้าไม้ยางพาราต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด ทำโดยตรวจวัดระดับ pH ของดินจากอิทธิพลของเถ้าไม้ยางพารา โดยผสมดินที่มีความเป็นกรดในระดับ pH 4.12 และ 5.68 กับเถ้าไม้ยางพาราที่อัตราต่างๆ ได้แก่ ชั่งเถ้าไม้ยางพาราอัตรา 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1,000, 1500, 2000, 2500 และ 3,000 กก./ไร่ (เท่ากับ 0, 0.0064, 0.0128, 0.0192, 0.0256, 0.0320, 0.0384, 0.0448, 0.0512, 0.0576, 0.0640, 0.0960, 0.1280, 0.1600 และ0.1920 กรัมต่อ 20 กรัมดิน ตามลำดับ สำหรับดินที่มีค่า pH 4.12 และชั่งเถ้าไม้ยางพาราอัตรา 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 และ 1,000 กก./ไร่ (เท่ากับ 0, 0.0064, 0.0128, 0.0192, 0.0256, 0.0320, 0.0384, 0.0448, 0.0512, 0.0576 และ 0.0640 กรัมต่อ 20 กรัมดิน ตามลำดับ สำหรับดินที่มีค่า pH 5.68 ใส่ในขวดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 10.5 เซนติเมตร ชั่งดินจำนวน 20 กรัมใส่ลงในขวดแก้วที่มีเถ้าอัตราต่างๆ ที่กำหนด ทำ 3 ซ้ำ เติมน้ำกลั่นให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน ดินจะอยู่ในสภาพดินเลนปิดปากขวดแก้วและรักษาความชื้นอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 4 วัน วัดค่า pH ในดินที่บ่มด้วยเถ้าไม้ยางพารา

2. การทดลองในโรงเรือนปลูกพืชทดลอง

ศึกษาผลของอัตราการใส่เถ้าไม้ยางพาราต่อของการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ทำโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) กระทำ 4 ซ้ำ ประกอบด้วยตำรับการทดลอง 6 ตำรับ ดังนี้ ตำรับที่ 1 ใส่โดโลไมท์ อัตรา 600 กก./ไร่ เพื่อยกระดับ pH ดินขึ้นมาเป็น 5.5ด้วยวิธีของ Dunn (1943) ตำรับที่ 2–6 ใส่เถ้าไม้ยางพาราอัตรา 300, 600, 900, 1,200 และ 1,500กก./ไร่ ตามลำดับ ดินที่ใช้ทดลองเป็นดินจากแปลงทดลองของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี (Table 2) นำดินใส่กระถางๆละ 8 กก. ผสมกับเถ้าไม้ยางพาราในอัตราต่างๆ ตามตำรับการทดลอง รดน้ำในกระถางแล้วทำการคลุกเคล้าให้อยู่ในสภาพดินนา เพาะเมล็ดข้าวพันธุ์ กข31 ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง (กรมการข้าว, 2546) ในกระบะเพาะกล้า เมื่อกล้าข้าวมีอายุ 15 วัน (มีใบจริงประมาณ 2-3 ใบ) จึงถอนแยกกล้าข้าวที่แข็งแรงไปปักดำกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว กระถางละ 2 ต้น รดน้ำในกระถางให้อยู่ในสภาพดินนาจนต้นข้าวออกรวงจนสุกแก่ เก็บเกี่ยวข้าวที่อายุ 105 วันหลังปักดำ บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าว ผลผลิต และคุณสมบัติทางเคมีดินหลังเก็บเกี่ยว

