

การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต
ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

Utilization of by-Product from Tanning Industry on Growth and Yield of Maize
Planted in Kamphaeng Saen Soil Series

อัจจริกา สินธพานินท์¹ ชัยสิทธิ์ ทองजू^{1*} ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ และอัญธิชา พรมเมืองคุก¹

Achrika Sintapanin¹, Chaisit Thongjoo^{1*}, Tawatchai Inboonchuay¹ and

Aunthicha Phommuangkuk¹

Received: January 15, 2025

Revised: March 3, 2025

Accepted: March 7, 2025

Abstract: The aim of this study was to investigate the utilization of by-product from tanning industry (BPTI) on growth and yield of hybrid maize cv. Seed Tech 188 planted in Kamphaeng Saen soil series. The experimental design was arranged in Randomized Complete Block (RCBD) with 3 replications and consisted of 8 treatments. The results of this study revealed that all treatments that applied of chemical fertilizer (CF) based on soil chemical analysis or the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI provided the highest plant height, leaf greenness (SPAD unit), ear weight, ear without husk weight, grain weight, 1,000 grain weight, total N and protein in grain and significantly different when comparing with the control treatment (control, T₁), which resulted in the lowest plant height, leaf greenness (SPAD unit), ear weight, ear without husk weight, grain weight, 1,000 grain weight, total N and protein in grain.

Keywords: By-product from tanning industry (BPTI), Maize, Protein in grain

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์ซีดเทค 188 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 8 ตำรับทดลอง ผลการทดลอง พบว่า ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างใดอย่างหนึ่ง การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้ความสูงต้น ค่าความเขียวของใบ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกัน และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ซึ่งมีผลให้ความสูงต้น ค่าความเขียวของใบ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด

คำสำคัญ: ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนัง, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, โปรตีนในเมล็ด

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

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

*Corresponding author: agrcht@ku.ac.th

คำนำ

ในปีเพาะปลูก 2565/66 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 6.40 ล้านไร่ ผลผลิต 4.70 ล้านตัน และผลผลิตเฉลี่ย 735 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่ในบางพื้นที่ให้ปริมาณผลผลิตไม่แน่นอน แนวทางที่ช่วยส่งเสริมผลผลิตของข้าวโพดให้สูงขึ้น คือ การเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ เช่น การใช้ผลพลอยได้จากภาคเกษตรหรือภาคอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ธนสมณท์และคณะ, 2561; ดัชนียาและคณะ, 2562; วิสัยรัตน์และคณะ, 2562; รุจิกรและคณะ, 2563; ศิริประภา และคณะ, 2565; Thongjoo *et al.*, 2002) เป็นต้น ที่ผ่านมามีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้จากภาคอุตสาหกรรมเกษตรมาช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เช่น การใช้กากตะกอนเยื่อกระดาษ (จันจิรา และคณะ, 2552; วิสัยรัตน์และคณะ, 2562; เสฏฐวุฒิ และคณะ, 2563) กากตะกอนยีสต์จากโรงงานเอทานอล (ชัยวัฒน์และคณะ, 2558; รุจิกร และคณะ, 2563) กากสุปุดำ (กัญญ์ฐ์ และคณะ, 2555) ผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) ผสมขี้เถ้าลอย (ธนสมณท์ และคณะ, 2561) เปลือกปูปด (ดัชนียา และคณะ, 2562) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตอาหาร (เกียรติศักดิ์และชัยสิทธิ์, 2561) เป็นต้น โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยผลพลอยได้ส่วนใหญ่มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย และอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005) ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนัง (by-product from tanning industry, BPTI) เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เพื่อแยกสารประกอบโปรตีนออกจากเศษของหนังสัตว์มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม กลิ่นเหม็นรุนแรง (Cooman *et al.*, 2003; Zhao *et al.*, 2022) มีปริมาณไนโตรเจนในช่วง 5-7 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในช่วง 25-30 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH ในช่วง 8-9 ค่าการนำไฟฟ้าในช่วง 8-10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง “กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560” (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2565) จึงเกิดแนวคิดว่า หากมีการนำผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังมาผลิตเป็นปุ๋ยชนิดเหลว และหาแนวทางการใช้ประโยชน์โดยการฉีดพ่นทางใบร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยพิจารณาจากผลของปุ๋ยชนิดเหลวดังกล่าวที่มีต่อการเจริญเติบโตผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมแล้ว ยังเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และช่วยลดมลภาวะที่อาจเกิดจากผลพลอยได้ดังกล่าวในระยะยาวได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ชิดโชค 188 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic, Soil Survey Staff, 2003) โดยเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณเหล็ก สังกะสี และโบรอนที่สกัดได้ (ทัศนีย์ และจรัสกร, 2542) รวมทั้งเนื้อดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558) สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลอง (Table 1) ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2566 จำนวน 24 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 4.5 เมตร ยาว 6.0 เมตร จำนวน 5 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 0.75 เมตร ระยะห่างระหว่างต้น 0.25 เมตร

