

การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอล ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Utilization of By-product from Ethanol Factory on Growth, Yield and Yield Components of Maize

ศิริประภา แก้วเรือง¹ ชัยสิทธิ์ ทองจู้^{1*} ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ และ ทศพล พรพรหม²
Siraprapa Kaewruang¹ Chaisit Thongjoo^{1*} Tawatchai Inboonchuy¹ and Tosapon
Pornprom²

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

¹ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

² ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

² Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

* Corresponding author: agrcht@ku.ac.th

(Received: 5 October 2021; Revised: 1 April 2022; Accepted: 6 May 2022)

Abstract

This investigation aimed to study the utilization of by-product from ethanol factory on growth, yield and yield components of hybrid maize (*var.* Seeds Tech 188) planted in Kamphaeng Saen soil series. Experimental design was arranged in Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications consisting of 8 treatments. The results revealed that the application of chemical fertilizer (CF) based on soil chemical analysis in combination with spent wash liquor (SWL) of 20 m³/rai and water treatment (WT) of 20 m³/rai (T₈: CF_{DOA}+SWL_{20 m³}+WT_{20 m³}) gave the highest plant height, husk yield, grain yield and protein in grain which were not different from the application of CF based on soil chemical analysis in combination with SWL of 10 m³/rai and WT of 10 m³/rai (T₇: CF_{DOA}+WT_{10 m³})

SWL_{10 m³}+WT_{10 m³}) and the application of CF based on soil chemical analysis in combination with SWL of 20 m³/rai (T₃: CF_{DOA}+SWL_{20 m³}). While, the CF_{DOA}+SWL_{20 m³}+WT_{20 m³} (T₈) gave the highest unhusk yield and total N in grain of maize which were not different from the CF_{DOA}+SWL_{10 m³}+WT_{10 m³} (T₇), CF_{DOA}+SWL_{20 m³} (T₃), the application of CF based on soil chemical analysis in combination with WT of 40 m³/rai (T₆: CF_{DOA}+WT_{40 m³}) and the application of CF based on soil chemical analysis in combination with WT of 20 m³/rai (T₅: CF_{DOA}+WT_{20 m³}).

Keywords: ethanol, maize, yield, spent wash liquor, water treatment

บทคัดย่อ

ศึกษาการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ลูกผสมซีดส์เทค 188 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 8 ดำรับทดลอง ผลการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำกากส่าอัตรา 20 ลบ.ม./ไร่ และน้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 20 ลบ.ม./ไร่ (T₈: CF_{DOA}+SWL_{20 m³}+WT_{20 m³}) มีผลให้ความสูงต้น น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักเมล็ด และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำกากส่าอัตรา 10 ลบ.ม./ไร่ และน้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 10 ลบ.ม./ไร่ (T₇: CF_{DOA}+SWL_{10 m³}+WT_{10 m³}) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำกากส่าอัตรา 20 ลบ.ม./ไร่ (T₃: CF_{DOA}+SWL_{20 m³}) ขณะที่ CF_{DOA}+SWL_{20 m³}+WT_{20 m³} (T₈) มีผลให้น้ำหนักฝักเปลือกและปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+SWL_{10 m³}+WT_{10 m³} (T₇), CF_{DOA}+SWL_{20 m³} (T₃) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 40 ลบ.ม./ไร่ (T₆: CF_{DOA}+WT_{40 m³}) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 20 ลบ.ม./ไร่ (T₅: CF_{DOA}+WT_{20 m³})

คำสำคัญ: เอทานอล ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ผลผลิต น้ำกากส่า น้ำบำบัด

คำนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญ โดยประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 6.53 ล้านไร่ ให้ผลผลิต 4.22 ล้านตัน (เฉลี่ย 722 กิโลกรัม/ไร่) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) ปัจจุบันความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยผลผลิตเกือบทั้งหมดประมาณร้อยละ 95 ใช้ในภาคอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ แต่เกษตรกรไม่สามารถผลิตได้เพียงพอต่อความต้องการของตลาดภายในประเทศ รวมทั้งปริมาณผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ไม่แน่นอน เนื่องจากการผลิตขึ้นกับสภาพของดินฟ้าอากาศ อย่างไรก็ตามมีแนวทางที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อหน่วยพื้นที่ให้สูงขึ้น เช่น การเลือกฤดูกาลปลูกที่เหมาะสมจะช่วยลดความเสียหายจากความแห้งแล้ง (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครราชสีมา, 2561) การศึกษาอัตราการใช้ปุ๋ยร่วมกับผลพลอยได้จากภาคเกษตรหรืออุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งช่วยเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิต (ธนสมณต์ และคณะ, 2561) เป็นต้น ที่ผ่านมามีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้จากภาคอุตสาหกรรมเกษตรมาช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เช่น กากตะกอนเยื่อกระดาษ (จันจิรา และคณะ, 2552) กากตะกอนยีสต์จากโรงงานผลิตเอทานอล (ชัยวัฒน์ และคณะ, 2558) น้ำกากสำจากโรงงานผลิตเอทานอล (รุจิกร และคณะ, 2563) เป็นต้น ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งปริมาณน้ำมันดิบจากธรรมชาติลดน้อยลง โดยผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลที่สำคัญ ได้แก่ น้ำกากสำ (spent wash liquor, SWL) และน้ำที่ผ่านการบำบัด (water treatment,

WT) ซึ่งมีปริมาณมากถึง 839,500 และ 912,500 ลูกบาศก์เมตร/ปี ตามลำดับ (ปริศนะ และคณะ, 2561) จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลดังกล่าวต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งของผลพลอยได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พันธุ์ซีตส์เทค 188 ในช่วงเดือนมีนาคม-เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic, Soil Survey Staff, 2003) ทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติของดิน ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์ดินตามหลักคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช (ทัตนิย และจรงค์, 2542) ได้แก่ ค่า pH (1:1) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเนื้อดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558) สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลอง

ได้แสดงไว้ใน Table 1 งานทดลองนี้ประกอบด้วย 24 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 4.5 เมตร และยาว 9.0 เมตร จำนวน 5 แถว มีระยะห่างระหว่างแถว 0.75 เมตร เก็บข้อมูลผลผลิตของข้าวโพดเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถว ระยะ 1 เมตร โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 3.0 x 7.0 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 3 ซ้ำ 8 ดำรับทดลอง โดยรายละเอียดของดำรับทดลองได้แสดงไว้ใน Table 2

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21% N) ปุ๋ยทริฟเฟอโรฟอสเฟต (46% P₂O₅) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60% K₂O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งละครึ่งอัตรา ในแต่ละดำรับทดลองที่อายุ 20 และ 40 วันหลังปลูก ยกเว้น ดำรับควบคุม (control) อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ 20, 5 และ 10 กิโลกรัม N, P₂O₅ และ K₂O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำกากส่า (spent wash liquor, SWL) และน้ำที่ผ่านการบำบัด (water treatment, WT) มาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท อินทิเกรทเต็ด รีเสิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด และภาควิชา ปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม (Table 3) โดยการใส่ผลพลอยได้ดังกล่าวจะแบ่งใส่ 4 ครั้ง ที่อายุ 20,

40, 60 และ 80 วันหลังปลูก กล่าวคือ ดำรับทดลองที่ 3, 4, 7 และ 8 ใส่น้ำกากส่าอัตรา 20, 40, 10 และ 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ตามลำดับ ส่วนดำรับทดลองที่ 5, 6, 7 และ 8 ใส่น้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 20, 40, 10 และ 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ตามลำดับ

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก ได้แก่ ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) โดยวัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด ด้วยเครื่อง chlorophyll meter (Minolta Co., Ltd., JAPAN: SPAD-502 model) ส่วนการเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโปรตีนในเมล็ด (คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ด (%) x empirical factor โดยกำหนด empirical factor สำหรับเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เท่ากับ 6.25) จากนั้นนำข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS)