3. การทดลองในแปลงทดลอง

นำผลจากการทดลองที่ 2 มาพิจารณากำหนดอัตราใส่เถ้าไม้ยางพาราในแปลงนาทดลอง 2 อัตรา คือ 600 และ 1,200 กก./ไร่ เพื่อศึกษาผลของการใส่เถ้าไม้ยางพาราร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าว โดยการนำเถ้าไม้ยางพารามาอัดเม็ดและใช้ในการทดลองในแปลงทดลอง ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและสุขอนามัยของผู้ใช้ วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) กระทำ 3 ซ้ำ ประกอบด้วยตำรับทดลอง 7 ตำรับดังนี้ตำรับที่ 1 ชุดควบคุม ไม่ใส่เถ้ายางพาราและไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ตำรับที่ 2–7 เป็นการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-6-6 โดยตำรับที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 25 กก./ไร่ ตำรับที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 กก./ไร่ ตำรับที่ 4 และ 5 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 25 กก./ไร่ ร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา 600 และ 1,200 กก./ไร่ ตามลำดับตำรับที่ 6 และ 7 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 กก./ไร่ ร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา 600 และ1,200 กก./ไร่ ตามลำดับ ปุ๋ยเคมีสูตร 12-6-6 อัตรา 50 กก./ไร เป็นอัตราแนะนำการใส่ปุ๋ยสำหรับข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง ในเขตพื้นที่นาชลประทานภาคกลางของสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว (กรมการข้าว,2546) ทดลองในแปลงนาทดลองของศูนย์วิจัยข้าวคลองหลวง ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี (Table 2) แปลงทดลอง

ย่อยมีขนาด 3x6 ตร.ม. เตรียมดินโดยการไถดะและไถแปรให้อยู่ในสภาพดินนา ใส่เถ้าไม้ยางพาราอัดเม็ดในอัตราต่างๆตามตำรับการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ กข 31 ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง (กรมการข้าว, 2546) โดยการปักดำกล้าข้าวอายุ 24 วันแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 3 ครั้ง ครั้งละเท่าๆ กัน ที่ระยะ 25 วันและ 45 วันหลังปักดำ ส่วนปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทชใส่เพียงครั้งเดียวหลังปักดำ ปฏิบัติและดูแลรักษาตามคำแนะนำสำหรับการปลูกข้าวของศูนย์วิจัยข้าวคลองหลวง จ.ปทุมธานี เก็บเกี่ยวที่อายุ 119 วัน บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าว ผลผลิต และคุณสมบัติทางเคมีดินหลังเก็บเกี่ยว

Table 2 Chemical analysisof the experimental soil before planting.

Properties	Greenhouse experiment	Field experiment
pH (1:1)[1/]	4.80	5.04
EC_e (dS/m)[2/]	0.69	0.52
Organic Matter (%)[3/]	2.05	1.71
Available P (mg/kg)[4/]	28.48	18.46
Exchangeable K (mg/kg)[5/]	30.19	95.45
Extractable Ca (mg/kg)[5/]	1033.65	2322.42
Extractable Mg (mg/kg)[5/]	246.57	474.58
Extractable Na (mg/kg)[5/]	75.35	338.35
CationExchange Capacity, CEC ($cmol_C/kg$) [5/]	20.80	20.96
Base saturation percentage (%BS)	36.50	42.10

[1/]1:1 soil/water measured by pH meter;[2/]saturated soil water measure by conductivity meter; [3/]Walkley and Black method; [4/] Bray II extraction;[5/]CH_3COONH_4 pH 7.0 extraction

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ค่า pH ของดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดที่หมักกับเถ้าไม้ยางพาราที่อัตราต่างๆ (0-1,000 และ 0-3,000 กก./ไร่ ตามลำดับ) ที่ระดับความชื้นสนามเป็นเวลา 4 วัน (Figure 1) เห็นได้ว่าปริมาณเถ้าไม้ยางพาราที่ใช้ยกระดับ pH ของดินกรดมีความแตกต่างกันขึ้นกับค่า pH ของดิน การยกระดับ pH ของดินจาก 5.68 ขึ้นมาเป็น 6.5 ใช้เถ้าไม้ยางพาราประมาณ 200 กก./ไร่ การยกระดับ pH ของดินจาก 4.12 ขึ้นมาเป็น 5.5 ใช้เถ้าไม้ยางพาราประมาณ 3 ตัน/ไร่ อย่างไรก็ตามพบว่าเถ้าไม้ยางพาราอัตรา 200 กก./ไร่ สามารถยกระดับ pH ของดินจาก 4.12 ให้เป็น 4.6 ในวันแรกของการหมัก หลังจากนั้นก็ปรับเปลี่ยนลดลงเป็น 4.2 ในวันที่ 4 ของการหมัก Ulery *et.al*. (1993) รายงานว่าเถ้าไม้จะเกิดปฏิกิริยาและยกระดับ pH ของดินได้เร็ว จากความสามารถในการสะเทินกรดของออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และคาร์บอเนตของ K และ Na ซึ่งละลายน้ำได้ง่ายแต่ไม่คงอยู่ในดินได้นาน ส่วนแคลไซต์ซึ่งละลายน้ำได้น้อยกว่ามากจะช่วยให้ความเป็นด่างกับดินและอาจคงอยู่ในดินได้นานถึง 3 ปี

