ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Effects of Organic Fertilizer from Waste in Pulp and Paper Industry on Growth, Yield and Quality of Maize

วิลัยรัตน์ แป้นแก้ว,[1] ชัยสิทธิ์ ทองจู,[1] ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย,[1] จุฑามาศ ร่มแก้ว,[2] กนกกร สินมา,[1] สิรินภา ช่วงโอภาส,[1] เกวลิน ศรีจันทร์,[1] อัญธิชา พรมเมืองคุก,[1] สุชาดา กรุณา,[1] ศิริสุดา บุตรเพชร,[1] ชาลินี คงสุด,[3] ธรรมธวัช แสงงาม[3] และธีรยุทธ คล้ำชื่น[4]*

Wilairat Pankaew,[1] Chaisit Thongjoo,[1*] Tawatchai Inboonchuay,[1] Jutamas Romkaew,[2] Kanokkorn Sinma,[1] Sirinapa Chungopast,[1] Kavalin Srichan,[1] Aunthicha Phommuangkhuk,[1] Suchada Karuna, [1]Sirisuda Bootpetch,[1] Chalinee Khongsud,[3]Thamthawat Saengngam[3] and Teerayut Klumchaun[4]

Received 15 July 2019, Accepted 30 April 2020

ABSTRACT

This study investigated the effects of organic fertilizer (OF) from waste in pulp and paper industry on growth, yield and quality of hybrid maize (Seeds Tech 188) planted in Kamphaeng Saen soil series. The experimental design was arranged in a Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications and 10 treatments. The results showed that the application of OF-D of 400 kg/rai in combination with chemical fertilizers (CF) containing all major elements equivalent to 400 kg/rai of the OF-D provided the highest of plant height and leaf greenness (SPAD reading) which was not significantly different from the application of OF-D of 800 kg/rai. Furthermore, the application of OF-D of 400 kg/rai in combination with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 400 kg/rai of the OF-D provided the highest of unhusked ear weight, husked ear weight, grain weight, 1,000 grain weight, total N and protein in grain which was not significantly different from the application

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

[3] 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, Thailand.

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

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

of OF-D of 800 kg/rai and the application of OF-C of 400 kg/rai in combination with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 400 kg/rai of the OF-C.

Keywords: Maize, Organic fertilizer, Waste, Growth, Yield

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ซีดส์เทค 188 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ตำรับทดลอง 10 ตำรับ ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ มีผลให้ความสูงต้นและค่าความเขียวของใบข้าวโพดมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 800 กก./ไร่ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ยังมีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวโพดมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 800 กก./ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่

คำสำคัญ: ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปุ๋ยอินทรีย์ ของเสีย การเจริญเติบโต ผลผลิต

คำนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์เป็นอย่างมาก ในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพด 6.49 ล้านไร่ ผลผลิต 4.39 ล้านตัน และผลผลิตเฉลี่ย 681 กก./ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) ความต้องการข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้ผลผลิตข้าวโพดไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศ อีกทั้งปริมาณผลผลิตไม่แน่นอน แนวทางหนึ่งที่ส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดให้สูงขึ้น คือ การเพิ่มผลผลิตข้าวโพดต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี เช่น การศึกษาอัตราปุ๋ยที่เหมาะสม (ธีระพงษ์ และคณะ, 2553; พฤหัส และคณะ, 2560) รวมทั้งการลดต้นทุนการผลิตโดยใช้ผลพลอยได้จากภาคเกษตรหรือภาคอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี (จันจิรา และคณะ, 2552; กัญณัฏฐ์ และคณะ, 2555; ธนศมณท์ และคณะ, 2555; ชัยวัฒน์ และคณะ, 2558; ธนศมณท์ และคณะ, 2561; Thongjoo *et al.* 2002) โดยเฉพาะพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งหากมีการปลูกพืชติดต่อกันหลายปีอาจมีผลทำให้ดินขาดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชอย่างถาวรได้ (Azmal *et al.* 1996; Berendse, 1990) โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยผลพลอยได้ส่วนใหญ่มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย จึงมักถูกทิ้งไว้ในแหล่งผลิตหรือบริเวณข้างเคียง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.* 2005) จึงเกิดแนวคิดว่าหากมีการนำกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษมาผสมเป็นปุ๋ยอินทรีย์ และหาแนวทางการใช้ประโยชน์ในแง่การทดแทนปุ๋ยหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยพิจารณาผลของปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวที่มีต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำของเสียจากโรงงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในบริเวณใกล้เคียงกับโรงงานดังกล่าวได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ซีดส์เทค 188 (Seeds Tech 188) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ในช่วงเดือนกันยายน-เดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic, Soil Survey Staff, 2003)ประกอบด้วยแปลงย่อยจำนวน 30 แปลง แปลงย่อยแต่ละแปลงมีขนาดกว้าง 4.5 เมตร และยาว 9.0 เมตร มีจำนวน 5 แถว โดยระยะห่างระหว่างแถวเท่ากับ 0.75 เมตร เก็บข้อมูลผลผลิตของข้าวโพดเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถวประมาณ 1 เมตร โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวในแปลงย่อยแต่ละแปลงเท่ากับ 3.0 x 7.0 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block ทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ตำรับทดลอง 10 ตำรับ โดยรายละเอียดของตำรับทดลองได้แสดงไว้ใน Table 1 ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 ซม. เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1) ค่าการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเนื้อดิน สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 2