Table 1 Properties of soil (0-30 cm depth) before the experiment

Properties	Results	Rating
pH (1:1 water)	7.15	neutral
EC _e (dS/m)	0.73	non-saline
Organic matter (%)	0.75	low
Available P (mg/kg)	37.12	high
Exchangeable K (mg/kg)	94.42	high
Exchangeable Ca (mg/kg)	1,089	high
Exchangeable Mg (mg/kg)	116.28	moderately
Exchangeable Na (mg/kg)	28.51	-
Texture	sandy loam	-

Table 2 Detail of treatments

Treatments	Descriptions	Symbols	Quantity of major elements (kgN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)
T ₁	no chemical fertilizer (CF) treatment	control	0-0-0
T ₂	the application of CF based on soil chemical analysis	CF _{DOA}	20-5-10
T ₃	the application of CF based on soil chemical analysis in combination with spent wash liquor (SWL) of 20 m ³ /rai	CF _{DOA} +SWL _{20 m³}	20.6-5.6-18.8
T ₄	the application of CF based on soil chemical analysis in combination with SWL of 40 m ³ /rai	CF _{DOA} +SWL _{40 m³}	21.2-6.2-27.6
T ₅	the application of CF based on soil chemical analysis in combination with water treatment (WT) of 20 m ³ /rai	CF _{DOA} +WT _{20 m³}	20-5-10
T ₆	the application of CF based on soil chemical analysis in combination with WT of 40 m ³ /rai	CF _{DOA} +WT _{40 m³}	20-5-10
T ₇	the application of CF based on soil chemical analysis in combination with SWL of 10 m ³ /rai and WT of 10 m ³ /rai	CF _{DOA} +SWL _{10 m³} +WT _{10 m³}	20.3-5.3-14.4
T ₈	the application of CF based on soil chemical analysis in combination with SWL of 20 m ³ /rai and WT of 20 m ³ /rai	CF _{DOA} +SWL _{20 m³} +WT _{20 m³}	20.6-5.6-18.8

Table 3 Properties of by-product from ethanol factory before the experiment

Properties	Results	
	spent wash liquor (SWL)	water treatment (WT)
pH	4.10	7.08
EC (dS/m)	16.15	2.85
Organic matter (%)	5.60	n.d.
Total N (mg/l)	300	n.d.
Available P ₂ O ₅ (mg/l)	300	n.d.
Exchangeable K ₂ O (mg/l)	4,400	n.d.
Total Ca (mg/l)	1,200	100
Total Mg (mg/l)	600	n.d.
Total S (mg/l)	500	300
Total Fe (mg/l)	n.d.	n.d.
Total Mn (mg/l)	n.d.	n.d.
Total Cu (mg/l)	n.d.	n.d.
Total Zn (mg/l)	n.d.	n.d.
Total B (mg/l)	n.d.	n.d.
Total Na (mg/l)	n.d.	200
Soluble Na (%)	0.16	0.47

Note n.d. = not detected

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ความสูงต้น

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ ที่อายุ 1 และ 2 เดือนหลังปลูก พบว่าการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (T₈: CF_{DOA}+SWL_{20 m3}+WT_{20 m3}) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

มากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (T₇: CF_{DOA}+SWL_{10 m3}+WT_{10 m3}) ส่วนที่อายุ 3 เดือนหลังปลูกพบว่า CF_{DOA}+SWL_{20 m3}+WT_{20 m3} (T₈) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (235.54 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+SWL_{10 m3}+WT_{10 m3} (T₇) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (T₃: CF_{DOA}+SWL_{20 m3}) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

Table 4 Plant height of maize at vegetative and reproductive stages

Treatments	Plant height (cm)		
	1 MAP ^{1/}	2 MAP ^{1/}	3 MAP ^{1/}
T ₁ = control	88.2 ^{f 2/}	119.4 ^{f 2/}	132.4 ^{f 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	125.6 ^d	164.6 ^d	208.5 ^d
T ₃ = CF _{DOA} +SWL _{20 m3}	138.5 ^{bc}	178.5 ^{bc}	228.7 ^{abc}
T ₄ = CF _{DOA} +SWL _{40 m3}	120.5 ^e	156.4 ^e	200.5 ^e
T ₅ = CF _{DOA} +WT _{20 m3}	133.3 ^c	173.6 ^c	222.4 ^c
T ₆ = CF _{DOA} +WT _{40 m3}	135.5 ^c	175.4 ^{bc}	225.5 ^{bc}
T ₇ = CF _{DOA} +SWL _{10 m3} +WT _{10 m3}	140.8 ^{ab}	180.7 ^{ab}	230.5 ^{ab}
T ₈ = CF _{DOA} +SWL _{20 m3} +WT _{20 m3}	144.7 ^a	185.5 ^a	235.5 ^a
F-test	**	**	**
CV (%)	12.24	12.89	12.98

