

การเจริญเติบโต การแตกกอ และการเปลี่ยนแปลงสีของต้นข้าวสีดำ

Growth, tillering and color changes of black rice plant

พิมพรรณ พิมรัตน์^{1*}, ธนกฤต โสภประดิษฐ์¹, ธวัชชัย นารอด¹, ปธานิน สืบวงษ์นาท¹
และ สวัสดิ์ พิมพ์สุวรรณ¹

Pimpan Pimonrat^{1*}, Thanakrit Sopapradit¹, Thawatchai Narod¹, Patanin Suebwongnart¹ and Sawat Pimsuwan¹

¹ สาขาการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

¹ Division of Crop Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi.

* Corresponding author: pimpan_p@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ: ข้าวสีดำ (Black rice) เป็นข้าวชนิดหนึ่งที่มีชั้นเนื้อเยื่อสีดำห่อหุ้มส่วนของเอนโดสเปิร์ม นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคในตำรายาแผนไทย และช่วยบำรุงโลหิต แต่ข้าวสีดำเป็นข้าวที่หาได้ยาก มีการปลูกเฉพาะท้องถิ่น และมีข้อมูลการเจริญเติบโตเพื่อใช้ประโยชน์ในโครงการปรับปรุงพันธุ์น้อย การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต การแตกกอ และการเปลี่ยนแปลงสีของต้นข้าวสีดำเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวสีดำต่อไป วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เก็บข้อมูลความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ จำนวนใบ และการเปลี่ยนแปลงสี ผลการทดลอง พบว่า ข้าวสีดำที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด คือ ข้าวเหนียวดำ โดยมีค่าเฉลี่ยความสูงและความยาวใบที่สูงที่สุด ข้าวลิ้มพัวมีค่าเฉลี่ยความกว้างใบที่สูงที่สุด ข้าวมะลิดำหนองคาย 62 มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบและการแตกกอที่สูงที่สุด ข้าวลิ้มพัวและสุตะบุตรมีลำต้นและใบสีเขียว ข้าวหอมกัญญาและก่ำดอยสะเก็ดมีลำต้นและใบสีม่วง และข้าวมะลิดำหนองคาย 62 ข้าวเหนียวดำ และก่ำกัญญามีลำต้นสีม่วง ใบสีเขียว

คำสำคัญ: การเจริญเติบโต; การแตกกอ; การเปลี่ยนแปลงสี; ข้าวสีดำ

ABSTRACT: Black rice is a type of rice that has a layer of black tissue the covering endosperm. It has been used as a component of medical drugs in Thai traditional medicine and nourished the blood. But black rice is rare, cultivates in local area and little growth data for breeding program has been known. The objective of this research was to study the growth, tillering, and color changes of black rice plants for further use as data for the improvement of black rice varieties. The experimental design was a completely randomized design (CRD). Plant height, leaf length, leaf width, leaf number, tillering and color changes in leaf and stem were recorded. Results showed that the highest average height and leaf length were found in Black Glutinous Rice. Leum Pua had the highest average leaf width. Mali Dam Nong Khai 62 had the highest average leaf number and tillering. Leum Pua and Sutabutr had green stems and leaves. Hom Kanya and Kam Doi Saket had purple stems and leaves. Mali Dam Nong Khai 62, Black Glutinous Rice, and Kam Kanya had purple stems and green leaves.

Keywords: growth; tillering; color change; black rice

บทนำ

ข้าวมีความสำคัญต่อมนุษย์และสัตว์ ประชากรมากกว่าครึ่งของโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะชนชาวเอเชีย ดังนั้นข้าวจึงปลูกมากในเอเชีย สำหรับประเทศไทยซึ่งได้รับการกล่าวนามว่าเป็นครัวของโลก ข้าวถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจส่งออกชนิดหนึ่งที่สร้างรายได้จำนวนมหาศาลให้กับประเทศไทย (ภารดี และ ชิชาญา, 2560) ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกรวมทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2562 ประมาณ 60 ล้านไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว ประมาณ 56 ล้านไร่ โดยให้ผลผลิตทั้งหมดประมาณ 25 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2562) ในฤดูนาปี ชาวนาปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มากที่สุด ให้ผลผลิตไร่ละ 338 กิโลกรัม ส่วนฤดูนาปรัง พันธุ์ชัยนาท 1 และ พันธุ์ชัยนาท 2 ชาวนาปลูกมากที่สุด ให้ผลผลิตไร่ละ 550 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2562) ปัจจุบันกลุ่มข้าวสีต่าง ๆ เช่น สีดำ สีแดง สีน้ำตาล กำลังได้รับความนิยมจากกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพซึ่งข้าวกลุ่มนี้มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ธาตุเหล็ก สารแอนโทไซยานิน วิตามินบี กรดอะมิโน และแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น โดยเฉพาะข้าวสีดำ (Black rice) เป็นข้าวชนิดหนึ่งที่มีชั้นเนื้อเยื่อสีดำห่อหุ้มส่วนของ

เอนโดสเปิร์ม มีกลูเทน (Gluten) เป็นองค์ประกอบสูง และมีความเหนียวมากกว่าข้าวสีข้าว (Kang et al., 2011) สามารถนำมาประยุกต์หรือเป็นส่วนประกอบของอาหารว่างหรือขนมหวานหลากหลายชนิด เช่น ขนมปังข้าวสีดำ บะหมี่เส้นดำ เค้กข้าวสีดำ หรืออาหารทุกชนิดที่ใช้แป้งจากข้าวเป็นองค์ประกอบ (Lee et al., 2008) นอกจากนี้หมอบ้านยังใช้ข้าวกลุ่มสีดำนเป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคในตำรับยาแผนไทย และช่วยบำรุงโลหิต แต่อย่างไรก็ตาม ข้าวสีดำเป็นข้าวที่หายาก มีการปลูกเฉพาะท้องถิ่น และมีข้อมูลการเจริญเติบโตเพื่อใช้ประโยชน์ในโครงการปรับปรุงพันธุ์น้อย คณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการเจริญเติบโต การแตกกอ และการเปลี่ยนแปลงสีของต้นข้าวสีดำเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวสีดำต่อไป

วิธีการศึกษา

การเตรียมต้นกล้าข้าวสีดำ

ทำการเพาะเมล็ดข้าวสีดำจำนวน 7 สายพันธุ์ แบ่งเป็นข้าวเจ้า 2 สายพันธุ์ คือ (1) สุตะบุตร และ (2) มะลิดำหนองคาย 62 (พันธุ์รับรอง) และข้าวเหนียวดำ 5 สายพันธุ์ คือ (1) สีม่วง (พันธุ์รับรอง) (2) หอมกัญญา (3) ก่ำดอยสะเก็ด (4) ข้าวเหนียวดำ และ (5) ก่ำกัญญา โดยนำเมล็ดที่สมบูรณ์มาเพาะในถาดเพาะเมล็ดที่มีดินเหนียวเป็นวัสดุเพาะเป็นเวลา 15 วัน ก่อนย้ายปลูกในกระถาง ทำการวิจัยระหว่างวันที่ 1 สิงหาคม 2563 - 15 ตุลาคม 2563 ณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การปลูกข้าวสีดำในโรงเรือนทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ย้ายต้นกล้าอายุ 15 วัน ลงปลูกในกระถางขนาด 13 นิ้ว ที่มีดินเหนียวชุดธัญบุรีน้ำหนัก 7 กิโลกรัม ที่ผ่านการตากจนแห้ง บดจนละเอียด ร่อนเอาหินหรือกรวดออก ใส่ น้ำลงจนจนเป็นเนื้อเดียวกัน และพักไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ดูแลรักษาต้นข้าวโดยการเติมน้ำจนเต็มกระถาง ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ปริมาณ 3 กรัม หลังการย้ายปลูกเป็นเวลา 1 สัปดาห์ บันทึกการเจริญเติบโตโดยการวัดความสูงต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ จำนวนใบ ในสัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก บันทึกการแตกกอในสัปดาห์ที่ 2, 3, และ 4 หลังย้ายปลูก และบันทึกการเปลี่ยนแปลงสีของใบและลำต้น ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3, และ 4 หลังย้ายปลูก วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ซ้ำ ๆ ละ 1 กระถาง ๆ ละ 2 ต้น วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Analysis of variance และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 16.0

ผลการศึกษา

การเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบของข้าวสีดำแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สายพันธุ์ที่มีความสูงต้นและความยาวใบมากที่สุด คือ ข้าวเหนียวดำ ที่มีความสูงต้นเท่ากับ 90.10 ซม. และมีความยาวใบเท่ากับ 59.40 ซม. (Table 1 และ Figure 1) สายพันธุ์ที่มีความสูงต้น และความยาวใบน้อยที่สุด คือ มะลิดำหนองคาย ที่มีความสูงต้นเท่ากับ 70.20 ซม. และมีความยาวใบเท่ากับ 43.70 ซม. สายพันธุ์ที่มีความกว้างใบมากที่สุด คือ สีม่วง ที่มีความกว้างใบเท่ากับ 1.48 ซม. สายพันธุ์ที่มีความกว้างใบน้อยที่สุด คือ สุตะบุตร ที่มีความกว้างใบ 0.92 ซม. สายพันธุ์ที่มีจำนวนใบมากที่สุด คือ มะลิดำหนองคาย 62 ที่มีจำนวนใบเท่ากับ 33 ใบ และสายพันธุ์ที่มีจำนวนใบน้อยที่สุด คือ หอมกัญญา ที่มีจำนวนใบเท่ากับ 13.40 ใบ

Table 1 Growth of black rice plant at 4 weeks after planting

Variety	Height (cm.)	Leaf length (cm.)	Leaf width (cm.)	Leaf number (leaf)
Leum Pua	87.50 ± 4.03 ^{1/ab}	55.80 ± 4.10 ^b	1.48 ± 0.14 ^a	13.60 ± 1.90 ^c
Mali Dam Nong Khai 62	70.20 ± 3.94 ^d	43.70 ± 2.41 ^d	1.01 ± 0.03 ^d	33.00 ± 9.52 ^a
Sutabutr	73.50 ± 2.80 ^d	48.20 ± 2.57 ^c	0.92 ± 0.08 ^e	27.60 ± 1.84 ^b
Hom Kanya	81.70 ± 6.80 ^c	53.60 ± 4.09 ^b	1.11 ± 0.10 ^c	13.40 ± 2.95 ^c
Kam Doi Saket	84.30 ± 3.59 ^{bc}	55.50 ± 2.37 ^b	1.23 ± 0.07 ^b	16.40 ± 5.25 ^c
Black Glutinous Rice	90.10 ± 5.93 ^a	59.40 ± 4.38 ^a	1.07 ± 0.05 ^{cd}	24.70 ± 3.89 ^b
Kam Kanya	84.60 ± 3.66 ^{bc}	54.60 ± 3.17 ^b	1.04 ± 0.07 ^{cd}	27.20 ± 3.77 ^b
F-test	*	*	*	*

C.V. (%)	5.62	6.41	7.45	21.68
----------	------	------	------	-------

^{1/} Means within the same column followed by different letters differ at $P \leq 0.05$ according to least significant difference

การแตกกอ

ต้นข้าวสีดำทั้ง 7 สายพันธุ์ มีความสามารถในการแตกกอแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ต้นข้าวจำนวน 4 สายพันธุ์ คือ มะลิดำหนองคาย 62 สุตะบุตร ข้าวเหนียวดำ และก่ำกัญญา เริ่มแตกกอในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก สายพันธุ์มะลิดำหนองคาย 62 มีการแตกกอมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 ที่มีจำนวนกอเท่ากับ 3 กอ (Table 2 และ Figure 1) ในสัปดาห์ที่ 3 พบว่า ต้นข้าวสีดำทุกสายพันธุ์มีการแตกกอ สายพันธุ์มะลิดำหนองคาย 62 มีการแตกกอมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ที่มีจำนวนกอเท่ากับ 5.50 และ 10 กอ ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงสี

ต้นข้าวสีดำมีการเปลี่ยนแปลงสีทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ (1) ต้นสีเขียวและใบสีเขียว (2) ต้นสีม่วงและใบสีม่วง และ (3) ต้นสีม่วงและใบสีเขียว (Table 3 และ Figure 1) สายพันธุ์ที่มีต้นสีเขียวและใบสีเขียวไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีในสัปดาห์ที่ 1-4 ของการเจริญเติบโต มีจำนวน 2 สายพันธุ์ คือ ลี้มัว และสุตะบุตร สายพันธุ์ที่มีต้นสีม่วงและใบสีม่วงมีจำนวน 2 สายพันธุ์ และมีการเปลี่ยนแปลงสีแตกต่างกัน คือ สายพันธุ์หอมกัญญามีลำต้นและใบสีเขียวแดงในสัปดาห์ที่ 1 และเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีม่วงในสัปดาห์ที่ 2-4 สายพันธุ์ก่ำกัญญาและใบสีม่วงและเขียวม่วงในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีม่วงในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 สายพันธุ์ที่มีต้นสีม่วงและใบสีเขียวมีจำนวน 3 สายพันธุ์ คือ มะลิดำหนองคาย 62 ข้าวเหนียวดำ และก่ำกัญญา สายพันธุ์ข้าวเหนียวดำ และก่ำกัญญามีการเปลี่ยนแปลงสีของลำต้นจากสีเขียวเป็นสีม่วง โดยในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ลำต้นเป็นสีเขียว และเปลี่ยนแปลงเป็นสีม่วงในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ส่วนสายพันธุ์มะลิดำหนองคาย 62 มีการเปลี่ยนแปลงสีลำต้นและใบจากสีเขียวเป็นสีเขียวม่วงในสัปดาห์ที่ 2 และเปลี่ยนแปลงสีลำต้นเป็นสีม่วงในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ส่วนใบยังคงเป็นสีเขียวเช่นเดิม

Table 2 Tillering of black rice plant at week 2, 3 and 4 after planting

Variety	Tiller number (Tiller)		
	Week 2	Week 3	Week 4
Leum Pua	-	2.40 ± 0.52 ^c	3.30 ± 0.48 ^{ef}
Mali Dam Nong Khai 62	3.00 ± 0.00 ^{1/a}	5.50 ± 1.18 ^a	10.00 ± 1.56 ^a
Sutabutr	2.10 ± 0.57 ^b	3.90 ± 0.74 ^b	7.80 ± 0.79 ^b
Hom Kanya	-	2.30 ± 0.48 ^c	3.00 ± 0.82 ^f
Kam Doi Saket	-	2.70 ± 0.95 ^c	4.10 ± 0.57 ^e
Black Glutinous Rice	2.80 ± 0.42 ^a	3.90 ± 0.74 ^b	5.70 ± 1.16 ^d
Kam Kanya	2.20 ± 0.42 ^b	4.10 ± 0.57 ^b	6.70 ± 1.34 ^c
F-test	*	*	*
C.V. (%)	16.28	21.86	17.75

^{1/} Means within the same column followed by different letters differ at $P \leq 0.05$ according to least significant difference

- = no tillering

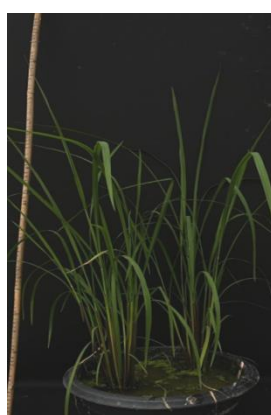
Table 3 Leaf and stem color changes of black rice at week 1, 2, 3 and 4 after planting

Variety	Leaf color changes each week				Stem color changes each week			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Leum Pua	G	G	G	G	G	G	G	G
Mali Dam Nong Khai 62	G	GP	G	G	G	GP	P	P
Sutabutr	G	G	G	G	G	G	G	G
Hom Kanya	GR	P	P	P	GR	P	P	P
Kam Doi Saket	GB	GP	P	P	GB	GP	P	P
Black Glutinous Rice	G	G	G	G	G	G	P	P
Kam Kanya	G	G	G	G	G	G	P	P

G = Green, P = Purple, R= Red, B = Black



Leum Pua



Black Glutinous Rice



Kam Kanya



Hom Kanya



Sutabutr



Kam Doi Saket



Mali Dam Nong Khai 62

Figure 1 Growth, tillering and color changes of black rice plant at 4 weeks after planting

วิจารณ์

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวสีดำจำนวน 7 สายพันธุ์ พบว่า ข้าวสีดำสายพันธุ์ข้าวเหนียวมีความสูงต้น ความยาวใบ และความกว้างใบมากกว่าสายพันธุ์ข้าวเจ้า ส่วนจำนวนใบและการแตกกอสายพันธุ์ข้าวเจ้ามีมากกว่าสายพันธุ์ข้าวเหนียว ความสูงต้นเป็นตัวแปรสำคัญของผลผลิต ต้นข้าวที่มีความสูงมากอาจเกิดการหักล้มในระหว่างการพัฒนาของ เมล็ดข้าวที่มีการสะสมน้ำหนักรวมมากขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเสียหายได้ สายพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีความสูงมากจึงอาจให้ผลผลิต

ดำ เช่นเดียวกับการรายงานของ วิไลลักษณ์ (2546) การนำข้าวพื้นเมืองมาศึกษาสภาพแวดล้อมและแหล่งปลูกที่เหมาะสม อาจส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของสายพันธุ์พื้นเมืองได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการปลูกข้าวของเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นการปลูกข้าวพันธุ์ท้องถิ่น ดังนั้น การศึกษาการเจริญเติบโตของพันธุ์ข้าวในการศึกษานี้จะสามารถใช้ประโยชน์ของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองนอกพื้นที่ได้ การเปลี่ยนแปลงสีของต้นข้าว อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีนควบคุมการกระจายตัวของสีไปยังส่วนต่าง ๆ และยีนที่ยับยั้งการกระจายตัวของยีนที่ทำให้เกิดสีในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว (I-) และ II B (Reddy, 1996) ต้นข้าวที่มีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวเป็นสีม่วงอาจเป็นต้นข้าวที่มีผลผลิตเมล็ดข้าวที่มีการสะสมปริมาณสารสำคัญ เช่น แอนโทไซยานิน ในปริมาณสูง ซึ่งจะนำมาใช้เป็นปัจจัยคัดเลือกข้าวที่มีประโยชน์ทางด้านโภชนาการและเวชสำอางต่อไป

สรุป

ข้าวสีดำที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด คือ ข้าวเหนียวดำ โดยมีค่าเฉลี่ยความสูงและความยาวใบสูงสุด ข้าวลิ้มผัวมีค่าเฉลี่ยความกว้างใบสูงสุด ข้าวมะลิดำหนองคาย 62 มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบและการแตกกอสูงสุด ข้าวลิ้มผัวและสุตะบุตรมีลำต้นและใบสีเขียว ข้าวหอมกัญญาและก่ำดอยสะเก็ดมีลำต้นและใบสีม่วง และข้าวมะลิดำหนองคาย 62 ข้าวเหนียวดำและก่ำกัญญามีลำต้นสีม่วง ใบสีเขียว

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณงบประมาณรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ภารดี ยโสธรศรีกุล, และชิชาญา เล่ห์รักษา. 2560. วิถีไทย วิถีชีวิต วิถีข้าว และวิถีอีสาน: ข้าวและชีวิตของชาวนาไทยจากจังหวัดมหาสารคาม. วารสารบริหารธุรกิจและการบัญชี มหาวิทยาลัยขอนแก่น 1(3): 19-34.
- วิไลลักษณ์ สมมติ. 2546. ลักษณะคุณค่าของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทย. ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. ข้าวนาปี: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2561 ที่มีความชื้น 15%
- Kang, M., J. Kim, C. Rico, and S. Nam. 2011. A Comparative Study on the Physicochemical Characteristics of Black Rice Varieties. *Int. J. Food. Prop.* 14: 1241-1254.
- Lee, J. C., J. D. Kim, F. H. Hsieh, and J. B. Eun. 2008. Production of Black Rice Cake Using Ground Black Rice and Medium-grain Brown Rice. *I. J. F. S. T.* 43: 1078-1082.
- Reddy, A. R. 1996. Genetic and Molecular Analysis of the Anthocyanin Pigmentation Pathway in Rice. In: Khush G. S. *Rice Genetics III*. Manila, Philippines IRRI.



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ หน่วยทรัพยากรสินทางปัญญาและถ่ายทอดเทคโนโลยี มทร.ธัญบุรี (TLO) สถาบันวิจัยและพัฒนา
โทร.๐ ๒๕๕๙ ๕๕๙๓

ที่ อว ๐๖๔๙.๑๓/ ๑๑๗๑

วันที่ ๒๒ มิถุนายน ๒๕๖๔

เรื่อง ส่งหนังสือสำคัญการจดทะเบียนสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

เรียน คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

ตามที่ กองสิทธิบัตร กรมทรัพย์สินทางปัญญาได้มีหนังสือ ที่ พณ 0706.1/21109-009225 ลงวันที่ 18 พฤษภาคม 2564 เรื่อง ส่งหนังสือสำคัญการจดทะเบียนอนุสิทธิบัตร ของเลขที่อนุสิทธิบัตร 17690 ความทราบ
แล้วนั้น

ในการนี้ สถาบันวิจัยและพัฒนา จึงขอส่งสำเนาหนังสือสำคัญการจดทะเบียนอนุสิทธิบัตรเลขที่ 17690 ออกให้ ณ วันที่ 11 พฤษภาคม 2564 ของคำขอรับฯ

ประเภทการคุ้มครอง : อนุสิทธิบัตร

เลขที่คำขอ : 1903001027 วันยื่นคำขอ 29 เมษายน 2562

ชื่อการประดิษฐ์ : สูตรการเพาะสปอร์เห็ดโดยใช้เปลือกขมพูพันธุ์ทิพย์บด

ผู้ประดิษฐ์ : นายสวัสดิ์ พิมพสุวรรณ

ขั้นตอนการดำเนินงาน : 7.7 สวพ. ออกหนังสือส่งหนังสือสำคัญการจดทะเบียน ไปยังนักวิจัยผ่าน
คณะต้นสังกัด

รายละเอียดตามเอกสารแนบ เพื่อเป็นหลักฐานในการถือครองทรัพย์สินทางปัญญาต่อไป ทั้งนี้ ในกรณีที่
ที่ผู้ประดิษฐ์ท่านใดมีความประสงค์จะขอรับหนังสือสำคัญการจดทะเบียนตัวจริง ให้มารับด้วยตนเอง ได้ที่ฝ่าย
วิจัยและนวัตกรรม สวพ.