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate, 21%N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (triple superphosphate, 42% P_2O_5) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride, 60% K_2O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 20 และ 40 วันหลังปลูก ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีประเมินอัตราการใส่ตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ 20, 5 และ 10 กก. N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองมาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท ดี. เอ. รีเซิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล และอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับพืชเศรษฐกิจในสภาพแปลง” ประกอบด้วยกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพจากโรงเยื่อและโรงกระดาษ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพจากโรงกลั่นเอทานอล กากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอล เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล เปลือกไม้ป่น เปลือกไม้หยาบ และกากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (ชัย สิทธิ์ และคณะ, 2521) โดยปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 4 สูตรที่นำมาศึกษา (Table 3) มีสัดส่วนของวัสดุ 6 ชนิดใกล้เคียงกัน (กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพจากโรงเยื่อและโรงกระดาษ : กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพจากโรงกลั่นเอทานอล : กากมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอล : เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล : เปลือกไม้ป่น : เปลือกไม้หยาบ = 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1 โดยน้ำหนัก) แต่ต่างกันในสัดส่วนของอามิ-อามิ ซึ่งมีสัดส่วนเป็น 1, 2, 3 และ 4 โดยปริมาตรในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A, B, C และ D ตามลำดับ ส่งผลให้ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A, B, C และ D มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเป็น 0.99, 1.49, 1.88 และ 2.50% ตามลำดับ (Table 3) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 20 และ 40 วันหลังปลูก สำหรับสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 3

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก ได้แก่ ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบ (อ่านค่าในหน่วย SPAD reading; วัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด จำนวน 3 ใบต่อต้น) ซึ่งวัดโดยเครื่อง

chlorophyll meter (Minolta Co. ,Ltd, JAPAN: SPAD-502 model) ส่วนการเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก ได้แก่ จำนวนฝักต่อต้น จำนวนฝักสมบูรณ์ (ฝักอยู่ในสภาพสมบูรณ์และมีเมล็ดเต็มฝัก) น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด (ความชื้น 15%) น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (ความชื้น 15%) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโปรตีนในเมล็ด โดยข้อมูลดังกล่าวนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test)

