การใช้ประโยชน์กากตะกอนจากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มมวลชีวภาพของกระถินเทพาที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

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

อนุรักษ์ ภู่ระหงษ์,[1] ชัยสิทธิ์ ทองจู,[1] ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย,[1] กนกกร สินมา,[1] สิรินภา ช่วงโอภาส,[1] เกวลิน ศรีจันทร์,[1] อัญธิชา พรมเมืองคุก,[1] สุชาดา กรุณา,[1] ศิริสุดา บุตรเพชร,[1] จีรนันท์ นิติเศรษฐ์,[1] ชาลินี คงสุด,[2] ธรรมธวัช แสงงาม[2] และธีรยุทธ 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] Sirisuda Bootpetch,[1] Chiranan Nitiset,[1] Chalinee Khongsud,[2] Thamthawat Saengngam[2] and Teerayut Klumchaun[3]

Received 15 July 2019, Accepted 17 December 2019

ABSTRACT

This study investigated the utilization of activated sludge cake from Central Waste Water Treatment of Saha Group Industrial Park to produce organic fertilizer (OF) for growth and increasing biomass of Kra Thin Saba (*Acacia mangium* Willd.) planted in Kamphaeng Saen soil series. The experimental design was arranged in Randomized Complete Block (RCBD) with 3 replications consisting 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 plant height, plant diameter, leaf greenness, stemmed-fresh biomass and total-fresh biomass which was not significantly different 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

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

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

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

[*] Corresponding author: E-mail address: agrcht@ku.ac.th, thongjuu@yahoo.com

500 kg/rai. Furthermore, the application of OF-B of 500 kg/rai in combination with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 500 kg/rai provided the highest of stemmed-dry biomass and total-dry biomass which was not significantly different from the application of OF-B of 1,000 kg/rai.

Keywords: Biomass, Kra Thin Saba (*Acacia mangium* Willd.), Organic fertilizer, Waste materials

บทคัดย่อ

ศึกษาผลการใช้ประโยชน์กากตะกอนจากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการเจริญเติบโตและการเพิ่มมวลชีวภาพของกระถินเทพาที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ประกอบด้วยตำรับทดลอง 10 ตำรับทดลอง ผลการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ มีผลให้ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ค่าความเขียวของใบ มวลชีวภาพสดส่วนต้น 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 มีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนต้นและมวลชีวภาพแห้งรวมของกระถินเทพามากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่

คำสำคัญ: มวลชีวภาพ กระถินเทพา ปุ๋ยอินทรีย์ วัสดุเหลือใช้

คำนำ

กระถินเทพาเป็นไม้ยืนต้นเศรษฐกิจ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศออสเตรเลีย ไม้กระถินเทพาเหมาะสำหรับการผลิตไม้อัด วงกบประตู หน้าต่าง เฟอร์นิเจอร์ และยังใช้เป็นไม้ฟืนได้ดี เพราะมีค่าความร้อนสูง (4,800-4,900 กิโลแคลอรี/กก.) นอกจากนี้ สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ เพราะมีคุณภาพใกล้เคียงกับเยื่อที่ได้จากไม้ยูคาลิปตัส (Logan & Balodis, 1982) กระถินเทพาเป็นไม้ที่ควรส่งเสริมการปลูกสวนป่าทั้งในภาครัฐและเอกชน เพราะเป็นไม้โตเร็ว มีรอบตัดฟันสั้นและให้ผลทางเศรษฐกิจเร็วและคุ้มค่าต่อการลงทุน (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548) โรงงานอุตสาหกรรมมีวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย กากตะกอนเยื่อกระดาษ ขี้เถ้าลอย กากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) น้ำวีแนส (vinasses effluent) กากตะกอนยีสต์ (yeast cake) เป็นต้น โดยวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ (recycle) ค่อนข้างน้อย จึงมักถูกทิ้งไว้ในแหล่งผลิตหรือบริเวณข้างเคียง ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหากระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005; ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2561) การเพิ่มอินทรียวัตถุในดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากกากตะกอน (activated sludge) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม มีรายงานวิจัยพบว่ากากตะกอนน้ำเสียเหล่านั้น สามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีกับพืชเศรษฐกิจชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น ข้าว (นฤพน และคณะ, 2556) อ้อย (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2560; ปิยพงศ์ และคณะ,2560) มันสำปะหลัง (พงษ์นรินทร์ และคณะ, 2556; ทิพวรรณ และคณะ, 2557; ธีรยุทธ และคณะ, 2560) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (จันจิรา และคณะ, 2552; ธนศมณท์ และคณะ, 2555; ธนศมณท์ และคณะ, 2561) ยูคาลิปตัส (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2553; ชัยสิทธิ์ และธนัตศรี, 2553; ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2555; ธวัชชัย และคณะ, 2555) กระถินเทพา (จีรนันท์ และคณ, 2561) เป็นต้น อีกทั้งการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