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและ**มอบสำเนาผู้ประดิษฐ์**

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

๒๒ มิ.ย. ๖๔ เวลา ๑๕:๐๔:๕๕ Non-PKI Server Sign

Signature Code : MwBDA-EQAQW-A๕ADQ-ARgAw



เลขที่อนุสิทธิบัตร 17690

อสป/200 - ข

อนุสิทธิบัตร

อาศัยอำนาจตามความในพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522
ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542
อธิบดีกรมทรัพย์สินทางปัญญาออกอนุสิทธิบัตรฉบับนี้ให้แก่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สำหรับการประดิษฐ์ตามรายละเอียดการประดิษฐ์ ชื่อสิทธิ และรูปเขียน (ถ้ามี) ดังที่ปรากฏในอนุสิทธิบัตรนี้

เลขที่คำขอ 1903001027
วันขอรับอนุสิทธิบัตร 29 เมษายน 2562
ผู้ประดิษฐ์ นายสวัสดิ์ พิมพ์สุวรรณ

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ สูตรการเพาะสโตร์เฟินโดยใช้เปลือกขมพุดพันธุ์ทิพย์บด

17690

ให้ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรนี้มีสิทธิและหน้าที่ตามกฎหมายว่าด้วยสิทธิบัตรทุกประการ

ออกให้ ณ วันที่ 11 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564
หมดอายุ ณ วันที่ 28 เดือน เมษายน พ.ศ. 2568



พนักงานเจ้าหน้าที่



Ref.256401001926745

หมายเหตุ 1. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปีเริ่มต้นปีที่ 5 ของอายุอนุสิทธิบัตร มิฉะนั้น อนุสิทธิบัตรจะสิ้นสุดอายุ
2. ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรจะต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปีล่วงหน้าโดยชำระทั้งหมดในคราวเดียวได้
3. ภายใน 90 วันก่อนวันสิ้นสุดอายุอนุสิทธิบัตร ผู้ทรงอนุสิทธิบัตรมีสิทธิขออายุอนุสิทธิบัตรได้ 2 ครั้ง มีกำหนดคราวละ 2 ปี
โดยยื่นคำขอต่ออายุ ต่อพนักงานเจ้าหน้าที่
000107 การออกประกาศให้สิทธิตามอนุสิทธิบัตรและการโอนอนุสิทธิบัตรต้องทำเป็นหนังสือและจดทะเบียนต่อพนักงานเจ้าหน้าที่

การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 59
วันที่ 10-12 มีนาคม 2564

“New Normal KASETSART for
Sustainable Development Goals (SDGs)”

“เกษตรศาสตร์วิถีใหม่
เพื่อเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน”

Proceedings No. 1



AGRICULTURAL SCIENCES

สาขาพืช

Plants

สาขาสัตว์

Animals

สาขาสัตวแพทยศาสตร์

Veterinary Medicine

สาขาประมง

Fisheries

สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์

Agricultural Extension

and Home Economics

ผลของสารแช่เมล็ดพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตของไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดง
Effect of seed soaking solution on the growth of red cabbage (*Brassica oleracea* var. *rubra*) microgreen

เยาวรัตน์ วงศ์ศรีสกุลแก้ว, จันทร์เพ็ญ ชัยมงคล*, หทัยนุช วงษ์ขำ, อติวัฒน์ สูดใจดี, นิยม บัวบาน

Yaowarat Wongsrisakulkaew, Chanpen Chaimongkol*, Hathainooch Wongkham, Atiwan Soodjaidee, Niyom Buaban

สาขาการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12130

Division of Crop Production, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130, Thailand

* Corresponding author. E-mail address: yaowarat_w@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของสารแช่เมล็ดพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตของไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดงโดยการแช่เมล็ดในสารชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำ ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 (กากถั่วเหลือง รำละเอียด มูลไส้เดือน หินฟอสเฟต กระดุกป่น มูลค่างควา), ปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 (กากถั่วเหลือง รำละเอียด มูลไส้เดือน หินฟอสเฟต), ปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 (มูลไส้เดือน หินฟอสเฟต มูลค่างควา ปลาป่น) และน้ำส้มควันไม้ เปรียบเทียบกับการไม่แช่เมล็ดพันธุ์ พบว่าการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำส้มควันไม้ทำให้น้ำหนักต้น 50 ต้น น้ำหนักต่อกล่อง (150 ตารางเซนติเมตร) และน้ำหนักต่อตารางเมตรของกะหล่ำปลีแดงมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่สุด คือ 2.77 กรัมต่อ 50 ต้น 71.18 กรัมต่อกล่อง และ 4.75 กิโลกรัมต่อตารางเมตรและการไม่แช่เมล็ดพันธุ์ทำให้น้ำหนักของไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดงมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 2.50 กรัมต่อ 50 ต้นและ 29.13 กรัมต่อกล่อง และ 1.94 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p \leq 0.05$) การใช้น้ำส้มควันไม้แช่เมล็ดพันธุ์ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดงมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่สุดคือ 52.54 Spad Unit พบว่าสีใบของไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดงมีสีเขียวเข้มจัดอยู่ในกลุ่ม Green group 137 (G 137 A และ G 137 B)

คำสำคัญ: กะหล่ำปลีแดง, น้ำส้มควันไม้, ปุ๋ยหมัก, ไมโครกรีน, สารแช่เมล็ดพันธุ์

Abstract

Studying the effect of seed soaking solution on the growth of red cabbage microgreen. By soaking the seeds in various substances such as distilled water, solution of compost formula 1 (soybean meal, rice bran, vermicompost, rock phosphate, bone meal and bat manure), solution of compost formula 2 (soybean meal, rice bran, vermicompost and rock phosphate), solution of compost formula 3 (vermicompost, rock phosphate, bat manure and fish meal) and wood vinegar compare to non-soaking seeds. The result showed that the weight of 50 plants, plant weight per box (150 cm²) and plant weight per square meter of red cabbage seed soaking in wood vinegar has the highest mean of 2.77 grams per 50 plants, 71.18 grams per box and 4.75 kg/m². Non-soaking seed showed the lowest plant weight of 50 grams per 50 plants, 29.13 grams per box and 1.94 kg/m² with a statistically significant difference at the level of 0.05 ($p < 0.05$). Seeds soaked in wood vinegar indicated the highest mean of chlorophyll content in red cabbage microgreen leaf was 52.54 Spad Unit. The leaf color of red cabbage microgreen was dark green and classified as Green group 137 (G 137 A and G 137 B).

Keywords: compost, microgreen, red cabbage, seed soaking solution, wood vinegar

คำนำ

ไมโครกรีนคือต้นอ่อนพืชที่เพิ่งออกจากเมล็ด ประกอบด้วยใบจริง 1-2 ใบ ต้นอ่อน มีขนาดเล็ก รับประทานง่าย สีสดสวยงาม (Lee et al., 2003; Xiao et al., 2012) ใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกน้อย เนื่องจากรูปแบบการผลิตไมโครกรีนออกแบบมาให้มีขนาดเหมาะสมกับสภาพพื้นที่จำกัด สามารถทำได้ในพื้นที่ขนาดเล็ก ด้วยอายุการเก็บเกี่ยวเพียง 7-14 วัน จึงทำให้มั่นใจได้ว่าปลอดภัยจากสารเคมี (กรรมิกา และคณพล, 2560; Brentlinger, 2005) ไมโครกรีนถือเป็นผักทางเลือกสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุสูงกว่าผักชนิดเดียวกันที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว และยังมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แคโรทีนอยด์ ลูทีน เบตาแคโรทีน แอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอาการอักเสบ เสริมสร้างภูมิคุ้มกันต้านทานในร่างกาย สามารถลดความเสี่ยงของโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจขาดเลือด เส้นเลือดในสมองตีบ และลดอัตราการเกิดโรคมะเร็ง นิยมนำมาประกอบเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น สลัด น้ำผักปั่น หรือวางบนอาหารเพื่อความสวยงาม (Cao et al., 1996; Xiao et al., 2012; Kopsell and Sams, 2013) ทำให้ไมโครกรีนเป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ และด้วยราคาทางการค้าที่ค่อนข้างสูงกว่าผักที่ขายตามท้องตลาด จึงเป็นอีกทางเลือกในการสร้างรายได้ให้แก่กลุ่มเกษตรกร ผักที่นิยมนำมาผลิตเป็นไมโครกรีนในต่างประเทศ ได้แก่ บร็อกโคลี่ ผักกาด กะหล่ำปลี แดง แรดิช ผักโขม และวอเตอร์เครส เป็นต้น (Chon et al., 2009; Xiao et al., 2012)

กะหล่ำปลีแดง (red cabbage) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea* var. *rubra* จัดอยู่ในวงศ์ Brassicaceae ลักษณะคล้ายกะหล่ำปลีธรรมดาแต่มีสีแดงหรือม่วงอมแดง เนื่องจากมี anthocyanin อยู่ในปริมาณมาก (อภิชาติ และศุภวรรณ, 2552) ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยต้านอนุมูลอิสระ ลดอาการอักเสบ คอเลสเตอรอล ต้านไวรัสและลดความเสี่ยงของโรคมะเร็ง มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและอี 2 เท่า (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553) ทั้งยังมีสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ และวิตามินซี อี เค1 (Xiao et al., 2012) แต่เนื่องจาก anthocyanin ที่พบในผักและผลไม้ เป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้และไม่เสถียร เมื่อผ่านอุณหภูมิและความร้อนในการทำอาหาร ทำให้ได้รับปริมาณ anthocyanin ต่ำกว่าที่ควรได้รับ (อัญญา และคณะ, 2560) ดังนั้นการนำกะหล่ำปลีแดงมาผลิตเป็นผักไมโครกรีนที่นิยมบริโภคสด จึงเป็นทางเลือกที่จะทำให้ได้รับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและวิตามินต่างๆ ได้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย แต่ในการทำไมโครกรีนให้ได้ผลผลิตสูง และมีคุณภาพดีตามความต้องการของผู้บริโภคในปริมาณมากนั้น กลุ่มผู้ผลิตนิยมใช้สารเคมี เช่น สารควบคุมเชื้อรา แบคทีเรีย และปุ๋ยเคมีในการผลิต ซึ่งอาจก่อให้เกิดสารตกค้างในผลผลิตไมโครกรีนได้

การศึกษาในครั้งนี้คณะผู้วิจัยมีเป้าหมายที่จะหาแนวทางการผลิตไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดงที่มีคุณภาพและปลอดสารพิษ โดยการทดสอบเปรียบเทียบสารแช่เมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ปุ๋ยหมักธาตุอาหารสูงและน้ำส้มควันไม้ (wood vinegar) ซึ่งเป็นสารชีวภาพ ประกอบไปด้วยธาตุอาหารพืช ฮอร์โมน สารประกอบฟีนอล ที่เกี่ยวข้องกับการงอกและการเจริญเติบโตของพืช และกรดอะซิติก ฟอर्मอล-ดีไฮด์ ที่เป็นสารออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย ไม่มีสารตกค้าง ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางในการผลิตไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดงที่มีคุณภาพดี

อุปกรณ์และวิธีการ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) มีจำนวน 4 ซ้ำใน 6 สิ่งทดลอง ดังนี้

- 1) ไม่แช่เมล็ด
- 2) แช่น้ำ
- 3) แช่น้ำหมักสูตรที่ 1 (กากถั่วเหลือง รำละเอียด มูลไส้เดือน หินฟอสเฟต กระดุกป่นและมูลค่างควา)
- 4) แช่น้ำหมักสูตรที่ 2 (กากถั่วเหลือง รำละเอียด มูลไส้เดือน และหินฟอสเฟต)
- 5) แช่น้ำหมักสูตรที่ 3 (มูลไส้เดือน หินฟอสเฟต มูลค่างควา และปลาป่น)
- 6) แช่น้ำส้มควันไม้

ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

นำกล่องพลาสติกใสขนาด $10 \times 15 \times 8$ เซนติเมตร มาเจาะรูบริเวณฐานกล่อง วางผ้าอเนกประสงค์รองภายในกล่องแล้วใส่พีทมอสลงไปให้มีความหนา 1 นิ้ว ชั่งน้ำหนักเมล็ดพันธุ์กะหล่ำปลีแดงใส่แก้วพลาสติกปริมาณ 6 กรัมต่อแก้ว รวมจำนวนทั้งหมด 24 แก้ว เตรียมสารแช่เมล็ดโดยมีความเข้มข้นที่ค่า $EC\ 700\ \mu S/cm$ ทั้ง 4 สิ่งทดลอง อัตราส่วน ดังนี้

1. น้ำหมักสูตรที่ 1 ปริมาณ 65 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร แล้วนำมาเจือจาง 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 300 มิลลิลิตร
2. น้ำหมักสูตรที่ 2 ปริมาณ 96 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร แล้วนำมาเจือจาง 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 300 มิลลิลิตร
3. น้ำหมักสูตรที่ 3 ปริมาณ 45 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร แล้วนำมาเจือจาง 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 300 มิลลิลิตร
4. น้ำส้มควันไม้ อัตราส่วน 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 300 มิลลิลิตร

นำเมล็ดมาแช่ในสารแช่เมล็ดเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ไปเพาะในกล่องที่เตรียมพีทมอสไว้ แล้วรดน้ำให้ชุ่มทุกวัน ครอบปิดด้วยถาดพลาสติกทึบแสง เมื่อมีใบ 1-2 ใบ จึงใช้ตะกร้าพลาสติกครอบปิด พรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์ จนครบ 9 วัน ในแต่ละสิ่งทดลองมี 4 ซ้ำ โดยปลูกเมล็ดพันธุ์กะหล่ำปลีแดง กล่องละ 6 กรัม มีจำนวนเมล็ดโดยประมาณ 1,920 เมล็ดต่อกล่อง ทั้งหมด 24 กล่อง

การบันทึกผลการทดลอง

เก็บรวบรวมข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตด้านต่างๆ ของไม้โครกรีนกะหล่ำปลีแดงเมื่ออายุเก็บเกี่ยว 9 วัน โดยวัดการเจริญเติบโต ดังนี้

1. ความสูงของต้น: ใช้ไม้บรรทัดวัดจากโคนต้นถึงยอดของไม้โครกรีน ใช้หน่วยวัดเป็นเซนติเมตร
2. น้ำหนักรวมของต้นทั้งหมด: ชั่งน้ำหนักต้นรวมต่อกล่อง โดยการตัดต้นเหนือผิววัสดุปลูกแล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใช้หน่วยวัดเป็นกรัม
3. น้ำหนักต้น: ชั่งน้ำหนักต้นโดยสุ่มเก็บตัวอย่างของไม้โครกรีนกะหล่ำปลีแดง 50 ต้นต่อกล่องนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใช้หน่วยเป็นกรัม
4. ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ: ใช้เครื่องวัดคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus) วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบไม้โครกรีนกะหล่ำปลีแดง ใช้หน่วยเป็น Spad Unit
5. สีใบ: วัดสีใบโดยใช้กระดาษเทียบสี (Color Chart) เทียบสีใบของไม้โครกรีนกะหล่ำปลีแดง

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยนำข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การเจริญเติบโตของไม้โครกรีนกะหล่ำปลีแดง โดยการใช้สารเคมีที่แตกต่างกัน 5 ชนิด เปรียบเทียบกับการไม่ใช้สารเคมี เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อมีอายุครบ 9 วัน มีผลการศึกษาดังนี้

ความสูง

พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 เป็นสารเคมีที่เพิ่มสูงทำให้ความสูงไม้โครกรีนกะหล่ำปลีแดง มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 6.31 เซนติเมตร รองลงมา คือ การแช่ด้วยน้ำส้มควันไม้ ปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 แชน้ำ และปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 6.07 5.96 5.87 และ 5.34 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่การไม่ใช้สารเคมีมีผลทำให้ความสูงมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 4.95 เซนติเมตร โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 1)

น้ำหนักต้น (50 ต้น)

พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 เป็นสารเคมีที่เพิ่มสูงทำให้น้ำหนักต้น 50 ต้นของไม้โครกรีนกะหล่ำปลีแดงมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 2.78 กรัม รองลงมา คือ การแช่ด้วยปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และแช่น้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.75 2.70 2.69 และ 2.52 กรัม ตามลำดับ แต่การไม่ใช้สารเคมีมีผลทำให้น้ำหนักต้น 50 ต้น มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 2.50 กรัม โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1)

น้ำหนักต้นต่อกล่อ่ง

พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 เป็นสารเคมีที่เพิ่มสูงทำให้น้ำหนักต้นต่อกล่อ่ง (150 ตารางเซนติเมตร) ของไม้โครกรีนกะหล่ำปลีแดงมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 71.18 กรัมต่อกล่อ่ง รองลงมา คือ การแช่ด้วยปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 และแช่น้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.82, 59.59, 50.02 และ 49.72 กรัมต่อกล่อ่ง ตามลำดับ แต่การไม่ใช้สารเคมีมีผลทำให้น้ำหนักต้นต่อกล่อ่ง มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 29.13 กรัมต่อกล่อ่ง โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1)

น้ำหนักต่อตารางเมตร

พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 เป็นสารเคมีที่เพิ่มสูงทำให้น้ำหนักต่อตารางเมตร ของไม้โครกรีนกะหล่ำปลีแดงมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 4.75 กิโลกรัมต่อตารางเมตร รองลงมา คือ การแช่ด้วยปุ๋ยหมัก สูตรที่ 2 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 และแช่น้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.05, 3.97, 3.33 และ 3.31 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ แต่การไม่ใช้สารเคมีมีผลทำให้น้ำหนักต่อตารางเมตร มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 1.94 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1)

ปริมาณคลอโรฟิลล์

พบว่าการใช้น้ำส้มควันไม้เป็นสารแฉะเมล็ดพันธุ์ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดง ค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 52.54 Spad Unit รองลงมา คือ การแฉะด้วยปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และน้ำเปล่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.02, 43.83, 39.55 และ 38.35 Spad Unit ตามลำดับ แต่การไม่แฉะเมล็ดทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 36.99 Spad Unit โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 2)

สีใบ

พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์และสีใบมีผลสอดคล้องกัน เนื่องจากใบที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงทำให้สีใบเขียวเข้ม ค่าที่วัดได้จะมีสีใบอยู่ในกลุ่ม Green group (G 137 A) และใบที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำทำให้มีใบสีเขียวย่นกว่า ค่าที่วัดได้จะมีสีใบอยู่ในกลุ่ม Green group (G 137 B) ซึ่งพบว่าการใช้น้ำส้มควันไม้เป็นสารแฉะเมล็ดพันธุ์ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบกะหล่ำปลีแดง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดและมีสีใบที่เขียวเข้ม รองลงมา คือ การแฉะด้วยปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 น้ำ และการไม่แฉะเมล็ดทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดทำให้มีสีใบที่อ่อนลงมา โดยการแฉะด้วยน้ำส้มควันไม้ ปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 และปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ให้สีใบเขียวเข้ม (G 137 A) ส่วนการแฉะด้วยปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 น้ำ และไม่แฉะเมล็ด ให้สีใบเขียวย่นกว่า (G 137 B) (Table 2)

Table 1 Effect of seed soaking solution on the growth of red cabbage microgreen

Treatment	Height (cm)	Weight of 50 plants (grams)	Plant weight per box (150 cm ²)	Plant weight per square meter (kg/m ²)
Non-soaking seeds	4.96 ^{a1/}	2.50 ^b	29.13 ^b	1.94 ^c
Distilled water	5.88 ^a	2.52 ^b	49.72 ^{ab}	3.31 ^b
Compost formula 1	5.35 ^a	2.69 ^{ab}	59.59 ^a	3.97 ^{ab}
Compost formula 2	5.96 ^a	2.70 ^{ab}	60.82 ^a	4.05 ^{ab}
Compost formula 3	6.32 ^a	2.75 ^a	50.02 ^{ab}	3.33 ^b
Wood vinegar	6.07 ^a	2.78 ^a	71.19 ^a	4.75 ^a
F-test	ns	*	*	*
CV(%)	14.80	5.17	19.60	19.61

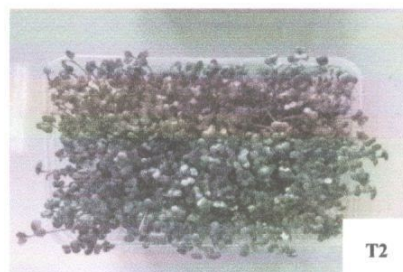
^{1/}* = significantly different at $p \leq 0.05$, ns = not significant

Table 2 The chlorophyll content and leaf color of red cabbage microgreen on seed soaking in various solution

Treatment	Chlorophyll content (Spad Unit)	Color Chart	Color
Non-soaking seeds	36.99 ^a	G 137 B	
Distilled water	38.35 ^a	G 137 B	
Compost formula 1	39.55 ^a	G 137 B	
Compost formula 2	43.83 ^a	G 137 A	
Compost formula 3	44.20 ^a	G 137 A	
Wood vinegar	52.54 ^a	G 137 A	
F-test	ns		
CV (%)	19.99		



