

ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบ
ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

Efficient Use from Pulp and Paper Industrial Waste Materials on Growth and Yield Components
of Maize (*Zea mays* L.) Planted in Kamphaeng Saen Soil Series

จันจิรา แสงสีเหลือง¹ ชัยสิทธิ์ ทองจู้¹ จุตามาศ ร่มแก้ว² และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์³

Janjira Sangseeleung¹, Chaisit Thongjoo¹, Jutamas Romkaew² and Kriengkri Kaewtrakulpong³

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของกากตะกอนเยื่อกระดาษ (activated sludge cake, AS) ผสมซีเถ้าลอย (fly ash, FA) (อัตราส่วน 5:1 โดยน้ำหนักแห้ง) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ประกอบด้วย 4 ซ้ำ 7 ตำรับทดลองปรากฏผลดังนี้ คือ การใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ [(AS+FA)₂ + IF_{(AS+FA)2}] มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดมากที่สุด ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ [IF_{(AS+FA)4}] และการใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ [(AS+FA)₄] ตามลำดับ ขณะที่ทุกตำรับทดลอง มีผลให้ค่าความสูงต้นและความสูงคอกธงของข้าวโพดที่ระยะ 1 และ 2 เดือน ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับตำรับควบคุม (control) ในด้านองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พบว่า การใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ [(AS+FA)₂ + (IF_{AS+FA})₂] มีผลให้จำนวนฝักสมบูรณ์สูงที่สุด (83.06%) ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ [IF_{(AS+FA)4}] และการใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ [(AS+FA)₄] ตามลำดับ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ (IF_{AS+FA})₄ มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดมากที่สุด ใกล้เคียงกับการใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ [(AS+FA)₂ + (IF_{AS+FA})₂] และการใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ (AS+FA)₄ ตามลำดับ

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

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

² ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

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

³ ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเฝ้าลอย(Ch) มีผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่ำที่สุด

คำสำคัญ : วัสดุเหลือใช้ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ชุดดินกำแพงแสน

ABSTRACT

This study investigated effects of activated sludge cake (AS) mixing with fly ash (FA), (5:1 by dry weight) on growth and yield components of maize (*Zea Mays L.*) planted in Kamphaeng Saen soil series. Experimental design was RCBD with 4 replications and 7 treatments. The study revealed that applying AS mixing with FA (2 ton/rai) combining with chemical fertilizers, i.e., equivalent to 2 ton/rai of AS mixing with FA [(AS+FA)₂ + IF_{(AS+FA)2}] effected on the highest leaf greenness of maize nearly the same as applying chemical fertilizers, equivalent to 4 ton/rai of AS mixing with FA [IF_{(AS+FA)4}] and 4 ton/rai of AS mixing with FA (AS+FA)₄, respectively. While all treatments effected on plant height and flag leaf sheath of maize at one and two months no significantly different when comparing with the control treatment. Regarding yield components of maize, it was found that applying 2 ton/rai of AS mixing with FA combining with chemical fertilizers, i.e., equivalent to 2 ton/rai of AS mixing with FA [(AS+FA)₂ + IF_{(AS+FA)2}] effected on the highest of full ear (83.06%) nearly the same as applying chemical fertilizers, i.e., equivalent to 4 ton/rai of AS mixing with FA [IF_{(AS+FA)4}] and applying 4 ton/rai of AS mixing with FA (AS+FA)₄, respectively. Besides, applying chemical fertilizers, i.e., equivalent to 4 ton/rai of AS mixing with FA [IF_{(AS+FA)4}] effected on the highest of ear weight, ear not husk and grain weight nearly the same as applying 2 ton/rai of AS mixing with FA combining with chemical fertilizers, i.e., equivalent to 2 ton/rai of AS mixing with FA [(AS+FA)₂ + IF_{(AS+FA)2}] and applying 4 ton/rai of AS mixing with FA (AS+FA)₄, respectively. While the control treatment effected on the lowest growth and yield components of maize.