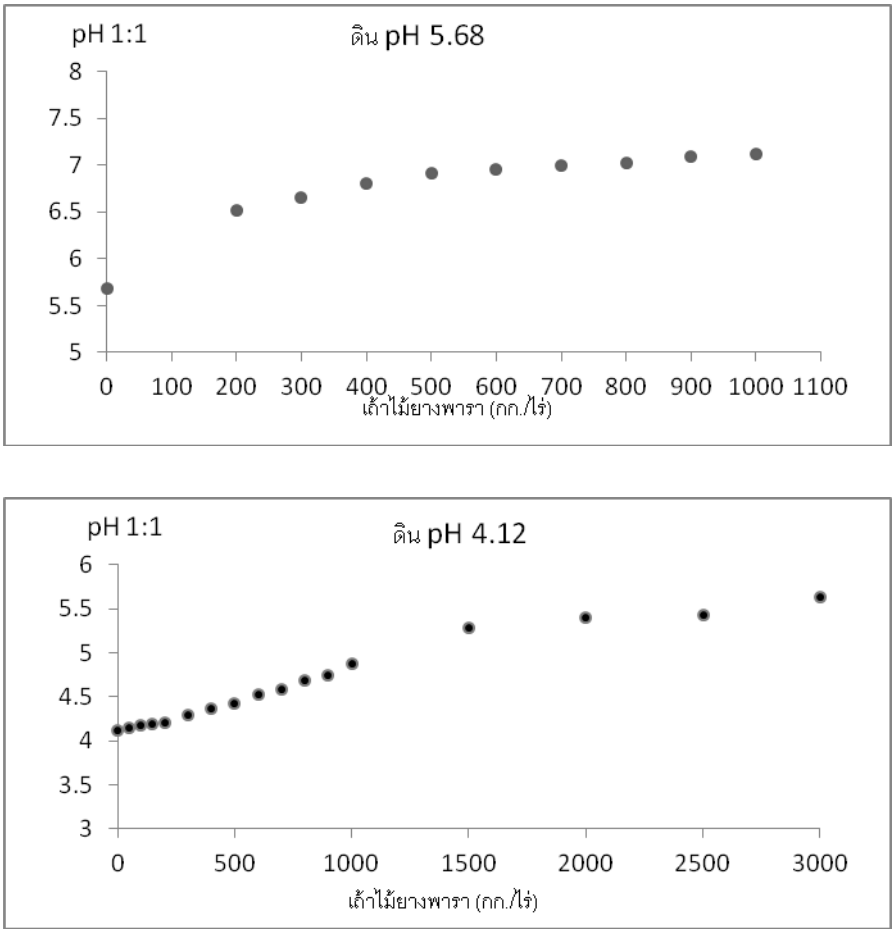

Figure 1 The pH of incubated soil with different rates of para rubber ash

2. ผลการทดลองในโรงเรือนปลูกพืชทดลอง

2.1 การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์ กข31

ผลของตำรับทดลองต่อความสูงของต้นข้าวพันธุ์ กข31 (Table 3) พบว่าในช่วงข้าวอายุ 15-45 วันหลังปักดำมีความสูงที่แตกต่างทางสถิติ โดยตำรับโดโลไมท์ (T1) ต้นกล้ามีการพัฒนาความสูงช้ากว่ากลุ่มตำรับที่ใส่เถ้าไม้ยางพารา แต่ในช่วง 75-90 วันหลังปักดำ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติของความสูงข้าวในทุกตำรับทดลองส่วนการแตกกอ (Table 4) พบว่าจำนวนหน่อต่อกระถางสูงสุดเมื่อข้าวอายุ 45 วันหลังปักดำโดยที่ในช่วงข้าวอายุ 15-17 วัน หลังปักดำ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติของจำนวนหน่อต่อกระถางแต่มีความแตกต่างทางสถิติของจำนวนหน่อต่อกระถางที่ข้าวอายุ 90 วัน โดยตำรับเถ้าไม้ยางพารา 300 กก./ไร่ (T2) มีจำนวนหน่อน้อยที่สุด และมีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับเถ้าไม้ยางพารา 1,200 กก./ไร่ (T5) แต่เมื่อวิเคราะห์ผลของตำรับทดลองต่อน้ำหนักตอซังเมื่อเก็บเกี่ยว (ที่อายุ 150 วัน) พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติของน้ำหนักตอซังต่อกระถาง (Table 5)