A. non-soaking seeds



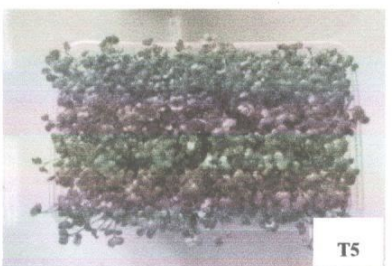
B. distilled water



C. Compost formula 1



D. compost formula 2



E. compost formula 3



F. Wood vinegar

Fig. 1 The growth of red cabbage micro-green on seed soaking in various solution at 9 days of harvest

การศึกษาผลของสารแชนเมล็ดพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดง พบว่า การใช้สารแชนเมล็ดพันธุ์ไม่มีผลต่อความสูงและปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่มีผลด้านน้ำหนักสดซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ การใช้น้ำส้มควันไม้เป็นสารแชนเมล็ดพันธุ์ทำให้น้ำหนัก 50 ต้น น้ำหนักต่อกล่อ่ง (กรัมต่อ 150 ตารางเซนติเมตร) น้ำหนักต่อตารางเมตร และปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่แชนเมล็ด (Table 1, Table 2 และ Fig. 1) เนื่องจากน้ำส้มควันไม้ช่วยเสริมสร้างความสมบูรณ์แข็งแรง ด้านทานโรค มีธาตุอาหารที่จำเป็นอย่าง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสารจำพวกฟีนอล ซึ่งเป็นสารในกลุ่มที่ช่วยเร่งและควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสอดคล้องกับ รัตนารักษ์ และคณะ (2551) ที่ศึกษาการแชนเมล็ดถั่วลิสงพันธุ์ขอนแก่น 6 โดยการใช้น้ำส้มควันไม้เป็นสารแชนเมล็ดพันธุ์ในอัตราเจือจาง 500 เท่า พบว่าช่วยเพิ่มผลผลิตฝักและเมล็ดของถั่วลิสงพันธุ์ขอนแก่น 6 ได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับลินรัตน์ และคณะ (2555) ที่ศึกษาผลของน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดพันธุ์เรดบัตตาเวียและพันธุ์ราการ์โน ด้วยการแชนเมล็ดพันธุ์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าน้ำส้มควัน ไม้ต่อน้ำความเข้มข้น 1 : 400 ทำให้น้ำหนักสดมีค่าเฉลี่ยสูงสุด และน้ำส้มควัน ไม้ต่อน้ำความเข้มข้น 1 : 300 มีผลด้านความยาวรากดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ อัญชลี และคณะ (2559) ที่ศึกษาการใช้น้ำส้มควันไม้และสารสกัดแมงลักมาเป็นสารแชนเมล็ดพันธุ์โดยใช้น้ำส้มควัน ไม้ต่อน้ำความเข้มข้น 1 : 300 แชนเมล็ดแดงกวาพันธุ์ลูกผสมส่งผลให้มีอัตราการงอกสูงที่สุด ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น การนำปัจจัยการงอกเข้ามามีส่วนในการศึกษาผลของสารแชนเมล็ดพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตของไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดง โดยแชนเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและสารแชนเมล็ดพันธุ์ 8 ชั่วโมง เป็นปัจจัยหลักในการงอกของเมล็ดพันธุ์ ทำใหเมล็ดได้รับสารอย่างเต็มที่และช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ด และสอดคล้องกับ อุดมลักษณ์ และคณะ (2557) ที่ศึกษาการผลิตไมโครกรีนพืชพื้นบ้านเพื่อการค้าในสภาพโรงเรือน พบว่าการแชนเมล็ดกระถินเป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีผลต่อการงอกและทำให้ความสูงต้นเพิ่มขึ้น

การใช้ปุ๋ยหมักเป็นสารแชนเมล็ดพันธุ์มีแนวโน้มทำให้ความสูงของไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดงมีค่าเฉลี่ยที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ไม่มีการแชนเมล็ด (Table 1) เนื่องจากปุ๋ยหมักมีสารจำพวกฮอร์โมนธรรมชาติ และธาตุอาหารหลักอย่างไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมถึงจุลินทรีย์จำเป็น โดยให้ผลใกล้เคียงกับน้ำส้มควัน ไม้ ซึ่งสอดคล้องกับธนกุล และภานุมาศ (2561) ได้ทำการศึกษาปุ๋ยหมักธาตุอาหารสูงทั้ง 3 สูตรซึ่งปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 มีผลต่อการเจริญเติบโตมากที่สุดด้านความสูง และน้ำหนักสดของผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ โดยให้ผลเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมี จากการตรวจวัดปริมาณธาตุอาหารพบว่าปุ๋ยหมักธาตุอาหารสูงสูตรที่ 3 มีปริมาณธาตุอาหารสูงที่สุด

สรุป

จากการทดลองพบว่าการใช้สารแชนเมล็ดพันธุ์ ทำให้ผลผลิตมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมซึ่งไม่แชนสารใดๆ สารแชนเมล็ดพันธุ์มีผลต่อผลผลิตด้านน้ำหนักสด แต่ไม่มีผลต่อความสูงและปริมาณคลอโรฟิลล์ของไมโครกรีนกะหล่ำปลีแดง สารแชนเมล็ดพันธุ์น้ำส้มควัน ไม้ ปุ๋ยหมักสูตรที่ 3 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ให้สีใบที่เข้มกว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 น้ำ และการไม่แชนเมล็ดพันธุ์ น้ำส้มควัน ไม้ มีผลทำให้น้ำหนัก 50 ต้น น้ำหนักต่อกล่อ่ง (150 ตารางเซนติเมตร) และน้ำหนักต่อตารางเมตร และปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าเฉลี่ยสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2553. แอนโทไซยานิน. <https://www.academia.edu>, 17 มีนาคม 2563.
- กรรณิกา บุญพาธรรม, ดนุพล เกษไชยสง. 2560. การประเมินผลผลิตและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผักไมโครกรีน 13 ชนิด. แก่นเกษตร 45 (พิเศษ): 369.
- นลินรัตน์ อุ่นรัมย์, อรพิน สิงหะ, สุพรรณิ บุญเรือง. 2555. ผลของน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดพันธุ์เรดบัตตาเวียและพันธุ์ลาการ์โน. สาขาการผลิตพืช, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- นฤมล ใจกว้าง, ภาณุมาศ วงศ์เพชร. 2561. ผลของปุ๋ยหมักธาตุอาหารสูงต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดบัตเตอร์เฮดในระบบไฮโดรโปนิกส์. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- รัตนภรณ์ กุลชาติ, ตรีณี โชติสุขยางกูร, สนั่น จอกลอย, ศศดี วรรณพัฒน์, โสภณ วงศ์แก้ว. 2551. ผลของน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตถั่วลิสงชนิดเมล็ดโคพันธุ์ขอนแก่น 6 และ ชนิดเล็กพันธุ์ไทนาน 9. แก่นเกษตร 36 (ฉบับพิเศษ): 125–132.
- อภิชาติ ศรีสะอาด, สุวรรณ ใจแสน. 2552. คู่มือการเพาะปลูกพืชผักและไม้ผลที่สูงในไทย. กรุงเทพมหานคร, กรุงเทพฯ.
- อุดมลักษณ์ มัจฉาชีพ, สิริวรรณ สุขนิคม, จันทร์เพ็ญ บุตรใส, พาวัญ ทองรักษ์, อรุณี ชัยศรี, อังกริยา มณีน้อย, สุรัช มัจฉาชีพ, สมเจตน์ เจริญศรีสัมพันธ์. 2557. รายงานการวิจัยการศึกษาการผลิตไมโครกรีนพืชพื้นบ้านเพื่อการค้าในสภาพโรงเรือน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- อัญญา จันทร์ปะทิว, ชุพา มิตรมังกร, นาดยา มนตรี. 2560. ผลของความร้อนและการเก็บรักษาต่อปริมาณแอนโทไซยานินในผักสีม่วงบางชนิด. แก่นเกษตร 45 (พิเศษ): 1279–1282.
- อัญชลี สวัสดิ์ธรรม, ปรียานุช เพ็งอุดม, วิจิตรา รุ่งศรี, กนกพร สุฤทธิ์. 2559. ผลของน้ำส้มควันไม้และสารสกัดแมงลักที่มีต่อการเจริญเติบโตของแตงกวาลูกผสม. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 3: 12–13.
- Cao, G., Sotic, E., Prior, R.L. 1996. Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 44: 3426–3431.
- Chon, S.U., Heo, B.G., Park, Y.S., Kim, D.K., Gorinstein, S. 2009. Total phenolics level, antioxidant activities and cytotoxicity of young sprouts of some traditional Korean salad plants. *Plant Foods Hum. Nutr.* 64: 25–31.
- Kopsell, D.A., Sams, C.E. 2013. Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue light from light emitting diodes. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 138: 31–37.
- Lee S.E., H.J. Hwang, J.S. Ha, H.S. Ha, H.S. Jeong and J.H. Kim. 2003. Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Life Sci.* 73: 167–179.
- Xiao, Z., G.E. Lester, Y. Luo and Q. Wang. 2012. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *J. Agric. Food Chem.* 60: 7644–7651.



**KU KASETSART
UNIVERSITY**
KAMPHAENG SAEN CAMPUS



เกษตรกำแพงแสน ตามรอยพ่อ สานต่อศาสตร์แห่งแผ่นดิน

Proceedings

การประชุมวิชาการระดับชาติ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 17

The 17th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference

ระหว่างวันที่ 2 - 3 ธันวาคม 2563

ณ อาคารศูนย์เรียนรวม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ผลงานทางวิชาการ 8 สาขา

1. พืชและเทคโนโลยีชีวภาพ
2. สัตว์และสัตวแพทย์
3. วิศวกรรมศาสตร์
4. เกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
5. มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
6. วิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา
7. วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
และความหลากหลายทางชีวภาพ
8. ส่งเสริมการเกษตร





การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 17 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เลขมาตรฐานสากลประจำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์: 978-616-278-594-8

จัดทำโดย กองบริหารการศึกษามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เลขที่ 1 หมู่ 6 ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

พิมพ์ครั้งที่ 1 : ธันวาคม 2563

ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรม
เยื่อกระดาษต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง
และสมบัติของดินบางประการ
Effects of Powder, Pellet and Granular Organic Fertilizers from Pulp and Paper Industry on
Yield, Yield Components of Cassava and Some Soil Properties

เสฏฐวุฒิ อภิวัฒน์ตั้งสกุล¹ ชัยสิทธิ์ ทองजू¹ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ จุฑามาศ ร่มแก้ว² สิริณา ช่างโอภาส¹
เกวณีน ศรีจันทร์¹ อัญธิชา พรมเมืองคุก¹ สุชาดา กรุณา¹ ศิริสุดา บุตรเพชร¹ ชาลิณี คงสุต³ ธรรมธวัช แสงงาม³ และธีรยุทธ
คล้าชื่น⁴

Settawut Apiwattangsakul¹, Chaisit Thongjoo¹, Tawatchai Inboonchuay¹, Jutamas Romkaew²,
Sirinapa Chungopast¹, Kavalin Srichan¹, Aunthicha Phommuangkhu¹, Suchada Karuna¹,
Sirisuda Bootpetch¹, Chalinee Khongsud³, Thamthawat Saengngam³ and Teerayut Klumchaun⁴

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อ
ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน และสมบัติของดินบาง
ประการ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 14 ตำรับ
ทดลอง ผลการศึกษา พบว่า $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ มีผลให้ผลผลิตหัวสด และผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ของ
มันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-725}}}$
ภายหลังการทดลอง พบว่า $OF-B_{\text{powder-1450}}$ มีผลให้ค่า EC_e ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$, $OF-A_{\text{powder-1450}}$ และ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$ ส่วน $OF-A_{\text{powder-1450}}$ มีผลให้ปริมาณ
อินทรีย์วัตถุในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-1450}}$ นอกจากนี้ $OF-A_{\text{powder-1450}}$ มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัส
ที่เป็นประโยชน์ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$, $OF-B_{\text{powder-1450}}$ และ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ ส่วน $OF-B_{\text{powder-1450}}$ มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด
ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ ขณะที่ $OF-A_{\text{powder-1450}}$ มีผลให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

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

² ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

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

³ ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,
Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

⁴ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130

ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-1450} และ OF-B_{pellet-1450} ส่วน OF-B_{powder-1450} มีผลให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A_{powder-1450}, OF-A_{pellet-1450} และ OF-B_{pellet-1450}

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์ มันทำปะหลัง วัสดุเหลือใช้

Abstract

This study investigated the effects of powder, pellet and granular organic fertilizers (OF) from pulp and paper industry on yield, yield components of cassava (*var.* Huay Bong 60) planted in Kamphaeng Saen soil series and some soil properties. The experimental design was arranged in Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications and consisted of 14 treatments. The results showed that the OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B powder-725} provided the highest fresh root yield and starch yield/unit area which were not significantly different from the OF-A_{powder-725}+CF_{OF-A powder-725} and the OF-B_{pellet-725}+CF_{OF-B pellet-725}. After experiment, it was found that the OF-B_{powder-1450} resulted in the highest EC_e of soil which was not significantly different from the OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B powder-725}, OF-A_{powder-1450} and OF-A_{powder-725}+CF_{OF-A powder-725}. The OF-A_{powder-1450} affected on the highest organic matter of soil which was not significantly different from the OF-B_{powder-1450}. Furthermore, the OF-A_{powder-1450} affected on the highest available P of soil which was not significantly different from the OF-A_{powder-725}+CF_{OF-A powder-725}, OF-B_{powder-1450} and OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B powder-725}. The OF-B_{powder-1450} affected on the highest exchangeable K of soil which was not significantly different from the OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B powder-725}. While, the OF-A_{powder-1450} affected on the highest exchangeable Ca of soil which was not significantly different from the OF-B_{powder-1450} and OF-B_{pellet-1450}. The OF-B_{powder-1450} affected on the highest exchangeable Mg of soil which was not significantly different from the OF-A_{powder-1450}, OF-A_{pellet-1450} and OF-B_{pellet-1450}.

Keyword: organic fertilizer, cassava, waste materials

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

คำนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 8.62 ล้านไร่ ได้ผลผลิตหัวมันสด 29.37 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ 3.41 ตัน/ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย และขี้เถ้าลอยจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ กากมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมัน กากตะกอนยีสต์ และน้ำวีเนสจากโรงงานผลิตเอทานอล ผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) เป็นต้น โดยผลพลอยได้ดังกล่าวมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อยและมักก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005) ที่ผ่านมามีรายงานเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์ในแง่ปุ๋ยกับมันสำปะหลังค่อนข้างน้อย เช่น การใช้ผลพลอยได้

จากโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) (ภาณุพงศ์ และคณะ, 2557) วัสดุอินทรีย์ผสมระหว่างผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรสและขี้เถ้าลอย (ธีรยุทธ และคณะ, 2560) กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย (นิชากร และคณะ, 2562) เป็นต้น การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากกากตะกอน (activated sludge) จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า กากตะกอนน้ำเสียเหล่านั้น สามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีกับพืชเศรษฐกิจชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น ข้าว (นฤพน และคณะ, 2556) มันสำปะหลัง (ธีรยุทธ และคณะ, 2560) เป็นต้น จากประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้นจึงเกิดแนวคิดในการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง และสมบัติของดินบางประการ ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาทำให้เกิดประโยชน์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่ปลูกมันสำปะหลังอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และสมบัติของดินบางประการ ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic) Soil Survey Staff (2003) งานทดลองนี้ประกอบด้วย 42 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร ระยะปลูก 1 x 1 เมตร เก็บข้อมูลผลผลิตของมันสำปะหลังเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถว 1 เมตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 14 ดำรับทดลอง โดยรายละเอียดของดำรับทดลองได้แสดงไว้ใน Table 1 ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเนื้อดิน สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 2

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (42 % P_2O_5) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 % K_2O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ๆ ละครั้งอัตราในแต่ละดำรับทดลองที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับมันสำปะหลัง คือ 16 และ 8 กิโลกรัม N และ K_2O ต่อไร่ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองมาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท ดี. เอ. รีเชิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. โดยปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A และสูตร B ประกอบด้วยกากมันสำปะหลัง : กากตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการบำบัด : ขี้เถ้าลอย เท่ากับ 5 : 2 : 5 และ 4 : 2 : 4 โดยปริมาตร ตามลำดับ จากนั้น นำปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงทั้ง 2 สูตรไปอัดเม็ด และปั้นเม็ด ต่อไป (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2562) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ใส่เพียงครั้งเดียวในแต่ละดำรับทดลองที่อายุ 2 เดือนหลังปลูก สำหรับอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A (1.12 เปอร์เซ็นต์) ให้ได้

ใกล้เคียงกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (16 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่) นั่นคือ 1,428.57 กิโลกรัม/ไร่ แต่ในการทดลองนี้ได้กำหนดอัตราปุ๋ยอินทรีย์เพื่อความสะดวกต่อการใช้ คือ 1,450 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 3

การเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือน ได้แก่ ผลผลิตหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสด (ใช้เครื่อง Remain Scale) และผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ ภายหลังจากเก็บเกี่ยวดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละดำรับทดลองเพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่า EC_e และปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยข้อมูลผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และสมบัติบางประการของดินที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS)

Table 1 Detail of treatments.

Treatments	Descriptions	Symbols	Quantity of major elements (kgN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)
T ₁	no fertilizer and organic fertilizer (OF) treatment	control	0-0-0
T ₂	the application of chemical fertilizer (CF) based on soil chemical analysis	CF _{DOA}	16-0-8
T ₃	the application of powder OF-A of 1,450 kg/rai	OF-A _{powder-1450}	16.24-28.57-32.77
T ₄	the application of powder OF-A of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements (N, P and K) equivalent to 725 kg/rai of the powder OF-A	OF-A _{powder-725} +CF _{OF-A_{powder-725}}	16.24-28.57-32.77
T ₅	the application of pellet OF-A of 1,450 kg/rai	OF-A _{pellet-1450}	14.94-28.13-31.03
T ₆	the application of pellet OF-A of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the pellet OF-A	OF-A _{pellet-725} +CF _{OF-A_{pellet-725}}	14.94-28.13-31.03
T ₇	the application of granular OF-A of 1,450 kg/rai	OF-A _{granular-1450}	12.62-22.33-25.23
T ₈	the application of granular OF-A of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the granular OF-A	OF-A _{granular-725} +CF _{OF-A_{granular-725}}	12.62-22.33-25.23
T ₉	the application of powder OF-B of 1,450 kg/rai	OF-B _{powder-1450}	15.66-28.13-35.67
T ₁₀	the application of powder OF-B of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the powder OF-B	OF-B _{powder-725} +CF _{OF-B_{powder-725}}	15.66-28.13-35.67
T ₁₁	the application of pellet OF-B of 1,450 kg/rai	OF-B _{pellet-1450}	13.63-27.55-33.93
T ₁₂	the application of pellet OF-B of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the pellet OF-B	OF-B _{pellet-725} +CF _{OF-B_{pellet-725}}	13.63-27.55-33.93
T ₁₃	the application of granular OF-B of 1,450 kg/rai	OF-B _{granular-1450}	12.04-21.90-26.68
T ₁₄	the application of granular OF-B of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the granular OF-B	OF-B _{granular-725} +CF _{OF-B_{granular-725}}	12.04-21.90-26.68

Table 2 Properties of soil (0-30 cm) before the experiment.

Properties	Results	Rating
pH (1:1)	7.74	slightly alkaline
EC _e (dS/m)	0.61	non-saline
Organic matter (%) ^{1/}	0.92	low
Available P (mg/kg) ^{2/}	36.03	high
Exchangeable K (mg/kg) ^{3/}	57.28	low
Exchangeable Ca (mg/kg) ^{3/}	712	high
Exchangeable Mg (mg/kg) ^{3/}	82.46	moderately
Exchangeable Na (mg/kg) ^{3/}	23.58	-
Soil texture ^{4/}	sandy loam	-

Note ^{1/} = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934) ^{2/} = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)
^{3/} = Extracted with NH₄OAc pH 7.0 (Pratt, 1965) ^{4/} = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

Table 3 Chemical and physical properties of organic fertilizer (OF).

Properties	OF-A			OF-B		
	powder	pellet	granular	powder	pellet	granular
pH (3:50)	9.04	8.78	8.62	9.00	8.88	8.47
EC 1:10 (dS/m)	8.78	8.62	7.23	9.23	8.94	7.65
Organic matter (%)	25.36	23.15	17.56	23.24	21.36	16.85
Organic carbon (%)	14.71	13.43	10.19	13.48	12.39	9.77
C:N ratio	13.13	13.04	11.71	12.48	13.18	11.78
Total N (%)	1.12	1.03	0.87	1.08	0.94	0.83
Total P ₂ O ₅ (%)	1.97	1.94	1.54	1.94	1.90	1.51
Total K ₂ O (%)	2.26	2.14	1.74	2.46	2.34	1.84
Total primary nutrients (%)	5.35	5.11	4.15	5.48	5.18	4.18
Total Ca (%)	19.59	18.23	13.25	19.18	18.32	12.88
Total Mg (%)	1.42	1.34	1.14	1.42	1.28	1.17
Total Na (%)	0.17	0.16	0.14	0.19	0.17	0.15
Germination index (%)	99.13	102.36	113.25	100.86	112.36	118.12
Moisture (%)	25.42	23.12	21.41	26.68	24.12	23.14

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง

1.1 ผลผลิตหัวสด

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งตัวควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ มีผลให้ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (12.56 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$, $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-725}}}$ และ $OF-A_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-725}}}$ ขณะที่ตัวควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (4.25 ตัน/ไร่)

1.2 เปอร์เซ็นต์แบ่งส่วนหัวสดและผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งตัวควบคุม (control) มีผลให้เปอร์เซ็นต์แบ่งส่วนหัวสดและผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ มีผลให้เปอร์เซ็นต์แบ่งส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (29.87 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$, $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-725}}}$, $OF-A_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-725}}}$, $OF-B_{\text{powder-1450}}$ และ $OF-A_{\text{powder-1450}}$ นอกจากนี้ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ ยังมีผลให้ผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังมากที่สุด (3.75 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-725}}}$ ขณะที่ตัวควบคุม (control) มีผลให้เปอร์เซ็นต์แบ่งส่วนหัวสดและผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (22.56 เปอร์เซ็นต์ และ 0.96 ตัน/ไร่ ตามลำดับ)

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังโดยภาพรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นิชากร และคณะ (2562) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับมันสำปะหลังได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะเวลาผ่านไป นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงมีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังโดยภาพรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ดหรือปั้นเม็ด จะผ่านความร้อนเพื่อให้แห้ง จึงทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารได้ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ชนิดปั้นเม็ดจะมีการเติมวัสดุหรือดินขาวเพื่อให้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถขึ้นรูปเป็นเม็ดได้ จึงส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด และชนิดผง ตามลำดับ (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

Table 4 Fresh root yield, starch contents and starch yield of cassava at 12 MAP^{1/}.

