

ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้โรงงานน้ำตาลต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อยและสมบัติบางประการของดิน

Effects of organic fertilizer from sugar factory by-product on yield, yield components of sugarcane and soil properties

ชาลินี คงสุต¹, ชัยสิทธิ์ ทองजू^{1*}, จุฑามาต ร่มแก้ว² และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹
Chaline Khongsud¹, Chaisit Thongjoo^{1*}, Jutamas Romkaew²
and Tawatchai Inboonchuy¹

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้โรงงานน้ำตาลต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อย พันธุ์ขอนแก่น 3 และสมบัติบางประการของดิน โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ มีผลให้ผลผลิตอ้อยสด จำนวนลำต่อไร่ น้ำหนักต่อลำ ค่า commercial cane sugar (CCS) ผลผลิตน้ำตาล และปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในท่อนลำของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 600 กก./ไร่ ภายหลังจากการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 600 กก./ไร่ มีผลให้ค่า pH ของดินต่ำที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 600 กก./ไร่ มีผลให้ค่า EC และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินสูงที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 600 กก./ไร่ มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available water capacity, AWCA) ของดินสูงที่สุด รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่

คำสำคัญ : ปุ๋ยอินทรีย์, ผลพลอยได้, อ้อย, กากตะกอนอ้อย

ABSTRACT: The aim of this study was to investigate the effects of organic fertilizer (OF) from sugar factory by-product on yield, yield components of sugarcane var. Khon Kaen 3 and soil properties. Experimental design was randomized complete block (RCBD) consisting of 9 treatments. The study revealed that the OF application of 300 kg/rai in combination with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 300 kg/rai of the OF effected on the highest

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

* Corresponding author: agrcht@ku.ac.th, thongjoo@yahoo.com

of fresh yield, numbers of stalk, weight/stalk, CCS, sugar yield and concentrations of N, P, K in stalk which was not different from the applications of chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 600 kg/rai of the OF. After experiment, it was found that the OF application of 600 kg/rai resulted in the lowest soil pH which was not different from the OF application of 300 kg/rai in combination with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 300 kg/rai of the OF. Furthermore, the OF application of 600 kg/rai effected on the highest EC_e and exchangeable K of soil which was not different from the OF application of 300 kg/rai in combination with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 300 kg/rai of the OF. While, the OF application of 600 kg/rai effected on the highest of organic matter, available P and available water capacity (AWCA) of soil, followed by that the OF application of 300 kg/rai in combination with chemical fertilizers containing all major elements equivalent to 300 kg/rai of the OF.

Keywords: organic fertilizer (OF), by-product, sugarcane, filter cake

บทนำ

อ้อยเป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศ โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2558) รายงานว่าเนื้อที่เพาะปลูกอ้อยทั้งประเทศมีประมาณ 9.96 ล้านไร่ ให้ผลผลิตอ้อยสด 109.86 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 11.03 ตัน/ไร่ และผลผลิตน้ำตาล 9.87 ล้านตัน ซึ่งผลพลอยได้ปริมาณมหาศาลจากโรงงานน้ำตาลที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ คือ กากชานอ้อย (bagasse) และกากตะกอนอ้อย (filter cake) มีการคาดการณ์ปริมาณกากตะกอนอ้อยจากโรงงานน้ำตาลจำนวน 47 โรงมีปริมาณไม่น้อยกว่า 1,039,330 ตันปี (ดัดแปลงจาก ธงชัย, 2546) นอกจากนี้ Meunchang et al. (2004) รายงานว่า กากตะกอนอ้อยมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชดังนี้ คือ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับ 1.80 (± 0.02), 0.96 (± 0.30) และ 0.93 (± 0.20) เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ผ่านมามีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาช่วยเพิ่มผลผลิตของอ้อย เช่น กากตะกอนอ้อย (จักรินทร์ และคณะ, 2530) กากตะกอนเยื่อกระดาษ (ชัยสิทธิ์ และปาจารย์, 2552; ปาจารย์ และคณะ, 2552;