Table 1 Detail of 10 treatments

Treatments	Describes	Symbols	Quantity of major elements (kg N-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	CF_{DOA}	20-5-10
T_3	the application of OF-A of 800 kg/rai	OF-A_{800}	7.92-9.44-22.56
T_4	the application of OF- A of 400 kg/ rai in combinations with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 400 kg/rai of the OF-A	OF-A_{400}+$CF_{OF-A400}$	7.92-9.44-22.56
T_5	the application of OF-B of 800 kg/rai	OF-B_{800}	11.92-10.48-15.44
T_6	the application of OF- B of 400 kg/ rai in combinations with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 400 kg/rai of the OF-B	OF-B_{400}+$CF_{OF-B400}$	11.92-10.48-15.44
T_7	the application of OF-C of 800 kg/rai	OF-C_{800}	15.04-14.08-16.48
T_8	the application of OF- C of 400 kg/ rai in combinations with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 400 kg/rai of the OF-C	OF-C_{400}+$CF_{OF-C400}$	15.04-14.08-16.48
T_9	the application of OF-D of 800 kg/rai	OF-D_{800}	20-18.16-18.24
T_{10}	the application of OF- D of 400 kg/ rai in combinations with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 400 kg/rai of the OF-D	OF-D_{400}+$CF_{OF-D400}$	20-18.16-18.24

Note: CF = chemical fertilizer

OF = organic fertilizer

DOA = Department of Agriculture

Table 2 Properties of initial soil

Properties	Results	Rating
pH (1:1)	7.80	slightly alkaline
EC_e (dS/m)	0.71	non-saline
Organic matter (%)[1/]	0.93	low
Available P (mg/kg)[2/]	60.69	very high
Exchangeable K (mg/kg)[3/]	83.41	moderately
Exchangeable Ca (mg/kg)[3/]	515.47	high
Exchangeable Mg (mg/kg)[3/]	124.58	high
Exchangeable Na (mg/kg)	28.84	-
Texture[4/]	sandy loam	-

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

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

Properties	Results			
	OF-A	OF-B	OF-C	OF-D
pH (3:50)	6.91	7.21	7.00	6.78
EC 1:10 (dS/m)	9.59	7.76	9.57	13.31
Sodium (%)	0.30	0.22	0.25	0.34
Organic matter (%)	23.36	26.53	26.38	28.93
Organic carbon (%)	13.55	15.39	15.30	16.78
C:N ratio	13.69	10.33	8.14	6.71
Total N (%)	0.99	1.49	1.88	2.50
Total P_2O_5 (%)	1.18	1.31	1.76	2.27
Total K_2O (%)	2.82	1.93	2.06	2.28
Total primary nutrients (%)	4.99	4.73	5.70	7.05
Germination index (%)	81.11	85.04	83.29	47.02
Moisture (%)	22.64	26.17	27.24	26.34

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเจริญเติบโตของข้าวโพด

1.1 ความสูงต้น

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-D_{400}+$CF_{OF-D400}$) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 800 กก./ไร่ (OF-D_{800}) ส่วนที่อายุ 2 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-D_{400}+$CF_{OF-D400}$ ยังมีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดมากที่สุด (216.23 ซม.) รองลงมา คือ OF-D_{800} และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-C_{400}+$CF_{OF-C400}$) ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 800 กก./ไร่ (OF-C_{800}) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดน้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

1.2 ค่าความเขียวของใบ (leaf greenness)

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-D_{400}+$CF_{OF-D400}$) มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 800 กก./ไร่ (OF-D_{800}) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-C_{400}+$CF_{OF-C400}$) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 800 กก./ไร่ (OF-C_{800}) การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (CF_{DOA}) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-B_{400}+$CF_{OF-B400}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 800 กก./ไร่ (OF-B_{800}) ส่วนที่อายุ 2 และ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-D_{400}+$CF_{OF-D400}$ มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-D_{800} โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบข้าวโพดที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับต่ำ ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยที่ปลดปล่อยไนโตรเจนจะลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ (ชัยวัฒน์ และคณะ, 2558; ธนศมณท์ และคณะ, 2561) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดน้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