จะช่วยให้ดินมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมากขึ้น และส่งผลให้พืชมีผลผลิต และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย ปุ๋ยอินทรีย์แม้ว่าจะมีปริมาณธาตุอาหารอยู่น้อย แต่ก็มีธาตุอาหารพืชต่างๆ เป็นองค์ประกอบครบทุกธาตุ หากใช้ในปริมาณที่เหมาะสมก็จะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเฉพาะจุลธาตุ อีกทั้งยังช่วยปรับสภาพทางฟิสิกส์ของดินให้ดีขึ้นด้วย (ยงยุทธ, 2528) จากประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์มีความสำคัญสำหรับการเกษตรกรรมอย่างยิ่ง จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มมวลชีวภาพของกระถินเทพา ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์หรือเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ยังช่วยลดมลภาวะที่อาจเกิดจากวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการทดลอง ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-30 ซม. ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic, Soil Survey Staff, 2003) เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดินก่อนทดลอง 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 1,600 ต้น/ไร่ หรือ 35 ต้น/แปลงย่อย) วางแผนทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ประกอบด้วยตำรับทดลอง 10 ตำรับทดลอง (Table 2)

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (42 %P_2O_5) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 %K_2O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ 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) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองมาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท สหพัฒนาอินเตอร์โฮลดิ้ง จำกัด (มหาชน) และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง “การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนเพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร” ซึ่งประกอบด้วยกากตะกอน ขุยมะพร้าว ผักตบชวา และอามิ-อามิ ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก (ปีที่ 1) และที่อายุ 14 และ 16 เดือนหลังปลูก (ปีที่ 2) สำหรับสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 3

Table 1 Properties of soil before the experiment

Properties	Results (0-30 cm)	Rating
pH (1:1 water)	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 & Black, 1934) 2/ = Bray II method (Bray & Kurtz, 1945)
3/ = Extracted with NH4OAc pH 7.0 (Pratt, 1965) 4/ = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

Table 2 Detail of treatments

Treatments	Describes	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 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

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของกระถินเทพา (จำนวน 10 ต้นต่อแปลงย่อย) ที่อายุ 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 และ 24 เดือนหลังปลูก ได้แก่ ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 5 ซม. จากผิวดิน และค่าความเขียวของใบ (SPAD reading) (วัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด) โดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (Minolta Co., Ltd., JAPAN: SPAD-502 model) สำหรับการเก็บข้อมูลมวลชีวภาพสดและแห้งส่วนเหนือดินของกระถินเทพาที่อายุ 24 เดือนหลังปลูก โดยการตัดต้นกระถินเทพาที่ระดับ 5 ซม. จากผิวดิน (จำนวน 10 ต้นต่อแปลงย่อย) จากนั้น แยกส่วนต้น แขนง และใบ เพื่อทำการชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งตามลำดับ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) หากข้อมูลแสดงความแตกต่างทางสถิติ จะนำมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test)

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

จากการศึกษาผลการใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มมวลชีวภาพของกระถินเทพาที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ปรากฏผลดังนี้

1. การเจริญเติบโตของกระถินเทพา

1.1 ความสูงต้น

จากผลการทดลองที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ($OF\text{-}B_{500}+IF_{OF\text{-}B\text{-}500}$) มีผลให้ความสูงต้นของกระถินเทพามากที่สุด (120.10 ซม.) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}B_{1000}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ($OF\text{-}D_{500}+IF_{OF\text{-}D\text{-}500}$) ที่อายุ 6, 15, 18, 21 และ 24 เดือนหลังปลูก พบว่า $OF\text{-}B_{500}+IF_{OF\text{-}B\text{-}500}$ มีผลให้ความสูงต้นของกระถินเทพามากที่สุด ไม่แตกต่างจาก $OF\text{-}B_{1000}$ ที่อายุ 9 เดือนหลังปลูก พบว่า $OF\text{-}B_{500}+IF_{OF\text{-}B\text{-}500}$ มีผลให้ความสูงต้นของกระถินเทพามากที่สุด (393.63 ซม.) ไม่แตกต่างจาก $OF\text{-}B_{1000}$, $OF\text{-}D_{500}+IF_{OF\text{-}D\text{-}500}$ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 1,000 กก./ไร่ ($OF\text{-}D_{1000}$) ส่วนที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก พบว่า $OF\text{-}B_{500}+IF_{OF\text{-}B\text{-}500}$ มีผลให้ความสูงต้นของกระถินเทพามากที่สุด (608.21 ซม.) ไม่แตกต่างจาก $OF\text{-}B_{1000}$, $OF\text{-}D_{500}+IF_{OF\text{-}D\text{-}500}$, $OF\text{-}D_{1000}$ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 500 กก./ไร่ ($OF\text{-}A_{500}+IF_{OF\text{-}A\text{-}500}$) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้นของกระถินเทพาน้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต (Table 4)