เก็บข้อมูลผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถวประมาณ 1 เมตร คิดเป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 3.0×4.0 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 3 ซ้ำ 8 ตำรับทดลอง (Table 2)

ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (46 % P_2O_5) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 % K_2O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตรา ในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 20 และ 40 วันหลังปลูก ยกเว้น ตำรับควบคุม (control) อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ 20, 5 และ 5 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนัง (BPTI) ที่ใช้ในการทดลองมาจากโครงการพัฒนาวิชาการ ประสานงานบริการด้านวิจัย ระหว่าง บริษัท อินเตอร์กรีน จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. ประกอบด้วย 3 สูตร คือ 1) สูตรดั้งเดิม (by-product from tanning industry (original), BPTI (O)) 2) สูตร BPTI (N1) ประกอบด้วย BPTI (O) จำนวน 1,000 มิลลิลิตร และเติม $ZnSO_4$, $FeSO_4$ และ $Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O$ (sodium borate) อย่างละ 5 กรัม และ 3) สูตร BPTI (N_2) ประกอบด้วย BPTI (O) จำนวน 1,000 มิลลิลิตร และเติม $ZnSO_4$, $FeSO_4$ และ $Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O$ อย่างละ 10 กรัม โดยสมบัติบางประการของปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังทั้ง 3 สูตร (Table 3) (วิเคราะห์ตามวิธีการของสำนักวิทยาศาสตร์

เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2548) การฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังกระทำ 2 ครั้ง ที่อายุ 20 และ 40 วันหลังปลูก กล่าวคือ ตำรับทดลองที่ 3, 5 และ 7 ตวงปุ๋ยชนิดเหลวสูตร BPTI (O), BPTI (N_1) และ BPTI (N_2) จำนวน 150 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร โดยการฉีดพ่นแต่ละครั้งดำเนินการฉีดพ่น 4 ถึงต่อไร่ (1.2 ลิตรต่อไร่) ส่วนตำรับทดลองที่ 4, 6 และ 8 ตวงปุ๋ยชนิดเหลวสูตร BPTI (O), BPTI (N_1) และ BPTI (N_2) จำนวน 300 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร โดยการฉีดพ่นแต่ละครั้งดำเนินการฉีดพ่น 4 ถึงต่อไร่ (2.4 ลิตรต่อไร่)

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก ได้แก่ ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) (วัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด) โดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (Minolta Co., Ltd., JAPAN: SPAD-502 model) สำหรับเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก ได้แก่ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโปรตีนในเมล็ด ซึ่งคำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ด (%) x empirical factor โดยกำหนด empirical factor สำหรับเมล็ดข้าวโพดเท่ากับ 6.25 (National Research Council, 1994) จากนั้น นำข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS) version 22

Table 1 Chemical and physical properties of soil (0-30 cm) before the experiment.

Properties	Results	Rating ^{1/}
pH (1:1)	7.17	neutral
ECe (dS/m)	1.62	non-saline
Organic matter (%)	0.93	low
Available P (mg/kg)	72.69	very high
Exchangeable K (mg/kg)	115.23	high
Exchangeable Ca (mg/kg)	1,196	high
Exchangeable Mg (mg/kg)	76.58	moderate
Exchangeable Na (mg/kg)	31.85	-
Extractable Fe (mg/kg)	7.63	low
Extractable Zn (mg/kg)	0.59	low
Extractable B (mg/kg)	0.80	moderate
Texture	sandy loam	-

^{1/} = FAO Project Staff and Land Classification Division (1973)**Table 2** Detail of treatments.