จุฑามาศ และคณะ, 2553) กากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) (เยาวลักษณ์ และคณะ, 2554; ปิยพงศ์ และคณะ, 2555) กากตะกอนยีสต์และน้ำวีเนส (วิษณุ และคณะ, 2556; สันติภาพ และคณะ, 2557) น้ำวีเนสจากโรงงานเอทานอล (กาญจนา และคณะ, 2557) เป็นต้น โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยผลพลอยได้ดังกล่าวมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย จึงมักถูกทิ้งไว้ในแหล่งผลิตหรือบริเวณข้างเคียง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมทางดิน น้ำ และอากาศในระยะยาวได้ (Thongjoo et al., 2005) จึงเกิดแนวคิดว่าหากมีการนำผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาลมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ และหาแนวทางการใช้ประโยชน์ในแง่การทดแทนปุ๋ย หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยพิจารณาจากผลของปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวที่มีต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อยรวมทั้งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินบางประการในช่วงที่ทำการศึกษา ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่ปลูกอ้อยในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งของผลพลอยได้ อีกทั้งยังช่วยลดมลภาวะที่อาจเกิดจากผลพลอยได้ดังกล่าวในระยะยาวได้อีกด้วย

วิธีการศึกษา

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้โรงงานน้ำตาลต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อย และสมบัติบางประการของดินในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 - เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ณ แปลงทดลองของเกษตรกรลูกไร่ของบริษัท เค ซี ฟาร์ม ต.ท่าม่วง อ. ท่าม่วง จ. กาญจนบุรี ซึ่งเป็นชุดดินลาดหญ้า (Lat Ya soil series, Ly; fine-loamy, siliceous, isohyperthermic Kanhaplic Haplustults, Soil Survey Staff, 2003) งานทดลองนี้ประกอบด้วย 36 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 7.5 ม. ยาว 8 ม. จำนวน 5 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 1.5 ม. เก็บข้อมูลผลผลิตของอ้อยเฉพาะ 3 แถวกลาง ไร่หัว และท้ายแถวประมาณ 1 ม. โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 4.5 x 6 ตร.ม. วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ 9 ดำรับทดลอง โดยรายละเอียดของดำรับทดลองได้แสดงไว้ใน Table 1 ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 ซม. เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available water capacity, AWCA) และเนื้อดินสำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 2

เตรียมปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งมีส่วนประกอบของกากตะกอนอ้อยขี้เถ้าลอยปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) และหินฟอสเฟต (3 % P_2O_5) ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นด้วยน้ำให้อยู่ในระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ (ปรารธนา, 2552) กลับกองปุ๋ยทุก 7 วัน หากกองปุ๋ยเริ่มแห้งควรรดน้ำ และหมักต่อไปกระทั่งครบ 2 เดือน สำหรับสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ภายหลังการหมักได้แสดงไว้ใน Table 2

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (46 % P_2O_5) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 % K_2O) แบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละดำรับทดลอง ที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก โดยดำรับทดลองที่ 3 และ 7 ใส่อัตรา 7.53, 14.67 และ 4.95 กก. N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ ดำรับทดลองที่ 4 ใส่อัตรา 3.77, 7.34 และ 2.48 กก. N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ ดำรับทดลองที่ 6 ใส่อัตรา 15.06, 29.34 และ 9.90 กก. N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ ดำรับทดลองที่ 8 ใส่อัตรา 12, 3 และ 6 กก. N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) และดำรับทดลองที่ 9 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชื่อ “ค่างควาซากุระ” (0.64 %N, 0.30 % P_2O_5 และ 1.66 % K_2O) ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตรา 100 และ 25 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งเป็นการใส่ปุ๋ยตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรลูกไร่ของบริษัท เค ซี ฟาร์ม ($F_{KC\ farm}$) ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ใส่เพียงครั้งเดียวที่อายุ 2 เดือนหลังปลูก จากนั้นใช้จอบสับและคลุกเคล้าให้เข้ากับดิน โดยดำรับทดลองที่ 2 และ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 และ 600 กก./ไร่ ตามลำดับ ส่วนดำรับทดลองที่ 4 และ 7 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 150 และ 300 กก./ไร่ ตามลำดับ

การเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่อายุ 12 เดือน ได้แก่ ผลผลิตต่อไร่ จำนวนลำต่อไร่ น้ำหนักต่อลำ ความยาวลำ ค่า commercial cane sugar (CCS) ผลผลิตน้ำตาล และปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักที่สะสมในท่อนลำ นอกจากนี้ภายหลังการเก็บเกี่ยวดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละดำรับทดลองเพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-test พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test)

Table 1 Detail of treatments

Treatments	Describes	Symbols	Quantity of major elements (kgN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)
T ₁	no fertilizer and OF treatment	control	0-0-0
T ₂	the OF application of 300 kg/rai	OF ₃₀₀	7.53-14.67-4.95
T ₃	the application of chemical fertilizers containing all major elements (N, P, K) equivalent to 300 kg/rai of the OF	IF _{OF-300}	7.53-14.67-4.95
T ₄	the OF application of 150 kg/rai in combinations with chemical fertilizers containing all major elements (N, P, K) equivalent to 150 kg/rai of the OF	OF ₁₅₀ +IF _{OF-150}	7.53-14.67-4.95
T ₅	the OF application of 600 kg/rai	OF ₆₀₀	15.06-29.34-9.90
T ₆	the application of chemical fertilizers containing all major elements (N, P, K) equivalent to 600 kg/rai of the OF	IF _{OF-600}	15.06-29.34-9.90
T ₇	the OF application of 300 kg/rai in combinations with chemical fertilizers containing all major elements (N, P, K) equivalent to 300 kg/rai of the OF	OF ₃₀₀ +IF _{OF-300}	15.06-29.34-9.90
T ₈	the application of chemical fertilizer based on soil chemical analysis	IF _{DOA}	12-3-6
T ₉	the application of fertilizer based on KC farm	F _{KC farm}	4.39-2.05-6.16

Table 2 Initial properties of soil and organic fertilizer used in this experiment.

Properties	Soil (0-30 cm)	Properties	Organic fertilizer (OF)
pH (1:1 water)	7.43	pH (3:50)	5.20
EC (dS/m)	0.91	EC (1:10, dS/m)	5.60
Organic matter (g/kg) ^{1/}	1.04	Organic matter (%)	43.90
Available P (mg/kg) ^{2/}	49.13	Total N (%)	2.51
Exchangeable K (mg/kg) ^{3/}	114.21	Total P ₂ O ₅ (%)	4.89
Exchangeable Ca (mg/kg) ^{3/}	1,879	Total K ₂ O (%)	1.65
Exchangeable Mg (mg/kg) ^{3/}	107.21	Total Na (%)	0.39
Available moisture capacity (% by mass) ^{4/}	14.86	C/N ratio	10.15
Texture ^{5/}	loam	Germination index (%)	89.09
		Moisture (%)	6.23

Note ^{1/} = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934)

^{3/} = Extracted with NH₄OAc pH 7.0 (Pratt, 1965)

^{5/} = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

^{2/} = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)

^{4/} = ภาควิชาปฐพีวิทยา (2551)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้โรงงานน้ำตาลต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อยและสมบัติบางประการของดิน ปรากฏผลดังนี้

1. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย

1.1 ผลผลิต จำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำ

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ผลผลิต จำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำของอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) (Table 3) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ($OF_{300} + IF_{OF-300}$) มีผลให้ผลผลิตและน้ำหนักต่อลำของอ้อยมากที่สุด (19.94 ต้น/ไร่ และ 1.96 กก./ลำ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 600 กก./ไร่ (IF_{OF-600}) นอกจากนี้ $OF_{300} + IF_{OF-300}$ ยังมีผลให้จำนวนลำต่อไร่

ของอ้อยมากที่สุด (10,447 ลำต่อไร่) ไม่แตกต่างกับ IF_{OF-600} และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 600 กก./ไร่ (OF_{600}) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตจำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำของอ้อยน้อยที่สุด (9.35 ต้น/ไร่, 8,328 ลำ/ไร่ และ 1.15 กก./ลำตามลำดับ)