Table 4 Plant height of Kra Thin Saba at different stages

Treatments	Plant height (cm)							
	3 MAP[1/]	6 MAP[1/]	9 MAP[1/]	12 MAP[1/]	15 MAP[1/]	18 MAP[1/]	21 MAP[1/]	24 MAP[1/]
T_1 = control	83.52^{e} [2/]	160.57^{f} [2/]	235.68^{g} [2/]	341.67^{e} [2/]	426.47^{g} [2/]	502.50^{g} [2/]	543.47^{g} [2/]	593.43^{h} [2/]
T_2 = IF_{DOA}	98.14^{d}	237.33^{e}	330.19^{f}	439.65^{d}	542.77^{f}	704.27^{f}	746.37^{f}	796.63^{g}
T_3 = OF-A_{1000}	107.18^{bcd}	244.33^{de}	361.96^{cd}	537.35^{bc}	658.37^{d}	759.97^{d}	792.67^{d}	860.50^{d}
T_4 = OF-A_{500}+$IF_{OF-A-500}$	107.57^{bcd}	247.13^{cd}	368.86^{bc}	571.33^{ab}	687.53^{c}	798.53^{c}	838.53^{c}	882.67^{c}
T_5 = OF-B_{1000}	112.54^{ab}	257.87^{ab}	388.57^{a}	603.99^{a}	768.70^{a}	825.13^{ab}	883.47^{a}	958.50^{a}
T_6 = OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$	120.10^{a}	265.87^{a}	393.63^{a}	608.21^{a}	778.60^{a}	830.97^{a}	892.43^{a}	965.40^{a}
T_7 = OF-C_{1000}	100.65^{d}	239.27^{de}	341.18^{ef}	504.63^{c}	586.47^{e}	732.30^{e}	768.73^{e}	813.37^{f}
T_8 = OF-C_{500}+$IF_{OF-C-500}$	101.93^{cd}	241.27^{de}	351.30^{de}	515.73^{c}	647.27^{d}	737.80^{e}	788.50^{d}	845.53^{e}
T_9 = OF-D_{1000}	107.82^{bcd}	254.53^{bc}	378.09^{ab}	584.29^{ab}	716.67^{b}	802.57^{c}	850.63^{b}	910.23^{b}
T_{10} = OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$	111.58^{abc}	256.90^{b}	378.99^{ab}	589.49^{ab}	727.57^{b}	808.00^{bc}	854.53^{b}	913.60^{b}
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	15.54	14.97	12.47	14.67	15.64	14.29	14.28	13.65

Note: [1/] Months after planting

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

** indicated significant difference at $P< 0.01$

1.2 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

จากผลการทดลองที่อายุ 3 และ 9 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ (OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$) มีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของกระถินเทพามากที่สุด รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-B_{1000}) ซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ (OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-D_{1000}) ที่อายุ 6 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$ มีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของกระถินเทพามากที่สุด (3.51 ซม.) ไม่แตกต่างจาก OF-B_{1000}, OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$ และ OF-D_{1000} ที่อายุ 12, 15 และ 24 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$ มีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของกระถินเทพามากที่สุด ไม่แตกต่างจาก OF-B_{1000} ส่วนที่อายุ 18 และ 21 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$ มีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของกระถินเทพามากที่สุด ไม่แตกต่างจาก OF-B_{1000} และ OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$ ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของกระถินเทพาน้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต (Table 5)