Treatments	Descriptions	Symbols	Quantity of major elements	
			From chemical fertilizer (kgN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)	From by-product of tanning industry (BPTI) (gN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)
T ₁	no fertilizer and no spraying with by-product from tanning industry (BPTI) treatment	control	0-0-0	0-0-0
T ₂	the application of chemical fertilizers (CF) based on soil chemical analysis	CF _{DOA}	20-5-5	0-0-0
T ₃	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (O) of 1.2 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (O) _{1.2 l/rai}	20-5-5	65.04-0-0
T ₄	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (O) of 2.4 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (O) _{2.4 l/rai}	20-5-5	130.08-0-0
T ₅	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (N1) of 1.2 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (N ₁) _{1.2 l/rai}	20-5-5	80.76-0-0
T ₆	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (N1) of 2.4 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (N ₁) _{2.4 l/rai}	20-5-5	161.52-0-0
T ₇	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (N2) of 1.2 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (N ₂) _{1.2 l/rai}	20-5-5	85.68-0-0
T ₈	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (N2) of 2.4 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (N ₂) _{2.4 l/rai}	20-5-5	171.36-0-0

Note

- BPTI (O) of 1.2 l/rai = 13.74, 4.61 and 1.20 mgFe, Zn and B per rai, respectively.
- BPTI (O) of 2.4 l/rai = 27.48, 9.22 and 2.40 mgFe, Zn and B per rai, respectively.
- BPTI (N₁) of 1.2 l/rai = 557.34, 1,291.2 and 332.06 mgFe, Zn and B per rai, respectively.
- BPTI (N₁) of 2.4 l/rai = 1,114.68, 2,582.4 and 664.12 mgFe, Zn and B per rai, respectively.
- BPTI (N₂) of 1.2 l/rai = 463.26, 1,867.2 and 584.22 mgFe, Zn and B per rai, respectively.
- BPTI (N₂) of 2.4 l/rai = 926.52, 3,734.4 and 1,168.44 mgFe, Zn and B per rai, respectively.

Table 3 Properties of by-product from tanning industry (BPTI) before the experiment.

Properties	Results		
	BPTI (O)	BPTI (N ₁)	BPTI (N ₂)
pH	8.96	8.76	8.61
EC (dS/m)	10.02	9.92	9.98
Organic matter (%)	27.28	27.46	27.60
Total N (%)	5.42	6.73	7.14
Total P (%)	n.d.	n.d.	n.d.
Total K (%)	0.01	n.d.	0.01
Total Ca (%)	1.76	1.79	1.17
Total Mg (%)	0.01	n.d.	n.d.
Total S (%)	0.12	0.10	0.09
Total Na (%)	1.27	0.34	0.34
Total Cl (%)	0.76	0.78	0.75
Total Mn (mg/l)	0.61	1.08	3.63
Total Cu (mg/l)	4.05	n.d.	n.d.
Total Fe (mg/l)	11.45	264.45	386.05
Total Zn (mg/l)	3.84	1,076	1,556
Total B (mg/l)	1.00	276.72	486.85

Note

- n.d. = not detected
- BPTI (O) = by-product from tanning industry (original)
- BPTI (N₁) = BPTI (O) 1,000 ml + ZnSO₄ 5 g + FeSO₄ 5 g + Na₂[B₄O₅(OH)₄].8H₂O 5 g
- BPTI (N₂) = BPTI (O) 1,000 ml + ZnSO₄ 10 g + FeSO₄ 10 g + Na₂[B₄O₅(OH)₄].8H₂O 10 g

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของการใช้ประโยชน์ ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ปรากฏผลดังนี้

1. การเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

1.1 ความสูงต้น

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนัง สูตรต่าง ๆ รวมทั้งตัวควบคุม (control, T₁) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ ที่อายุ 1 และ 2

