การใช้ประโยชน์กากตะกอนจากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อผลผลิตมวลชีวภาพของกระถินเทพาที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสนและสมบัติของดิน

Utilization of Activated Sludge Cake from Central Waste Water Treatment of Saha Group Industrial Park on Biomass Yield of Kra Thin Saba (*Acacia mangium* Willd.) Planted in Kamphaeng Saen Series and Soil Properties

อนุรักษ์ ภู่ระหงษ์[1] ชัยสิทธิ์ ทองจู[1*] ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย[1] กนกกร สินมา[1]
สิรินภา ช่วงโอภาส[1] เกวลิน ศรีจันทร์[1] อัญธิชา พรมเมืองคุก[1] สุชาดา กรุณา[1] จีรนันท์ นิติเศรษฐ์[1]
ศิริสุดา บุตรเพชร[1] ชาลินี คงสุด[2] ธรรมธวัช แสงงาม[2] และ ธีรยุทธ คล้ำชื่น[3]

Anurak Phoorahong[1], Chaisit Thongjoo[1*], Tawatchai Inboonchuay[1], Kanokkorn Sinma[1],
Sirinapa Chungopast[1], Kavalin Srichan[1], Aunthicha Phommuangkhuk[1], Suchada Karuna[1]
Chiranan Nitiset[1], Sirisuda Bootpetch[1], Chalinee Khongsud[2], Thamthawat Saengngam[2]
and Teerayut Klumchaun[3]

บทคัดย่อ

ศึกษาการใช้ประโยชน์กากตะกอนจากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อผลผลิตมวลชีวภาพของกระถินเทพาที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน และสมบัติของดิน โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ และ 10 ตำรับทดลอง ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ มีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนต้น และมวลชีวภาพสดรวมของกระถินเทพามากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ มีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนต้นและมวลชีวภาพแห้ง

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

[2] ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

[3] คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130
Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130

รวมของกระถินเทพามากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ อย่างไรก็ตาม ทุกตำรับทดลองมีผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B, C และ D อัตรา 1,000 กก./ไร่ ขณะที่ทุกตำรับทดลองยังมีผลให้ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A, B, C และ D อัตรา 1,000 กก./ไร่

คำสำคัญ: กระถินเทพา, ปุ๋ยอินทรีย์, มวลชีวภาพ, วัสดุเหลือใช้

Abstract

This investigation aimed to study the utilization of activated sludge cake from Central Waste Water Treatment of Saha Group Industrial Park on biomass yield of Kra Thin Saba (*Acacia mangium* Willd.) planted in Kamphaeng Saen series and soil properties. The experimental design was arranged in Randomized Complete Block (RCBD) with 3 replications and consisted of 10 treatments. The experimental design was arranged in Randomized Complete Block (RCBD) with 3 replications and consisted of 10 treatments. The results showed that the application of OF-B of 500 kg/rai in combination with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 500 kg/rai of the OF-B provided the highest of stem fresh biomass and total fresh biomass which was not significantly difference from the application of OF-B of 1,000 kg/rai and the application of OF-D of 500 kg/rai in combination with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 500 kg/rai of the OF-D. Furthermore, the application of OF-B of 500 kg/rai in combination with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 500 kg/rai of the OF-B provided the highest of stem dry biomass and total dry biomass which was not significantly difference from the application of OF-B of 1,000 kg/rai. However, all treatments were affected on increase of organic matter of soil which indicated significant difference at $P < 0.05$ in the application of OF-B, OF-C and OF-D of 1,000 kg/rai. While, all treatments were affected on increase of the exchangeable Na of soil which indicated significant difference at $P < 0.05$ in the application of OF-A, OF-B, OF-C and OF-D of 1,000 kg/rai.