Table 4 Heights at different stages of maize

Treatments	Heights (cm)		
	1 MAP[1/]	2 MAP[1/]	3 MAP[1/]
T_1 = control	44.30^{d} [2/]	143.53^{g} [2/]	159.38^{g} [2/]
T_2 = CF_{DOA}	62.37^{bc}	187.97^{cd}	203.54^{cd}
T_3 = OF-A_{800}	56.60^{c}	171.07^{f}	186.33^{f}
T_4 = OF-A_{400}+$CF_{OF-A400}$	59.27^{c}	177.20^{ef}	192.46^{ef}
T_5 = OF-B_{800}	61.47^{bc}	178.87^{ef}	194.66^{e}
T_6 = OF-B_{400}+$CF_{OF-B400}$	62.00^{bc}	182.80^{de}	198.38^{de}
T_7 = OF-C_{800}	63.80^{bc}	192.73^{c}	208.40^{bc}
T_8 = OF-C_{400}+$CF_{OF-C400}$	67.50^{bc}	194.37^{c}	212.37^{b}
T_9 = OF-D_{800}	73.27^{ab}	206.47^{b}	228.41^{a}
T_{10} = OF-D_{400}+$CF_{OF-D400}$	80.60^{a}	216.23^{a}	233.69^{a}
F-test	**	**	**
C.V. (%)	12.98	12.68	13.27

Note: [1/] MAP = months after planting

[2/] mean within the same column followed by the same letter indicates no statistical difference by DMRT

** indicated significant difference at $P< 0.01$

Table 5 Leaf greenness (SPAD reading) at different stages of maize

Treatments	SPAD reading		
	1 MAP[1/]	2 MAP[1/]	3 MAP[1/]
T_1 = control	33.08^{d} [2/]	31.07^{d} [2/]	28.52^{f} [2/]
T_2 = CF_{DOA}	42.06^{ab}	43.27^{c}	39.23^{bc}
T_3 = OF-A_{800}	36.86^{cd}	39.43^{c}	35.23^{e}
T_4 = OF-A_{400}+$CF_{OF-A400}$	38.48^{bc}	40.44^{c}	36.23^{de}
T_5 = OF-B_{800}	41.04^{ab}	40.55^{c}	37.10^{cde}
T_6 = OF-B_{400}+$CF_{OF-B400}$	41.30^{ab}	41.77^{c}	38.21^{bcd}
T_7 = OF-C_{800}	42.22^{ab}	44.29^{bc}	40.22^{b}
T_8 = OF-C_{400}+$CF_{OF-C400}$	42.61^{ab}	44.37^{bc}	41.02^{b}
T_9 = OF-D_{800}	43.66^{a}	48.29^{ab}	45.21^{a}
T_{10} = OF-D_{400}+$CF_{OF-D400}$	43.86^{a}	51.88^{a}	47.23^{a}
F-test	**	**	**
C.V. (%)	13.56	12.68	13.94

Note: [1/] MAP = months after planting

[2/] mean within the same column followed by the same letter indicates no statistical difference by DMRT

** indicated significant difference at $P< 0.01$

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพด

2.1 จำนวนฝักต่อต้น เปอร์เซ็นต์ฝักสมบูรณ์และน้ำหนักฝักทั้งเปลือก

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้จำนวนฝักต่อต้น เปอร์เซ็นต์ฝักสมบูรณ์และน้ำหนักฝักทั้งเปลือกของข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-C400+CFOF-C400) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 800 กก./ไร่ (OF-D800) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-D400+CFOF-D400) มีผลให้จำนวนฝักต่อต้นของข้าวโพดมากที่สุด (1.70 ฝักต่อต้น) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 800 กก./ไร่ (OF-C800) และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (CFDOA) นอกจากนี้ ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้จำนวนฝักสมบูรณ์ของข้าวโพดใกล้เคียงกันในช่วง 97.25-100.00% ยกเว้น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 800 กก./ไร่ (OF-A800) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-D400+CFOF-D400) มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือกของข้าวโพดมากที่สุด (2,523.37 กก./ไร่) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 800 กก./ไร่ (OF-D800) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-C400+CFOF-C400) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้จำนวนฝักต่อต้น เปอร์เซ็นต์ฝักสมบูรณ์ และน้ำหนักฝักทั้งเปลือกของข้าวโพดน้อยที่สุด (0.75 ฝักต่อต้น 85.25 เปอร์เซ็นต์ และ 1,252.43 กก./ไร่ ตามลำดับ)

Table 6 Ear number per plant, percentage of full ear and unhusked ear weight of maize