เดือนหลังปลูก พบว่า ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกัน ส่วนที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรใหม่ (2) อัตรา 2.4 ลิตรต่อไร่ ($CF_{DOA} + BPTI(N)_{2.4 \text{ l/rai}}$, T₈) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (243.44 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรใหม่ (1) อัตรา 2.4 ลิตรต่อไร่ ($CF_{DOA} + BPTI(N)_{1.2.4 \text{ l/rai}}$, T₆)

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรใหม่ (2) อัตรา 1.2 ลิตรต่อไร่ ($CF_{DOA} + BPTI (N_2)_{1.2 \text{ l/rai}}$, T_7) และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรใหม่ (1) อัตรา 1.2 ลิตรต่อไร่ ($CF_{DOA} + BPTI (N_1)_{1.2 \text{ l/rai}}$, T_5) ขณะที่การควบคุมมีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต

1.2 ค่าความเขียว (SPAD unit) ของใบ

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ รวมทั้งการควบคุม (control, T_1) มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ทุกการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การ

ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกัน และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุม ซึ่งมีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 2 เดือนหลังปลูกมีค่าสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการศึกษา สอดคล้องกับงานวิจัยของรุจิกร และคณะ (2563) วิไลรัตน์ และคณะ (2562) ดัชนียา และคณะ (2562) และศิริประภา และคณะ (2565) ที่ทดลองกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำ ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยที่ปลดปล่อยไนโตรเจนลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์นั่นเอง (ยงยุทธ, 2558)

Table 4 Plant height of maize at 1, 2 and 3 MAP^{1/}

Treatments	Plant height (cm)		
	1 MAP	2 MAP	3 MAP
T_1 = control	51.60 ^{f2/}	118.54 ^{e2/}	154.66 ^{f2/}
T_2 = CF_{DOA}	85.49 ^e	151.52 ^d	218.57 ^e
T_3 = $CF_{DOA} + BPTI (O)_{1.2 \text{ l/rai}}$	87.67 ^{de}	153.54 ^d	221.58 ^{de}
T_4 = $CF_{DOA} + BPTI (O)_{2.4 \text{ l/rai}}$	90.50 ^{cd}	155.49 ^{cd}	225.50 ^d
T_5 = $CF_{DOA} + BPTI (N_1)_{1.2 \text{ l/rai}}$	92.65 ^{bc}	161.33 ^{bc}	233.52 ^c
T_6 = $CF_{DOA} + BPTI (N_1)_{2.4 \text{ l/rai}}$	95.23 ^{ab}	168.23 ^a	240.44 ^{ab}
T_7 = $CF_{DOA} + BPTI (N_2)_{1.2 \text{ l/rai}}$	94.44 ^{abc}	165.68 ^{ab}	236.64 ^{bc}
T_8 = $CF_{DOA} + BPTI (N_2)_{2.4 \text{ l/rai}}$	97.23 ^a	170.43 ^a	243.44 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	13.62	12.28	12.41

^{1/} Months after planting

^{2/} means within the same column followed by the same letters indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at $P < 0.01$

Table 5 Leaf greenness (SPAD unit) of maize at 1, 2 and 3 MAP^{1/}

Treatments	SPAD unit		
	1 MAP	2 MAP	3 MAP
T ₁ = control	36.82 ^{c 2/}	34.65 ^{b 2/}	32.33 ^{c 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	42.64 ^b	48.25 ^a	45.78 ^b
T ₃ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{1.2 l/rai}	42.72 ^b	48.64 ^a	46.33 ^b
T ₄ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{2.4 l/rai}	42.83 ^b	48.72 ^a	46.84 ^{ab}
T ₅ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1.2 l/rai}	44.64 ^{ab}	50.64 ^a	48.53 ^{ab}
T ₆ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1.2 2.4 l/rai}	45.18 ^{ab}	51.32 ^a	48.72 ^{ab}
T ₇ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2.4 l/rai}	44.83 ^{ab}	50.83 ^a	48.61 ^{ab}
T ₈ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2.4 2.4 l/rai}	45.72 ^a	51.64 ^a	49.32 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	12.36	11.48	10.37