1.2 ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาล

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) (Table 3) กล่าวคือ $OF_{300} + IF_{OF-300}$ มีผลให้ค่า CCS ของอ้อยมากที่สุด (12.61 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ IF_{OF-600} และ OF_{600} นอกจากนี้ $OF_{300} + IF_{OF-300}$ ยังมีผลให้ผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด (2.51 ต้น/ไร่) ไม่แตกต่างกับ IF_{OF-600} ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยน้อยที่สุด (9.47 เปอร์เซ็นต์ และ 0.88 ต้น/ไร่ ตามลำดับ)

Table 3 Yield, numbers of stalk, weight/stalk, CCS and sugar yield of sugarcane.

Treatments	Yield (ton/rai) ^{1/}	Numbers of stalk (stalk/rai) ^{1/}	Weight/stalk (kg) ^{1/}	CCS (%) ^{1/}	Sugar yield (ton/rai) ^{1/}
T ₁ = control	9.35 ^e	8,328 ^d	1.15 ^d	9.47 ^d	0.88 ^e
T ₂ = OF ₃₀₀	14.21 ^c	9,093 ^{bc}	1.58 ^c	11.09 ^b	1.58 ^c
T ₃ = IF _{OF-300}	14.52 ^c	9,168 ^{bc}	1.58 ^c	11.56 ^b	1.68 ^c
T ₄ = OF ₁₅₀ + IF _{OF-150}	14.70 ^c	9,247 ^b	1.59 ^c	11.56 ^b	1.70 ^c
T ₅ = OF ₆₀₀	18.26 ^b	10,272 ^a	1.79 ^b	12.38 ^a	2.26 ^b
T ₆ = IF _{OF-600}	19.16 ^{ab}	10,382 ^a	1.86 ^{ab}	12.48 ^a	2.39 ^{ab}
T ₇ = OF ₃₀₀ + IF _{OF-300}	19.94 ^a	10,447 ^a	1.96 ^a	12.61 ^a	2.51 ^a
T ₈ = IF _{DOA}	14.94 ^c	9,401 ^b	1.59 ^c	11.58 ^b	1.73 ^c
T ₉ = F _{KC fam}	11.03 ^d	8,722 ^{cd}	1.28 ^d	10.18 ^c	1.12 ^d
F-test	**	**	**	**	**
CV (%)	13.77	13.27	13.54	13.61	12.91

^{1/} mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT.

** indicated significant difference at $P < 0.01$

2. ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในท่อน้ำ

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในท่อน้ำของอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) (Table 4) กล่าวคือ $OF_{300} + IF_{OF-300}$ มีผลให้ปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนที่สะสมในท่อน้ำมากที่สุด (0.384 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ IF_{OF-600} และ OF_{600} นอกจากนี้ $OF_{300} + IF_{OF-300}$ ยังมีผลให้

ปริมาณความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสที่สะสมในท่อน้ำมากที่สุด (0.154 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ IF_{OF-600} อีกทั้ง $OF_{300} + IF_{OF-300}$ ยังมีผลให้ปริมาณความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมที่สะสมในท่อน้ำมากที่สุด (0.621 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือ IF_{OF-600} ซึ่งไม่แตกต่างกับ OF_{600} และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (IF_{DOA}) ขณะที่ตัวรับควบคุม (control) มีผลให้ปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในท่อน้ำน้อยที่สุด (0.106, 0.055 และ 0.356 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ)

Table 4 Concentrations of plant nutrient in stalk of sugarcane at 12 months after planting.

Treatments	Total N (%) ^{1/}	Total P (%) ^{1/}	Total K (%) ^{1/}
T ₁ = control	0.106 ^d	0.055 ^e	0.356 ^e
T ₂ = OF_{300}	0.156 ^c	0.103 ^c	0.468 ^d
T ₃ = IF_{OF-300}	0.165 ^c	0.112 ^c	0.474 ^d
T ₄ = $OF_{150} + IF_{OF-150}$	0.223 ^b	0.116 ^c	0.483 ^d
T ₅ = OF_{600}	0.358 ^a	0.136 ^b	0.584 ^b
T ₆ = IF_{OF-600}	0.369 ^a	0.145 ^{ab}	0.594 ^b
T ₇ = $OF_{300} + IF_{OF-300}$	0.384 ^a	0.154 ^a	0.621 ^a
T ₈ = IF_{DOA}	0.236 ^b	0.071 ^d	0.576 ^b
T ₉ = KC farm	0.126 ^d	0.065 ^{de}	0.523 ^c
F-test	**	**	**
CV (%)	13.65	11.77	12.78

^{1/} mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT.