Treatments	Ear number/plant	Full ear (%)	Unhusked ear weight (kg/rai)
T_1 = control	0.75^{f} 1/	85.25^{c} 1/	$1,252.43^{f}$ 1/
T_2 = CF_{DOA}	1.60^{ab}	100.00^{a}	$2,136.42^{c}$
T_3 = OF-A_{800}	1.30^{e}	94.50^{b}	$1,658.23^{e}$
T_4 = OF-A_{400}+$CF_{OF-A400}$	1.40^{de}	97.25^{ab}	$1,756.46^{d}$
T_5 = OF-B_{800}	1.45^{cd}	98.75^{a}	$1,789.50^{d}$
T_6 = OF-B_{400}+$CF_{OF-B400}$	1.55^{bc}	100.00^{a}	$1,823.53^{d}$
T_7 = OF-C_{800}	1.65^{ab}	100.00^{a}	$2,245.33^{b}$
T_8 = OF-C_{400}+$CF_{OF-C400}$	1.70^{a}	100.00^{a}	$2,456.40^{a}$
T_9 = OF-D_{800}	1.70^{a}	100.00^{a}	$2,487.59^{a}$
T_{10} = OF-D_{400}+$CF_{OF-D400}$	1.70^{a}	100.00^{a}	$2,523.37^{a}$
F-test	**	**	**
C.V. (%)	14.01	12.11	15.86

Note: 1/ mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using by DMRT

** indicated significant difference at $P< 0.01$

2.2 น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-D400+ CFOF-D400) มีผลให้น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวโพดมากที่สุด (2,105.49 กก./ไร่ 1,476.40 กก./ไร่ และ 334.67 กรัม ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 800 กก./ไร่ (OF-D800) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-C400+ CFOF-C400) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวโพดน้อยที่สุด (989.44 กก./ไร่ 6748.20 กก./ไร่ และ 275.22 กรัม ตามลำดับ)

Table 7 Husked ear weight, grain weight and 1,000 grain weight of maize

Treatments	Husked ear weight (kg/rai)	Grain weight (kg/rai)	1,000 grain weight (g)
T_1 = control	989.44^{f} 1/	678.20^{f} 1/	275.22^{e} 1/
T_2 = CF_{DOA}	1,784.36^{c}	1,242.44^{c}	324.43^{b}
T_3 = OF-A_{800}	1,378.55^{e}	973.35^{e}	312.56^{d}
T_4 = OF-A_{400}+$CF_{OF-A400}$	1,462.43^{d}	1,026.46^{de}	314.41^{d}
T_5 = OF-B_{800}	1,488.53^{d}	1,045.35^{d}	319.42^{c}
T_6 = OF-B_{400}+$CF_{OF-B400}$	1,523.49^{d}	1,065.33^{d}	321.49^{bc}
T_7 = OF-C_{800}	1,872.42^{b}	1,323.49^{b}	324.60^{b}
T_8 = OF-C_{400}+$CF_{OF-C400}$	2,046.53^{a}	1,434.38^{a}	331.63^{a}
T_9 = OF-D_{800}	2,067.46^{a}	1,455.46^{a}	332.50^{a}
T_{10} = OF-D_{400}+$CF_{OF-D400}$	2,105.49^{a}	1,476.40^{a}	334.67^{a}
F-test	**	**	**
C.V. (%)	14.39	13.12	12.57

Note: 1/ mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using by DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

2.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโปรตีนในเมล็ด

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 8) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-D400+CFOF-D400) มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดมากที่สุด (1.75 และ 10.94% ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 800 กก./ไร่ (OF-D800) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ (OF-C400+CFOF-C400) โดยมีข้อสังเกตว่าทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวโพดจัดอยู่ในประเภท “ข้าวโพดเมล็ด เกรด 1”

คือ มีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่า 8% ตามมาตรฐานวัตถุดิบอาหารสัตว์ (พฤหัส และคณะ, 2560) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดน้อยที่สุด (1.16 และ 7.25% ตามลำดับ)