Treatments	Fresh root yield (ton/rai)	Starch contents (%)	Starch yield (ton/rai)
T ₁ = control	4.25 ^{h 2/}	22.56 ^{g 2/}	0.96 ^{j 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	7.56 ^g	23.83 ^{fg}	1.80 ⁱ
T ₃ = OF-A _{powder-1450}	11.35 ^{bc}	28.23 ^{ab}	3.20 ^c
T ₄ = OF-A _{powder-725} +CF _{OF-A powder-725}	12.48 ^a	29.53 ^a	3.69 ^a
T ₅ = OF-A _{pellet-1450}	10.54 ^d	26.32 ^{cd}	2.77 ^e
T ₆ = OF-A _{pellet-725} +CF _{OF-A pellet-725}	12.22 ^a	28.76 ^{ab}	3.51 ^b
T ₇ = OF-A _{granular-1450}	8.26 ^f	24.25 ^{ef}	2.00 ^h
T ₈ = OF-A _{granular-725} +CF _{OF-A granular-725}	8.82 ^{ef}	25.22 ^{def}	2.22 ^g
T ₉ = OF-B _{powder-1450}	11.56 ^b	28.64 ^{ab}	3.31 ^c
T ₁₀ = OF-B _{powder-725} +CF _{OF-B powder-725}	12.56 ^a	29.87 ^a	3.75 ^a
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1450}	10.83 ^{cd}	27.25 ^{bc}	2.95 ^d
T ₁₂ = OF-B _{pellet-725} +CF _{OF-B pellet-725}	12.36 ^a	29.26 ^a	3.62 ^{ab}
T ₁₃ = OF-B _{granular-1450}	8.75 ^{ef}	24.38 ^{ef}	2.13 ^{gh}
T ₁₄ = OF-B _{granular-725} +CF _{OF-B granular-725}	9.26 ^e	25.54 ^{de}	2.37 ^f
F-test	**	**	**
CV (%)	13.25	13.41	13.88

^{1/} Months after planting

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

** indicates significant difference at $P < 0.01$

2. การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดิน ภายหลังการปลูกมันสำปะหลัง

ภายหลังการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง (Table 5) พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ OF-B_{powder-1450} มีผลให้ค่า EC_e ของดินมากที่สุด (1.89 dS/m) ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B powder-725}, OF-A_{powder-1450} และ OF-A_{powder-725}+CF_{OF-A powder-725} ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B ที่ใช้ในการทดลองมีค่า EC มากที่สุด (Table 3) นอกจากนี้ OF-A_{powder-1450} มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากที่สุด (1.63 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-1450} ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A ที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุด รองลงมา คือ ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B (Table 3) ส่วน OF-A_{powder-1450} มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินมากที่สุด (56.28 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ OF-A_{powder-725}+CF_{OF-A powder-725}, OF-B_{powder-1450} และ OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B powder-725} ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปมีค่ามากที่สุด (28.57 กิโลกรัม P₂O₅ ต่อไร่) ดังแสดงไว้ใน Table 1 ขณะที่ OF-B_{powder-1450} มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด

(89.72 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณโพแทสเซียมที่ใส่ลงไปมีค่ามากที่สุด (35.67 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่) ดังแสดงไว้ใน Table 1 นอกจากนี้ $OF-A_{\text{powder-1450}}$ มีผลให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด (953 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-1450}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-1450}}$ ขณะที่ $OF-B_{\text{powder-1450}}$ มีผลให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด (120.28 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-1450}}$, $OF-A_{\text{pellet-1450}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-1450}}$

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

Treatments	pH (1:1 water)	EC_e (dS/m)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)
before experiment	7.74	0.61	0.92	36.03	57.28	712	82.46
T_1 = control	7.72	0.63 ^h ^{1/}	0.94 ^k ^{1/}	37.12 ^h ^{1/}	58.36 ^h ^{1/}	725 ^h ^{1/}	83.54 ^d ^{1/}
T_2 = CF_{DOA}	7.69	0.89 ^g	1.18 ^j	39.24 ^{gh}	65.36 ^g	738 ^h	85.67 ^d
T_3 = $OF-A_{\text{powder-1450}}$	7.95	1.83 ^{ab}	1.63 ^a	56.28 ^a	83.25 ^{cd}	953 ^a	118.72 ^a
T_4 = $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$	7.92	1.81 ^{abc}	1.40 ^{ef}	55.82 ^a	82.54 ^{cde}	925 ^{cd}	105.42 ^b
T_5 = $OF-A_{\text{pellet-1450}}$	7.88	1.72 ^d	1.55 ^{bc}	52.42 ^{bc}	80.78 ^{de}	933 ^{bcd}	117.53 ^a
T_6 = $OF-A_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-725}}}$	7.83	1.69 ^d	1.33 ^{gh}	50.95 ^{cd}	79.25 ^e	887 ^e	101.25 ^{bc}
T_7 = $OF-A_{\text{granular-1450}}$	7.86	1.46 ^{ef}	1.45 ^{de}	44.56 ^e	73.22 ^f	869 ^f	98.25 ^{bc}
T_8 = $OF-A_{\text{granular-725}} + CF_{OF-A_{\text{granular-725}}}$	7.83	1.42 ^f	1.27 ^{hi}	44.36 ^e	72.15 ^f	851 ^{fg}	93.83 ^c
T_9 = $OF-B_{\text{powder-1450}}$	7.92	1.89 ^a	1.58 ^{ab}	54.76 ^{ab}	89.72 ^a	946 ^{ab}	120.28 ^a
T_{10} = $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$	7.89	1.87 ^a	1.38 ^{efg}	54.53 ^{ab}	88.63 ^{ab}	918 ^d	106.72 ^b
T_{11} = $OF-B_{\text{pellet-1450}}$	7.90	1.76 ^{bcd}	1.50 ^{cd}	49.25 ^d	85.82 ^{bc}	938 ^{abc}	116.42 ^a
T_{12} = $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-725}}}$	7.87	1.74 ^{cd}	1.31 ^{ghi}	49.11 ^d	84.63 ^c	900 ^e	100.25 ^{bc}
T_{13} = $OF-B_{\text{granular-1450}}$	7.85	1.51 ^e	1.43 ^{de}	42.59 ^{ef}	75.25 ^f	865 ^{fg}	99.83 ^{bc}
T_{14} = $OF-B_{\text{granular-725}} + CF_{OF-B_{\text{granular-725}}}$	7.82	1.48 ^{ef}	1.25 ^{ij}	41.28 ^{fg}	74.73 ^f	847 ^g	95.26 ^c
F-test	ns	**	**	**	**	**	**
CV (%)	11.29	13.15	12.68	13.36	12.62	12.36	11.52

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

ns = non-significant

** indicates significant difference at $P < 0.01$

สรุปผลและเสนอแนะ

1. $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ มีผลให้ผลผลิตหัวสด และผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-725}}}$
2. $OF-B_{\text{powder-1450}}$ มีผลให้ค่า EC_e ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$, $OF-A_{\text{powder-1450}}$ และ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$ ส่วน $OF-A_{\text{powder-1450}}$ มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-1450}}$

3. OF-A_{powder-1450} มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A_{powder-725}+CF_{OF-A_{powder-725}}, OF-B_{powder-1450} และ OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B_{powder-725}} ส่วน OF-B_{powder-1450} มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B_{powder-725}}

4. OF-A_{powder-1450} มีผลให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-1450} และ OF-B_{pellet-1450} ขณะที่ OF-B_{powder-1450} มีผลให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A_{powder-1450}, OF-A_{pellet-1450} และ OF-B_{pellet-1450}

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนานาวิชาการ ระหว่างภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และบริษัท ดี. เอ. รีซีร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. รวมทั้งบริษัท วาย.วี.พี เฟอर्टิลไลเซอร์ จำกัด ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายระยะการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบไฮดรอสคอปกรณ. คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ, อัญธิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, สัณชัย ภูเงิน, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และ ศิริสุดา บุตรเพชร. 2562. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง “การจัดการวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ และอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณีศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ร่วมจากมันเอทานอล ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ และแกลบย่อยชีวมวล”. นครปฐม.
- นิชากร ทองมี, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, สิริภา ช่างโสภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุต, ธรรมธวัช แสงงาม และ ธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง. ว. วิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2 (2): 91-105.
- ธีรยุทธ คล้าชื่น, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ทศพล พรพรหม และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง และสมบัติของดิน. ว. แก่นเกษตร 45 (4): 711-720.
- นฤพน รักขยัน, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา, จุฑามาศ ร่มแก้ว และ ศิริสุดา บุตรเพชร. 2556. การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าว, น. 100-110. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ. นครปฐม.

- ภาณุพงศ์ ชลชลา, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อำคา, วิภาวรรณ ท้ายเมือง, ซาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และ ศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ผลของการใช้กากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง, 67-80 น. ใน การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ยงยุทธ โอสถสกา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. In C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis Part II. Agronomy*, No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc, Madison, Wisconsin, U.S.A.
- 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. 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.
- Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-35.

ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้ของเครื่องกำจัดเศษขยะต่อผลผลิต
องค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง และสมบัติของดินบางประการ
Effect of Organic Fertilizer from by-Product of Oklin Composter on Yield and
Yield Components of Cassava and Some Soil Properties

อริศชา สิงหมงคล¹ ชัยสิทธิ์ ทองजू^{1*} ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ จุฑามาศ ร่มแก้ว² เกวลิน ศรีจันทร์¹
สิรินภา ช่วงโอภาส¹ อัญธิชา พรมเมืองคุก¹ สุชาดา กรุณา¹ ศิริสุดา บุตรเพชร¹ ชาลิณี คงสุต³
ธรรมธวัช แสงงาม³ และ ธีรยุทธ คล้าชื่น⁴

Arischa Singhamongkol¹, Chaisit Thongjoo^{1*}, Tawatchai Inboonchuy¹, Jutamas Romkaew²,
Kavalin Srichan¹, Sirinapa Chungopast¹, Aunthicha Phommuangkuk¹, Suchada Karuna¹,
Sirisuda Bootpetch¹, Chalinee Khongsud³, Thamthawat Saengngam³ and Teerayut Klumchaun⁴

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้ของเครื่องกำจัดเศษขยะต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน รวมทั้งสมบัติของดินบางประการ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 8 ตำรับทดลอง ผลการทดลอง พบว่า OF-C₄₅₀+CF_{OF-C-450} มีผลให้ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A₄₅₀+CF_{OF-A-450}, OF-B₄₅₀+CF_{OF-B-450}, CF_{DOA} และ OF-C₉₀₀ นอกจากนี้ OF-C₄₅₀+CF_{OF-C-450} มีผลให้ผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A₄₅₀+CF_{OF-A-450}, OF-B₄₅₀+CF_{OF-B-450} และ CF_{DOA} ภายหลังการทดลอง พบว่า OF-A₄₅₀+CF_{OF-A-450} มีผลให้ค่า pH ของดินต่ำที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A₉₀₀ ส่วน OF-B₉₀₀ มีผลให้ค่า EC_e และปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-C₉₀₀ และ OF-A₉₀₀ นอกจากนี้ OF-B₉₀₀ ยังมีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-C₉₀₀ ขณะที่ OF-A₉₀₀ มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-C₉₀₀ ส่วน OF-A₉₀₀ ยังมีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-B₉₀₀ และ OF-C₉₀₀
คำสำคัญ: มันสำปะหลัง ปุ๋ยอินทรีย์ ผลพลอยได้ เครื่องกำจัดเศษขยะ

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

² ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140
Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakorn Pathom 73140

³ ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

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

Abstract

This study investigated the effect of organic fertilizer (OF) from by-product of Oklin Composter on yield and yield components of cassava var. Huay Bong 60 planted in Kamphaeng Saen soil series and some soil properties. Experimental design was arranged in Randomized Complete Block (RCBD) with 3 replications and consisting of 8 treatments. The results showed that the $OF-C_{450}+CF_{OF-C-450}$ provided the highest fresh root yield which was not significantly different from the $OF-A_{450}+CF_{OF-A-450}$, $OF-B_{450}+CF_{OF-B-450}$, CF_{DOA} and $OF-C_{900}$. Furthermore, the $OF-C_{450}+CF_{OF-C-450}$ provided the highest starch yield which was not significantly different from the $OF-A_{450}+CF_{OF-A-450}$, $OF-B_{450}+CF_{OF-B-450}$ and CF_{DOA} . At the end of the experiment, it was found that the $OF-A_{450}+CF_{OF-A-450}$ resulted in the lowest soil pH which was not different from the $OF-A_{900}$. Furthermore, the $OF-B_{900}$ affected on the highest EC_e and exchangeable Ca of soil which was not different from the $OF-C_{900}$ and $OF-A_{900}$. The $OF-B_{900}$ affected on the highest organic matter of soil which was not different from the $OF-C_{900}$. The $OF-A_{900}$ affected on the highest available P of soil which was not different from the $OF-C_{900}$. While, the $OF-A_{900}$ affected on the highest exchangeable K of soil which was not different from the $OF-B_{900}$ and $OF-C_{900}$.

Keyword: cassava, organic fertilizer, by-product, Oklin Composter

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

คำนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 8.62 ล้านไร่ ได้ผลผลิตหัวมันสด 29.37 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 3.41 ตัน/ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) โดยมันสำปะหลังมีการขยายการส่งออกในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปและสาธารณรัฐประชาชนจีน ประกอบกับรัฐบาลไทยได้สนับสนุนการสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 จึงส่งผลให้ความต้องการผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย และชี้ถ้ำล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) กากตะกอนยีสต์จากโรงงานผลิตเอทานอล เป็นต้น โดยผลพลอยได้ดังกล่าวมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อยและมักก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005) ที่ผ่านมามีรายงานเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์ในแง่ปุ๋ยกับมันสำปะหลังค่อนข้างน้อย เช่น การใช้วัสดุอินทรีย์ผสมระหว่างกากตะกอนยีสต์และน้ำวีเนส (ทิพวรรณ และคณะ, 2557) วัสดุอินทรีย์ผสมระหว่างผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรสและชี้ถ้ำล่อย (ธีรยุทธ และคณะ, 2560) กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย (นิชากร และคณะ, 2562) เป็นต้น การเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากกากตะกอน (activated sludge cake) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า กากตะกอนน้ำเสียเหล่านั้นสามารถให้ทดแทนปุ๋ยเคมี หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีกับพืชเศรษฐกิจชนิดต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น ข้าว (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2563) อ้อย (ชาลินี และคณะ, 2562) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ดชนียา และคณะ, 2563) มันสำปะหลัง (ธีรยุทธ

และคณะ, 2560) เป็นต้น จึงเกิดแนวคิดว่าจะหากมีการนำผลพลอยได้จากเครื่องกำจัดเศษขยะ (Oklin Composter) ในครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมมาผสมเป็นปุ๋ยอินทรีย์ และหาแนวทางการใช้ประโยชน์ในแง่การทดแทนปุ๋ย หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยพิจารณาผลของปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง รวมทั้งสมบัติของดินบางประการ ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาทำให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมแล้ว ยังเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกรในด้านการลดต้นทุนการผลิตมันสำปะหลังให้ต่ำลงได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้จากเครื่องกำจัดเศษขยะต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน และสมบัติของดินบางประการ ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks) งานทดลองนี้ประกอบด้วย 24 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร ระยะปลูก 1 x 1 เมตร เก็บข้อมูลผลผลิตของมันสำปะหลังเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถว 1 เมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 8 ดำรับทดลอง โดยรายละเอียดของดำรับทดลองได้แสดงไว้ใน Table 1 ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเนื้อดิน สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 2

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (42 % P_2O_5) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60% K_2O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละดำรับทดลองที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับมันสำปะหลัง คือ 16 และ 8 กิโลกรัม N และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ 3 สูตร (สูตร A, B และ C) ที่ใช้ในการทดลองมาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท ไอศกรีน อินเตอร์เนชั่นแนล (ไทยแลนด์) จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยโปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. ภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง "การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากเครื่องกำจัดเศษขยะเพื่อผลิตวัสดุปลูกและปุ๋ยอินทรีย์ตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรสำหรับพืชอายุสั้น" ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์สูตร A, B และ C ประกอบด้วยผลพลอยได้จากเครื่องกำจัดเศษขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เศษผักและผลไม้จากครัวเรือน โรงอาหารขนาดกลาง-ใหญ่ และห้างสรรพสินค้า (Oklin Composter, OC) กากตะกอนอ้อย (filter cake, FC) และขี้เถ้า (ash, A) ในสัดส่วนของ OC : FC : A = 1 : 3 : 0.5, 2 : 3 : 0.5 และ 2 : 4 : 0.5 โดยปริมาตร ตามลำดับ (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2563) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ใส่เพียงครั้งเดียวในแต่ละดำรับทดลองที่อายุ 2 เดือนหลังปลูก สำหรับอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุดของปุ๋ยอินทรีย์สูตร C (1.84 เปอร์เซ็นต์) ให้ได้ใกล้เคียงกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (16 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่) นั่นคือ

869.57 กิโลกรัม/ไร่ แต่ในการทดลองนี้ได้กำหนดอัตราปุ๋ยอินทรีย์เพื่อความสะดวกต่อการใช้ คือ 900 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์แต่ละสูตรก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 3

การเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือน ได้แก่ ผลผลิตหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสด (ใช้เครื่อง Remain Scale) และผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ ภายหลังการเก็บเกี่ยวดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละตำรับทดลองเพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่า EC_e และปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยข้อมูลผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และสมบัติบางประการของดินที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS)

Table 1 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) and no organic fertilizer (OF) treatment	control	0-0-0
T ₂	the application of CF based on soil chemical analysis	CF _{DOA}	16-0-8
T ₃	the OF-A application of 900 kg/rai	OF-A ₉₀₀	15.12-17.91-18.99
T ₄	the OF-A application of 450 kg/rai in combination with CF containing all major elements (N, P, K) equivalent to 450 kg/rai of the OF-A	OF-A ₄₅₀ +CF _{OF-A-450}	15.12-17.91-18.99
T ₅	the OF-B application of 900 kg/rai	OF-B ₉₀₀	13.68-15.75-17.64
T ₆	the OF-B application of 450 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 450 kg/rai of the OF-B	OF-B ₄₅₀ +CF _{OF-B-450}	13.68-15.75-17.64
T ₇	the OF-C application of 900 kg/rai	OF-C ₉₀₀	16.56-17.19-17.55
T ₈	the OF-C application of 450 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 450 kg/rai of the OF-C	OF-C ₄₅₀ +CF _{OF-C-450}	16.56-17.19-17.55

Table 2 Properties of soil (0-30 cm) before the experiment.