Keyword: Kra Thin Saba (*Acacia mangium* Willd.), organic fertilizer (OF), biomass, waste materials

* Corresponding author; E-mail address: **agrcht@ku.ac.th และ thongjuu@yahoo.com**

คำนำ

กระถินเทพา (*Acacia mangium* Willd.) เป็นไม้เศรษฐกิจที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศออสเตรเลีย เนื้อไม้เหมาะกับการผลิตเป็นไม้อัด วงกบประตู หน้าต่าง เฟอร์นิเจอร์ อีกทั้งยังใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดี เพราะมีค่าความร้อนสูงในช่วง 4,800-4,900 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม นอกจากนี้ สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ เพราะมีคุณภาพใกล้เคียงกับเยื่อที่ได้จากไม้ยูคาลิปตัส (Logan and Balodis, 1982) กระถินเทพาเป็นไม้โตเร็ว มีรอบตัดฟันสั้น ให้ผลทางเศรษฐกิจที่คุ้มค่าต่อการลงทุน จึงมักส่งเสริมการปลูกเป็นสวนป่าทั้งในภาครัฐและเอกชน (โครงการจัดทำแผนแม่บทการส่งเสริมการปลูกไม้เศรษฐกิจระดับจังหวัด, 2548) โรงงานอุตสาหกรรมมีผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย กากตะกอนเยื่อกระดาษ กากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) เป็นต้น โดยผลพลอยได้ดังกล่าวมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย จึงมักถูกทิ้งไว้ในแหล่งผลิตหรือบริเวณข้างเคียง ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหากระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al*., 2005) การเพิ่มอินทรียวัตถุในดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากกากตะกอน (activated sludge) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม มีรายงานวิจัยพบว่ากากตะกอนน้ำเสียเหล่านั้นสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีกับพืชชนิดต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น ข้าว (นฤพน และคณะ, 2556) อ้อย (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2560; ปิยพงศ์ และคณะ, 2560) มันสำปะหลัง (ธีรยุทธ และคณะ, 2560) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ธนศมณท์ และคณะ, 2561) ยูคาลิปตัส (ธวัชชัย และคณะ, 2555; ภูวดล และคณะ, 2562) กระถินเทพา (จีรนันท์ และคณะ, 2561) เป็นต้น การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์จึงช่วยส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโต ผลผลิต และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น แม้ว่าปุ๋ยอินทรีย์จะมีปริมาณธาตุอาหารอยู่น้อย แต่ก็มีธาตุอาหารพืชครบทุกธาตุ หากใช้ในปริมาณที่เหมาะสมก็จะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและช่วยปรับสภาพทางฟิสิกส์ของดินให้ดีขึ้นด้วย (ยงยุทธ, 2528) จากประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้น จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอนของศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อผลผลิตมวลชีวภาพของกระถินเทพาและสมบัติของดิน อีกทั้งที่ผ่านมามีข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการปุ๋ยกับกระถินเทพาค่อนข้างน้อย จึงเป็นโอกาสดีที่จะนำผลพลอยได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม และช่วยลดมลภาวะที่อาจเกิดจากผลพลอยได้ดังกล่าวได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการศึกษา ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic, Soil Survey Staff, 2003) โดยเก็บตัวอย่างดินแบบ composite ที่ระดับความลึก 0-30 ซม. เพื่อวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนการทดลอง ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ของดิน ค่าการนำไฟฟ้าที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

(EC_e) ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ รวมทั้งเนื้อดิน ซึ่งผลการวิเคราะห์สมบัติของดินได้แสดงไว้ใน (Table 1) ปลูกกระถินเทพา (อายุ 3 เดือน) ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2560-เดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 จำนวน 30 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 6 ม. และยาว 6 ม. มีระยะห่างระหว่างต้น 1 ม. และระยะห่างระหว่างแถว 1 ม. (จำนวน 35 ต้น/แปลงย่อย) วางแผนทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ และ 10 ตำรับทดลองดังแสดงใน (Table 2)

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (42 $\%P_2O_5$) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 $\%K_2O$) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก (ปีที่ 1) และที่อายุ 14 และ 16 เดือนหลังปลูก (ปีที่ 2) ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับไม้ยืนต้น (กระถินเทพา) คือ 24, 4 และ 14 กก. N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองมาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่างบริษัท สหพัฒนาอินเตอร์โฮลดิ้ง จำกัด (มหาชน) และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง “การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนเพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร” ซึ่งประกอบด้วยกากตะกอน ขุยมะพร้าว ผักตบชวา และอามิ-อามิ ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก (ปีที่ 1) และที่อายุ 14 และ 16 เดือนหลังปลูก (ปีที่ 2) สำหรับสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน (Table 3)

เก็บข้อมูลมวลชีวภาพสดและแห้งส่วนเหนือดินของกระถินเทพาที่อายุ 24 เดือนหลังปลูก โดยการตัดต้นกระถินเทพาที่ระดับ 5 ซม. จากผิวดิน (จำนวน 10 ต้นต่อแปลงย่อย) จากนั้นแยกส่วนต้น แขนง และใบ เพื่อทำการชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ภายหลังการทดลอง (ปีที่ 1 และปีที่ 2) ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละตำรับทดลองเพื่อวิเคราะห์สมบัติของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่า EC_e ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan’s multiple range test)

Table 1 Properties of soil before the experiment.