ผลของตำรับทดลองต่อผลผลิตข้าวพันธุ์ กข31 (Table 5) พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติโดยตำรับเถ้าไม้ยางพารา 300 กก./ไร่ (T2) มีผลผลิตข้าวน้อยที่สุด และผลผลิตข้าวเพิ่มมากที่สุดในตำรับเถ้าไม้ยางพารา 600 กก./ไร่ (T3) โดยผลผลิตข้าวมีค่าลดลงเมื่ออัตราการใส่เถ้าไม้ยางพาราเท่ากับและมากกว่า 900 กก./ไร่ (T4-T6) ทั้งนี้ผลผลิตข้าวในกลุ่มตำรับมีการผสมเถ้าไม้ยางพารา 600-1,500 กก./ไร่ (T3-T6) นี้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับผลผลิตข้าวในตำรับโดโลไมท์ (T1) Clapham and Zibilske (1992) รายงานว่าการใช้เถ้าไม้อย่างเหมาะสมจะเป็นวัสดุปรับปรุงดิน

ที่ให้ประโยชน์อื่นเสริมมากกว่าการใช้เพียงเพื่อแทนที่ปูน

สำหรับสัดส่วนเมล็ดต่อตอซัง พบว่าเฉพาะตำรับ T2 (ใส่ขี้เถ้าอัตรา 300 กก./ไร่) ซึ่งมีค่าต่ำสุดจะแสดงความแตกต่างทางสถิติกับ T3 และ T5 (ขี้เถ้าอัตรา 600 และ 1,200 กก./ไร่) เท่านั้น ส่วนตำรับที่ใส่เถ้าตั้งแต่ 600-1,500 กก./ไร่ (T3-T6) และตำรับที่ใส่เฉพาะโดโลไมท์ (T1) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด (Table 5)

Table 3 Height of RD31 rice variety at different growth ages of plant (days after transplanting).

Treatment	Height (cm)				
	15 days	30 days	45 days	75 days	90 days
T1 dolomite600 kg/rai	23.25^{bc}	51.31^{b}	74.00^{b}	91.63	95.50
T2 ash 300 kg/rai	26.13^{ab}	59.50^{a}	81.75^{ab}	94.13	95.50
T3 ash 600 kg/rai	22.88^{c}	55.88^{ab}	78.44^{ab}	93.75	95.50
T4 ash 900 kg/rai	26.44^{a}	57.63^{ab}	78.25^{ab}	95.75	96.38
T5 ash 1,200 kg/rai	25.31^{abc}	57.25^{ab}	80.75^{ab}	94.50	94.63
T6 ash 1,500 kg/rai	25.25^{abc}	59.63^{a}	83.00^{a}	97.75	98.13
F-test	*	**	**	ns	ns
CV (%)	8.45	5.45	4.92	5.82	3.65

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly (p>0.05)

ns = non-significant at p=0.05 * = significant at p<0.05 ** = highly significant at p<0.01

Table 4 Tilleringof RD31 rice variety at different ages of plant (days after transplanting).