** indicated significant difference at $P < 0.01$

3. สมบัติของดินบางประการ ภายหลังจากการใช้วัสดุอินทรีย์ผสมสำหรับการปลูกอ้อย

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ค่า pH, EC_e , ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่า AWCA ของดิน (ที่ระยะ 2 ปีหลังเก็บเกี่ยว) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) (Table 5) กล่าวคือ OF_{600} มีผลให้ค่า pH ของดินต่ำที่สุด (pH 6.86) ไม่แตกต่างกับ $OF_{300} + IF_{OF-300}$ ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีความเป็นกรดจัด (Table 2) กอปรกับปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็น

ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21%N) ซึ่งในสภาพดินไรที่มี การถ่ายเทอากาศดีจะส่งผลให้แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ถูกออกซิไดซ์กระทั่งก่อให้เกิดไฮโดรเจนไอออน (H^+) จึงมีผลตกค้างทำให้ดินเป็นกรดได้ (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ส่วน OF_{600} มีผลให้ค่า EC_e และ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินสูงที่สุด (2.11 dS/m และ 184.23 mg/kg ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับ $OF_{300} + IF_{OF-300}$ นอกจากนี้ OF_{600} ยังมีผลให้ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็น ประโยชน์ และค่า AWCA ของดินสูงที่สุด (2.14 เปอร์เซ็นต์, 142.32 mg/kg และ 22.48 เปอร์เซ็นต์

โดยมวล ตามลำดับ) รองลงมาคือ $OF_{300} + IF_{OF-300}$ โดยเป็นที่สังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียวนั้นมีให้ค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และค่า AWCA ของดินสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยอินทรีย์มีค่า EC_e ในระดับเค็มปานกลาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับสูงมาก และมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงถึง

4.89 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) จึงส่งผลให้ค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และค่า AWCA ของดินสูงกว่าตำรับทดลองอื่นๆ ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โฟสเฟตซีเอ็มที่แลกเปลี่ยนได้ และค่า AWCA ของดินต่ำที่สุด (1.02 dS/m, 1.12 เปอร์เซ็นต์, 51.32, 115.36 mg/kg และ 14.96 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล ตามลำดับ)

Table 5 Properties of soil after 1 year of planting sugarcane.

Treatments	pH (1:1 water) ^{1/}	EC_e (dS/m) ^{1/}	OM (g/kg) ^{1/}	Avail. P (mg/kg) ^{1/}	Exch. K (mg/kg) ^{1/}	AWCA (2 YAP) (% by weight) ^{1/}
before experiment	7.43	0.91	1.04	49.13	114.21	14.86
T ₁ = control	7.48 ^a	1.02 ^e	1.12 ^h	51.32 ^h	115.36 ^f	14.96 ^e
T ₂ = OF ₃₀₀	7.12 ^{cd}	1.63 ^{bc}	1.78 ^c	95.88 ^d	145.69 ^d	18.66 ^{bc}
T ₃ = IF _{OF-300}	7.32 ^b	1.38 ^d	1.42 ^{ef}	87.65 ^f	128.54 ^e	16.24 ^{de}
T ₄ = OF ₁₅₀ + IF _{OF-150}	7.16 ^c	1.55 ^c	1.68 ^{cd}	92.36 ^e	143.25 ^d	17.56 ^{cd}
T ₅ = OF ₆₀₀	6.86 ^e	2.11 ^a	2.14 ^a	142.32 ^a	184.23 ^a	22.48 ^a
T ₆ = IF _{OF-600}	7.01 ^d	1.74 ^b	1.55 ^{de}	132.25 ^c	171.23 ^{bc}	16.50 ^{de}
T ₇ = OF ₃₀₀ + IF _{OF-300}	6.88 ^e	1.97 ^a	1.95 ^b	136.89 ^b	178.69 ^{ab}	19.59 ^b
T ₈ = IF _{DOA}	7.40 ^{ab}	1.31 ^d	1.23 ^{gh}	67.41 ^g	174.69 ^{ab}	15.19 ^e
T ₉ = F _{KC.farm}	7.45 ^{ab}	1.25 ^d	1.32 ^{fg}	64.15 ^g	162.31 ^c	15.39 ^e
F-test	**	**	**	**	**	**
CV (%)	11.04	12.54	11.44	12.98	14.05	36.11