Keywords : waste materials, maize (*Zea mays L.*), Kamphaeng Saen soil series

E-mail : thongjuu@yahoo.com, jn_sang@yahoo.com

คำนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์เป็นอย่างมาก ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบันยังมีไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศ แนวทางหนึ่งส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดให้สูงขึ้น คือ การเพิ่มผลผลิตข้าวโพดต่อหน่วยพื้นที่ให้สูงขึ้น การศึกษาอัตราปุ๋ยที่เหมาะสม รวมทั้งการลดต้นทุนการผลิตโดยการใช้วัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรหรือภาคอุตสาหกรรมเกษตรที่มีคุณค่าทางธาตุอาหารสูง และปราศจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ชัยสิทธิ์, 2538; Thongjoo, 2005) โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งหากมีการปลูกพืชต่อเนื่องกันหลายปีอาจมีผลให้ดินขาดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชอย่างถาวรได้ (Azmal *et al.*, 1996) ซึ่งวัสดุเหลือใช้จำนวนมากที่เกิดขึ้นจาก

กระบวนการผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ เช่น กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย และเถ้าลอยจากการเผาถ่านหิน มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ (recycle) ค่อนข้างน้อย จึงถูกทิ้งไว้ในแหล่งผลิตหรือบริเวณข้างเคียง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหากระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางดิน น้ำ และอากาศในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005) จึงเกิดแนวคิดว่าหากมีการนำกากตะกอนน้ำเสีย และเถ้าลอยจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษมาใช้ประโยชน์ในแง่การทดแทนปุ๋ย หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยพิจารณาจากผลของวัสดุเหลือใช้ดังกล่าว ที่มีต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งของวัสดุเหลือใช้ อีกทั้งยังช่วยลดมลภาวะที่อาจเกิดจากวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวในระยะยาวได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมเถ้าลอย (อัตราส่วน 5 : 1 โดยน้ำหนักแห้ง) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 999 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiaactive, isohyperthermic) (Soil Survey Staff, 2003) ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. นครปฐม โดยวางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 7 ตำรับทดลอง ดังนี้

- 1) ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและเถ้าลอย [Control]
- 2) ใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ [(AS+FA)₂]
- 3) ใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ [IF_{(AS+FA)2}]
- 4) ใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและเถ้าลอยอัตรา 1 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและเถ้าลอยอัตรา 1 ตัน/ไร่ [(AS+FA)₁ + IF_{(AS+FA)1}]
- 5) ใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ [(AS+FA)₄]
- 6) ใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ [IF_{(AS+FA)4}]
- 7) ใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ [(AS+FA)₂ + IF_{(AS+FA)2}]

การเตรียมแปลงทดลอง โดยแบ่งเป็นแปลงย่อยจำนวน 28 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 4 เมตร และยาว 5 เมตร มีระยะห่างระหว่างแปลงย่อย 50 เซนติเมตร แต่ละแปลงย่อยมีจำนวนร่อง 5 แถว ห่างกันแถวละ 0.75 เมตร ปลูกข้าวโพดแต่ละหลุมห่างกัน 0.25 เมตร โดยหยอดเมล็ดหลุมละ 2-3 เมล็ด เมื่อข้าวโพดอายุได้ 15 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม และมีขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยวเท่ากับ 2.25 x 4.00 เมตร

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46%N) ซูเปอร์ฟอสเฟต (20%P₂O₅) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (60%K₂O) ทำการแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละตำรับทดลอง ที่ระยะ 20 และ 40 วันหลังปลูก โดยตำรับทดลองที่ 3 และ 7 ใส่อัตรา 24.60, 10.99 และ 14.64 กิโลกรัม N, P₂O₅ และ K₂O ต่อไร่ ตามลำดับ ตำรับทดลองที่ 4 ใส่อัตรา 12.30, 5.50 และ 7.32 กิโลกรัม N, P₂O₅ และ K₂O ต่อไร่ ตามลำดับ และตำรับทดลองที่ 6 ใส่อัตรา 49.20, 21.98 และ 29.28 กิโลกรัม N, P₂O₅ และ K₂O ต่อไร่ ตามลำดับ

การใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเมนต์ (อัตราส่วน 5:1 โดยน้ำหนักแห้ง; ปาจารย์ และคณะ, 2552) ทำการใส่เพียงครั้งเดียวภายหลังการถอนแยกกล้าข้าวโพด โดยตำรับทดลองที่ 2 และ 5 ใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเมนต์ในอัตรา 2 และ 4 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนตำรับทดลองที่ 4 และ 7 ใส่วัสดุผสมระหว่างกากตะกอนเยื่อกระดาษและซีเมนต์เพียงครั้งอัตราของตำรับการทดลองที่ 2 และ 5 คือ 1 และ 2 ตันต่อไร่ ตามลำดับ

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ ความสูงต้น ความสูงคอรัง และค่าความเขียวของใบ (SPAD reading) การเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ จำนวนฝักทั้งหมด น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก จำนวนฝักสมบูรณ์ น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนักขัง

สำหรับค่าวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีและฟิสิกส์ และวัสดุเหลือใช้ก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 1

Table 1 Chemical and physical properties of soil and waste materials before the experiment

Properties	Ks soil series	Properties	AS	FA	AS : FA (5 : 1 by weight)
pH (1:1)	7.51	pH (1:1)	7.00	9.96	7.02
EC (1:5, dS/m)	0.74	EC (1:5, dS/m)	0.85	2.66	0.21
Organic Matter (%)	0.39	Total N (%)	1.52	n.d.	1.23
Available P (mg/kg)	59.44	Total P (%)	0.51	0.43	0.24
Exchangeable K (mg/kg)	69.11	Total K (%)	0.36	1.48	0.61
Exchangeable Ca (mg/kg)	3331.45	Total Ca (%)	0.02	3.02	0.15
Exchangeable Mg (mg/kg)	72.63	Total Mg (%)	0.23	0.70	0.36
Total N (mg/kg)	0.034	Total S (%)	0.74	1.68	0.93
Total S (%)	n.d.	Moisture (%)	71.73	26.98	39.34
Field Capacity (FC, %)	23.04	Note :			
Permanent Wilting Point (PWP, %)	4.50	Ks = Kamphaeng Saen series			
Available Water Capacity (AWCA, %)	18.54	AS = Activated sludge cake			
Bulk density (Db, g/cm ³)	1.58	FA = Fly ash			
Particle density (Ds, g/cm ³)	2.64	n.d. = not detected			
Total porosity (E, %)	0.40				
Void ratio (e)	0.67				

ผลและวิจารณ์

1. การเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

1.1 ความสูงต้นและความสูงคอรัง

การใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเมนต์อย่างเดียวหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลต่อความสูงต้นและความสูงคอรังของข้าวโพดที่ระยะ 1 และ 2 เดือน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) โดยมีแนวโน้มว่าการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเมนต์อัตรา 2 ตันไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเมนต์อัตรา 2 ตันไร่ [(AS+FA)₂ + IF_{(AS+FA)2}] มีผลให้ความสูงต้นและความสูงคอรังของต้นข้าวโพดมากที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเมนต์ (control) มีผลต่อความสูงต้นและความสูงคอรังของต้นข้าวโพดต่ำที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