Properties	Results	Rating
pH (1:1 water)	7.24	neutral
EC _e (dS/m)	0.41	non-saline
Organic matter (%) ^{1/}	0.67	low
Available P (mg/kg) ^{2/}	33.47	high
Exchangeable K (mg/kg) ^{3/}	55.78	low
Exchangeable Ca (mg/kg) ^{3/}	1,214	high
Exchangeable Mg (mg/kg) ^{3/}	127.48	high
Exchangeable Na (mg/kg) ^{3/}	31.89	-
Texture ^{4/}	sandy loam	-

Note ^{1/} = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934) ^{2/} = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)
^{3/} = Extracted with NH₄OAc pH 7.0 (Pratt, 1965) ^{4/} = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

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

Properties	Results		
	OF-A	OF-B	OF-C
pH (3:50)	5.88	6.34	6.20
EC 1:10 (dS/m)	7.86	8.83	8.16
Sodium (%)	0.56	0.76	0.64
Organic matter (%)	26.42	32.55	32.50
Organic carbon (%)	15.32	18.88	18.85
C:N ratio	9.12 : 1	12.42 : 1	10.25 : 1
Total N (%)	1.68	1.52	1.84
Total P ₂ O ₅ (%)	1.99	1.75	1.91
Total K ₂ O (%)	2.11	1.96	1.95
Total primary nutrients (%)	5.78	5.23	5.70
Total Ca (%)	3.03	3.47	3.17
Total Mg (%)	0.45	0.42	0.44
Germination index (%)	83.93	106.52	97.83
Moisture (%)	27.29	26.42	24.80

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง

1.1 ผลผลิตหัวสด

พบว่า $OF-C_{450}+CF_{OF-C-450}$ มีผลให้ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (11.25 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{450}+CF_{OF-A-450}$, $OF-B_{450}+CF_{OF-B-450}$, CF_{DOA} , $OF-C_{900}$ และ $OF-A_{900}$ ขณะที่ค่าควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (3.22 ตัน/ไร่) (Table 4)

1.2 เปอร์เซ็นต์แบ่งส่วนหัวสดและผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่

ทุกค่ารับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้เปอร์เซ็นต์แบ่งส่วนหัวสดของมันสำปะหลังใกล้เคียงกันในช่วง 27.53-28.48 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ $OF-C_{450}+CF_{OF-C-450}$ มีผลให้ผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังมากที่สุด (3.20 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{450}+CF_{OF-A-450}$, $OF-B_{450}+CF_{OF-B-450}$ และ CF_{DOA} ส่วนค่าควบคุม (control) มีผลให้เปอร์เซ็นต์แบ่งส่วนหัวสดและผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (22.58 เปอร์เซ็นต์ และ 0.73 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) (Table 4)

Table 4 Fresh root yield, starch contents and starch yield of cassava at 12 MAP^{1/}

Treatments	Fresh root yield (ton/rai)	Starch contents (%)	Starch yield (ton/rai)
T ₁ = control	3.22 ^{c 2/}	22.58 ^{b 2/}	0.73 ^{e 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	10.83 ^{ab}	28.26 ^a	3.06 ^{ab}
T ₃ = OF-A ₉₀₀	9.83 ^{ab}	27.88 ^a	2.74 ^{cd}
T ₄ = OF-A ₄₅₀ +CF _{OF-A-450}	11.18 ^{ab}	28.37 ^a	3.17 ^a
T ₅ = OF-B ₉₀₀	9.65 ^b	27.53 ^a	2.66 ^d
T ₆ = OF-B ₄₅₀ +CF _{OF-B-450}	11.00 ^{ab}	28.35 ^a	3.12 ^a
T ₇ = OF-C ₉₀₀	10.23 ^{ab}	28.15 ^a	2.88 ^{bc}
T ₈ = OF-C ₄₅₀ +CF _{OF-C-450}	11.25 ^a	28.48 ^a	3.20 ^a
F-test	**	**	**
CV (%)	13.23	12.48	11.27

^{1/} Months after planting

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

** indicates significant difference at $P < 0.01$

2. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน ภายหลังการปลูกมันสำปะหลัง

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งค่าควบคุม (control) มีผลให้ค่า pH ค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ $OF-A_{450}+CF_{OF-A-450}$ มีผลให้ค่า pH ของดินต่ำที่สุด (pH 6.60) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{900}$ ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็นปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21%N) ซึ่งในสภาพดินไร่ที่มีการถ่ายเทอากาศดีจะส่งผลให้แอมโมเนียมไอออน

(NH₄⁺) ถูกออกซิไดซ์กระทั่งก่อให้เกิดไฮโดรเจนไอออน (H⁺) จึงมีผลตกค้างทำให้ดินมีค่า pH ลดลงได้ (ยงยุทธ และคณะ, 2551; ดัชนียา และคณะ, 2562) อีกทั้งปุ๋ยอินทรีย์สูตร A ที่ใช้ในการทดลองมีค่า pH ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์สูตร C และสูตร B ตามลำดับ (Table 3)

OF-B₉₀₀ มีผลให้ค่า EC_e และปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด (2.12 dS/m และ 1,482 mg/kg ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับ OF-C₉₀₀ และ OF-A₉₀₀ ทั้งนี้เพราะปุ๋ยอินทรีย์สูตร B ที่ใช้ในการทดลองมีค่า EC และปริมาณแคลเซียมทั้งหมดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์สูตร C และสูตร A ตามลำดับ (Table 3) นอกจากนี้ OF-B₉₀₀ ยังมีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากที่สุด (2.23 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ OF-C₉₀₀

OF-A₉₀₀ มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินมากที่สุด (63.72 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ OF-C₉₀₀ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปมีค่ามากที่สุด (17.91 กิโลกรัม P₂O₅ ต่อไร่) ดังแสดงไว้ใน Table 1 ส่วน OF-A₉₀₀ ยังมีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด (95.36 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ OF-B₉₀₀ และ OF-C₉₀₀ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณโพแทสเซียมที่ใส่ลงไปมีค่ามากที่สุด (18.99 กิโลกรัม K₂O ต่อไร่) ดังแสดงไว้ใน Table 1 ขณะที่ OF-A₉₀₀ มีผลให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด (156.26 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ OF-C₉₀₀ และ OF-B₉₀₀

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

Treatments	pH (1:1 water)	EC _e (dS/m)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)
before experiment	7.24	0.41	0.67	33.47	55.78	1,214	127.48
T ₁ = control	7.22 ^{a,j}	0.44 ^{d,j}	0.69 ^{i,j}	34.53 ^{a,j}	57.67 ^{d,j}	1,234 ^{d,j}	129.56 ^{c,j}
T ₂ = CF _{DOA}	7.18 ^a	0.75 ^c	0.87 ^a	36.67 ^a	71.55 ^c	1,249 ^{cd}	131.47 ^c
T ₃ = OF-A ₉₀₀	6.71 ^{cd}	1.95 ^a	2.06 ^b	63.72 ^a	95.36 ^a	1,460 ^a	156.26 ^a
T ₄ = OF-A ₄₅₀ + CF _{OF-A-450}	6.60 ^d	1.52 ^b	1.54 ^d	48.76 ^c	84.61 ^b	1,300 ^{bc}	142.65 ^b
T ₅ = OF-B ₉₀₀	6.98 ^b	2.12 ^a	2.23 ^a	60.53 ^b	93.65 ^a	1,482 ^a	152.27 ^a
T ₆ = OF-B ₄₅₀ + CF _{OF-B-450}	6.96 ^b	1.69 ^b	1.73 ^c	45.50 ^d	82.59 ^b	1,342 ^b	138.36 ^b
T ₇ = OF-C ₉₀₀	6.91 ^b	2.08 ^a	2.19 ^a	62.77 ^{ab}	91.63 ^a	1,476 ^a	154.61 ^a
T ₈ = OF-C ₄₅₀ + CF _{OF-C-450}	6.87 ^{bc}	1.64 ^b	1.70 ^c	47.54 ^{cd}	80.27 ^b	1,328 ^b	140.72 ^b
F-test	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	11.39	12.64	12.14	13.43	12.54	12.18	11.28

^j mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by using DMRT

** indicates significant difference at $P < 0.01$

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของนิซาร และคณะ (2562) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับมันสำปะหลังได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะเวลาผ่านไป ในทางตรงกันข้ามพบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ (control) มีผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมัน

ลำปะหลังต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะการปลูกพืชที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยในระยะยาวจะมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินลดน้อยลง และไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยค่า EC_e ของดินที่เพิ่มขึ้นแม้จะอยู่ในช่วง 2-4 dS/m ก็อาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ไวต่อความเค็มได้ ดังนั้น การนำปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จึงควรคำนึงถึงค่า EC_e ที่สูงขึ้น ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อพืชปลูกในระยะยาวได้

สรุปผลและเสนอแนะ

1. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่
2. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน
3. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 450 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ค่า pH ของดินต่ำที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ค่า EC_e และปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่
4. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท ไอศลิน อินเตอร์เนชั่นแนล (ไทยแลนด์) จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. รวมทั้งบริษัท วาย.วี.พี เฟอर्टิไลเซอร์ จำกัด ที่สนับสนุนปุ๋ยเคมีตลอดระยะเวลาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. **คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบสโตนัทสนูปกรณ์**. คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- ชาลินี คงสุด, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และ ธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. การจัดการปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้โรงงานน้ำตาลต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 และสมบัติของดินบางประการ. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ** 2 (2): 35-47.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ, เกวลิน ศรีจันทร์, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, อัญธิชา พรมเมืองคุก, สิริณา ช่วงโสภาส, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม, ธีรยุทธ คล้าชื่น และศิริโรจน์ สุวรรณโณ. 2563. การใช้ประโยชน์เปลือกปูดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ** 3 (2): 16-25.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ, สิริณา ช่วงโสภาส, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, อัญธิชา พรมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, สันชัย ภูเงิน และธรรมธวัช แสงงาม. 2563. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง "การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากเครื่องกำจัดเศษขยะเพื่อผลิตวัสดุปลูก และปุ๋ยอินทรีย์ตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรสำหรับพืชอายุสั้น". นครปฐม.
- ณิชากร ทองมี, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, สิริณา ช่วงโสภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม และ ธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ** 2(2): 91-105.
- ดัชนียา สิมมา, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรมเมืองคุก, สิริณา ช่วงโสภาส, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม และ ธีรยุทธ คล้าชื่น. 2563. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ** 3(2): 96-108.
- ทิพวรรณ แก้วหนู, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อำคา, วิภาวรรณ ห้ายเมือง, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และ ศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากกากตะกอนยีสต์และน้ำวีเนสต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง, น. 53-66. ใน **การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ**, นครปฐม.
- ธีรยุทธ คล้าชื่น, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ทศพล พรพรม และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง และสมบัติของดิน. **วารสารแก่นเกษตร** 45 (4): 711-720.
- ยงยุทธ โอสภสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ขวลิต ยงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2554-2556. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. In C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis Part II. Agronomy*, No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc, Madison, Wisconsin, U.S.A.
- 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. 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.
- Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-35.

ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้ของเครื่องกำจัดเศษขยะต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของ
อ้อย และสมบัติของดินบางประการ

Effect of Organic Fertilizer from the by-Product of Oklin Composter on Yield,
Yield Components of Sugarcane and Some Soil Properties

ทินกร ปัทเมข¹ ชัยสิทธิ์ ทองจุ¹ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ จุฑามาศ ร่มแก้ว² เกวลิน ศรีจันทร์¹

สิรินภา ช่วงโอภาส¹ อัญชิชา พรหมเมืองคุก¹ สุชาดา กรุณา¹ ศิริสุดา บุตรเพชร¹ ชาลิณี คงสุ³

ธรรมธวัช แสงงาม³ และ ธีรยุทธ คล้าชื่น⁴

Tinnakorn Pattamek¹, Chaisit Thongjoo¹, Tawatchai Inboonchuay¹, Jutamas Romkaew²,

Kavalin Srichan¹, Sirinapa Chungopast¹, Aunthicha Phommuangkuk¹, Suchada Karuna¹,

Sirisuda Bootpetch¹, Chalinee Khongsud³, Thamthawat Saengngam³ and Teerayut Klumchaun⁴

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้ของเครื่องกำจัดเศษขยะต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของ
อ้อยพันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน และสมบัติของดินบางประการ โดยวางแผนการทดลอง
แบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) ทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ประกอบด้วย 8 ดำรับทดลอง ผลการทดลอง
พบว่า $OF-C_{325}+CF_{OF-C-325}$ มีผลให้ผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$
นอกจากนี้ $OF-C_{325}+CF_{OF-C-325}$ มีผลให้ค่า CCS ของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$, $OF-$
 $B_{325}+CF_{OF-B-325}$, CF_{DOA} และ $OF-C_{650}$ ภายหลังการทดลอง พบว่า $OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$ มีผลให้ค่า pH ของดินต่ำ
ที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{650}$ ส่วน $OF-B_{650}$ มีผลให้ค่า EC_e และปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินมากที่สุด ไม่แตกต่าง
กับ $OF-C_{650}$ และ $OF-A_{650}$ นอกจากนี้ $OF-B_{650}$ ยังมีผลให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด ไม่
แตกต่างกับ $OF-C_{650}$, $OF-A_{650}$ และ $OF-B_{325}+CF_{OF-B-325}$ ส่วน $OF-A_{650}$ มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์
และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-C_{650}$ และ $OF-B_{650}$ ขณะที่ $OF-A_{650}$
ยังมีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{650}$ และ $OF-C_{650}$
คำสำคัญ: อ้อย ปุ๋ยอินทรีย์ ผลพลอยได้ เครื่องกำจัดเศษขยะ

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน 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 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

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

³ ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,
Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

⁴ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130

Abstract

This study investigated the effect of organic fertilizer (OF) from the by-product of Oklin Composter on yield and yield components of sugarcane var. Kamphaeng Saen 01-4-29 planted in Kamphaeng Saen soil series and some soil properties. Experimental design was arranged in Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications consisting of 8 treatments. The results showed that the $OF-C_{325}+CF_{OF-C-325}$ provided the highest sugar yield which was not significantly different from the $OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$. Furthermore, the $OF-C_{325}+CF_{OF-C-325}$ provided the highest CCS which was not significantly different from the $OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$, $OF-B_{325}+CF_{OF-B-325}$, CF_{DOA} and $OF-C_{650}$. At the end of the experiment, it was found that the $OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$ resulted in the lowest soil pH which was not different from the $OF-A_{650}$. Furthermore, the $OF-B_{650}$ affected on the highest EC_e and organic matter of soil which was not different from the $OF-C_{650}$ and $OF-A_{650}$. The $OF-B_{650}$ affected on the highest exchangeable Ca of soil which was not different from the $OF-C_{650}$, $OF-A_{650}$ and $OF-B_{325}+CF_{OF-B-325}$. The $OF-A_{650}$ affected on the highest available P and exchangeable Mg of soil which was not different from the $OF-C_{650}$ and $OF-B_{650}$. While, the $OF-A_{650}$ affected on the highest exchangeable K of soil which was not different from the $OF-B_{650}$ and $OF-C_{650}$.

Keyword: sugarcane, organic fertilizer, by-product, Oklin Composter

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

คำนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อย 12.24 ล้านไร่ ได้ผลผลิตอ้อยสด 131.48 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 10.75 ตัน/ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ซึ่งผลพลอยได้ปริมาณมหาศาลจากโรงงานน้ำตาลที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ คือ กากตะกอนอ้อย (filter cake) และกากชานอ้อย (bagasse) โดยมีการคาดการณ์ปริมาณกากตะกอนอ้อยจากโรงงานน้ำตาลจำนวน 47 โรง มีปริมาณไม่น้อยกว่า 1.04 ล้านตัน/ปี (ธงชัย, 2546) ที่ผ่านมามีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาช่วยเพิ่มผลผลิตของอ้อย เช่น กากตะกอนเยื่อกระดาษ (จุฑามาศ และคณะ, 2553) กากตะกอนยีสต์และน้ำวีเนส (สันติภาพ และคณะ, 2557) น้ำวีเนสจากโรงงานเอทานอล (กาญจนา และคณะ, 2557) กากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2560) กากตะกอนอ้อย (ชาลินี และคณะ, 2562) เป็นต้น โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยผลพลอยได้ดังกล่าวมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005) จึงเกิดแนวคิดว่าหากมีการนำผลพลอยได้จากเครื่องกำจัดเศษขยะ (Oklin Composter) ที่ใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในอุณหภูมิสูง (thermophilic) เพื่อการย่อยสลายขยะในครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม โดยเครื่องกำจัดเศษขยะสามารถลดปริมาณขยะดังกล่าวได้มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น นำผลพลอยได้จากการย่อยสลายมาผสมเป็นปุ๋ยอินทรีย์ และหาแนวทางการใช้ประโยชน์ เช่น การใช้เพื่อทดแทนปุ๋ยหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยพิจารณาผลของปุ๋ย

อินทรีย์ดังกล่าวต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อย และสมบัติของดินบางประการ ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาทำให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมแล้ว ยังเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกรในด้านการลดต้นทุนการผลิตอ้อยให้ต่ำลงได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้ของเครื่องกำจัดเศษขยะต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อยพันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน รวมทั้งสมบัติของดินบางประการ ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งตามแผนที่ดินระดับจังหวัดระบุเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks) จำแนกตามระบบอนุกรมวิธานดินชั้นวงศ์ดินเป็น Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic (โรจน์, 2525) งานทดลองนี้ประกอบด้วย 24 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 7.5 เมตร ยาว 6.0 เมตร จำนวน 5 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 1.5 เมตร เก็บข้อมูลผลผลิตของอ้อยเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถวประมาณ 1 เมตร โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 4.5×4.0 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 8 ตำรับทดลอง โดยรายละเอียดของตำรับทดลองได้แสดงไว้ใน Table 1 ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรีย์วัตถุวิธี Walkley and Black (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์วิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้วิธีสกัดด้วย NH_4OAc pH 7.0 (Pratt, 1965) และเนื้อดินโดยวิธี Pipette (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558) สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 2

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (42 % P_2O_5) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 % K_2O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย คือ 12, 6 และ 12 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ 3 สูตร (สูตร A, B และ C) ที่ใช้ในการทดลองมาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท ไอศกรีน อินเตอร์เนชั่นแนล (ไทยแลนด์) จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยโปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. ภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง “การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากเครื่องกำจัดเศษขยะเพื่อผลิตวัสดุปลูกและปุ๋ยอินทรีย์ตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรสำหรับพืชอายุสั้น” ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์แต่ละสูตรผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2550 ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร และประกอบด้วยผลพลอยได้จากเครื่องกำจัดเศษขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เศษผักและผลไม้จากครัวเรือน โรงอาหารขนาดกลาง-ใหญ่ และห้างสรรพสินค้า (Oklin Composter, OC) กากตะกอนอ้อย (filter cake, FC) และขี้เถ้า (ash, A) โดยปุ๋ยอินทรีย์สูตร A, B และ C มีสัดส่วนของ OC : FC : A = 1 : 3 : 0.5, 2 : 3 : 0.5 และ 2 : 4 : 0.5 โดยปริมาตร ตามลำดับ

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ใส่เพียงครั้งเดียวในแต่ละตำบลทดลองที่อายุ 2 เดือนหลังปลูก สำหรับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุดของปุ๋ยอินทรีย์สูตร C (1.84 เปอร์เซ็นต์) ให้ได้ใกล้เคียงกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (12 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่) นั่นคือ 652.17 กิโลกรัม/ไร่ แต่ในการทดลองนี้ได้กำหนดอัตราปุ๋ยอินทรีย์เพื่อความสะดวกต่อการใช้ คือ 650 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์แต่ละสูตรก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 3

Table 1 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) and no organic fertilizer (OF) treatment	control	0-0-0
T ₂	the application of CF based on soil chemical analysis	CF _{DOA}	12-6-12
T ₃	the OF-A application of 650 kg/rai	OF-A ₆₅₀	10.92-12.94-13.72
T ₄	the OF-A application of 325 kg/rai in combination with CF containing all major elements (N, P, K) equivalent to 325 kg/rai of the OF-A	OF-A ₃₂₅ +CF _{OF-A-325}	10.92-12.94-13.72
T ₅	the OF-B application of 650 kg/rai	OF-B ₆₅₀	9.88-11.38-12.74
T ₆	the OF-B application of 325 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 325 kg/rai of the OF-B	OF-B ₃₂₅ +CF _{OF-B-325}	9.88-11.38-12.74
T ₇	the OF-C application of 650 kg/rai	OF-C ₆₅₀	11.96-12.42-12.68
T ₈	the OF-C application of 325 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 325 kg/rai of the OF-C	OF-C ₃₂₅ +CF _{OF-C-325}	11.96-12.42-12.68

Table 2 Properties of soil (0-30 cm depth) before the experiment.

Properties	Results	Rating
pH (1:1 water)	7.12	neutral
EC _e (dS/m)	0.49	non-saline
Organic matter (%)	0.72	low
Available P (mg/kg)	28.96	high
Exchangeable K (mg/kg)	58.69	low
Exchangeable Ca (mg/kg)	1,084	high
Exchangeable Mg (mg/kg)	117	moderately
Exchangeable Na (mg/kg)	24.87	-
Texture	sandy loam	-

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

Properties	Results		
	OF-A	OF-B	OF-C
pH (3:50)	5.88	6.34	6.20
EC 1:10 (dS/m)	7.86	8.83	8.16
Sodium (%)	0.56	0.76	0.64
Organic matter (%)	26.42	32.55	32.50
Organic carbon (%)	15.32	18.88	18.85
C:N ratio	9.12 : 1	12.42 : 1	10.25 : 1
Total N (%)	1.68	1.52	1.84
Total P ₂ O ₅ (%)	1.99	1.75	1.91
Total K ₂ O (%)	2.11	1.96	1.95
Total primary nutrients (%)	5.78	5.23	5.70
Total Ca (%)	3.03	3.47	3.17
Total Mg (%)	0.45	0.42	0.44
Germination index (%)	84	107	98
Moisture (%)	27.29	26.42	24.80

การเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่อายุ 12 เดือน ได้แก่ ผลผลิตต่อไร่ ค่า CCS โดยอาศัยสมการของ Meade and Chen (1977) และผลผลิตน้ำตาล โดยคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{ผลผลิตของน้ำตาล} = \frac{\text{CCS} \times \text{ผลผลิตอ้อยสด (ตัน/ไร่)}}{100}$$

100

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อย ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละดำรับทดลองเพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่า EC_e และปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยข้อมูลผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และสมบัติบางประการของดินที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย

1.1 ผลผลิตอ้อยสด

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตอ้อยสดของอ้อยที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ผลผลิตอ้อยสดใกล้เคียงกันในช่วง 19.23-21.58 ตัน/ไร่ ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตอ้อยสดของอ้อยต่ำที่สุด (12.76 ตัน/ไร่)

1.2 ค่า commercial cane sugar (CCS) และผลผลิตน้ำตาล

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-C_{325}+CF_{OF-C-325}$) มีผลให้ค่า CCS ของอ้อยมากที่สุด (12.53 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-B_{325}+CF_{OF-B-325}$) การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (CF_{DOA}) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-C_{650}$) ขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-C_{325}+CF_{OF-C-325}$) มีผลให้ผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด (2.70 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$) ส่วนตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยน้อยที่สุด (8.69 เปอร์เซ็นต์ และ 1.11 ตัน/ไร่ ตามลำดับ)

Table 4 Yield, weight/stalk, CCS and sugar yield of sugarcane at 12 MAP^{1/}.