^{1/} mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT.

** indicated significant difference at P<0.01 YAP = year after planting

ผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีอย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์แต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Ripusudan et al. (2000) ชัยสิทธิ์และปาจารย์ (2552) จุฑามาศ และคณะ (2553) ยาวลักษณ์ และคณะ (2554) วิษณุ และคณะ (2556) และสันติภาพ และคณะ (2557) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับอ้อยได้อย่างอย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต

ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะเวลาผ่านไป ในทางตรงกันข้ามพบว่าปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ (control) มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะการปลูกพืชที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยในระยะยาวจะมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินลดน้อยลง และไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช (ชัยสิทธิ์ และปาจารย์, 2552; จุฑามาศ และคณะ, 2553; ยาวลักษณ์ และคณะ, 2554; วิษณุ และคณะ, 2556; สันติภาพ และคณะ, 2557) นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์

อย่างเดี่ยว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราสูง มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า EC_e โดยผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัยสิทธิ์ และคณะ (2560) ที่มีการใส่วัสดุอินทรีย์ผสมอย่างเดียวกับอ้อยในอัตราสูง พบว่า มีผลให้ค่า EC_e ของดินภายหลังการทดลองเพิ่มขึ้น ดังนั้น การนำปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จึงควรคำนึงถึงค่า EC_e ที่สูงขึ้นในระยะยาวด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากกากตะกอนอ้อยเป็นสารอินทรีย์จึงสามารถช่วยปรับสภาพทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดินให้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Hasit (1986) ที่พบว่า กากตะกอนน้ำเสียส่วนที่เป็นสารอินทรีย์สามารถช่วยปรับสภาพทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดิน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการปรับสภาพโครงสร้างของดิน น้ำในดินและส่งผลต่อผลผลิตของพืชได้ นอกจากนี้ กากตะกอนน้ำเสียยังสามารถปรับสภาพโครงสร้างของดินในแง่การลดความหนาแน่นรวมของดิน เพิ่มความเสถียรของเม็ดดิน และความสามารถในการกักน้ำของดิน (Guidi and Hall, 1984) จึงมีผลทำให้ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินเพิ่มขึ้น (ชัยสิทธิ์ และธนัตศรี, 2553; ธวัชชัย และคณะ, 2555; De Jong, 1983; Haynes and Naidu, 1998; Wolf and Snyder, 2003)

สรุป

การศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้โรงงานน้ำตาลต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อยและสมบัติบางประการของดิน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ มีผลให้ผลผลิตอ้อยสด จำนวนลำ/ไร่ น้ำหนักลำ ค่า CCS ผลผลิตน้ำตาล ปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในท่อนลำของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 600 กก./ไร่

2. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 600 กก./ไร่ มีผลให้ค่า pH ของดินต่ำที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 600 กก./ไร่ มีผลให้ค่า EC_e และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินสูงที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 600 กก./ไร่ มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และค่า AWCA ของดินสูงที่สุด รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 300 กก./ไร่