1.2 ความเขียวของใบ

การใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอย่างเดี่ยวหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยว มีผลต่อค่าความเขียวของใบข้าวโพดที่ระยะ 1 และ 2 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 2) โดยการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากับกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 2 ตัน/ไร่ $[(AS+FA)_2 + IF_{(AS+FA)2}]$ มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดสูงที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากับกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 4 ตัน/ไร่ $[IF_{(AS+FA)4}]$ และการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 4 ตัน/ไร่ $[(AS+FA)_4]$ ตามลำดับ ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอส (control) มีผลต่อค่าความเขียวของใบข้าวโพดต่ำที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต นอกจากนี้ มีข้อสังเกตว่าตำรับทดลองที่มีการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอย่างเดี่ยวหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยวในอัตราที่สูงขึ้น มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดสูงกว่าตำรับทดลองที่มีการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอย่างเดี่ยว หรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยวในอัตราที่ต่ำกว่า ในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพด

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.1 จำนวนฝักต่อต้น

การใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอย่างเดี่ยวหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยว มีผลต่อจำนวนฝักต่อต้นของข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยว ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 3) โดยมีแนวโน้มว่าการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากับกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 2 ตัน/ไร่ $[(AS+FA)_2 + IF_{(AS+FA)2}]$ มีผลให้จำนวนฝักต่อต้นของข้าวโพดมากที่สุด (1.33 ฝักต่อต้น) ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอส (control) มีผลต่อจำนวนฝักต่อต้นของข้าวโพดต่ำที่สุด (1.06 ฝักต่อต้น)

2.2 จำนวนฝักสมบูรณ์

การใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอย่างเดี่ยวหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยว มีผลต่อจำนวนฝักสมบูรณ์ของข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) โดยการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากับกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 2 ตัน/ไร่ $[(AS+FA)_2 + IF_{(AS+FA)2}]$ มีผลให้จำนวนฝักสมบูรณ์ของข้าวโพดมากที่สุด (83.06 %) ใกล้เคียงกับ การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากับกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 4 ตัน/ไร่ $[IF_{(AS+FA)4}]$ การใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 4 ตัน/ไร่ $[(AS+FA)_4]$ การใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 1 ตัน/ไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากับกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 1 ตัน/ไร่ $[(AS+FA)_1 + IF_{(AS+FA)1}]$ และการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากับกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอัตรา 2 ตัน/ไร่ $[IF_{(AS+FA)2}]$ ตามลำดับ ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอส (control) มีผลต่อจำนวนฝักสมบูรณ์ของข้าวโพดต่ำที่สุด (64.60 %) นอกจากนี้ มีข้อสังเกตว่าตำรับทดลองที่มีการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอย่างเดี่ยว หรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยวในอัตราที่สูงขึ้น จะมีผลให้จำนวนฝักสมบูรณ์ของข้าวโพดสูงกว่าตำรับทดลองที่มีการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีลัลลอสอย่างเดี่ยว หรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยวในอัตราที่ต่ำกว่า

2.3 น้ำหนักผักทั้งเปลือก น้ำหนักผักปอกเปลือก น้ำหนักเปลือก น้ำหนักขั้ว และน้ำหนักเมล็ด

การใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอย่างเดี่ยวหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยว มีผลต่อน้ำหนักผักทั้งเปลือก น้ำหนักผักปอกเปลือก น้ำหนักเปลือก น้ำหนักขั้ว และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ [$IF_{(AS+FA)4}$] มีผลต่อน้ำหนักผักทั้งเปลือก น้ำหนักผักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ดมากที่สุด รองลงมา คือ การใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ [$(AS+FA)_2 + IF_{(AS+FA)2}$] ซึ่งใกล้เคียงกับการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ [$(AS+FA)_4$] ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอย (control) มีผลต่อน้ำหนักผักทั้งเปลือก น้ำหนักผักปอกเปลือก น้ำหนักเปลือก น้ำหนักขั้ว และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดน้อยที่สุด นอกจากนี้ มีข้อสังเกตว่าตำรับทดลองที่มีการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอย่างเดี่ยว หรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยวในอัตราที่สูงขึ้นจะมีผลให้น้ำหนักผักทั้งเปลือก น้ำหนักผักปอกเปลือก น้ำหนักเปลือก น้ำหนักขั้ว และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดโดยภาพรวมสูงกว่า ตำรับทดลองที่มีการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอย่างเดี่ยว หรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยวในอัตราที่ต่ำกว่า