Table 8 Total N and protein in grain of maize

Treatments	Total N (%)	Protein (%)
T_1 = control	1.16^{e} 1/	7.25^{e} 1/
T_2 = CF_{DOA}	1.56^{bc}	9.75^{bc}
T_3 = OF-A_{800}	1.38^{d}	8.63^{d}
T_4 = OF-A_{400}+$CF_{OF-A400}$	1.40^{d}	8.75^{d}
T_5 = OF-B_{800}	1.48^{cd}	9.25^{cd}
T_6 = OF-B_{400}+$CF_{OF-B400}$	1.48^{cd}	9.25^{cd}
T_7 = OF-C_{800}	1.58^{bc}	9.88^{bc}
T_8 = OF-C_{400}+$CF_{OF-C400}$	1.64^{ab}	10.25^{ab}
T_9 = OF-D_{800}	1.72^{a}	10.75^{a}
T_{10} = OF-D_{400}+$CF_{OF-D400}$	1.75^{a}	10.94^{a}
F-test	**	**
C.V. (%)	12.49	13.84

Note: 1/ mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using by DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของจันจิรา และคณะ (2552) กัญณัฏฐ์ และคณะ (2555) ชัยวัฒน์ และคณะ (2558) และธนศมณท์ และคณะ (2561) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับข้าวโพดได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะเวลานานขึ้น ในทางตรงกันข้ามพบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ (control) มีผลให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะการปลูกพืชที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยในระยะยาวจะมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินลดน้อยลง และไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช

สรุปผลการทดลอง

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ มีผลให้ความสูงต้นและค่าความเขียวของใบข้าวโพดมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 800 กก./ไร่ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 400 กก./ไร่ ยังมีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวโพดมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร D อัตรา 800 กก./ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 400 กก./ไร่

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาวิชาการ ระหว่างภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ บริษัท ดี. เอ. รีเซิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช.

เอกสารอ้างอิง

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

กัญณัฏฐ์ ภรณ์สิริภัสร์, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ศุภชัย อำคา, จุฑามาศ ร่มแก้ว, ชาลินี คงสุด และ วิชญ์ ชินธรรมมิตร. (2555). ผลของปุ๋ยหมักกากสบู่ดำต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. (น.1235-1247) ใน *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ*. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

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

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

ชัยวัฒน์ วงษ์ไร, ชัยสิทธิ์ ทองจู, สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้ำชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ธนศมณท์ กุลการัณย์เลิศ, อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์ และศิริสุดา บุตรเพชร. (2558). ผลของกากตะกอนยีสต์จากโรงงานเอทานอลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิค 999. ใน *การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 4 "ธรรมชาติของดินและความจริงของปุ๋ยเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืน"*. (น. 188-195). สงขลา: กรมพัฒนาที่ดิน.

ชัยสิทธิ์ ทองจู, สิรินภา ช่วงโอภาส, สุชาดา กรุณา, สัญชัย ภู่เงิน, อัญธิชา พรมเมืองคุก, และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. (2561). *รายงานโครงการพัฒนาวิชาการฉบับสมบูรณ์ เรื่อง "การพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล และอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับพืชเศรษฐกิจในสภาพแปลง"*. (น. 195). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีระพงษ์ พรมสวัสดิ์, ชัยสิทธิ์ ทองจู, และจุฑามาศ ร่มแก้ว. (2553). ผลของการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับยิปซัมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. (น.43-53). ใน *การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ*. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ธนศมณท์ กุลการัณย์เลิศ, ชัยสิทธิ์ ทองจู และศุภชัย อำคา. (2555). ผลของกากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) ผสมขี้เถ้าลอยต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิค 999. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *1*(1), 29-41.

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

พฤหัส ศรีขวัญ, ชัยสิทธิ์ ทองจู, จุฑามาศ ร่มแก้ว และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. (2560). ผลของปุ๋ยไนโตรเจนปลดปล่อยช้าที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *6*(2), 10-21.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2560). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2558-2560.* กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Azmal, A. K. M., Marumoto, T., Shindo, H., & Nishiyama, M. (1996). Mineralization and microbial biomass formation in upland soil amended with some tropical plant residues at different temperatures. *Soil science and plant nutrition*, *42*(3), 463-473.

Berendse, F. (1990). Organic matter accumulation and nitrogen mineralization during secondary succession in heathland ecosystems. *The Journal of Ecology*, 413-427.

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