Treatments	Yield (ton/rai)	CCS (%)	Sugar yield (ton/rai)
T ₁ = control	12.76 ^{b 2/}	8.69 ^{d 2/}	1.11 ^{e 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	20.23 ^a	12.43 ^{ab}	2.51 ^{bc}
T ₃ = OF-A ₆₅₀	19.56 ^a	12.15 ^b	2.38 ^{cd}
T ₄ = OF-A ₃₂₅ +CF _{OF-A-325}	21.48 ^a	12.50 ^{ab}	2.69 ^a
T ₅ = OF-B ₆₅₀	19.23 ^a	11.76 ^c	2.26 ^d
T ₆ = OF-B ₃₂₅ +CF _{OF-B-325}	20.56 ^a	12.47 ^{ab}	2.56 ^b
T ₇ = OF-C ₆₅₀	19.86 ^a	12.33 ^{ab}	2.45 ^{bc}
T ₈ = OF-C ₃₂₅ +CF _{OF-C-325}	21.58 ^a	12.53 ^a	2.70 ^a
F-test	**	**	**
CV (%)	14.73	12.58	13.08

^{1/} Months after planting

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

** indicates significant difference at $P < 0.01$

2. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน ภายหลังการปลูกอ้อย

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่า pH ค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-A_{325} + CF_{OF-A-325}$) มีผลให้ค่า pH ของดินต่ำที่สุด (pH 6.63) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-A_{650}$) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็นปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21%N) ซึ่งในสภาพดินไร่ที่มีการถ่ยเอาอากาศดีจะส่งผลให้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4^+) ถูกออกซิไดซ์กระทั่งก่อให้เกิดไฮโดรเจนไอออน (H^+) จึงมีผลตกค้างทำให้ดินมีค่า pH ลดลงได้ (ยงยุทธ และคณะ, 2551) อีกทั้งปุ๋ยอินทรีย์สูตร A ที่ใช้ในการทดลองมีค่า pH ต่ำที่สุด (pH 5.88) เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์สูตร C และสูตร B ตามลำดับ (Table 3)

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-B_{650}$) มีผลให้ค่า EC_e และปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินมากที่สุด (1.89 dS/m และ 1.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-C_{650}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-A_{650}$) ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยอินทรีย์สูตร B ที่ใช้ในการทดลองมีค่า EC และปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุด (8.83 dS/m และ 32.55 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์สูตร C และสูตร A ตามลำดับ (Table 3) นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-B_{650}$) ยังมีผลให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด (1,359 mg/kg) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-C_{650}$) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-A_{650}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-B_{325} + CF_{OF-B-325}$)

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-A_{650}$) มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด (48.71 และ 139 mg/kg ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-C_{650}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-B_{650}$) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสที่มากที่สุด (12.94 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) ดังแสดงไว้ใน Table 1 ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-A_{650}$) ยังมีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด (74.47 mg/kg) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-B_{650}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-C_{650}$) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณโพแทสเซียมที่มากที่สุด (13.72 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่) ดังแสดงไว้ใน Table 1

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของชาลินี และคณะ (2562) ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับอ้อยได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะเวลาผ่านไป นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณ

โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยค่า EC_e ของดินที่เพิ่มขึ้นกว่า 3.7 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (control) ก็ควรพิจารณาถึงค่า EC_e ของดินที่สูงขึ้นด้วยเมื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในระยะยาว

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

Treatments	pH (1:1 water)	EC_e (dS/m)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)
before experiment	7.12	0.49	0.72	28.96	58.69	1,084	117
T ₁ = control	7.10 ^{a, 1/}	0.51 ^{d, 1/}	0.73 ^{a, 1/}	29.43 ^{d, 1/}	59.59 ^{a, 1/}	1,096 ^{d, 1/}	119 ^{d, 1/}
T ₂ = CF _{DOA}	7.06 ^a	0.73 ^c	0.89 ^d	33.50 ^c	65.59 ^d	1,124 ^d	123 ^d
T ₃ = OF-A ₆₅₀	6.74 ^{bc}	1.80 ^a	1.82 ^a	48.71 ^a	74.47 ^a	1,336 ^{ab}	139 ^a
T ₄ = OF-A ₃₂₅ +CF _{OF-A-325}	6.63 ^c	1.50 ^b	1.48 ^c	42.44 ^b	70.36 ^{bc}	1,234 ^c	133 ^{bc}
T ₅ = OF-B ₆₅₀	7.00 ^a	1.89 ^a	1.95 ^a	46.62 ^a	73.79 ^{ab}	1,359 ^a	137 ^{ab}
T ₆ = OF-B ₃₂₅ +CF _{OF-B-325}	6.98 ^a	1.55 ^b	1.64 ^b	38.66 ^b	69.45 ^c	1,287 ^{abc}	131 ^c
T ₇ = OF-C ₆₅₀	6.93 ^{ab}	1.83 ^a	1.93 ^a	47.45 ^a	73.24 ^{ab}	1,342 ^{ab}	139 ^a
T ₈ = OF-C ₃₂₅ +CF _{OF-C-325}	6.89 ^{ab}	1.53 ^b	1.62 ^{bc}	40.62 ^b	68.63 ^{cd}	1,265 ^{bc}	131 ^c
F-test	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	12.61	11.47	12.42	11.54	12.30	12.93	12.56

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

** indicates significant difference at $P < 0.01$

สรุปผลและเสนอแนะ

1. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่

2. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ค่า CCS ของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่

3. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ค่า pH ของดินต่ำที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ค่า EC_e และปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ยังมีผลให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา

650 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่

4. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ ยังมีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท ไอศกรีม อินเตอร์เนชั่นแนล (ไทยแลนด์) จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. รวมทั้งบริษัท วาย.วี.พี เฟอร์ติไลเซอร์ จำกัด ที่สนับสนุนปุ๋ยเคมีตลอดการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใส่ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กาญจนา มาล้อม, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ทศพล พรพรหม, วิภาวรรณ ห้ายเมือง, ชาลินี คงสุต, ธัญญพร คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และ ศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ผลของน้ำวีเนสจากโรงงานเอทานอลที่มีต่อการเจริญเติบโต และ ผลผลิตของอ้อย, น. 81-93. ใน การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบไฮดรอสคอปิก. คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- จุฑามาศ กล่อมจิตร, ชัยสิทธิ์ ทองจุ และ จุฑามาศ ร่มแก้ว. 2553. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยตอปีที่ 1 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน, น. 148-159. ใน การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7. สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ชาลินี คงสุต, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และ ธัญญพร คล้าชื่น. 2562. การจัดการปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้โรงงานน้ำตาลต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 และสมบัติของดินบางประการ. ว. วิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ. 2 (2): 35-47.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ศุภชัย อำคา และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้ของโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตอ้อย และสมบัติของดิน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 6 (1) : 21-32.
- ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- โรจน์ เทพพลผล. 2525. **รายงานการสำรวจความเหมาะสมของดิน ฉบับที่ 311 รายงานการสำรวจดิน จังหวัดนครปฐม**. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สันติภาพ ทองอุ่น, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อำคา, วิภาวรรณ ท้ายเมือง, ชาลิณี คงสุต, ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และ ศิริสุตา บุตรเพชร. 2557. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากกากตะกอนยีสต์และน้ำวีเนสต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอปีที่ 1, น. 39-52. ใน **การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม**.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-2561**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Meade, G.P. and J.C.P. Chen. 1977. *Cane Sugar Handbook*. 10th ed. John Wiley and Sons, New York.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. pp. 1022-1030. In C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis*. Part II. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin.
- 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.
- Walkley, 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.

ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อ
ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และสมบัติของดินบางประการ

Effects of Powder, Pellet and Granular Organic Fertilizers from Pulp and Paper Industry on
Yield, Yield Components of Maize and Some Soil Properties

ดัชนียา สิมมา¹ ชัยสิทธิ์ ทองจุ^{1*} รัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ จุฑามาศ ร่มแก้ว² เกวลิน ศรีจันทร์

สิรินภา ชวงโสภาส¹ อัญริชา พรหมเมืองคุ¹ สุชาดา กรุณา¹ ศิริสุดา บุตรเพชร¹ ชาลิณี คงสุ³

ธรรมธวัช แสงงาม³ และ ธีรยุทธ คล้า⁴

Dutchaneeya Simma¹, Chaisit Thongjoo^{1*}, Tawatchai Inboonchuay¹, Jutamas Romkaew²

Kavalin Srichan¹, Sirinapa Chungopast¹, Aunthicha Phommuangkhuk¹, Suchada Karuna¹,

Sirisuda Bootpetch¹, Chalinee Khongsud³, Thamthawat Saengngam³, and Teerayut Klumchaun⁴

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อ
ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ซีดส์เทค 188 และสมบัติของดินบางประการ โดยวาง
แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 14 ตำรับ
ทดลอง ผลการทดลอง พบว่า OF-B_{powder-900}+CF_{OF-B_{powder-900}} มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก
และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A_{powder-900}+CF_{OF-A_{powder-900}} และ OF-B_{pellet-900}+CF<sub>OF-
B_{pellet-900}</sub> ส่วน OF-A_{powder-900}+CF_{OF-A_{powder-900}} มีผลให้ปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวโพดมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ
OF-B_{powder-900}+CF_{OF-B_{powder-900}} และ OF-A_{pellet-900}+CF_{OF-A_{pellet-900}} ภายหลังการทดลอง พบว่า OF-A_{powder-1800} มี
ผลให้ค่า pH ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-1800}, OF-B_{pellet-1800}, OF-A_{pellet-1800}, OF-A_{granular-1800}
และ OF-B_{granular-1800} ส่วน OF-B_{powder-1800} มีผลให้ค่า EC_e ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-B<sub>powder-
900</sub>+CF_{OF-B_{powder-900}}, OF-A_{powder-1800} และ OF-A_{powder-900}+CF_{OF-A_{powder-900}} นอกจากนี้ OF-A_{powder-1800} มีผลให้
ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-1800} และ OF-A_{pellet-1800} อย่างไรก็ตาม OF-
A_{powder-1800} มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A_{powder-900}+CF_{OF-}

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน 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 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

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

³ ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,
Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

⁴ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130

ส่วน $OF-B_{\text{powder-1800}}$ มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ นอกจากนี้ $OF-A_{\text{powder-1800}}$ มีผลให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-1800}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-1800}}$ ขณะที่ $OF-B_{\text{powder-1800}}$ มีผลให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-1800}}$ และ $OF-A_{\text{pellet-1800}}$

คำสำคัญ: ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปุ๋ยอินทรีย์ วัสดุเหลือใช้

Abstract

This investigation aimed to study the effects of powder, pellet and granular organic fertilizers (OF) from pulp and paper industry on yield, yield components of maize (*var.* Seeds Tech 188) and some soil properties. The experimental design was arranged in Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications and consisted of 14 treatments. The results revealed that the $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ gave the highest ear weight, ear without husk weight and grain weight which were not significantly different from the $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$ and the $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-900}}}$. While, the $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$ provided the highest protein in grain which were not significantly different from the $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ and the $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-900}}}$. After experiment, the $OF-A_{\text{powder-1800}}$ provided the highest of soil pH which was not significantly difference from the $OF-B_{\text{powder-1800}}$, $OF-B_{\text{pellet-1800}}$, $OF-A_{\text{pellet-1800}}$, $OF-A_{\text{granular-1800}}$ and $OF-B_{\text{granular-1800}}$. Further, the $OF-B_{\text{powder-1800}}$ provided the highest of EC_e of soil which was not significantly difference from the $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$, $OF-A_{\text{powder-1800}}$ and $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$. Furthermore, the $OF-A_{\text{powder-1800}}$ effected the highest of organic matter of soil which was not significantly difference from the $OF-B_{\text{powder-1800}}$ and $OF-A_{\text{pellet-1800}}$. However, the $OF-A_{\text{powder-1800}}$ effected the highest of available P of soil which was not significantly difference from the $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$. The $OF-B_{\text{powder-1800}}$ effected the highest of exchangeable K of soil which was not significantly difference from the $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$. Further, the $OF-A_{\text{powder-1800}}$ effected the highest of exchangeable Ca of soil which was not significantly difference from the $OF-B_{\text{powder-1800}}$ and $OF-B_{\text{pellet-1800}}$. While, the $OF-B_{\text{powder-1800}}$ effected the highest of exchangeable Mg of soil which was not significantly difference from the $OF-A_{\text{powder-1800}}$ and $OF-A_{\text{pellet-1800}}$.

Keyword: maize, organic fertilizer, waste materials

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

คำนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 6.87 ล้านไร่ ผลผลิต 4.99 ล้านตัน และผลผลิตเฉลี่ย 727 กิโลกรัม/ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และปริมาณผลผลิตไม่แน่นอน แนวทางที่ช่วยให้ผลผลิตของข้าวโพดสูงขึ้น คือ การเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ เช่น การใช้ผลพลอยได้จากภาคเกษตรหรือภาคอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี (Thongjoo *et al.*, 2002) เป็นต้น ที่ผ่านมามีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้จากภาคอุตสาหกรรมเกษตรมาช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เช่น การใช้กากตะกอนเยื่อกระดาษ (จันจิรา และคณะ, 2552) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตอาหาร (เกียรติศักดิ์ และชัยสิทธิ์, 2561) ผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) ผสมขี้เถ้าลอย (ธนสมณท์ และคณะ, 2561) เป็นต้น โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยผลพลอยได้ส่วนใหญ่มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อยและมักก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005) การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากกากตะกอน (activated sludge) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า กากตะกอนน้ำเสียเหล่านั้นสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีกับพืชเศรษฐกิจชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น ข้าว (วยา และคณะ, 2563) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (วิไลรัตน์ และคณะ, 2562) เป็นต้น จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และสมบัติของดินบางประการ ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาทำให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมแล้ว ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดบับเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ชิดส์เทค 188 และสมบัติของดินบางประการ ในช่วงเดือนสิงหาคม-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 (การปลูกครั้งที่ 1) และช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 (การปลูกครั้งที่ 2) ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design) จำนวน 3 ซ้ำ 14 ตำรับทดลอง (Table 1) ประกอบด้วย 42 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 4.5 เมตร ยาว 6.0 เมตร จำนวน 5 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 0.75 เมตร เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเนื้อดิน สำหรับสมบัติของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 2 เก็บข้อมูลผลผลิตของข้าวโพดเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถวประมาณ 1 เมตร คิดเป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 3.0×4.0 ตารางเมตร

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (42 % P_2O_5) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 % K_2O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครั้งอัตราในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 20 และ 40 วันหลัง

ปลูก ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ 20, 5 และ 10 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองมาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท ดี. เอ. รีไซรซ์ เซ็นเตอร์ จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. โดยปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A และสูตร B ประกอบด้วยกากมันสำปะหลัง : กากตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการบำบัด : ขี้เถ้าลอย เท่ากับ 5 : 2 : 5 และ 4 : 2 : 4 โดยปริมาตร ตามลำดับ จากนั้น นำปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงไปอัดเม็ด และบั่นเม็ดต่อไป (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2562) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ใส่เพียงครั้งเดียวในแต่ละดำรับทดลองที่อายุ 20 วันหลังปลูก สำหรับสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 3

การเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด ปริมาณโปรตีนในเมล็ด (คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ด (%) x empirical factor โดยกำหนด empirical factor สำหรับเมล็ดข้าวโพดเท่ากับ 6.25) ภายหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด ครั้งที่ 2 ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละดำรับทดลองเพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยข้อมูลผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และสมบัติของดินที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS) นอกจากนี้ เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้านผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ด้วยวิธีการ T-test Independent

Table 1 Detail of treatments.

Treatments	Descriptions	Symbols	Quantity of major elements (kgN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)
T ₁	no fertilizer and organic fertilizer (OF) treatment	control	0-0-0
T ₂	the application of chemical fertilizer (CF) based on soil chemical analysis	CF _{DOA}	20 - 5 - 10
T ₃	the application of powder OF-A of 1,800 kg/rai	OF-A _{powder-1800}	20.16 - 35.46 - 40.68
T ₄	the application of powder OF-A of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements (N, P and K) equivalent to 900 kg/rai of the powder OF-A	OF-A _{powder-900} 900+CF _{OF-A,powder-900}	20.16 - 35.46 - 40.68
T ₅	the application of pellet OF-A of 1,800 kg/rai	OF-A _{pellet-1800}	18.54 - 34.92 - 38.52
T ₆	the application of pellet OF-A of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the pellet OF-A	OF-A _{pellet-900} 900+CF _{OF-A,pellet-900}	18.54 - 34.92 - 38.52
T ₇	the application of granular OF-A of 1,800 kg/rai	OF-A _{granular-1800}	15.66 - 27.72 - 31.32
T ₈	the application of granular OF-A of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the granular OF-A	OF-A _{granular-900} 900+CF _{OF-A,granular-900}	15.66 - 27.72 - 31.32
T ₉	the application of powder OF-B of 1,800 kg/rai	OF-B _{powder-1800}	19.44 - 34.92 - 44.28
T ₁₀	the application of powder OF-B of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the powder OF-B	OF-B _{powder-900} 900+CF _{OF-B,powder-900}	19.44 - 34.92 - 44.28
T ₁₁	the application of pellet OF-B of 1,800 kg/rai	OF-B _{pellet-1800}	16.92 - 34.20 - 42.12
T ₁₂	the application of pellet OF-B of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the pellet OF-B	OF-B _{pellet-900} 900+CF _{OF-B,pellet-900}	16.92 - 34.20 - 42.12
T ₁₃	the application of granular OF-B of 1,800 kg/rai	OF-B _{granular-1800}	14.94 - 27.18 - 33.12
T ₁₄	the application of granular OF-B of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the granular OF-B	OF-B _{granular-900} 900+CF _{OF-B,granular-900}	14.94 - 27.18 - 33.12

Table 2 Properties of soil (0-30 cm) before the experiment.

Properties	Results	Rating
pH (1:1)	7.78	slightly alkaline
EC _e (dS/m)	0.46	non-saline
Organic matter (%) ^{1/}	0.93	low
Available P (mg/kg) ^{2/}	38.88	high
Exchangeable K (mg/kg) ^{3/}	44.98	low
Exchangeable Ca (mg/kg) ^{3/}	559	high
Exchangeable Mg (mg/kg) ^{3/}	64.85	moderately
Exchangeable Na (mg/kg) ^{3/}	23.58	-
Texture ^{4/}	sandy loam	-

Note ^{1/} = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934) ^{2/} = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)
^{3/} = Extracted with NH₄OAc pH 7.0 (Pratt, 1965) ^{4/} = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

Table 3 Chemical and physical properties of organic fertilizer (OF).

Properties	OF-A			OF-B		
	powder	pellet	granular	powder	pellet	granular
pH (3:50)	9.04	8.78	8.62	9.00	8.88	8.47
EC 1:10 (dS/m)	8.78	8.62	7.23	9.23	8.94	7.65
Organic matter (%)	25.36	23.15	17.56	23.24	21.36	16.85
Organic carbon (%)	14.71	13.43	10.19	13.48	12.39	9.77
C:N ratio	13.13	13.04	11.71	12.48	13.18	11.78
Total N (%)	1.12	1.03	0.87	1.08	0.94	0.83
Total P ₂ O ₅ (%)	1.97	1.94	1.54	1.94	1.90	1.51
Total K ₂ O (%)	2.26	2.14	1.74	2.46	2.34	1.84
Total primary nutrients (%)	5.35	5.11	4.15	5.48	5.18	4.18
Total Ca (%)	19.59	18.23	13.25	19.18	18.32	12.88
Total Mg (%)	1.42	1.34	1.14	1.42	1.28	1.17
Total Na (%)	0.17	0.16	0.14	0.19	0.17	0.15
Germination index (%)	99.13	102.36	113.25	100.86	112.36	118.12
Moisture (%)	25.42	23.12	21.41	26.68	24.12	23.14

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพด

1.1 น้ำหนักฝักทั้งเปลือก และน้ำหนักฝักปอกเปลือก

การปลูกครั้งที่ 1 พบว่า $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือกของข้าวโพดมากที่สุด (2,683.79 กิโลกรัม/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-900}}}$ ส่วนการปลูกครั้งที่ 2 พบว่า $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ ยังมีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือกของข้าวโพดมากที่สุด (2,753.59 กิโลกรัม/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$, $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-900}}}$, $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-900}}}$ และ $OF-B_{\text{powder-1800}}$

การปลูกครั้งที่ 1 พบว่า $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้น้ำหนักฝักปอกเปลือกของข้าวโพดมากที่สุด (2,250.94 กิโลกรัม/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$, $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-900}}}$, $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-900}}}$, $OF-B_{\text{powder-1800}}$, $OF-A_{\text{powder-1800}}$, $OF-B_{\text{pellet-1800}}$ และ $OF-A_{\text{pellet-1800}}$ ส่วนการปลูกครั้งที่ 2 พบว่า $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ ยังมีผลให้น้ำหนักฝักปอกเปลือกของข้าวโพดมากที่สุด (2,330.57 กิโลกรัม/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$, $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-900}}}$ และ $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-900}}}$

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักฝักทั้งเปลือกในการปลูกข้าวโพดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 พบว่า ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือกของข้าวโพดเพิ่มขึ้น (Table 4) โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติในตำรับทดลอง CF_{DOA} , $OF-A_{\text{powder-1800}}$, $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$, $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-900}}}$, $OF-B_{\text{powder-1800}}$, $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-900}}}$ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักฝักปอกเปลือกในการปลูกข้าวโพดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 พบว่า ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้น้ำหนักฝักปอกเปลือกของข้าวโพดเพิ่มขึ้น (Table 4) โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติในตำรับทดลอง $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$, $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-900}}}$ ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก และน้ำหนักฝักปอกเปลือกของข้าวโพดลดลง โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน

Table 4 Two crops data of ear weight and ear without husk weight of maize.