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาวิชาการ ระหว่างภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ บริษัท ประจวบอุตสาหกรรม จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. น. 21-24 ใน: เอกสารวิชาการลำดับที่ 8/2548, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กาญจนา มาล้อม, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ทศพล พรพรม, วิภาวรรณ ท้ายเมือง, ชาลินี คงสุด, ธิรัยทุธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ผลของน้ำวีเนสจากโรงงานเอทานอลที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย, น. 81-93 ใน: การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- จุฬามาศกล่อมจิตร, ชัยสิทธิ์ ทองจุ และจุฬามาศร่มแก้ว. 2553. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยต่อปีที่ 1 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. น. 148-159. ใน: การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- จักรินทร์ ศรีท้าวพร, สุรวิทย์ สุริยพันธ์, มนต์ ปทุมทอง และสุนทร แสงศิลา. 2530. การใช้ปุ๋ยหมักจากกากอ้อยบำรุงดินเพื่อปลูกอ้อย. น. 372-375. ใน: รายงานผลการวิจัยปี 2527. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ และธนศักดิ์ สอนจิตร. 2553. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 28: 99-106.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ และ ปาจารย์ แน่นหนา. 2552. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี 80 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน (ปีที่ 1). วารสารดินและปุ๋ย. 31: 6-26.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ศุภชัย อำคา และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้ของโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตต่ออ้อย และสมบัติของดิน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 6: 21-32.
- ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, กานต์ การะเวก, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ระวีวรรณ โชติพันธ์ และรุจิกร ศรีแมนม่วง. 2555. ผลของกากตะกอนเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินยางตลาด. เก่นเกษตร. 40: 217-228.
- ปาจารย์ แน่นหนา, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฬามาศ ร่มแก้ว และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์. 2552. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษในแง่การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. น. 37-38. ใน: การประชุมทางวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา และชาลินี คงสุด. 2555. ผลของกากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) ผสมขี้เถ้าลอยต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย. น. 1209-1221. ใน: การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 9 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ปรารถนา ปลอดภัย. 2552. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของกากตะกอนอ้อยในระหว่างการย่อยสลายและผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของเมล็ดปุ๋ยอินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2551. คู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินทางฟิสิกส์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- ยงยุทธ ไอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- เวยาวลักษณ์ เนตรสิงห์, ชัยสิทธิ์ ทองจุ และรัฐชา ชัยชนะ. 2554. การใช้ประโยชน์ของกากน้ำตาล ผงชูรส (อามิ-อามิ) ต่อการเจริญเติบโตและ ผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วิทยาสารกำแพงแสน. 9: 1-13.
- วิชญ์เงินยิว, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อ่ำคา, ทศพล พรพรม และศิริสุดา บุตรเพชร. 2556. การใช้ประโยชน์ ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อ เพิ่มผลผลิตของอ้อย. น. 86-99. ใน: การประชุม วิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 10 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- สันติภาพ ทองอุ่น, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อ่ำคา, วิศววรรณ ท้ายเมือง, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจาก กากตะกอนยีสต์และน้ำวีเนสต่อการเจริญ เติบโตและผลผลิตของอ้อยต่อปีที่ 1. น. 39-52. ใน: การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืช และเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถิติการเกษตร ของประเทศไทยปี 2556-2558. กระทรวงเกษตร และสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Bray, R.H., and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- De Jong, R. 1983. Soil water desorption curves estimated from limited data. *Can. J. Soil Sci.* 63: 697-703.
- Guidi, G., and J.E. Hall. 1984. Effect of sewage sludge on the physical and chemical properties of soils. P. 295-305. In: P.L. Hermite, and H. Ott (eds.). *Processing and Use of Sewage Sludge*. D. Reidal Publishing Company, Holland.
- Hasit, Y. 1986. Sludge treatment. Utilization and Disposal. *J. WCSF.* 58: 510-515.
- Haynes, R.J., and R. Naidu. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physic conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 51: 123-137.
- Meunchang, S., S. Panichsakpatana, and R.W. Weaver. 2004. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugra mill. *Bioresour. Technol.* 96: 437-442.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. pp. 1022-1030. In: C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis. Part II.* Amer. Soc. of Agron, Inc. Madison, Wisconsin.
- 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 Survice, Washington, D.C.
- 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: 475-481.
- Walkey, A., and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Wolf, B., and G.H. Snyder. 2003. *Sustainable Soils: The place of organic matter in sustaining soils and their production.* Food Products Press, NY.