Properties	Results (0-30 cm)	Rating
pH (1:1)	7.16	neutral
EC_e (dS/m)	0.63	non-saline
Organic matter (%)[1/]	0.85	low
Available P (mg/kg)[2/]	43.10	high
Exchangeable K (mg/kg)[3/]	65.96	moderately
Exchangeable Ca (mg/kg)[3/]	1,312	high
Exchangeable Mg (mg/kg)[3/]	128.74	high
Exchangeable Na (mg/kg)[3/]	31.89	-
Texture[4/]	sandy loam	-

Note [1/] = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934) [2/] = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)
[3/] = Extracted with NH_4OAc pH 7.0 (Pratt, 1965) [4/] = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

Table 2 Detail of treatments.

Treatments	Descriptions	Symbols	Quantity of major elements (kgN-P_2O_5-K_2O per rai)
T_1	no fertilizer and OF treatment	control	0-0-0
T_2	the application of chemical fertilizer based on soil chemical analysis	IF_{DOA}	24-4-14
T_3	the application of OF-A of 1,000 kg/rai	$OF\text{-}A_{1000}$	22.2-21.1-11.3
T_4	the application of OF-A of 500 kg/rai in combinations with chemical fertilizers containing all major elements (N, P, K) equivalent to 500 kg/rai of the OF-A	$OF\text{-}A_{500}+IF_{OF\text{-}A\text{-}500}$	22.2-21.1-11.3
T_5	the application of OF-B of 1,000 kg/rai	$OF\text{-}B_{1000}$	25.1-17.8-12.1
T_6	the application of OF-B of 500 kg/rai in combinations with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 500 kg/rai of the OF-B	$OF\text{-}B_{500}+IF_{OF\text{-}B\text{-}500}$	25.1-17.8-12.1
T_7	the application of OF-C of 1,000 kg/rai	$OF\text{-}C_{1000}$	21.5-19.4-12.7
T_8	the application of OF-C of 500 kg/rai in combinations with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 500 kg/rai of the OF-C	$OF\text{-}C_{500}+IF_{OF\text{-}C\text{-}500}$	21.5-19.4-12.7
T_9	the application of OF-D of 1,000 kg/rai	$OF\text{-}D_{1000}$	22.8-18.4-13.2
T_{10}	the application of OF-D of 500 kg/rai in combinations with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 500 kg/rai of the OF-D	$OF\text{-}D_{500}+IF_{OF\text{-}D\text{-}500}$	22.8-18.4-13.2

Table 3 Properties of organic fertilizer (OF) before the experiment.

Properties	Results			
	OF-A	OF-B	OF-C	OF-D
pH (3:50)	6.93	6.64	6.67	7.14
EC 1:10 (dS/m)	7.89	9.22	9.42	8.23
Sodium (%)	0.46	0.59	0.56	0.58
Organic matter (%)	32.22	31.41	32.29	31.41
Organic carbon (%)	18.69	18.22	18.83	18.22
C:N ratio	8.42	7.26	8.71	7.99
Total N (%)	2.22	2.51	2.15	2.28
Total P_2O_5 (%)	2.11	1.78	1.94	1.84
Total K_2O (%)	1.13	1.21	1.27	1.32
Total primary nutrients (%)	5.46	5.50	5.36	5.44
Germination index (%)	84.29	83.84	88.18	81.78
Moisture (%)	7.89	8.35	8.64	8.78

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของการใช้ประโยชน์กากตะกอนจากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อผลผลิตมวลชีวภาพของกระถินเทพาที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน และสมบัติของดิน ปรากฏผลดังนี้