Treatment	Tiller/pot (number)				
	15 days	30 days	45 days	75 days	90 days
T1 dolomite600 kg/rai	1.00	7.88	16.38	15.75	14.75^{ab}
T2 ash 300 kg/rai	1.00	9.75	17.38	13.63	12.75^{b}
T3 ash 600 kg/rai	1.00	9.75	17.88	15.38	14.75^{ab}
T4 ash 900 kg/rai	1.00	9.13	16.63	14.38	13.75^{ab}
T5 ash 1,200 kg/rai	1.00	10.50	18.50	16.13	15.13^{a}
T6 ash 1,500 kg/rai	1.00	11.13	19.00	14.63	14.85^{ab}
F-test	ns	ns	ns	ns	*
CV (%)	0	26.44	15.52	11.69	10.38

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly (p>0.05)

ns = non-significant at p=0.05 * = significant at p<0.05 ** = highly significant at p<0.01

Table 5 Fresh straw weight, grain yield (11% wet basis) and grain/straw ratio of RD31 rice variety at harvest.

Treatment	Fresh straw weight (g/pot)	Grain yield (g/pot)	Grain/Straw ratio
T1 dolomite600 kg/rai	99.08	27.98^{ab}	0.24^{ab}
T2 ash 300 kg/rai	105.63	21.31^{b}	0.20^{b}
T3 ash 600 kg/rai	119.08	33.13^{a}	0.28^{a}
T4 ash 900 kg/rai	106.01	27.08^{ab}	0.26^{ab}
T5 ash 1,200 kg/rai	94.64	27.26^{ab}	0.29^{a}
T6 ash 1,500 kg/rai	96.55	26.43^{ab}	0.27^{ab}
F-test	ns	*	*
CV (%)	29.63	36.68	23.65

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly (p>0.05)
ns = non-significant at p=0.05 * = significant at p<0.05 ** = highly significant at p<0.01

2.2 คุณสมบัติดินในกระถางหลังการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ กข31

คุณสมบัติทางเคมีของดินในกระถางหลังเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ กข31 (Figure 2) พบว่ากลุ่มตำรับที่มีการใส่เถ้าไม้ยางพารา (T2-T6) มีค่า pH ของดินอยู่ในช่วง 4.94-6.78 โดยค่า pH จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการใส่เถ้าไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น ตำรับที่ใส่เถ้าไม้ยางพาราเท่ากับและมากกว่า 600 กก./ไร่ (T3-T6) สามารถยกระดับ pH ของดินได้เทียบเท่าและมากกว่าตำรับที่ใส่โดโลไมท์ (T1) ตำรับที่ใส่เถ้าไม้ยางพารา 1,500 กก./ไร่ (T6) มีค่า ECeเท่ากับ 0.69 ค่อนข้างสูงที่สุดแต่ไม่ถึงระดับที่มีผลต่อพืช โดยพบว่ามีค่า 1.02 dS/m กลุ่มตำรับที่ใส่เถ้าไม้ยางพารามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังการเก็บเกี่ยวมากกว่าดินในตำรับที่ใส่โดโลไมท์

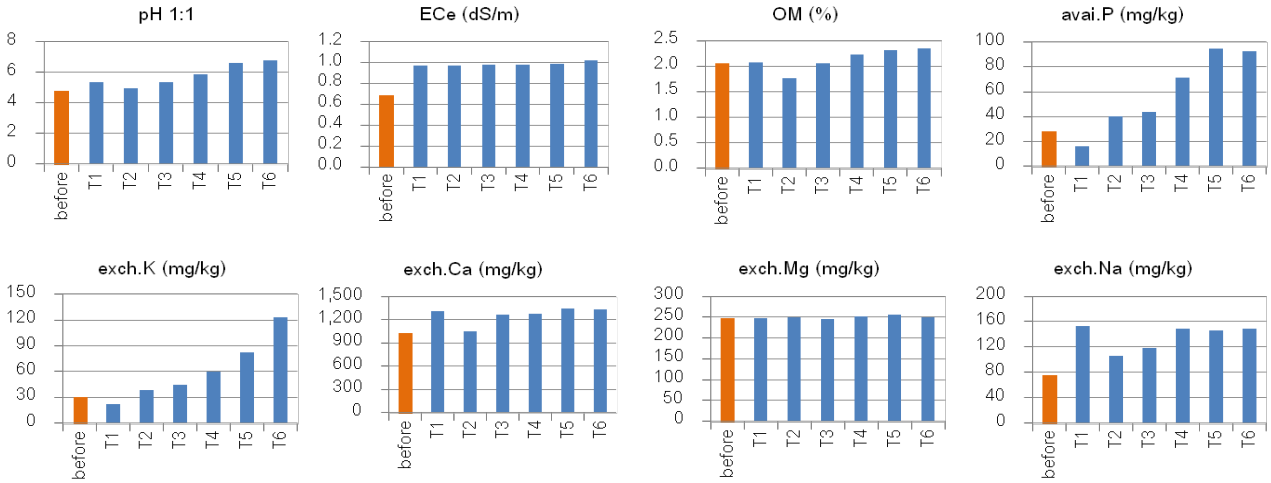

Figure 2 Chemical analysis of the greenhouse experimental soil after harvesting.