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยร่วมกับปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยวหรือการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษแต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ripusudan *et al.* (2000) Thongjoo (2005) ธนัตศรี และคณะ (2552) และปาจารย์ และคณะ (2552) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับข้าวโพดได้อย่างอย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโตขณะที่กากตะกอนเยื่อกระดาษจะค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะเวลาผ่านไป ในทางตรงกันข้ามพบว่า การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอย (control) มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะการปลูกพืชที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยในระยะยาวจะมีผลให้ ปริมาณธาตุอาหารในดินลดน้อยลง และไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช (จามีกร, 2537)

3. สมบัติทางเคมีของดินหลังเก็บเกี่ยว

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยว เทียบเท่ากากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ [$IF_{(AS+FA)2}$] หรืออัตรา 4 ตัน/ไร่ [$IF_{(AS+FA)4}$] มีแนวโน้มให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่มีการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอย่างเดี่ยวหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี (Table 5) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็นปุ๋ยยูเรีย (46%N) ซึ่งในสภาพดินไร่ที่มีการถ่ายเทอากาศดีจะส่งผลให้แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ที่เกิดจากแปรสภาพของปุ๋ยยูเรีย ถูกออกซิไดซ์ก่อให้เกิดไฮโดรเจนไอออน (H^+) จึงมีผลตกค้างทำให้ดินเป็นกรด (ยงยุทธ, 2551) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของชัยสิทธิ์ (2538) ธนัตศรี (2552) และปาจารย์ (2552) อย่างไรก็ตาม ทุกตำรับทดลองมีผลให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงอยู่ในระดับเป็นกรดจัดถึงด่างเล็กน้อย คือ อยู่ในช่วง pH 5.06-7.47

สำหรับผลของการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอย่างเดี่ยวหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยว เปรียบเทียบกับตำรับทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอย (Ch) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินอื่นๆ โดยภาพรวมดังนี้ คือ ไม่ก่อให้เกิดดินเค็ม (0.71-3.79 dS/m) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ (0.049-0.072%) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมาก (94.56-139.22 mg/kg) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก (108.65-188.18 mg/kg) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (1.22-1.55%) อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่าตำรับทดลองที่มีการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอย่างเดี่ยว [(AS+FA)₄ หรือ (AS+FA)₂] มีแนวโน้มให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงกว่าตำรับทดลองที่มีการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยร่วมกับปุ๋ยเคมี [(AS+FA)₂+IF_{(AS+FA)2} หรือ (AS+FA)₁+IF_{(AS+FA)1}] การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยว (IF_{(AS+FA)4} หรือ IF_{(AS+FA)2}) และตำรับทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอย (control) ตามลำดับ (Table 5) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของชัยสิทธิ์ (2538) ธนัตศรี (2552) และปาจริย์ (2552)

Table 2 Plant heights, flag leaf sheath heights and leaf greenness (SPAD reading) of maize (*Zea mays* L.) planted in Kamphaeng Saen soil series at different stages

Treatments	Plant heights (cm.)		Flag leaf sheath heights (cm.)		SPAD reading	
	1month	2 months	1 month	2 months	1 month	2 months
T ₁ = Control	233.86	262.22	140.92	229.36	46.80 ^{d 1/}	53.93 ^{c 1/}
T ₂ = (AS+FA) ₂	235.75	263.92	141.09	229.39	52.53 ^c	55.68 ^{bc}
T ₃ = IF _{(AS+FA)2}	238.64	265.22	143.58	233.22	53.18 ^{bc}	56.65 ^{abc}
T ₄ = (AS+FA) ₁ +IF _{(AS+FA)1}	239.17	266.39	145.64	233.39	54.00 ^{bc}	57.20 ^{ab}
T ₅ = (AS+FA) ₄	240.45	270.56	146.20	235.06	54.75 ^{abc}	57.90 ^{ab}
T ₆ = IF _{(AS+FA)4}	242.14	273.11	147.70	237.58	55.40 ^{ab}	59.00 ^a
T ₇ = (AS+FA) ₂ +IF _{(AS+FA)2}	243.95	277.09	148.33	239.34	57.08 ^a	59.08 ^a
F-test	ns	ns	ns	ns	**	**
CV (%)	5.16	2.79	4.72	3.84	3.08	3.20