1. มวลชีวภาพสดและมวลชีวภาพแห้งของกระถินเทพา

1.1 มวลชีวภาพสด

จากผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ($OF\text{-}B_{500}+IF_{OF\text{-}B\text{-}500}$) มีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนต้น และมวลชีวภาพสดรวมของกระถินเทพามากที่สุด (13.83 และ 18.88 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}B_{1000}$) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ($OF\text{-}D_{500}+IF_{OF\text{-}D\text{-}500}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}D_{1000}$) นอกจากนี้ $OF\text{-}B_{500}+IF_{OF\text{-}B\text{-}500}$ ยังมีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนแขนง และมวลชีวภาพสดส่วนใบของกระถินเทพามากที่สุด (2.42 และ 2.63 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับ $OF\text{-}B_{1000}$ ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนต้น มวลชีวภาพสดส่วนแขนง มวลชีวภาพสดส่วนใบ และมวลชีวภาพสดรวมของกระถินเทพาน้อยที่สุด (Table 4)

1.2 มวลชีวภาพแห้ง

จากผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ($OF\text{-}B_{500}+IF_{OF\text{-}B\text{-}500}$) มีผลให้มวล

ชีวภาพแห้งส่วนต้น ส่วนแขนง และมวลชีวภาพแห้งรวมของกระถินเทพามากที่สุด (5.89, 1.00 และ 8.05 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}B_{1000}$) นอกจากนี้ $OF\text{-}B_{500}+IF_{OF\text{-}B\text{-}500}$ ยังมีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนใบของกระถินเทพามากที่สุด (1.16 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF\text{-}B_{1000}$ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ($OF\text{-}D_{500}+IF_{OF\text{-}D\text{-}500}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}D_{1000}$) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนต้น มวลชีวภาพแห้งส่วนแขนง มวลชีวภาพแห้งส่วนใบ และมวลชีวภาพแห้งรวมของกระถินเทพาน้อยที่สุด (Table 5)

Table 4 Total fresh biomass of Kra Thin Saba at 24 MAP[1/].

Treatments	Fresh biomass (ton/rai)			
	Stems	Branches	Leaves	Total
T_1 = control	5.76^{f} [2/]	0.89^{f} [2/]	1.11^{g} [2/]	7.76^{f} [2/]
$T_2 = IF_{DOA}$	12.23^{e}	1.63^{e}	1.76^{f}	15.62^{e}
$T_3 = OF\text{-}A_{1000}$	12.84^{cd}	1.87^{cd}	2.00^{de}	16.71^{cde}
$T_4 = OF\text{-}A_{500}+IF_{OF\text{-}A\text{-}500}$	13.23^{bc}	1.93^{c}	2.13^{d}	17.29^{bcd}
$T_5 = OF\text{-}B_{1000}$	13.64^{ab}	2.36^{a}	2.58^{ab}	18.58^{a}
$T_6 = OF\text{-}B_{500}+IF_{OF\text{-}B\text{-}500}$	13.83^{a}	2.42^{a}	2.63^{a}	18.88^{a}
$T_7 = OF\text{-}C_{1000}$	12.43^{de}	1.76^{d}	1.83^{ef}	16.02^{e}
$T_8 = OF\text{-}C_{500}+IF_{OF\text{-}C\text{-}500}$	12.56^{de}	1.82^{cd}	1.95^{e}	16.33^{de}
$T_9 = OF\text{-}D_{1000}$	13.33^{abc}	2.18^{b}	2.36^{c}	17.87^{abc}
$T_{10} = OF\text{-}D_{500}+IF_{OF\text{-}D\text{-}500}$	13.56^{ab}	2.22^{b}	2.42^{bc}	18.20^{ab}
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.25	13.48	14.84	14.08

[1/] MAP = months after planting

[2/] means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT

** indicated significant difference at $P< 0.01$

Table 5 Total dry biomass of Kra Thin Saba at 24 MAP[1/].

Treatments	Dry biomass (ton/rai)			
	Stems	Branches	Leaves	Total
T_1 = control	2.23^{f} [2/]	0.39^{g} [2/]	0.41^{d} [2/]	3.03^{g} [2/]
T_2 = IF_{DOA}	4.87^{e}	0.68^{f}	0.76^{c}	6.31^{f}
T_3 = OF-A_{1000}	5.18^{d}	0.77^{de}	0.91^{b}	6.86^{d}
T_4 = OF-A_{500}+$IF_{OF-A-500}$	5.23^{d}	0.83^{cd}	0.93^{b}	6.99^{d}
T_5 = OF-B_{1000}	5.83^{ab}	0.93^{ab}	1.14^{a}	7.90^{a}
T_6 = OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$	5.89^{a}	1.00^{a}	1.16^{a}	8.05^{a}
T_7 = OF-C_{1000}	4.92^{e}	0.70^{ef}	0.80^{bc}	6.42^{ef}
T_8 = OF-C_{500}+$IF_{OF-C-500}$	5.05^{de}	0.73^{ef}	0.82^{bc}	6.60^{e}
T_9 = OF-D_{1000}	5.48^{c}	0.86^{bc}	1.10^{a}	7.44^{c}
T_{10} = OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$	5.64^{bc}	0.91^{bc}	1.12^{a}	7.67^{b}
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.52	13.89	12.21	13.71