Table 5 Plant diameters of Kra Thin Saba at different stages

Treatments	Plant diameters (cm)							
	3 MAP[1/]	6 MAP[1/]	9 MAP[1/]	12 MAP[1/]	15 MAP[1/]	18 MAP[1/]	21 MAP[1/]	24 MAP[1/]
T_1 = control	1.08^{h} [2/]	1.95^{e} [2/]	3.05^{g} [2/]	3.32^{f} [2/]	3.65^{g} [2/]	4.62^{g} [2/]	4.82^{h} [2/]	5.12^{h} [2/]
T_2 = IF_{DOA}	1.32^{g}	2.60^{d}	3.88^{f}	4.12^{e}	4.48^{f}	5.74^{f}	5.93^{g}	6.32^{g}
T_3 = OF-A_{1000}	1.51^{de}	3.00^{c}	4.47^{d}	5.25^{c}	5.65^{c}	6.85^{d}	7.12^{d}	7.25^{d}
T_4 = OF-A_{500}+$IF_{OF-A-500}$	1.65^{cd}	3.20^{b}	4.56^{cd}	5.34^{c}	5.75^{c}	7.14^{c}	7.38^{c}	7.56^{c}
T_5 = OF-B_{1000}	1.82^{b}	3.50^{a}	4.89^{b}	6.13^{a}	6.76^{a}	7.49^{ab}	7.76^{ab}	8.02^{a}
T_6 = OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$	2.13^{a}	3.51^{a}	5.12^{a}	6.23^{a}	6.89^{a}	7.56^{a}	7.83^{a}	8.13^{a}
T_7 = OF-C_{1000}	1.34^{fg}	2.87^{c}	4.12^{e}	4.75^{d}	5.12^{e}	6.32^{e}	6.53^{f}	6.74^{f}
T_8 = OF-C_{500}+$IF_{OF-C-500}$	1.49^{ef}	2.94^{c}	4.26^{e}	4.84^{d}	5.34^{d}	6.76^{d}	6.84^{e}	7.00^{e}
T_9 = OF-D_{1000}	1.68^{bc}	3.38^{a}	4.72^{bc}	5.64^{b}	6.18^{b}	7.34^{b}	7.59^{b}	7.72^{b}
T_{10} = OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$	1.75^{bc}	3.40^{a}	4.81^{b}	5.75^{b}	6.32^{b}	7.45^{ab}	7.71^{ab}	7.84^{b}
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	15.47	14.13	13.63	14.23	13.18	13.89	13.61	12.39

Note: [1/] Months after planting

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

** indicated significant difference at $P< 0.01$

1.3 ค่าความเขียวของใบ (SPAD reading)

จากผลการทดลองที่อายุ 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ (OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$) มีผลให้ค่าความเขียวของใบกระถินเทพามากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-B_{1000}) ส่วนที่อายุ 21 และ 24 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$ มีผลให้ค่าความเขียวของใบกระถินเทพามากที่สุด ไม่แตกต่างจาก OF-B_{1000} และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ (OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$) โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบกระถินเทพาตั้งแต่เดือนที่ 6-12 (ปีที่ 1) และตั้งแต่เดือนที่ 18-24 (ปีที่ 2) มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับต่ำ ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยที่ปลดปล่อยไนโตรเจนลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบกระถินเทพาลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ (ยงยุทธ, 2528) อย่างไรก็ตาม ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบกระถินเทพาน้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต (Table 6)

Table 6 Leaf greenness (SPAD reading) of Kra Thin Saba at different stages

Treatments	SPAD reading							
	3 MAP[1/]	6 MAP[1/]	9 MAP[1/]	12 MAP[1/]	15 MAP[1/]	18 MAP[1/]	21 MAP[1/]	24 MAP[1/]
T_1 = control	35.79^{d} [2/]	32.41^{g} [2/]	30.25^{g} [2/]	27.69^{f} [2/]	34.75^{f} [2/]	32.47^{f} [2/]	30.18^{f} [2/]	28.76^{e} [2/]
T_2 = IF_{DOA}	38.85^{c}	40.11^{f}	34.75^{f}	33.58^{e}	39.71^{e}	40.95^{e}	37.54^{e}	35.26^{d}
T_3 = OF-A_{1000}	39.92^{bc}	42.87^{de}	38.63^{de}	36.85^{d}	41.56^{cde}	43.25^{cd}	40.68^{cd}	39.42^{c}
T_4 = OF-A_{500}+$IF_{OF-A-500}$	40.54^{bc}	43.12^{d}	41.58^{cd}	40.23^{c}	42.62^{bcd}	43.58^{c}	41.59^{c}	40.25^{c}
T_5 = OF-B_{1000}	45.17^{a}	53.69^{a}	51.56^{a}	48.55^{a}	47.49^{a}	51.78^{a}	49.36^{a}	47.82^{a}
T_6 = OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$	46.03^{a}	54.23^{a}	52.12^{a}	48.65^{a}	48.23^{a}	52.36^{a}	50.14^{a}	48.23^{a}
T_7 = OF-C_{1000}	39.55^{bc}	41.37^{ef}	36.23^{ef}	34.23^{e}	40.29^{e}	41.54^{de}	38.12^{e}	36.24^{d}
T_8 = OF-C_{500}+$IF_{OF-C-500}$	39.68^{bc}	41.56^{ef}	37.69^{ef}	36.45^{d}	40.68^{de}	42.76^{cde}	38.76^{de}	36.74^{d}
T_9 = OF-D_{1000}	41.38^{b}	45.63^{c}	44.23^{bc}	43.69^{b}	43.31^{bc}	47.63^{b}	46.38^{b}	45.12^{b}
T_{10} = OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$	41.52^{b}	48.23^{b}	46.23^{b}	44.12^{b}	44.38^{b}	48.56^{b}	47.65^{ab}	46.24^{ab}
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	13.23	14.73	13.54	13.18	14.94	13.21	13.40	12.49