^{1/} Means in each column followed by the same letter are not significantly different according to

Duncan's Multiple Range Test (P > 0.05)

Table 3 Ear number of stem and full ear (%) of maize (*Zea mays* L.) planted in Kamphaeng Saen soil series

Treatments	Ear number/stem	Full ear (%)
T ₁ = Control	1.06	64.60 ^{c 1/}
T ₂ = (AS+FA) ₂	1.17	70.49 ^{bc}
T ₃ = IF _{(AS+FA)2}	1.17	76.39 ^{ab}
T ₄ = (AS+FA) ₁ +IF _{(AS+FA)1}	1.19	76.82 ^{ab}
T ₅ = (AS+FA) ₄	1.21	77.10 ^{ab}
T ₆ = IF _{(AS+FA)4}	1.22	79.43 ^{ab}
T ₇ = (AS+FA) ₂ +IF _{(AS+FA)2}	1.33	83.06 ^a
F-test	ns	**
CV (%)	10.65	7.72

^{1/} Means in each column followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's Multiple Range Test (P > 0.05)

Table 4 Ear weight, ear without husk weight, husk weight, cob weight and grain weight of maize (*Zea mays* L.) planted in Kamphaeng Saen soil series

Treatments	Ear weight (kg/rai)	Ear without husk weight (kg/rai)	Husk weight (kg/rai)	Cob weight (kg/rai)	Grain weight (kg/rai)
T ₁ = Control	1533.33 ^{d1/}	1332.22 ^{d1/}	201.11 ^{b1/}	324.44 ^{c1/}	1007.78 ^{c1/}
T ₂ = (AS+FA) ₂	1691.11 ^{bcd}	1450.00 ^c	241.11 ^a	362.22 ^{bc}	1087.78 ^b
T ₃ = IF _{(AS+FA)2}	1792.22 ^{abc}	1533.33 ^{bc}	258.89 ^a	389.99 ^{abc}	1143.34 ^b
T ₄ = (AS+FA) ₁ +IF _{(AS+FA)1}	1663.34 ^{cd}	1516.67 ^c	146.67 ^c	374.44 ^{abc}	1142.22 ^b
T ₅ = (AS+FA) ₄	1895.56 ^{ab}	1631.11 ^{ab}	264.45 ^a	402.22 ^{ab}	1228.89 ^a
T ₆ = IF _{(AS+FA)4}	1924.45 ^a	1680.00 ^a	244.45 ^a	436.67 ^a	1243.33 ^a
T ₇ = (AS+FA) ₂ +IF _{(AS+FA)2}	1916.67 ^a	1662.22 ^a	254.45 ^a	427.78 ^{ab}	1234.45 ^a
F-test	**	**	**	*	**
CV (%)	7.75	4.38	6.85	11.09	4.26

^{1/} Means in each column followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's Multiple Range Test (P > 0.05)