3. ผลการทดลองในแปลงนาทดลอง

3.1 การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ กข31

ผลของตำรับทดลองต่อความสูงของต้นข้าวพันธุ์ กข31 (Table 9) พบว่าที่ระยะแตกกอสูงสุดมีความแตกต่างทางสถิติ โดยตำรับปุ๋ยเคมี 50 กก./ไร่ ร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา 1,200 กก./ไร่ (T7) ข้าวมีความสูงสุดส่วนที่ระยะเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยกลุ่มตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าไม้ยางพาราอัตราต่างๆ (T4-T7) และ (T2) มีความสูงของต้นมากกว่าตำรับควบคุม (T1) และ (T3)

Table 9 Height of RD31 rice variety in field experimental at different stages of plant.

Treatment	Plant height (cm)	
	Maximum tillering	Harvest
T1 control	66.6 [ab]	121.60 [ab]
T2 CF 25 kg/rai	63.9 [b]	123.57 [a]
T3.CF 50 kg/rai	65.7 [ab]	117.10 [b]
T4 CF 25 kg/rai + ash600 kg/rai	66.5 [ab]	124.73 [a]
T5 CF 25 kg/rai + ash 1,200 kg/rai	66.7 [ab]	126.60 [a]
T6 CF 50 kg/rai + ash600 kg/rai	67.6 [ab]	122.97 [a]
T7 CF 50 kg/rai + ash 1,200 kg/rai	68.1 [a]	126.67 [a]
F-test	*	**
% CV	3.09	2.16

CF = chemical fertilizer 12-6-6

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly (p>0.05)

ns = non-significant at p=0.05 * = significant at p<0.05 ** = highly significant at p<0.01

ผลของตำรับทดลองต่อการแตกกอของต้นข้าวพันธุ์ กข31 (Table 10) พบว่าที่ระยะแตกกอสูงสุดมีความแตกต่างทางสถิติโดย ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-6-6 อัตรา 50 กก./ไร่ (T3) กลุ่มตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา (T4-T7) และตำรับควบคุม (T1) มีการแตกกอของข้างสูงกว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-6-6 อัตรา 25 กก./ไร่ (T2)

Table 10 Tiller/hill of RD31 rice variety in field experimental at different stages of plant

Treatment	Tiller/hill (number)	
	Maximum tillering	Harvest
T1 control	**8.8** [a]	**11.13**
T2 CF 25 kg/rai	8.3 [b]	11.33
T3.CF 50 kg/rai	8.6 [ab]	11.16
T4 CF 25 kg/rai + ash600 kg/rai	8.4 [ab]	11.37
T5 CF 25 kg/rai + ash 1,200 kg/rai	8.7 [ab]	11.20
T6 CF 50 kg/rai + ash600 kg/rai	8.5 [ab]	11.03
T7 CF 50 kg/rai + ash 1,200 kg/rai	8.6 [ab]	11.37
F-test	*	ns
% CV	2.59	1.93

CF = chemical fertilizer 12-6-6

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly (p>0.05)

ns = non-significant at p=0.05 * = significant at p<0.05 ** = highly significant at p<0.01