Note: [1/] 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. มวลชีวภาพสดและมวลชีวภาพแห้งของกระถินเทพา

2.1 มวลชีวภาพสด

จากผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ (OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$) มีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนต้น และมวลชีวภาพสดรวมของกระถินเทพามากที่สุด (13.83 และ 18.88 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-B_{1000}) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ (OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-D_{1000}) นอกจากนี้ OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$ ยังมีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนแขนงและมวลชีวภาพสดส่วนใบของกระถินเทพามากที่สุด (2.42 และ 2.63 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างจาก OF-B_{1000} ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนต้น มวลชีวภาพสดส่วนแขนง มวลชีวภาพสดส่วนใบ และมวลชีวภาพสดรวมของกระถินเทพาน้อยที่สุด คือ 5.76, 0.89, 1.11 และ 7.76 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (Table 7)

2.2 มวลชีวภาพแห้ง

จากผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ (OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$) มีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนต้น ส่วนแขนง และมวลชีวภาพแห้งรวมของกระถินเทพามากที่สุด (5.89, 1.00 และ 8.05 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-B_{1000}) นอกจากนี้ OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$ ยังมีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนใบของกระถินเทพามากที่สุด (1.16 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างจาก OF-B_{1000} การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 500 กก./ไร่ (OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 1,000 กก./ไร่ (OF-D_{1000}) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนต้น มวลชีวภาพแห้งส่วนแขนง มวลชีวภาพแห้งส่วนใบ และมวลชีวภาพแห้งรวมของกระถินเทพาน้อยที่สุด คือ 2.23, 0.39, 0.41 และ 3.03 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (Table 8)

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต มวลชีวภาพสด และมวลชีวภาพแห้งของกระถินเทพาโดยภาพรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์แต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของชัยสิทธิ์ และคณะ (2553) ชัยสิทธิ์ และธนัตศรี (2553) ชัยสิทธิ์ และคณะ (2555) และธวัชชัย และคณะ (2555) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับกระถินเทพาได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะเวลานานขึ้น ในทางตรงกันข้ามพบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ (control) มีผลมวลชีวภาพสดและมวลชีวภาพแห้งของกระถินเทพาต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะการปลูกพืชที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยในระยะยาวจะมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินลดน้อยลง และไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการสร้างมวลชีวภาพของพืช (ชัยสิทธิ์ และธนัตศรี, 2553; ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2555; ธวัชชัย และคณะ, 2555)

Table 7 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-A_{1000}	12.84^{cd}	1.87^{cd}	2.00^{de}	16.71^{cde}
T_4 = OF-A_{500}+$IF_{OF-A-500}$	13.23^{bc}	1.93^{c}	2.13^{d}	17.29^{bcd}
T_5 = OF-B_{1000}	13.64^{ab}	2.36^{a}	2.58^{ab}	18.58^{a}
T_6 = OF-B_{500}+$IF_{OF-B-500}$	13.83^{a}	2.42^{a}	2.63^{a}	18.88^{a}
T_7 = OF-C_{1000}	12.43^{de}	1.76^{d}	1.83^{ef}	16.02^{e}
T_8 = OF-C_{500}+$IF_{OF-C-500}$	12.56^{de}	1.82^{cd}	1.95^{e}	16.33^{de}
T_9 = OF-D_{1000}	13.33^{abc}	2.18^{b}	2.36^{c}	17.87^{abc}
T_{10} = OF-D_{500}+$IF_{OF-D-500}$	13.56^{ab}	2.22^{b}	2.42^{bc}	18.20^{ab}
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.25	13.48	14.84	14.08