^{1/} Months after planting^{2/} means within the same column followed by the same letters indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.1 น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ด

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ รวมทั้งดำรับควบคุม (control, T₁) มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ ทุกดำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกันในช่วง 2,582.39-2,648.57, 2,397.51-2,452.47 และ 1,310.24-1,354.71 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดำรับควบคุม ซึ่งมีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ด

ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด (1,257.71, 1,028.57 และ 639.70 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ)

2.2 น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ด

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ รวมทั้งดำรับควบคุม (control, T₁) มีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ ทุกดำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกันในช่วง 317.24-318.45 กรัม, 1.59-1.69 และ 9.94-10.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ดำรับควบคุมมีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีน ในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด

(312.64 กรัม 1.22 และ 7.63 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่าทุกตัวรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดี่ยว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดจัดอยู่ในประเภท

“ข้าวโพดเมล็ด เกรด 1” คือ มีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง “กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ที่มีใช้อาหารสัตว์ควบคุมเฉพาะ ประเภทวัตถุดิบ พ.ศ. 2559” (ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

Table 6 Ear weight, ear without husk weight and grain weight of maize.

Treatments	Ear weight (kg/rai)	Ear without husk weight (kg/rai)	Grain weight (kg/rai)
T ₁ = control	1,257.71 ^{e 1/}	1,028.57 ^{b 1/}	639.70 ^{c 1/}
T ₂ = CF _{DOA}	2,582.39 ^d	2,397.51 ^a	1,310.24 ^b
T ₃ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{1.2 l/rai}	2,596.67 ^{cd}	2,410.58 ^a	1,322.52 ^{ab}
T ₄ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{2.4 l/rai}	2,612.46 ^{bc}	2,426.75 ^a	1,328.62 ^{ab}
T ₅ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1 1.2 l/rai}	2,633.71 ^{ab}	2,433.54 ^a	1,340.42 ^{ab}
T ₆ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1 2.4 l/rai}	2,642.46 ^a	2,450.63 ^a	1,353.60 ^a
T ₇ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2 1.2 l/rai}	2,637.58 ^{ab}	2,438.35 ^a	1,347.65 ^a
T ₈ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2 2.4 l/rai}	2,648.57 ^a	2,452.47 ^a	1,354.71 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	15.61	13.15	12.45

^{1/} means within the same column followed by the same letters indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

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

Treatments	1,000 grain weight (g)	Total N (%)	Protein (%)
T ₁ = control	312.64 ^{b 1/}	1.22 ^{c 1/}	7.63 ^{c 1/}
T ₂ = CF _{DOA}	317.24 ^a	1.59 ^b	9.94 ^b
T ₃ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{1.2 l/rai}	317.41 ^a	1.62 ^{ab}	10.13 ^{ab}
T ₄ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{2.4 l/rai}	317.47 ^a	1.63 ^{ab}	10.19 ^{ab}
T ₅ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1 1.2 l/rai}	317.56 ^a	1.65 ^{ab}	10.31 ^{ab}
T ₆ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1 2.4 l/rai}	318.45 ^a	1.68 ^{ab}	10.50 ^{ab}
T ₇ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2 1.2 l/rai}	318.15 ^a	1.67 ^{ab}	10.44 ^{ab}
T ₈ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2 2.4 l/rai}	318.45 ^a	1.69 ^a	10.56 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	9.36	11.29	9.38