^{1/} Months after planting

^{2/} Means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT

** indicates significant difference at $P < 0.01$

ค่าความเขียว (SPAD unit) ของใบ

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูก พบว่า ทุกดำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกัน ส่วนที่อายุ 2 และ 3 เดือนหลังปลูกพบว่า CF_{DOA}+SWL_{20 m3}+WT_{20 m3} (T₈) มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+SWL_{10 m3}+WT_{10 m3} (T₇), CF_{DOA}+SWL_{20 m3} (T₃) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำที่ผ่าน

การบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (T₆: CF_{DOA}+WT_{40 m3}) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (T₅: CF_{DOA}+WT_{20 m3}) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการใส่ปุ๋ยโดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำ ดังนั้นปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลดลง เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์นั่นเอง (ยงยุทธ, 2558)

Table 5 Leaf greenness (SPAD unit) of maize at vegetative and reproductive stages

Treatments	SPAD unit		
	1 MAP ^{1/}	2 MAP ^{1/}	3 MAP ^{1/}
T ₁ = control	35.42 ^{c 2/}	33.62 ^{d 2/}	30.79 ^{c 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	42.47 ^{ab}	47.63 ^{bc}	43.36 ^b
T ₃ = CF _{DOA} +SWL _{20 m3}	43.65 ^{ab}	49.58 ^{ab}	45.23 ^{ab}
T ₄ = CF _{DOA} +SWL _{40 m3}	40.63 ^b	46.33 ^c	42.89 ^b
T ₅ = CF _{DOA} +WT _{20 m3}	43.32 ^{ab}	48.72 ^{ab}	44.17 ^{ab}
T ₆ = CF _{DOA} +WT _{40 m3}	43.51 ^{ab}	49.24 ^{ab}	44.26 ^{ab}
T ₇ = CF _{DOA} +SWL _{10 m3} +WT _{10 m3}	43.79 ^{ab}	49.63 ^{ab}	45.39 ^{ab}
T ₈ = CF _{DOA} +SWL _{20 m3} +WT _{20 m3}	44.32 ^a	50.13 ^a	46.18 ^a
F-test	**	**	**
CV (%)	12.19	12.58	13.47

^{1/} Months after planting

^{2/} Means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT

** indicates significant difference at $P < 0.01$

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

น้ำหนักรากแห้งเปลือก

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักรากแห้งเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ CF_{DOA}+SWL_{20 m3}+WT_{20 m3} (T₈) มีผลให้น้ำหนักรากแห้งเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (2,674.75 กิโลกรัม/ไร่) ไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+SWL_{10 m3}+WT_{10 m3} (T₇) และ CF_{DOA}+SWL_{20 m3} (T₃) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักรากแห้งเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุดคือ 1,345.31 กิโลกรัม/ไร่

น้ำหนักรากแห้งเปลือก

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักรากแห้งเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ CF_{DOA}+SWL_{20 m3}+WT_{20 m3} (T₈) มีผลให้น้ำหนักรากแห้งเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (2,443.61 กิโลกรัม/ไร่) ไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+SWL_{10 m3}+WT_{10 m3} (T₇), CF_{DOA}+SWL_{20 m3} (T₃), CF_{DOA}+WT_{40 m3} (T₆) และ CF_{DOA}+WT_{20 m3} (T₅) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักรากแห้งเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุดคือ 950.36 กิโลกรัม/ไร่

น้ำหนักรวมเมล็ด

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักรวมเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ $CF_{DOA}+$