Table 5 Some chemical soil properties after harvest

Treatments	pH (1:1)	EC _e (dS/m)	Total N (%)	Avail. P (mg/kg)	Exchange. K (mg/kg)	Organic matter (%)
T ₁ = Control	7.19	0.71	0.049	94.56	108.65	1.22
T ₂ = (AS+FA) ₂	7.47	0.84	0.052	115.13	152.48	1.33
T ₃ = IF _{(AS+FA)2}	5.69	2.55	0.051	99.44	151.42	1.25
T ₄ = (AS+FA) ₁ +IF _{(AS+FA)1}	7.04	1.05	0.053	120.28	164.95	1.28
T ₅ = (AS+FA) ₄	7.26	0.86	0.059	128.91	187.90	1.55
T ₆ = IF _{(AS+FA)4}	5.06	3.79	0.063	124.28	166.43	1.34
T ₇ = (AS+FA) ₂ +IF _{(AS+FA)2}	6.64	1.45	0.072	139.22	188.18	1.42

สรุปผลและเสนอแนะ

การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและกากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอย (control) มีผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่ำที่สุด ขณะที่การใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดสูงที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ และการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ มีผลต่อน้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือกและน้ำหนักเมล็ดมากที่สุด รองลงมา คือ การใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับการใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่

การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว เช่น การใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 4 ตัน/ไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่ากากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินต่ำกว่าค่ารับการทดลองอื่นๆ การใส่กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมซีเถ้าลอยอย่างเดียวหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินโดยภาพรวมดังนี้ คือ ไม่ก่อให้เกิดดินเค็ม ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมาก ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ

การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ เช่น กากตะกอนเยื่อกระดาษ และซีเถ้าลอย มาใช้เพื่อทดแทนปุ๋ยหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แต่ระยะเวลาในการวิจัยเพียง 1 ฤดูปลูก (4 เดือน) อาจไม่สามารถสรุปผลได้อย่างชัดเจนนัก ดังนั้น จึงควรทำการศึกษาต่ออีก 2 ฤดูปลูกในสภาพพื้นที่เดิม ทั้งนี้เพื่อยืนยันผลของการใช้วัสดุเหลือใช้ดังกล่าว ในแง่การทดแทนปุ๋ยหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รวมทั้งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินในระยะยาวอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- จามีกร ศรีสุมล. 2537. การใช้อินทรีย์วัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับข้าวโพดหวานที่ปลูกบนชุดดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ. 2538. การใช้อินทรีย์วัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับกวางตุ้ง และข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธันตศรี สอนจิตร. 2552. การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษในแง่การเจริญเติบโตและผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธันตศรี สอนจิตร, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฑามาศ ร่มแก้ว และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์. 2552. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษในแง่การเจริญเติบโต และการเพิ่มมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน, น. 39-40. ใน การประชุมทางวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 1 เรื่อง ดินและปุ๋ยในภาวะวิกฤตอาหารและพลังงาน. วันที่ 23-24 เมษายน 2552 ณ อาคารศูนย์มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม.
- ปจวีร์ย์ แน่นหนา. 2552. การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษในแง่การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปจวีร์ย์ แน่นหนา, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฑามาศ ร่มแก้ว และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์. 2552. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษในแง่การเจริญเติบโต และองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน, น. 37-38 ใน การประชุมทางวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 1 เรื่อง ดินและปุ๋ยในภาวะวิกฤตอาหารและพลังงาน. วันที่ 23-24 เมษายน 2552 ณ อาคารศูนย์มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม.
- ยงยุทธ ไอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Azmal, A.K.M., T. Marumoto, H. Shindo and M. Nishiyama. 1996. Mineralization and microbial biomass formation in upland soil amended with some tropical plant residues at different temperatures. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42(3): 463-473.
- Ripusudan, L.P., G. Gonzalo, R.L. Honor and D.V. Alejandro. 2000. Tropical maize improvement and production. *FAO plant production and protection series No. 28.*
- 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. 2005. *Utilization of agricultural waste materials for improving soil productivity in Thailand.* Doctoral Thesis, Gifu University, Japan.
- Thongjoo, C., S. Miyagawa and N. Kawakubo. 2005. Effect of soil moisture and temperature on decomposition rates of some waste materials from agriculture and agro-industry. *Plant Prod. Sci.* 8(4): 475-481.