ผลของตำรับทดลองต่อผลผลิตข้าวพันธุ์กข31 (Table 11) พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยตำรับควบคุมซึ่งไม่มีการใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตน้อยที่สุด (778 กก./ไร่) กลุ่มตำรับที่มีการใส่เถ้าไม้ยางพาราร่วมกับปุ๋ยเคมี (T5-T6) ให้ผลผลิตสูงกว่ากลุ่มตำรับปุ๋ยเคมี (T2,T3) โดยตำรับใส่ปุ๋ยเคมี 25 กก./ไร่ร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา 1,200 กก./ไร่ ให้ผลผลิตสูงที่สุดในกลุ่มตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (T2, T3) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราปุ๋ยเคมีมีผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น แต่ในกลุ่มตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา (T4-T6) พบว่าการเพิ่มขึ้นของเถ้าไม้ยางพาราจาก 600 กก./ไร่ เป็น 1,200 กก./ไร่ เมื่อใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 25 กก./ไร่ (T4,T5) ให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีความแตกต่างทางสถิติ แต่เมื่อใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 50 กก./ไร่ (T5,T6) ให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อคิดเป็นผลผลิตสัมพัทธ์เทียบกับตำรับควบคุม พบว่า ตำรับปุ๋ยเคมี 25 กก./ไร่ (T2) ตำรับปุ๋ยเคมี 50 กก./ไร่ (T3) และตำรับปุ๋ยเคมี 25 กก./ไร่ ร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา 1,200 กก./ไร่ (T5) มีผลผลิตสัมพัทธ์ 9.4, 15.4% และ 23.2% ตามลำดับ เห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในอัตราครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำให้ผลผลิตลดลงจากอัตราแนะนำ 6% และเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา 1,200 กก./ไร่ ให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในอัตราแนะนำ 7.8%

Table11 Yield of RD31 rice variety at harvest.

Treatment	Yield (kg/rai)
T1 control	778.00 [e]
T2 CF 25 kg/rai	851.33 [d]
T3.CF 50 kg/rai	898.00 [c]
T4 CF 25 kg/rai + ash600 kg/rai	926.67 [b]
T5 CF 25 kg/rai + ash1,200 kg/rai	960.00 [a]
T6 CF 50 kg/rai + ash600 kg/rai	936.33 [a]
T7 CF 50 kg/rai + ash1,200 kg/rai	951.00 [a]
F-test	**
% CV	1.60

CF = chemical fertilizer 12-6-6

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly (p>0.05)

ns = non-significant at p=0.05 * = significant at p<0.05 ** = highly significant at p<0.01

3.2 สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูก

จากการทดลองในระดับแปลงนาที่ศูนย์วิจัยข้าวคลองหลวง มีค่าพีเอชของดินก่อนการทดลอง 5.04 จัดเป็นกรดแก่ เมื่อใส่เถ้าไม้ยางพาราอัดเม็ดตามตำรับพบว่าดินหลังเก็บเกี่ยวจะมีค่าพีเอชของดินปริมาณอินทรียวัตถุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีแนวโน้มสูงขึ้นตามอัตราการใส่ของเถ้าไม้ยางพาราในแต่ละตำรับการทดลอง

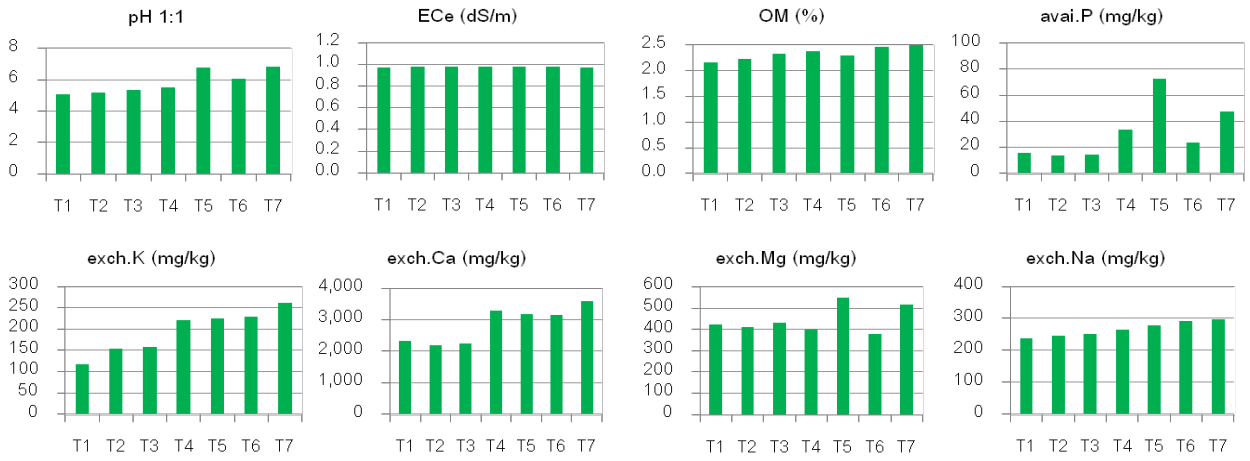

Figure 3 Chemicalanalysis of the field experimental soil after harvesting.