^{1/} means within the same column followed by the same letters indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ ในช่วงอัตรา 1.2-2.4 ลิตรต่อไร่ มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินแต่เพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับงานวิจัยของชญาณี และคณะ (2567) ที่ทดลองกับมันสำปะหลัง และงานวิจัยของภูเบศ และคณะ (2567) ที่ทดลองกับอ้อย ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนัง อาจมีสมบัติเป็นสารกระตุ้นเชิงชีวภาพของพืช (bio-stimulants) เนื่องจากจัดอยู่ในกลุ่มของสารชีวมีก ผลิตภัณฑ์ที่มีฮอโมน และกรดอะมิโน ซึ่งมีการใช้ในปริมาณน้อยโดยการฉีดพ่นทางใบ (ยงยุทธ, 2560) แต่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารพืช นอกจากนี้ ปุ๋ยชนิดเหลวดังกล่าว มีธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน) และจุลธาตุผสมอยู่ด้วย โดยเฉพาะธาตุเหล็ก สังกะสี และโบรอน (Table 3) ประกอบกับแปลงทดลองที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีปริมาณเหล็ก และสังกะสีที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำ ส่วนโบรอนที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลาง (Table 1) จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยภาพรวมดีขึ้นได้ สอดคล้องกับน้ำผึ้ง และคณะ (2565) ที่รายงานว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสัตว์ปีก ทั้งการคลุกผสมกับปุ๋ยเคมี หรือการฉีดพ่นส่วนเหนือดินของพืช มีผลให้ผลผลิตอ้อยสด และค่า CCS มากที่สุด รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการวิจัยที่รายงานว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับสังกะสี (วรัญญา และคณะ, 2562) และโบรอน (ยศวดี และคณะ, 2561) มีแนวโน้มให้ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี และโบรอนที่สะสมในท่อนลำอ้อยมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว โดยผลการทดลองจะเด่นชัดเมื่อมีการปลูกทดสอบกับอ้อยในดินที่มีปริมาณสังกะสีและโบรอนในระดับต่ำ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังมีปริมาณโลหะ

หนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง “กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560” แต่การนำผลพลอยได้ดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรในระยะยาว ก็ควรคำนึงถึงผลตกค้างของโลหะหนักในดินและในพืชด้วยเช่นกัน

สรุป

ทุกตำราทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้ความสูงต้น ค่าความเขียวของใบ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกัน และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำราควบคุม ซึ่งมีผลให้ความสูงต้น ค่าความเขียวของใบ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาวิชาการ ประเภทงานบริการด้านวิจัย ระหว่างบริษัท อินเตอร์ กรีน จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช.

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้น้ำกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร. 100 หน้า.
- เกียรติศักดิ์ สนศรี และชัยสิทธิ์ ทองจุ. 2561. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารดินและปุ๋ย 40 (1): 27-38.

- กัญจน์ฐ์ ภรณ์สิริภัสร์ ชัยสิทธิ์ ทองจุ สุภชัย อำคา จุฑามาศ ร่มแก้ว ชาลินี คงสุด และวิชัย ชินธรรมมิตร. 2555. ผลของปุ๋ยหมักกากสับดำต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. หน้า 1235-1247. ใน: การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบไฮโดรทศานุกรณ์. คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม. 174 หน้า.
- จันจิรา แสงสีเหลือง ชัยสิทธิ์ ทองจุ จุฑามาศ ร่มแก้ว และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์. 2552. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. หน้า 19-28. ใน: การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ชญาณี บุตรครุฑ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และอัณิชา พรมเมืองคุก. 2567. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 7(3): 125-136.
- ชัยวัฒน์ วงษ์ไร ชัยสิทธิ์ ทองจุ สุภาวูธ รุ่งเมฆารัตน์ ชาลินี คงสุด ธีรยุทธ คล้าชื่น ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ ธนสมณท์ กุลการณย์เลิศ อุไรวรรณ ไอยสุวรรณและศิริสุดา บุตรเพชร. 2558. ผลของกากตะกอนยีสต์จากโรงงานเอทานอลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 999. หน้า 188-195. ใน: การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 4 “ธรรมชาติของดินและความจริงของปุ๋ยเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืน”, สงขลา.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ สิริินภา ช่วงโอภาส อัณิชา พรมเมืองคุก สุชาดา กรุณา เกวลิน ศรีจันทร์ ธีรยุทธ คล้าชื่น ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย ชาลินี คงสุด และ ธรรมธวัช แสงงาม. 2565. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง “การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจและสมบัติของดินบางประการ”, นครปฐม. 322 หน้า.
- ดัชนียา สิมมา, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, เกวลิน ศรีจันทร์, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, อัณิชา พรมเมืองคุก, สิริินภา ช่วงโอภาส, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม, ธีรยุทธ คล้าชื่น และศิริโรจน์ สุวรรณโณ. 2562. การใช้ประโยชน์เปลือกปูปดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2(2): 67-78.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันท์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 108 หน้า.
- ธนสมณท์ กุลการณย์เลิศ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฑามาศ ร่มแก้ว และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 36(1): 40-49.
- น้ำผึ้ง แสงใส, ชัยสิทธิ์ ทองจุ ธวัชชัย, อินทร์บุญช่วย และจุฑามาศ ร่มแก้ว. 2565. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสัตว์ปีกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย. วารสารผลิตภัณฑ์การเกษตร 4(2): 27-39.

- ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ที่มีใช้ อาหารสัตว์ควบคุมเฉพาะ ประเภทวัตถุดิบ พ.ศ. 2559. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://legal.dld.go.th/web2012/news/P15/133242201025593.PDF> (7 พฤษภาคม 2563).
- ภูเบศ กุลศิริ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และอัญชิชา พรหมเมืองคุก. 2567. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 7(3): 61-71.
- ยงยุทธ ไสยธสสา. 2558. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 548 หน้า.
- ยงยุทธ ไสยธสสา. 2560. การใช้ปุ๋ยและสารเร่งทางใบ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 348 หน้า.
- ยศวดี เม่งเอียด, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2561. ผลของการจัดการปุ๋ยเคมีร่วมกับไบรอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยต่อ (ปีที่ 1) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 1(2): 80-94.
- รุจิกร ศรีแมนม่วง, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, ชาลินี คงสุต และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2563. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารเกษตร 48(2): 293-304.
- วรัญญา เอมถมยา นัฐพร กลิ่นหอม ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย จุฑามาศ ร่มแก้ว, ชาลินี คงสุต ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. การจัดการปุ๋ยร่วมกับสังกะสีต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. หน้า 69-82. ใน: การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 6 “ดิน: กำเนิดของอาหารเพื่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม”, นครปฐม.
- วิไลรัตน์ แป้นแก้ว, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, กนกกรสินมา, สิริณภา ช่วงโสภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญชิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุต, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และสมบัติของดินบางประการ. วารสารวิชาการเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน สายวิทยาศาสตร์ 2(1): 28-41.
- ศิริประภา แก้วเรือง, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และทศพล พรพรหม. 2565. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารผลิตกรรมการเกษตร 4(3): 1-12.
- เสฏฐวุฒิ อภิวัฒน์ตั้งสกุล, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, สิริณภา ช่วงโสภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญชิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุต, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2563. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 3(2): 34-46.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563-2565. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร. 224 หน้า.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2548. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุ

- ปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจ
รับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 2. กรม
พัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
กรุงเทพมหานคร. 254 หน้า.
- Cooman, K., M. Gajardo, J. Nieto, C. Bornhardt
and G. Vidal. 2003. Tannery waste water
characterization and toxicity effects
on *Daphnia* spp. Environmental
Toxicology 18(1):45–51.
- FAO Project Staff and Land Classification
Division. 1973. Soil interpretation
handbook for Thailand. Department of
Land Development, Ministry of
Agriculture and Cooperation, Bangkok.
135 p.
- National Research Council. 1994. Nutrient
Requirements of Poultry. 9th revised ed.
National Academy press, Washington,
D.C. 155 p.
- Soil Survey Staff. 2003. Key to Soil Taxonomy:
Ninth Edition. United States Department
of Agriculture, Natural Resources
Conservation Service, Washington,
D.C. 332 p.
- Thongjoo, C., S. Panichsakpatana, and
S. Miyagawa. 2002. Efficiency of some
selected organic wastes as nitrogen
fertilizer for baby corn (*Zea mays* L.).
The 133th meeting of the Tokai
Branch of Crop Science Society,
Aichi-Ken Agricultural Research
Center, Japan, 5-6 August 2002, 43 p.
- 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
Production Science 8(4): 475-481.
- Zhao, J., Q. Wu, Y. Tang, J. Zhou, and H. Guo.
2022. Tannery wastewater treatment:
conventional and promising processes,
an updated 20-year review. Journal of
Leather Science and Engineering 4(1):
1-22.