[1/] MAP = months after planting

[2/] means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT

** indicated significant difference at $P< 0.01$

2. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน ภายหลังการปลูกกระถินเทพา

2.1 ค่า pH ของดิน

ภายหลังการทดลองปีที่ 1 พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-D_{1000}) มีผลให้ค่า pH ของดินมากที่สุด (pH 7.34) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A, C และ B อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-A_{1000}, OF-C_{1000} และ OF-B_{1000}) ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (IF_{DOA}) มีผลให้ค่า pH ของดินน้อยที่สุด (pH 7.08) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ (OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$) ตำรับควบคุม (control) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 500 กก./ไร่ (OF-C_{500}+$IF_{OF-C-500}$) ส่วนภายหลังการทดลองปีที่ 2 พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-D_{1000}) มีผลให้ค่า pH ของดินมากที่สุด (pH 7.31) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A, C และ B อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-A_{1000}, OF-C_{1000} และ OF-B_{1000}) ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (IF_{DOA}) มีผลให้ค่า pH ของดินน้อยที่สุด (pH 7.00) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่า pH ของดิน ภายหลังการปลูกกระถินเทพาปีที่ 1 และปีที่ 2 พบว่า ทุกตำรับทดลอง มีผลให้ค่า pH ของดินลดลงเล็กน้อย โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 6)

2.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC_e) ของดิน

ภายหลังการทดลองปีที่ 1 และปีที่ 2 พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}B_{1000}$) มีผลให้ค่า EC_e ของดินมากที่สุด (1.98 และ 2.23 dS/m ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A, D และ C อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}A_{1000}$, $OF\text{-}D_{1000}$ และ $OF\text{-}C_{1000}$) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่า EC_e ของดินน้อยที่สุด (0.65 และ 0.66 dS/m ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่า EC_e ของดิน ภายหลังการปลูกกระถินเทพาปีที่ 1 และปีที่ 2 พบว่า ทุกตำรับทดลองมีผลให้ค่า EC_e ของดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 6)

Table 6 Two years data of pH and EC_e of soil after planting Kra Thin Saba.

Treatments	pH		T-test	EC_e (dS/m)		T-test
	1st year	2nd year		1st year	2nd year	
T_1 = control	7.14^{bc} 1/	7.12^{c} 1/	ns	0.65^{e} 1/	0.66^{e} 1/	ns
$T_2 = IF_{DOA}$	7.08^{c}	7.00^{d}	ns	1.45^{d}	1.52^{d}	ns
$T_3 = OF\text{-}A_{1000}$	7.33^{a}	7.30^{a}	ns	1.97^{a}	2.20^{a}	ns
$T_4 = OF\text{-}A_{500}+IF_{OF\text{-}A\text{-}500}$	7.17^{b}	7.16^{bc}	ns	1.83^{c}	1.92^{bc}	ns
$T_5 = OF\text{-}B_{1000}$	7.28^{a}	7.26^{a}	ns	1.98^{a}	2.23^{a}	ns
$T_6 = OF\text{-}B_{500}+IF_{OF\text{-}B\text{-}500}$	7.13^{bc}	7.11^{c}	ns	1.86^{bc}	2.01^{b}	ns
$T_7 = OF\text{-}C_{1000}$	7.31^{a}	7.28^{a}	ns	1.92^{ab}	2.14^{a}	ns
$T_8 = OF\text{-}C_{500}+IF_{OF\text{-}C\text{-}500}$	7.15^{bc}	7.13^{bc}	ns	1.79^{c}	1.83^{c}	ns
$T_9 = OF\text{-}D_{1000}$	7.34^{a}	7.31^{a}	ns	1.94^{a}	2.17^{a}	ns
$T_{10} = OF\text{-}D_{500}+IF_{OF\text{-}D\text{-}500}$	7.20^{b}	7.19^{b}	ns	1.81^{c}	1.88^{c}	ns
F-test	**	**		**	**	
CV (%)	12.64	12.49		12.52	13.16	