$SWL_{20\ m^3}+WT_{20\ m^3}$ (T_8) มีผลให้น้ำหนักรวมเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (1,409.54 กิโลกรัม/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m^3}+WT_{10\ m^3}$ (T_7) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักรวมเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุดคือ 546.28 กิโลกรัม/ไร่

Table 6 Husk yield, unhusk yield and grain yield of maize at harvesting

Treatments	Husk yield (kg/rai)	Unhusk yield (kg/rai)	Grain yield (kg/rai)
$T_1 = \text{control}$	1,345.3 ^{f 1/}	950.4 ^{d 1/}	546.3 ^{f 1/}
$T_2 = CF_{DOA}$	2,514.5 ^d	2,263.5 ^b	1,220.4 ^d
$T_3 = CF_{DOA}+SWL_{20\ m^3}$	2,657.5 ^{ab}	2,438.4 ^a	1,350.5 ^b
$T_4 = CF_{DOA}+SWL_{40\ m^3}$	2,473.3 ^e	2,213.6 ^c	1,190.5 ^e
$T_5 = CF_{DOA}+WT_{20\ m^3}$	2,618.5 ^c	2,418.5 ^a	1,302.6 ^c
$T_6 = CF_{DOA}+WT_{40\ m^3}$	2,653.6 ^b	2,433.2 ^a	1,347.7 ^b
$T_7 = CF_{DOA}+SWL_{10\ m^3}+WT_{10\ m^3}$	2,668.4 ^{ab}	2,440.5 ^a	1,404.6 ^a
$T_8 = CF_{DOA}+SWL_{20\ m^3}+WT_{20\ m^3}$	2,674.8 ^a	2,443.6 ^a	1,409.5 ^a
F-test	**	**	**
CV (%)	14.36	13.68	12.71

^{1/} Means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT
** indicates significant difference at $P < 0.01$

น้ำหนัก 1,000 เมล็ด

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ ทุกดำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี มีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกัน

ในช่วง 313.42-317.23 กรัม แต่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดำรับควบคุม (control) ซึ่งมีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด (295.76 กรัม)

ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ด

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ปริมาณไนโตรเจน

ในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+WT_{20\ m3}$ (T_8) มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (1.64 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+WT_{10\ m3}$ (T_7), $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$ (T_3), $CF_{DOA}+WT_{40\ m3}$ (T_6) และ $CF_{DOA}+WT_{20\ m3}$ (T_5) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด (1.18 เปอร์เซ็นต์)

ปริมาณโปรตีนในเมล็ด

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ

$CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+WT_{20\ m3}$ (T_8) มีผลให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (10.25 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+WT_{10\ m3}$ (T_7) และ $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$ (T_3) โดยมีข้อสังเกตว่าทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี มีผลให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดจัดอยู่ในประเภท “ข้าวโพดเมล็ดเกรด 1” คือ มีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง “กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ที่มีใช้อาหารสัตว์ควบคุมเฉพาะ ประเภทวัตถุดิบ พ.ศ. 2559” (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด (7.38 เปอร์เซ็นต์)

Table 7 1,000 grain weight, total N and protein in grain of maize at harvesting

Treatments	1,000 grain weight (g)	Total N (%)	Protein (%)
T_1 = control	295.76 ^{c 1/}	1.18 ^{d 1/}	7.38 ^{d 1/}
T_2 = CF_{DOA}	315.80 ^{ab}	1.51 ^{bc}	9.44 ^c
T_3 = $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$	316.59 ^{ab}	1.61 ^a	10.06 ^{ab}
T_4 = $CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}$	313.42 ^b	1.48 ^c	9.25 ^c
T_5 = $CF_{DOA}+WT_{20\ m3}$	316.23 ^{ab}	1.57 ^{ab}	9.81 ^b
T_6 = $CF_{DOA}+WT_{40\ m3}$	316.48 ^{ab}	1.58 ^{ab}	9.88 ^b
T_7 = $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+WT_{10\ m3}$	317.16 ^a	1.63 ^a	10.19 ^a
T_8 = $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+WT_{20\ m3}$	317.23 ^a	1.64 ^a	10.25 ^a
F-test	**	**	**
CV (%)	11.59	12.26	10.54