Treatments	Ear weight		T-test	ear without husk weight		T-test
	(kg/rai)			(kg/rai)		
	1 st crop	2 nd crop		1 st crop	2 nd crop	
T ₁ = control	1,113.59 ^{i1/}	956.72 ^{i1/}	*	930.28 ^{d1/}	869.45 ^{g1/}	*
T ₂ = CF _{DOA}	2,312.56 ^h	2,368.47 ^h	*	1,936.58 ^c	1,983.49 ^f	ns
T ₃ = OF-A _{powder-1800}	2,643.85 ^{cde}	2,700.58 ^{bc}	*	2,218.75 ^a	2,253.66 ^c	ns
T ₄ = OF-A _{powder-900} +CF _{OF-A_powder-900}	2,675.23 ^{ab}	2,748.58 ^a	*	2,245.78 ^a	2,318.37 ^a	*
T ₅ = OF-A _{pellet-1800}	2,625.83 ^e	2,659.67 ^{cd}	ns	2,204.61 ^a	2,238.68 ^c	ns
T ₆ = OF-A _{pellet-900} +CF _{OF-A_pellet-900}	2,658.79 ^{bcd}	2,721.57 ^{ab}	*	2,231.37 ^a	2,287.57 ^{abc}	ns
T ₇ = OF-A _{granular-1800}	2,514.27 ^g	2,536.56 ^g	ns	2,111.42 ^b	2,138.57 ^e	ns
T ₈ = OF-A _{granular-900} +CF _{OF-A_granular-900}	2,551.29 ^f	2,582.52 ^{ef}	ns	2,144.48 ^b	2,173.78 ^{de}	ns
T ₉ = OF-B _{powder-1800}	2,650.43 ^{cd}	2,718.64 ^{ab}	*	2,224.95 ^a	2,264.71 ^{bc}	ns
T ₁₀ = OF-B _{powder-900} +CF _{OF-B_powder-900}	2,683.79 ^a	2,753.59 ^a	*	2,250.94 ^a	2,330.57 ^a	*
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1800}	2,638.79 ^{de}	2,673.58 ^c	ns	2,212.58 ^a	2,242.42 ^c	ns
T ₁₂ = OF-B _{pellet-900} +CF _{OF-B_pellet-900}	2,665.42 ^{abc}	2,736.71 ^{ab}	*	2,236.81 ^a	2,305.60 ^{ab}	*
T ₁₃ = OF-B _{granular-1800}	2,523.66 ^g	2,553.33 ^{fg}	ns	2,115.79 ^b	2,153.76 ^{de}	ns
T ₁₄ = OF-B _{granular-900} +CF _{OF-B_granular-900}	2,563.84 ^f	2,618.80 ^{da}	ns	2,150.58 ^b	2,189.66 ^d	ns
F-test	**	**		**	**	
CV (%)	14.53	14.97		13.91	13.34	

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

** indicates significant difference at $P < 0.01$

1.2 น้ำหนักเมล็ด และปริมาณโปรตีนในเมล็ด

การปลูกครั้งที่ 1 พบว่า OF-B_{powder-900}+CF_{OF-B-powder-900} มีผลให้น้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดมากที่สุด (1,576.98 กิโลกรัม/ไร่) ไม่แตกต่างกับ OF-A_{powder-900}+CF_{OF-A-powder-900}, OF-B_{pellet-900}+CF_{OF-B-pellet-900}, OF-A_{pellet-900}+CF_{OF-A-pellet-900}, OF-B_{powder-1800}, OF-A_{powder-1800} และ OF-B_{pellet-1800} ส่วนการปลูกครั้งที่ 2 พบว่า OF-B_{powder-900}+CF_{OF-B-powder-900} ยังมีผลให้น้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดมากที่สุด (1,688.72 กิโลกรัม/ไร่) ไม่แตกต่างกับ OF-A_{powder-900}+CF_{OF-A-powder-900} และ OF-B_{pellet-900}+CF_{OF-B-pellet-900}

การปลูกครั้งที่ 1 พบว่า OF-A_{powder-900}+CF_{OF-A-powder-900} มีผลให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดมากที่สุด (11.69 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-900}+CF_{OF-B-powder-900} ส่วนการปลูกครั้งที่ 2 พบว่า OF-A_{powder-900}+CF_{OF-A-powder-900} มีผลให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดมากที่สุด (13.44 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-900}+CF_{OF-B-powder-900}, OF-A_{pellet-900}+CF_{OF-A-pellet-900} และ OF-B_{pellet-900}+CF_{OF-B-pellet-900} โดยมีข้อสังเกตว่าทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดจัดอยู่ในประเภท "ข้าวโพดเมล็ดเกรด 1" คือ มีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง "กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ที่มีใช้อาหารสัตว์ควบคุมเฉพาะ ประเภทวัตถุดิบ พ.ศ. 2559" (กระทรวงเกษตรและ

สหกรณ์, 2559) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดน้อยที่สุดทั้งการปลูกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักเมล็ดในการปลูกข้าวโพดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 พบว่า ทุกดำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวยังมีผลให้น้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดเพิ่มขึ้น (Table 5) โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติในดำรับทดลอง OF-A_{powder-1800}, OF-A_{powder-900}+CF_{OF-A powder-900}, OF-A_{pellet-1800}, OF-A_{pellet-900}+CF_{OF-A pellet-900}, OF-B_{powder-1800}, OF-B_{powder-900}+CF_{OF-B powder-900}, OF-B_{pellet-1800} และ OF-B_{pellet-900}+CF_{OF-B pellet-900} นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนทั้งหมดในเมล็ดข้าวโพดที่ปลูกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 พบว่า ทุกดำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวยังมีผลให้ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในเมล็ดของข้าวโพดเพิ่มขึ้น (Table 5) โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักเมล็ด และปริมาณโปรตีนทั้งหมดในเมล็ดของข้าวโพดลดลง โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 5 Two crops data of grain weight and 1,000 grain weight of maize.

Treatments	Grain weight (kg/rai)		T-test	Protein (%)		T-test
	1 st crop	2 nd crop		1 st crop	2 nd crop	
T ₁ = control	653.68 ^{a1/}	578.61 ^{1/}	*	6.75 ^{1/}	5.13 ^{k1/}	*
T ₂ = CF _{DOA}	1,355.94 ^d	1,387.78 ^h	ns	9.50 ^k	10.94 ^l	ns
T ₃ = OF-A _{powder-1800}	1,552.95 ^{ab}	1,632.45 ^{cd}	*	11.13 ^d	12.50 ^e	ns
T ₄ = OF-A _{powder-900} +CF _{OF-A powder-900}	1,569.49 ^{ab}	1,681.62 ^a	*	11.69 ^a	13.44 ^a	ns
T ₅ = OF-A _{pellet-1800}	1,542.13 ^b	1,620.36 ^d	*	10.88 ^e	12.31 ^f	ns
T ₆ = OF-A _{pellet-900} +CF _{OF-A pellet-900}	1,560.15 ^{ab}	1,652.44 ^{bc}	*	11.44 ^{bc}	12.94 ^c	ns
T ₇ = OF-A _{granular-1800}	1,476.51 ^c	1,498.64 ^g	ns	10.00 ⁱ	11.38 ^j	ns
T ₈ = OF-A _{granular-900} +CF _{OF-A granular-900}	1,493.65 ^c	1,527.48 ^{ef}	ns	10.50 ^g	11.94 ^g	ns
T ₉ = OF-B _{powder-1800}	1,556.11 ^{ab}	1,647.38 ^{bcd}	*	11.00 ^{de}	12.38 ^{ef}	ns
T ₁₀ = OF-B _{powder-900} +CF _{OF-B powder-900}	1,576.98 ^a	1,688.72 ^a	*	11.56 ^{ab}	13.19 ^b	ns
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1800}	1,549.62 ^{ab}	1,625.76 ^{cd}	*	10.69 ^f	12.06 ^g	ns
T ₁₂ = OF-B _{pellet-900} +CF _{OF-B pellet-900}	1,565.26 ^{ab}	1,673.58 ^{ab}	*	11.31 ^c	12.69 ^d	ns
T ₁₃ = OF-B _{granular-1800}	1,482.24 ^c	1,513.47 ^{fg}	ns	9.81 ⁱ	11.25 ⁱ	ns
T ₁₄ = OF-B _{granular-900} +CF _{OF-B granular-900}	1,500.71 ^c	1,543.57 ^e	ns	10.31 ^h	11.63 ^h	ns
F-test	**	**		**	**	
CV (%)	13.15	13.06		11.98	11.93	

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

** indicates significant difference at $P < 0.01$

2. การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดิน ภายหลังการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ภายหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดครั้งที่ 2 (Table 6) พบว่า OF-A_{powder-1800} มีผลให้ค่า pH ของดินมากที่สุด (pH 8.07) ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-1800}, OF-B_{pellet-1800}, OF-A_{pellet-1800}, OF-A_{granular-1800} และ OF-B_{granular-1800} สำหรับการเพิ่มขึ้นของค่า pH ของดินในตำรับทดลองดังกล่าว อาจเกิดจากปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ทดลองมีค่า pH ในช่วง 8.47-9.04 (Table 3) ส่วน OF-B_{powder-1800} มีผลให้ค่า EC_e ของดินมากที่สุด (1.97 dS/m) ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-900}+CF_{OF-B powder-900}, OF-A_{powder-1800} และ OF-A_{powder-900}+CF_{OF-A powder-900} โดยมีข้อสังเกตว่าการเพิ่มขึ้นของค่า EC_e ของดิน อาจเกิดจากสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีค่า EC_e ในช่วง 7.23-9.23 dS/m (Table 3) นอกจากนี้ OF-A_{powder-1800} มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากที่สุด (1.87 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-1800} และ OF-A_{pellet-1800} โดยมีข้อสังเกตว่าตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นมากกว่าตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในช่วง 16.85-25.36 เปอร์เซ็นต์ (Table 3)

อย่างไรก็ตาม OF-A_{powder-1800} มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากที่สุด (78.25 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ OF-A_{powder-900}+CF_{OF-A powder-900} ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปมีค่ามากที่สุด (35.46 กิโลกรัม P₂O₅ ต่อไร่) ดังแสดงไว้ใน Table 1 ส่วน OF-B_{powder-1800} มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด (95.55 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-900}+CF_{OF-B powder-900} ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณโพแทสเซียมที่ใส่ลงไปมีค่ามากที่สุด (44.28 กิโลกรัม K₂O ต่อไร่) ดังแสดงไว้ใน Table 1 นอกจากนี้ OF-A_{powder-1800} มีผลให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด (1,183 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-1800} และ OF-B_{pellet-1800} ขณะที่ OF-B_{powder-1800} มีผลให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด (117.56 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ OF-A_{powder-1800} และ OF-A_{pellet-1800}

Table 6 Properties of soil after 1 year of planting maize.

Treatments	pH (1:1 water)	EC _e (dS/m)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)
before experiment	7.78	0.46	0.93	38.88	44.98	559	64.85
T ₁ = control	7.75 ^{de j/}	0.52 ^{j/}	1.03 ^{h j/}	40.76 ^{i j/}	45.49 ^{j j/}	572 ^{h j/}	65.68 ^{g j/}
T ₂ = CF _{DOA}	7.68 ^e	0.87 ^h	1.24 ^g	46.83 ^h	53.60 ⁱ	588 ^h	68.35 ^g
T ₃ = OF-A _{powder-1800}	8.07 ^a	1.89 ^{abc}	1.87 ^a	78.25 ^a	85.22 ^{cd}	1,183 ^a	115.82 ^a
T ₄ = OF-A _{powder-900} +CF _{OF-A powder-900}	7.88 ^{bcd}	1.87 ^{abc}	1.53 ^d	76.32 ^{ab}	83.90 ^d	923 ^c	90.33 ^c
T ₅ = OF-A _{pellet-1800}	8.03 ^a	1.75 ^{de}	1.81 ^{ab}	72.76 ^{de}	81.50 ^e	1,148 ^b	113.40 ^{ab}
T ₆ = OF-A _{pellet-900} +CF _{OF-A pellet-900}	7.81 ^{de}	1.72 ^{de}	1.45 ^{de}	71.48 ^{ef}	78.35 ^f	853 ^e	88.70 ^c
T ₇ = OF-A _{granular-1800}	8.01 ^{ab}	1.42 ^g	1.74 ^{bc}	63.42 ^g	68.49 ^h	836 ^e	77.40 ^{ef}
T ₈ = OF-A _{granular-900} +CF _{OF-A granular-900}	7.79 ^{de}	1.38 ^g	1.38 ^{ef}	62.33 ^g	67.44 ^h	810 ^f	73.27 ^f
T ₉ = OF-B _{powder-1800}	8.06 ^a	1.97 ^a	1.83 ^{ab}	75.48 ^{bc}	95.55 ^a	1,170 ^{ab}	117.56 ^a
T ₁₀ = OF-B _{powder-900} +CF _{OF-B powder-900}	7.85 ^{cd}	1.94 ^{ab}	1.47 ^{de}	73.91 ^{cd}	93.76 ^a	900 ^{cd}	92.81 ^c
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1800}	8.05 ^a	1.83 ^{bcd}	1.76 ^{bc}	70.59 ^{ef}	88.22 ^b	1,165 ^{ab}	110.36 ^b
T ₁₂ = OF-B _{pellet-900} +CF _{OF-B pellet-900}	7.83 ^d	1.81 ^{cd}	1.42 ^e	69.82 ^f	87.25 ^{bc}	882 ^d	83.55 ^d
T ₁₃ = OF-B _{granular-1800}	7.98 ^{abc}	1.68 ^e	1.70 ^c	62.15 ^g	72.54 ^g	832 ^{ef}	80.26 ^{de}
T ₁₄ = OF-B _{granular-900} +CF _{OF-B granular-900}	7.77 ^{de}	1.53 ^f	1.32 ^g	61.36 ^g	71.41 ^g	782 ^g	75.20 ^f
F-test	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	11.32	12.98	12.28	11.91	13.73	12.58	12.95

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

** indicates significant difference at $P < 0.01$

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของธนสมณท์ และคณะ (2561) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะเวลาผ่านไป นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงมีแนวโน้มให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยภาพรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด และชนิดบดเม็ด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ดหรือบดเม็ด จะผ่านความร้อนเพื่อลดความชื้น จึงทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารได้ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ชนิดบดเม็ดจะมีการเติมวัสดุหรือดินขาวเพื่อให้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถขึ้นรูปเป็นเม็ดได้ จึงส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด และชนิดผง ตามลำดับ (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

สรุปผลและเสนอแนะ

1. $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้น้ำหนักผักทั้งเปลือก น้ำหนักผักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวโพดมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-900}}}$ ส่วน $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวโพดมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ และ $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-900}}}$
2. $OF-A_{\text{powder-1800}}$ มีผลให้ค่า pH ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-1800}}$, $OF-B_{\text{pellet-1800}}$, $OF-A_{\text{pellet-1800}}$ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดบ่มเม็ดสูตร A อัตรา 1,800 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-A_{\text{granular-1800}}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดบ่มเม็ดสูตร B อัตรา 1,800 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-B_{\text{granular-1800}}$) ส่วน $OF-B_{\text{powder-1800}}$ มีผลให้ค่า EC_e ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$, $OF-A_{\text{powder-1800}}$ และ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$ นอกจากนี้ $OF-A_{\text{powder-1800}}$ มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-1800}}$ และ $OF-A_{\text{pellet-1800}}$
3. $OF-A_{\text{powder-1800}}$ มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$ ส่วน $OF-B_{\text{powder-1800}}$ มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ นอกจากนี้ $OF-A_{\text{powder-1800}}$ มีผลให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-1800}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-1800}}$ ขณะที่ $OF-B_{\text{powder-1800}}$ มีผลให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-1800}}$ และ $OF-A_{\text{pellet-1800}}$

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนานิเวศวิทยา ระหว่างภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และบริษัท ดี. เอ. รีเชิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. รวมทั้งบริษัท วาย.วี.พี เฟอร์ติไลเซอร์ จำกัด ที่สนับสนุนปุ๋ยเคมีตลอดระยะเวลาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. ประกาศกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ที่มีไขมันอาหารสัตว์ ควบคุมเฉพาะ ประเภทวัตถุดิบ พ.ศ. 2559. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล:
<http://legal.dld.go.th/web2012/news/P15/133242201025593.PDF> (7 พฤษภาคม 2563).
- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- เกียรติศักดิ์ สนศรี และ ชัยสิทธิ์ ทองจุ. 2561. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารดินและปุ๋ย 40(1): 27-38.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบไฮโดรคัลนุปรกรณ์. คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

- จันจิรา แสงสีเหลือง, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฑามาศ ร่มแก้ว และ เกียรติกร แก้วตระกูลพงษ์. 2552. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน, น. 19-28. ใน การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ, อัญธิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศัญชัย ภูเงิน, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และ ศิริสุดา บุตรเพชร. 2562. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง "การจัดการวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ และอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณีศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ร่วมจากมันเอทานอล ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ และแกลบย่อยชีวมวล". นครปฐม.
- ธนศมณท์ กุลกาวินย์เลิศ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฑามาศ ร่มแก้ว และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และชี้นำย่อยต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 36 (1): 40-49.
- ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์ณโรจน์ และ ชวลิต ยงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วยา พงศ์พันธ์, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, อัญธิชา พรหมเมืองคุก, สิริสุดา บุตรเพชร, ชาลิณี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม และ ธีรยุทธ คล้าชื่น. 2563. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้ของเครื่องกำจัดเศษขยะต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวไรซ์เบอรี. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 3(1): 80-88.
- วิไลรัตน์ ไบ้นแก้ว, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, กนกกร สินมา, สิริสุดา บุตรเพชร, ชาลิณี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม และ ธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และสมบัติของดินบางประการ. วารสารวิชาการเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน สายวิทยาศาสตร์ 2(1): 28-41.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. P. 1022-1030. In: C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part II. Amer. Soc. of Agron, Inc. Madison, Wisconsin.
- Thongjoo, C., S. Panichsakpatana and S. Miyagawa. 2002. Efficiency of some selected organic wastes as nitrogen fertilizer for baby corn (*Zea mays* L.), p.43. In The 133th meeting of the Tokai Branch of Crop Science Society. 5-6 August 2002. Aichi-Ken Agricultural Research Center, 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.
- Walkley, 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.



วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ

JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND MANAGEMENT
วารสารวิชาการของคณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2563

การใช้ระบบการประมวลแบบก้อนเมฆเพื่อเฝ้าระวังโรคและแมลงศัตรูพืชของพื้นที่ส่งเสริมโรงงานน้ำตาล กฤษณ์ สังขสิทธิ์ และปญญา ตระกูลยิ่งเจริญ.....	5
การใช้ประโยชน์เปลือกปศุสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ชัยสิทธิ์ ทองจุ เกวลิณ ศรีจันทร์ อธิษฐ์ อินทร์บุญช่วย อธิษฐา พรมเมืองคุก สิริมา ช่วงโอกาส สุชาติ ฤกษ์ ศิริสุตา บุตรเพชร ชาลินี คงสุต ธรรมธวัช แสงงาม อธิษฐา คล้าชื่น และศิริโรจน์ สุวรรณโณ.....	16
การปลูกและการไว้ตัวของอ้อยที่ปลูกในจังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี และราชบุรี อนุรักษ์ อธิษฐา นงลักษณ์ เทียนศรี และศุภิสรา อัคร์ทิพย์.....	26
ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของ มันสำปะหลัง เสฏฐาณ อภิวัฒน์ดังสกุล ชัยสิทธิ์ ทองจุ อธิษฐ์ อินทร์บุญช่วย จุฑามาศ ร่มแก้ว สิริมา ช่วงโอกาส เกวลิณ ศรีจันทร์ อธิษฐา พรมเมืองคุก สุชาติ ฤกษ์ ศิริสุตา บุตรเพชร ชาลินี คงสุต ธรรมธวัช แสงงาม และอธิษฐา คล้าชื่น.....	34
ผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ธนฐนันท์ เต็งประเสริฐ ชัยสิทธิ์ ทองจุ อธิษฐ์ อินทร์บุญช่วย กนกกร สิมมา วิยงค์ กังวานสุขมงคล เกวลิณ ศรีจันทร์ อธิษฐา พรมเมืองคุก สิริมา ช่วงโอกาส สุชาติ ฤกษ์ ศิริสุตา บุตรเพชร ชาลินี คงสุต ธรรมธวัช แสงงาม และอธิษฐา คล้าชื่น.....	47
ชนิดของเพลี้ยอ่อน (Hemiptera: Aphididae) กับพืชอาหารและมดที่อยู่ร่วมกันในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ ณณิชา ชยานนท์กุล และนันทศักดิ์ ปิ่นแก้ว.....	63
Effects of Si Application on Growth, Yield and Si Concentration in Rice under Nutrient Solution System Aunthicha Phommuangkhu Suphachai Amkha Yongyuth Osotsapar Nawarat Udomprasert.....	70
การศึกษาระดับเอนไซม์เรนเนทที่เหมาะสมต่อการผลิตมอสซาเรลล่าชีสจากน้ำนมโคและน้ำนมแพะ บุศรินทร์ ชนะช สุเจตน์ ชื่นชม และศศิธร นาคทอง.....	81
การเลือกซื้อปุ๋ยเคมีของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี คณนัทภักดิ์ จันทร์เหมวัต เชิดพงษ์ ชีระจิตต์ และพี ดอไม้เทศ.....	87
ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ศุภนิยา สิมมา ชัยสิทธิ์ ทองจุ อธิษฐ์ อินทร์บุญช่วย จุฑามาศ ร่มแก้ว เกวลิณ ศรีจันทร์ อธิษฐา พรมเมืองคุก สิริมา ช่วงโอกาส สุชาติ ฤกษ์ ศิริสุตา บุตรเพชร ชาลินี คงสุต ธรรมธวัช แสงงาม และอธิษฐา คล้าชื่น.....	96

ISSN 2586-9655

ISSN 2697-5378 (online)

ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรม
 เชื้อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง

Effects of Powder, Pellet and Granular Organic Fertilizers from Pulp and Paper Industry
 on Growth and Yield of Cassava

เสฏฐวุฒิ อภิวัฒน์ตั้งสกุล¹ ชัยสิทธิ์ ทองจู^{1*} ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ จุฑามาศ ร่มแก้ว²
 สิริณา ช่วงโสภาส¹ เกวลิน ศรีจันทร์¹ อัญธิชา พรมเมืองคุก¹ สุชาดา กรุณา¹
 ศิริสุดา บุตรเพชร¹ ชาลินี คงสุต³ ธรรมธวัช แสงงาม³ และธีรยุทธ คล้าชื่น⁴

Settawut Apiwattangsakul¹ Chaisit Thongjoo^{1*} Tawatchai Inboonchuay¹ Jutamas Romkaew²

Sirinapa Chungopast¹ Kavalin Srichan¹ Aunthicha Phommuangkhuk¹ Suchada Karuna¹

Sirisuda Bootpetch¹ Chalinee Khongsud³ Thamthawat Saengngam³ and Teerayut Klumchaun⁴

Abstract: This study investigated the effects of powder, pellet and granular organic fertilizers (OF) from pulp and paper industry on growth and yield of cassava (var. Huay Bong 60) planted in Kamphaeng Saen soil series. The experimental design was arranged in Randomized Complete Block (RCB) with 3 replications and consisted of 14 treatments. The results showed that the application of powder OF-B of 725 kg/rai in combination with chemical fertilizer (CF) containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the powder OF-B provided the highest plant height which was not significantly different from the application of powder OF-A of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the powder OF-A. Furthermore, the application of powder OF-B of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the powder OF-B provided the highest fresh root yield, average weight/root, root width, root length and starch yield/unit area which were not significantly different from the application of powder OF-A of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the powder OF-A and the application of pellet OF-B of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the pellet OF-B. The application of powder OF-A of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the powder OF-A also provided the highest concentration of N and P in fresh root which was not significantly different from the application of powder OF-A of 1,450 kg/rai and the application of powder OF-B of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the powder OF-B.