1/ means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT

** indicated significant difference at $P< 0.01$

2.3 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

ภายหลังการทดลองปีที่ 1 พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}C_{1000}$) มีผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมากที่สุด (1.63 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A และ B อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}A_{1000}$ และ $OF\text{-}B_{1000}$) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินน้อยที่สุด (0.87 เปอร์เซ็นต์) ส่วนภายหลังการทดลองปีที่ 2 พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}C_{1000}$) มีผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมากที่สุด (1.84 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A, B และ D อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}A_{1000}$, $OF\text{-}B_{1000}$ และ $OF\text{-}D_{1000}$)

ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินน้อยที่สุดเพียง 0.89 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ภายหลังการปลูกกระถินเทพาปีที่ 1 และปีที่ 2 พบว่า ทุกตำรับทดลองมีผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น (Table 7) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B, C และ D อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-B_{1000}, OF-C_{1000} และ OF-D_{1000})

2.4 ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้

ภายหลังการทดลองปีที่ 1 และปีที่ 2 พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-B_{1000}) มีผลให้ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด (43.84 และ 48.23 mg/kg ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D, C และ A อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OFD_{1000}, OFC_{1000} และ OFA_{1000}) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินน้อยที่สุด (28.79 และ 29.36 mg/kg ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ภายหลังการปลูกกระถินเทพาปีที่ 1 และปีที่ 2 พบว่า ทุกตำรับทดลองมีผลให้ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้น (Table 7) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-A_{1000}) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-B_{1000}) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-C_{1000}) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-D_{1000})

Table 7 Two years data of organic matter and exch. Na of soil after planting Kra Thin Saba.

Treatments	Organic matter (%)		T-test	Exch. Na (mg/kg)		T-test
	1st year	2nd year		1st year	2nd year	
T_1 = control	$0.87^{g\ 1/}$	$0.89^{e\ 1/}$	ns	$28.79^{e\ 1/}$	$29.36^{d\ 1/}$	ns
T_2 = IF_{DOA}	1.23^{f}	1.26^{d}	ns	30.83^{e}	33.69^{c}	ns
T_3 = OF-A_{1000}	1.61^{a}	1.82^{a}	ns	42.56^{abc}	47.28^{a}	*
T_4 = OF-A_{500}+$IF_{OF-A-500}$	1.45^{d}	1.52^{c}	ns	36.23^{d}	41.18^{b}	ns
T_5 = OF-B_{1000}	1.57^{ab}	1.80^{a}	ns	43.84^{a}	48.23^{a}	*
T_6 = OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$	1.41^{de}	1.48^{c}	ns	39.42^{bcd}	43.58^{b}	ns
T_7 = OF-C_{1000}	1.63^{a}	1.84^{a}	ns	43.36^{ab}	47.83^{a}	*
T_8 = OF-C_{500}+$IF_{OF-C-500}$	1.47^{cd}	1.61^{b}	ns	38.59^{cd}	41.53^{b}	ns
T_9 = OF-D_{1000}	1.53^{bc}	1.75^{a}	ns	43.76^{a}	48.13^{a}	*
T_{10} = OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$	1.38^{e}	1.43^{c}	ns	38.76^{cd}	43.48^{b}	ns
F-test	**	**		**	**	
CV (%)	13.27	12.38		13.87	13.28	

[1/] means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT

** indicated significant difference at $P< 0.01$

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้มวลชีวภาพสด และมวลชีวภาพแห้งของกระถินเทพาโดยภาพรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์แต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของชัยสิทธิ์ และธนัตศรี (2553) และธวัชชัย และคณะ (2555) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับกระถินเทพาได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะเวลานานขึ้น ในทางตรงกันข้ามพบว่า การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ (control) มีผลมวลชีวภาพสดและมวลชีวภาพแห้งของกระถินเทพาต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะการปลูกพืชที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยในระยะยาวจะมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินลดน้อยลง และไม่เพียงพอต่อการสร้างมวลชีวภาพของพืช (จีรนันท์ และคณะ, 2561; ภูวดล และคณะ, 2562) นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า EC_e ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยค่า EC_e ของดินที่เพิ่มขึ้นแม้จะอยู่ในช่วง 2-4 dS/m ก็อาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ไวต่อความเค็มได้ ดังนั้น การนำปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จึงควรคำนึงถึงค่า EC_e ที่สูงขึ้นหรือปริมาณการสะสมของโซเดียมในดิน ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อพืชปลูกในระยะยาวได้

สรุปผลและเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของการใช้ประโยชน์กากตะกอนจากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อผลผลิตมวลชีวภาพของกระถินเทพาที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน และสมบัติของดิน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ มีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนต้น และมวลชีวภาพสดรวมรวมของกระถินเทพามากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ มีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนต้นและมวลชีวภาพแห้งรวมของกระถินเทพามากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่

2. ทุกตำรับทดลองมีผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B, C และ D อัตรา 1,000 กก./ไร่ ขณะที่ทุก

ตำรับทดลองยังมีผลให้ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A, B, C และ D อัตรา 1,000 กก./ไร่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาวิชาการ ระหว่างภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และ บริษัท สหพัฒนาอินเตอร์โฮลดิ้ง จำกัด (มหาชน) รวมทั้ง บริษัท วาย.วี.พี เฟอร์ติไลเซอร์ จำกัด ที่สนับสนุนปุ๋ยเคมีตลอดระยะการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2553. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. **คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบโสตทัศนูปกรณ์**. คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

โครงการจัดทำแผนแม่บทการส่งเสริมการปลูกไม้เศรษฐกิจระดับจังหวัด. 2548. กระถินเทพา. **เอกสารส่งเสริมการปลูกป่าภาคเอกชน**. สำนักงานส่งเสริมการปลูกป่าภาคเอกชน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จีรนันท์ นิติเศรษฐ์, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้ำชื่น. 2561. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มมวลชีวภาพของกระถินเทพา. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ** 1(2): 54-65.

ชัยสิทธิ์ ทองจู และ ธนัตศรี สอนจิตร. 2553. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า** 28(1): 99-109.

ชัยสิทธิ์ ทองจู, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ศุภชัย อำคา และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้ของโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตอ้อย และสมบัติของดิน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 6(1): 21-32.

ธนศมณท์ กุลการัณย์เลิศ, ชัยสิทธิ์ ทองจู, จุฑามาศ ร่มแก้ว และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า** 36(1): 40-49.

ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, ชัยสิทธิ์ ทองจู, กานต์ การะเวก, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ระวิวรรณ โชติพันธ์ และรุจิกร ศรีแม้นม่วง. 2555. ผลของกากตะกอนเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินยางตลาด. **วารสารแก่นเกษตร** 40(3): 217-228.

ธีรยุทธ คล้ำชื่น, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ทศพล พรพรหม และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง และสมบัติของดิน. **วารสารแก่นเกษตร** 45(4): 711-720.

นฤพน รักขยัน, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ศุภชัย อำคา, จุฑามาศ ร่มแก้ว และ ศิริสุดา บุตรเพชร. 2556. การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าว, น. 100-110. *ใน* **การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10** สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.

ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ศุภชัย อำคา, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และ พงษ์เพชร พงษ์ศิวาภัย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อสมบัติดิน ผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิตอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า** 35(3): 19-28.

ภูวดล แท่นทอง, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, วนิดา สืบสายพรหม, ธรรมธวัช แสงงาม และ ธีรยุทธ คล้ำชื่น. 2562. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มมวลชีวภาพของยูคาลิปตัส. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ** 2(1): 40-52.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2528. **หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย**. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. **Soil Sci**. 59: 39-45.

Logan, A. F. and V. Balodis. 1982. Pulping and papermaking characteristics of plantation-growth *Acacia mangium* from Sabah. **The Malaysian Forester** 45(2): 217-236.

Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis Part II**. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc, Madison, Wisconsin, U.S.A.

Soil Survey Staff. 2003. **Key to Soil Taxonomy: Ninth Edition**. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Survice, Washington, D.C.

Thongjoo, C., S. Miyagawa and N. Kawakubo. 2005. Effect of soil moisture and temperature on decomposition rates of some waste materials from agriculture and agro-industry. **Plant Prod. Sci**. 8(4): 475-481.

Walkley, A. and C.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 Sci**. 37: 29-35.