^{1/} Means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT

** indicates significant difference at $P < 0.01$

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการใส่น้ำกากส่าและน้ำที่ผ่านการบำบัด ($CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+WT_{20\ m3}$ (T_8) และ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+WT_{10\ m3}$ (T_7)) มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่น้ำกากส่าอัตราสูง (40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่) ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการของน้ำกากส่าและน้ำที่ผ่านการบำบัด (Table 3) พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารที่ค่อนข้างน้อย แสดงให้เห็นว่าระบบการบำบัดของเสียของโรงงานผลิตเอทานอลมีประสิทธิภาพสูง จึงมีปริมาณธาตุอาหารที่ปล่อยออกมาน้อยมาก จนถึงระดับที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ โดยเฉพาะน้ำที่ผ่านการบำบัด อย่างไรก็ตาม การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดผสมร่วมกับน้ำกากส่าจะช่วยลดข้อจำกัดในด้านค่า pH ที่เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid) และค่าการนำไฟฟ้าที่อยู่ในระดับเค็มมากที่สุด (> 16 dS/m) ของน้ำกากส่าได้ อีกทั้งยังสามารถใช้เพื่อทดแทนน้ำชลประทานได้อีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (T_8 : $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+WT_{20\ m3}$) มีผลให้ความสูงต้น น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักเมล็ด และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (T_7 : $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+WT_{10\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (T_3 : $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$) ขณะที่ $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+WT_{20\ m3}$ (T_8) มีผลให้น้ำหนักฝักเปลือก และปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+WT_{10\ m3}$ (T_7), $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$ (T_3) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (T_6 : $CF_{DOA}+WT_{40\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับน้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (T_5 : $CF_{DOA}+WT_{20\ m3}$)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท อินทิเกรทเต็ด รีเสิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช.

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใส่ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. ประกาศกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ที่มีใช้อาหารสัตว์ควบคุมเฉพาะ ประเภทวัตถุดิบ พ.ศ. 2559. แหล่งข้อมูล: <http://>

legal.dld.go.th/web2012/news/P15/133242201025593.PDF (7 พฤษภาคม 2563).

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบโสตทัศนูปกรณ์. คณะเกษตรกำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

จันจิรา แสงสีเหลือง ชัยสิทธิ์ ทองจุ จุฑามาศ รมแก้ว และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์. 2552. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน, น.19-28. การประชุมทางวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ. นครปฐม.

ชัยวัฒน์ วงษ์ไร ชัยสิทธิ์ ทองจุ สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์ ชาลินี คงสุด ชีรยุทธ คล้าชื่น ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ ธนศมณท์ กุลการ์ณย์เลิศ อุไรวรรณ โอยสุวรรณ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2558. ผลของกากตะกอนยีสต์จากโรงงานเอทานอลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 999, การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 4 “ธรรมชาติของดินและความจริงของปุ๋ยเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืน”. สงขลา. น.188-195.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันท์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธนศมณท์ กุลการ์ณย์เลิศ ชัยสิทธิ์ ทองจุ จุฑามาศ รมแก้ว และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และซีเมนต์ล่อยต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 36(1): 40-49. ынยุทธ โอสดสภา. 2558. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปรีศนะ จันท์ธรา ประดิพัทธ์ บำรุงศรี และอภิสิทธิ์ คล้ายนิล. 2561. สรุปการศึกษาดูงาน ณ โรงงานเอทานอลมิตรผล โป๊ปพูล (ด่านช้าง). ปราจีนบุรี.

รุจิกร ศรีแมนม่วง ชัยสิทธิ์ ทองจุ ศุภชัย อัคราธวัชชัย อินทร์บุญช่วย ชาลินี คงสุด และชีรยุทธ คล้าชื่น. 2563. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. แก่นเกษตร 48(2): 293-304.

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครราชสีมา. 2561. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. แหล่งข้อมูล: <https://www.opsmoac.go.th/nakhonratchasima-dwl-files-402791791882> (30 มีนาคม 2564).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2560-2562. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

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