Note: [1/] 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 8 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

Note: [1/] 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

สรุปผลการทดลอง

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 500 กก./ไร่ มีผลให้ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ค่าความเขียวของใบ มวลชีวภาพสดส่วนต้น และมวลชีวภาพสดรวมของกระถินเทพามากที่สุด ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร 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 ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 1,000 กก./ไร่

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาวิชาการ ระหว่างภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และบริษัท สหพัฒนาอินเตอร์โฮลดิ้ง จำกัด (มหาชน) รวมทั้งบริษัท วาย.วี.พี เฟอร์ติไลเซอร์ จำกัด ที่สนับสนุนปุ๋ยเคมีตลอดระยะการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. (2553). *คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ.* กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2548). *กระถินเทพา: เอกสารส่งเสริมการปลูกป่าภาคเอกชน.* กรุงเทพฯ: สำนักงานส่งเสริมการปลูกป่าภาคเอกชน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2558). *คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบโสตทัศนูปกรณ์.* นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันจิรา แสงสีเหลือง, ชัยสิทธิ์ ทองจู, จุฑามาศ ร่มแก้ว และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์. (2552). ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. ใน *การประชุมทางวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ.* (น. 19-28). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

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

ชัยสิทธิ์ ทองจู และธนัตศรี สอนจิตร. (2553). ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, *28*(1), 99-109.

ชัยสิทธิ์ ทองจู, กานต์ การะเวก, และปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์. (2553). ผลของกากตะกอนเยื่อกระดาษต่อการ เจริญเติบโตและมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินยางตลาด. *วารสารดินและปุ๋ย*, *32*(3), 170-179.

ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธนัตศรี สอนจิตร, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ธนศมณท์ กุลการัณย์เลิศ, ระวิวรรณ โชติพันธ์, ธีรยุทธ คล้ำชื่น, และรุจิกร ศรีแม้นม่วง. (2555). ผลของกากตะกอนเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกในดินชุดดินกำแพงแสน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *1*(1), 14-28.

ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, และธรรมธวัช แสงงาม. (2561). ผลของกากน้ำตาลผงชูรส (อา มิ-อามิ) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ*, *1*(1), 22-29.

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

ทิพวรรณ แก้วหนู, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธงชัย มาลา ศุภชัย อำคา, วิภาวรรณ ท้ายเมือง, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้ำชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, และศิริสุดา บุตรเพชร. (2557). ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากกากตะกอนยีสต์และน้ำวีแนสต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง. ใน *การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ.* (น. 53-66). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ธนศมณฑ์ กุลการัณย์เลิศ, ชัยสิทธิ์ ทองจู, จุฑามาศ ร่มแก้ว, และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. (2561). การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, *36*(1), 40-49.

ธนศมณฑ์ กุลการัณย์เลิศ, ชัยสิทธิ์ ทองจู, และ ศุภชัย อำคา. (2555). ผลของกากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) ผสมขี้เถ้าลอยต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิค 999. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *1*(1), 29-41.

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, และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. (2560). ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง และสมบัติของดิน. *วารสารแก่นเกษตร*, *45* (4), 711-720.

นฤพน รักขยัน, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ศุภชัย อำคา, จุฑามาศ ร่มแก้ว, และศิริสุดา บุตรเพชร. (2556). การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าว. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ.* (น. 100-110). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ศุภชัย อำคา, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, และพงษ์เพชร พงษ์ศิวาภัย. (2560). ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อสมบัติดิน ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 35*(3), 19-28.

พงษ์นรินทร์ นิ่มนวล, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ศุภชัย อำคา, ปิยะ กิตติภาดากุลม, และศิริสุดา บุตรเพชร. (2556). การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลัง. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ.* (น. 73-85). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2528). *หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย.* กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil science*, *59*(1), 39-46.

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

Pratt, P.F. (1965). Potassium In C.A. Black, (Eds.) *Methods of Soil Analysis Part II.Agronomy* (pp. 1022-1030). Wisconsin, U.S.A: Madison.

Soil Survey Staff. (2003). *Key to Soil Taxonomy* (9th ed.). (p. 332). Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Survice.

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

Walkley, A., & Black, I. A. (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

.