สรุปผลการทดลอง

1. ผลของอัตราการใส่เถ้าไม้ยางพาราต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ที่ปลูกในดินที่มีสภาพเป็นกรดในกระถางภายใต้สภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลองและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยว พบว่าผลผลิตข้าวที่ได้รับเถ้าไม้ยางพารา 600 กก./ไร่ ให้ค่าผลผลิตข้าวสูงสุด ส่วนตำรับเถ้าไม้ยางพารา 900-1,200 กก./ไร่ ไม่มีความแตกต่างทางสถิตินอกจากนี้พบว่าในดินหลังเก็บเกี่ยวมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าตำรับโดโลไมท์

2. ผลของการใส่เถ้าไม้ยางพาราอัดเม็ดร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินที่มีสภาพเป็นกรดในแปลงนาทดลองและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวพบว่ากลุ่มตำรับที่มีการใส่เถ้าไม้ยางพาราร่วมกับปุ๋ยเคมี ให้ผลผลิตสูงกว่ากลุ่มตำรับปุ๋ยเคมี โดยตำรับใส่ปุ๋ยเคมี 25 กก./ไร่ ร่วมกับเถ้าไม้ยางพารา 1,200 กก./ไร่ ให้ค่าผลผลิตสูงที่สุดและพบว่าการใส่เถ้าไม้ยางพาราทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้นรวมทั้งธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์มีปริมาณเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย จากภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2546. การพัฒนาการผลิตข้าวในพื้นที่ดินเปรี้ยว. กรมการข้าว, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมการข้าว. 2546.พันธุ์ข้าว. แหล่งที่มา: http://www.brrd.in.th/rkb/varieties/index.php.htm, 2 กรกฎาคม 2558.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2541. การจำแนกความเหมาะสมของดินสำหรับพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย.เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 442. กองสำรวจและจำแนกดิน,กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กรมพัฒนาที่ดิน. 2543. คู่มือการจัดการดินเปรี้ยวภาคกลาง. กลุ่มวิชาการเพื่อการพัฒนาที่ดิน, สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กระทรวงพลังงาน. 2549. พลังงานชีวมวล. กลุ่มพลังงานชีวมวล, สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน.

คณาจารย์ ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

พิมพ์อนงค์ ริมสินธุ. 2545. ประโยชน์ของ

โรงไฟฟ้าชีวมวล. แหล่งที่มา: http://www.enertric.com/t0103/index.php?pgid=0007, 1 กรกฎาคม 2556.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2550. มาตรการสนับสนุนพลังงานหมุนเวียน. จดหมายข่าวมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม 7(7). แหล่งที่มา :http://www.efe.or.th/efe-book.php?task=20&sessid=&page=4, 2 กรกฎาคม 2556.

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว.2552. คู่มือการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในการปลูกข้าว. 49 น. กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Clapham, W.M. and L.M. Zibilske.1992. Wood ash as a liming amendment. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 23: 1209-1227.

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

Dunn, L.E. 1943. Lime requirement determination of soils by means of

Etiegni, L. and A.G. Campbell. 1991. Physical and chemical characteristics titration curves. Soil Sci. 56: 341–351.

of wood ash. Biores. Technol. 37:173-178.

James, A.K., W. R.W. Thring, S. Helle and H.S. Ghuman. 2012. Ash management review-applications of biomass bottom ash. Energies 5: 3856-3873.

Ulery, Y.L., R.C. Graham and C. Amrhein. 1993. Wood-ash composition and soil pH following intense burning. Soil Sci. 156: 358-364.

University of Georgia. 2013. Best management practices for wood ash as agricultural soil amendment. UGA Cooperative Extension Bulletin1142.

Received 25 August 2015

Accepted 30 December 2015