Keywords: organic fertilizer, cassava, waste materials

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

² ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

³ ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

⁴ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12130

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

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

³ Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140.

⁴ Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12130.

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

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 14 ตำรับทดลอง ผลการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว ความกว้างและความยาวของหัว และผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 1,450 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์, มันสำปะหลัง, วัสดุเหลือใช้

คำนำ

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561) รายงานว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 8.62 ล้านไร่ ได้ผลผลิตหัวมันสด 29.37 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ 3.41 ตัน/ไร่ โดยมันสำปะหลังมีการขยายการส่งออกและการเปิดตลาดในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปและสาธารณรัฐประชาชนจีน ทำให้มีโอกาสดำเนินการส่งออกมันสำปะหลังได้มากขึ้น ประกอบกับรัฐบาลไทยได้สนับสนุนการสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ส่งผลให้ความต้องการผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ผงไม้ป่น เปลือกไม้ และขี้เถ้าลอยจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ กากตะกอนยีสต์และน้ำวีเนสจากโรงงานผลิตเอทานอล ผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) กากมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมัน เป็นต้น โดยผลพลอยได้ดังกล่าวมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อยและมักก่อให้เกิด

เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005) ที่ผ่านมามีรายงานเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์ในแง่ปุ๋ยกับมันสำปะหลังค่อนข้างน้อย เช่น การใช้ผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) (ภาณุพงศ์ และคณะ, 2557) วัสดุอินทรีย์ผสมระหว่างกากตะกอนยีสต์และน้ำวีเนส (พงษ์นรินทร์ และคณะ, 2556; ทิพวรรณ และคณะ, 2557) วัสดุอินทรีย์ผสมระหว่างผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรสและขี้เถ้าลอย (ธีรยุทธ และคณะ, 2560) กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย (นิชากร และคณะ, 2562) เป็นต้น การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากกากตะกอน (activated sludge) จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า กากตะกอนน้ำเสียเหล่านั้นสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีกับพืชเศรษฐกิจชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น อ้อย (ปิยพงศ์ และคณะ, 2560) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ธนสมณท์ และคณะ, 2561; รุจิกร และคณะ, 2562; วิสัยรัตน์ และคณะ, 2562) มันสำปะหลัง (ธีรยุทธ และคณะ, 2560) ข้าว (นฤพน และคณะ, 2556) เป็นต้น จากประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้น

จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาทำให้เกิดประโยชน์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้วยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่ปลูกมันสำปะหลังในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งของผลพลอยได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์หัวยวบง 60 ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil

series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiaactive, isohyperthermic, Soil Survey Staff, 2003) งานทดลองนี้ประกอบด้วย 42 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร ระยะปลูก 1 x 1 เมตร เก็บข้อมูลผลผลิตของมันสำปะหลังเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถว 1 เมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 3 ซ้ำ 14 ดำรับทดลอง โดยรายละเอียดของดำรับทดลองได้แสดงไว้ใน (Table 1) ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเนื้อดิน สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน (Table 2)

Table 1 Detail of treatments

Treatments	Descriptions	Symbols	Quantity of major elements (kgN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)
T ₁	no fertilizer and organic fertilizer (OF) treatment	control	0-0-0
T ₂	the application of chemical fertilizer (CF) based on soil chemical analysis	CF _{DOA}	16-0-8
T ₃	the application of powder OF-A of 1,450 kg/rai	OF-A _{powder-1450}	16.24-28.57-32.77
T ₄	the application of powder OF-A of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements (N, P, K) equivalent to 725 kg/rai of the powder OF-A	OF-A _{powder-725} ⁺ CF _{OF-A_powder-725}	16.24-28.57-32.77
T ₅	the application of pellet OF-A of 1,450 kg/rai	OF-A _{pellet-1450}	14.94-28.13-31.03
T ₆	the application of pellet OF-A of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the pellet OF-A	OF-A _{pellet-725} ⁺ CF _{OF-A_pellet-725}	14.94-28.13-31.03
T ₇	the application of granular OF-A of 1,450 kg/rai	OF-A _{granular-1450}	12.62-22.33-25.23
T ₈	the application of granular OF-A of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the granular OF-A	OF-A _{granular-725} ⁺ CF _{OF-A_granular-725}	12.62-22.33-25.23
T ₉	the application of powder OF-B of 1,450 kg/rai	OF-B _{powder-1450}	15.66-28.13-35.67
T ₁₀	the application of powder OF-B of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the powder OF-B	OF-B _{powder-725} ⁺ CF _{OF-B_powder-725}	15.66-28.13-35.67

Treatments	Descriptions	Symbols	Quantity of major elements (kgN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)
T ₁₁	the application of pellet OF-B of 1,450 kg/rai	OF-B _{-pellet-1450}	13.63-27.55-33.93
T ₁₂	the application of pellet OF-B of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the pellet OF-B	OF-B _{-pellet-725} ⁺ CF _{OF-B-pellet-725}	13.63-27.55-33.93
T ₁₃	the application of granular OF-B of 1,450 kg/rai	OF-B _{-granular-1450}	12.04-21.90-26.68
T ₁₄	the application of granular OF-B of 725 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 725 kg/rai of the granular OF-B	OF-B _{-granular-725} ⁺ CF _{OF-B-granular-725}	12.04-21.90-26.68

Table 2 Chemical and physical properties of soil before the experiment

Properties	Results (0-30 cm)	Rating
pH (1:1 water)	7.74	slightly alkaline
EC _e (dS/m)	0.61	non-saline
Organic matter (%) ^{1/}	0.92	low
Available P (mg/kg) ^{2/}	36.03	high
Exchangeable K (mg/kg) ^{3/}	57.28	low
Exchangeable Ca (mg/kg) ^{3/}	712	high
Exchangeable Mg (mg/kg) ^{3/}	82.46	moderately
Exchangeable Na (mg/kg) ^{3/}	23.58	-
Soil texture ^{4/}	sandy loam	-

Note ^{1/} = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934) ^{2/} = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)

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

^{4/} = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (42 %P₂O₅) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60%K₂O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับมันสำปะหลัง คือ 16 และ 8 กิโลกรัม N และ K₂O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองมาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท ดี. เอ. รีเชิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. โดยปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A และสูตร B ประกอบด้วยกากมันสำปะหลัง : กากตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการบำบัด

: ขี้เถ้าลอย เท่ากับ 5 : 2 : 5 และ 4 : 2 : 4 โดยปริมาตรตามลำดับ จากนั้น นำปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงทั้ง 2 สูตรไปอัดเม็ด และบั่นเม็ด ต่อไป (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2562) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ใส่เพียงครั้งเดียวในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 2 เดือนหลังปลูก สำหรับอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุดของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A (1.12 เปอร์เซ็นต์) ให้ได้ใกล้เคียงกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (16 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่) นั่นคือ 1,428.57 กิโลกรัม/ไร่ แต่ในการทดลองนี้ได้กำหนดอัตราปุ๋ยอินทรีย์เพื่อความสะดวกต่อการใช้ คือ 1,450 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน (Table 3)

Table 3 Chemical and physical properties of organic fertilizer (OF)

Properties	OF-A			OF-B		
	powder	pellet	granular	powder	pellet	granular
pH (3:50)	9.04	8.78	8.62	9.00	8.88	8.47
EC 1:10 (dS/m)	8.78	8.62	7.23	9.23	8.94	7.65
Organic matter (%)	25.36	23.15	17.56	23.24	21.36	16.85
Organic carbon (%)	14.71	13.43	10.19	13.48	12.39	9.77
C:N ratio	13.13	13.04	11.71	12.48	13.18	11.78
Total N (%)	1.12	1.03	0.87	1.08	0.94	0.83
Total P ₂ O ₅ (%)	1.97	1.94	1.54	1.94	1.90	1.51
Total K ₂ O (%)	2.26	2.14	1.74	2.46	2.34	1.84
Total primary nutrients (%)	5.35	5.11	4.15	5.48	5.18	4.18
Total Ca (%)	19.59	18.23	13.25	19.18	18.32	12.88
Total Mg (%)	1.42	1.34	1.14	1.42	1.28	1.17
Total Na (%)	0.17	0.16	0.14	0.19	0.17	0.15
Germination index (%)	99.13	102.36	113.25	100.86	112.36	118.12
Moisture (%)	25.42	23.12	21.41	26.68	24.12	23.14

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูก ได้แก่ ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) (วัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด) โดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (Minolta Co., Ltd., JAPAN: SPAD-502 model) สำหรับการเก็บผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือน ได้แก่ ผลผลิตหัวสด น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว ความกว้างและความยาวหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสด (ใช้เครื่อง Remain Scale) ผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในผลผลิตหัวสด ข้อมูลผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-test หากข้อมูลแสดงความแตกต่างทางสถิติจะนำมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's Multiple Range Test)

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ปรากฏผลดังนี้

1. การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

1.1 ความสูงต้น

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังมากที่สุด (123.93 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$ และ

OF-B_{pellet-725}+CF_{OF-B_pellet-725} ส่วนที่อายุ 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B_powder-725} มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A_{powder-725}+CF_{OF-A_powder-725}

Table 4 Plant height of cassava at different ages

Treatments	Plant height (cm)			
	3 MAP ^{1/}	6 MAP	9 MAP	12 MAP
T ₁ = control	89.07 ^{f 2/}	170.26 ^{h 2/}	195.67 ^{h 2/}	221.61 ^{i 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	96.17 ^{ef}	217.02 ^g	228.74 ^g	243.57 ⁱ
T ₃ = OF-A _{powder-1450}	111.03 ^{bcd}	234.88 ^{de}	265.58 ^c	291.36 ^{de}
T ₄ = OF-A _{powder-725} +CF _{OF-A_powder-725}	118.60 ^{ab}	249.97 ^{ab}	287.54 ^{ab}	324.64 ^{ab}
T ₅ = OF-A _{pellet-1450}	108.90 ^{cd}	231.86 ^{de}	255.32 ^d	283.62 ^f
T ₆ = OF-A _{pellet-725} +CF _{OF-A_pellet-725}	113.90 ^{bc}	244.57 ^{bc}	280.53 ^b	316.58 ^c
T ₇ = OF-A _{granular-1450}	96.27 ^{ef}	221.37 ^{fg}	233.36 ^{fg}	246.78 ⁱ
T ₈ = OF-A _{granular-725} +CF _{OF-A_granular-725}	106.00 ^{cd}	226.52 ^{efg}	242.60 ^e	260.58 ^h
T ₉ = OF-B _{powder-1450}	112.37 ^{bc}	238.87 ^{cd}	268.41 ^c	295.49 ^d
T ₁₀ = OF-B _{powder-725} +CF _{OF-B_powder-725}	123.93 ^a	258.61 ^a	293.59 ^a	326.42 ^a
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1450}	109.27 ^{cd}	234.70 ^{de}	260.45 ^{cd}	286.45 ^{ef}
T ₁₂ = OF-B _{pellet-725} +CF _{OF-B_pellet-725}	117.87 ^{ab}	247.68 ^{bc}	284.40 ^b	320.76 ^{bc}
T ₁₃ = OF-B _{granular-1450}	103.17 ^{de}	224.91 ^{efg}	237.54 ^{ef}	256.56 ^h
T ₁₄ = OF-B _{granular-725} +CF _{OF-B_granular-725}	106.03 ^{cd}	228.90 ^{ef}	245.60 ^e	267.55 ^g
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.10	12.39	13.18	12.14

^{1/} Months after planting

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

** indicates significant difference at p< 0.01

1.2 ค่าความเขียวของใบ

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆอย่างเดียวหรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งตัวควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-A_{powder-725}+CF_{OF-A_powder-725} มีผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B_powder-725},

OF-A_{pellet-725}+CF_{OF-A_pellet-725}, OF-A_{powder-1450}, OF-B_{powder-1450} และ OF-A_{pellet-1450} ที่อายุ 6 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-A_{powder-725}+CF_{OF-A_powder-725} มีผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B_powder-725} ที่อายุ 9 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-A_{powder-725}+CF_{OF-A_powder-725} มีผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-725}+CF_{OF-B_powder-725} และ OF-A_{pellet-725}+CF_{OF-A_pellet-725} ส่วนที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-A_{powder-725}+CF_{OF-A_powder-725}

มีผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$, $OF-A_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-725}}}$ และ $OF-A_{\text{powder-1450}}$ โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังที่อายุ 6 เดือนหลังปลูกมีค่าสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการศึกษา สอดคล้องกับนิชากร และคณะ (2562) ที่ทดลองกับมันสำปะหลัง ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ

ในระดับต่ำ ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยที่ปลดปล่อยไนโตรเจนลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์นั่นเอง (ยงยุทธ, 2528) อย่างไรก็ตาม ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังน้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต

Table 5 Leaf greenness (SPAD unit) of cassava at different ages

Treatments	SPAD unit			
	3 MAP ^{1/}	6 MAP	9 MAP	12 MAP
T ₁ = control	34.64 ^{e 2/}	33.62 ^{g 2/}	30.29 ^{2/}	28.63 ^{f 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	43.75 ^{bc}	44.85 ^e	40.28 ^{ef}	38.72 ^c
T ₃ = OF-A _{powder-1450}	43.99 ^{abc}	48.75 ^{bc}	44.68 ^{bcd}	42.85 ^{ab}
T ₄ = OF-A _{powder-725} + CF _{OF-A_{powder-725}}	47.05 ^a	52.42 ^a	47.65 ^a	45.27 ^a
T ₅ = OF-A _{pellet-1450}	43.86 ^{abc}	45.62 ^{de}	42.32 ^{de}	39.43 ^c
T ₆ = OF-A _{pellet-725} + CF _{OF-A_{pellet-725}}	44.23 ^{abc}	49.58 ^b	45.32 ^{abc}	44.26 ^a
T ₇ = OF-A _{granular-1450}	40.26 ^d	42.27 ^f	34.63 ^{hi}	33.56 ^{de}
T ₈ = OF-A _{granular-725} + CF _{OF-A_{granular-725}}	41.57 ^{cd}	43.66 ^{ef}	37.53 ^{fg}	35.46 ^d
T ₉ = OF-B _{powder-1450}	43.87 ^{abc}	47.45 ^{cd}	42.56 ^{cde}	40.28 ^{bc}
T ₁₀ = OF-B _{powder-725} + CF _{OF-B_{powder-725}}	46.51 ^{ab}	51.74 ^a	47.32 ^{ab}	44.73 ^a
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1450}	40.26 ^d	42.35 ^f	35.26 ^{ghi}	34.28 ^{de}
T ₁₂ = OF-B _{pellet-725} + CF _{OF-B_{pellet-725}}	41.59 ^{cd}	44.58 ^e	39.74 ^{ef}	38.53 ^c
T ₁₃ = OF-B _{granular-1450}	38.70 ^d	41.88 ^f	33.53 ⁱ	32.25 ^e
T ₁₄ = OF-B _{granular-725} + CF _{OF-B_{granular-725}}	41.56 ^{cd}	43.64 ^{ef}	36.42 ^{gh}	35.23 ^{de}
F-test	**	**	**	**
CV (%)	12.91	13.57	11.98	12.42

^{1/} Months after planting

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

** indicates significant difference at p< 0.01

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง

2.1 ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการ

ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักเฉลี่ยต่อหัวของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ มีผลให้ผลผลิต

หัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (12.56 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{\text{OF-A_powder-725}}$, $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{\text{OF-B_pellet-725}}$ และ $OF-A_{\text{pellet-725}} + CF_{\text{OF-A_pellet-725}}$ นอกจากนี้ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{\text{OF-B_powder-725}}$ มีผลให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัวของมันสำปะหลังมากที่สุด (0.62 กิโลกรัม) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{\text{OF-A_powder-725}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{\text{OF-B_pellet-725}}$ ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักเฉลี่ยต่อหัวของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (4.25 ตัน/ไร่ และ 0.30 กิโลกรัม ตามลำดับ)

2.2 ความกว้างและความยาวหัวสด

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือ

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความกว้างและความยาวหัวสดของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{\text{OF-B_powder-725}}$ มีผลให้ความกว้างและความยาวหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (5.23 และ 23.42 เซนติเมตร ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{\text{OF-A_powder-725}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{\text{OF-B_pellet-725}}$ ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความกว้างและความยาวหัวสดของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (3.65 และ 12.56 เซนติเมตร ตามลำดับ)

Table 6 Fresh root yield, average weight/root, root width and root length of cassava at 12 MAP^{1/}

Treatments	Fresh root yield (ton/rai)	Average weight/ root (kg)	Root width (cm)	Root length (cm)
T ₁ = control	4.25 ^{h2/}	0.30 ^{j2/}	3.65 ^{j2/}	12.56 ^{f2/}
T ₂ = CF _{DOA}	7.56 ^g	0.36 ⁱ	4.28 ⁱ	15.88 ^e
T ₃ = OF-A _{powder-1450}	11.35 ^{bc}	0.53 ^{de}	4.80 ^{cd}	18.73 ^d
T ₄ = OF-A _{powder-725} + CF _{OF-A_powder-725}	12.48 ^a	0.61 ^{ab}	5.18 ^a	23.24 ^a
T ₅ = OF-A _{pellet-1450}	10.54 ^d	0.49 ^{ef}	4.65 ^{ef}	18.25 ^d
T ₆ = OF-A _{pellet-725} + CF _{OF-A_pellet-725}	12.22 ^a	0.57 ^{bcd}	5.00 ^b	22.13 ^b
T ₇ = OF-A _{granular-1450}	8.26 ^f	0.40 ^{hi}	4.36 ⁱ	16.23 ^e
T ₈ = OF-A _{granular-725} + CF _{OF-A_granular-725}	8.82 ^{ef}	0.46 ^{fg}	4.53 ^{gh}	17.64 ^d
T ₉ = OF-B _{powder-1450}	11.56 ^b	0.55 ^{cd}	4.87 ^c	20.29 ^c
T ₁₀ = OF-B _{powder-725} + CF _{OF-B_powder-725}	12.56 ^a	0.62 ^a	5.23 ^a	23.42 ^a
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1450}	10.83 ^{cd}	0.50 ^{ef}	4.73 ^{de}	18.56 ^d
T ₁₂ = OF-B _{pellet-725} + CF _{OF-B_pellet-725}	12.36 ^a	0.59 ^{abc}	5.12 ^a	23.15 ^{ab}
T ₁₃ = OF-B _{granular-1450}	8.75 ^{ef}	0.42 ^{gh}	4.48 ^h	16.38 ^e
T ₁₄ = OF-B _{granular-725} + CF _{OF-B_granular-725}	9.26 ^e	0.47 ^f	4.60 ^{fg}	17.83 ^d
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.25	12.96	12.41	13.25

^{1/} Months after planting

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

** indicates significant difference at p< 0.01

2.3 เปอร์เซ็นต์แบ่งส่วนหัวสดและผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งตัวควบคุม (control) มีผลให้เปอร์เซ็นต์แบ่งส่วนหัวสดและผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ มีผลให้เปอร์เซ็นต์แบ่งส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (29.87 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} +$

$CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$, $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-725}}}$, $OF-A_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-725}}}$, $OF-B_{\text{powder-1450}}$ และ $OF-A_{\text{powder-1450}}$ นอกจากนี้ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ มีผลให้ผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังมากที่สุด (3.75 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-725}}}$ ขณะที่ตัวควบคุม (control) มีผลให้เปอร์เซ็นต์แบ่งส่วนหัวสดและผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (22.56 เปอร์เซ็นต์ และ 0.96 ตัน/ไร่ ตามลำดับ)

Table 7 Starch content and starch yield of cassava at 12 MAP^{1/}

Treatments	Starch content (%)	Starch yield (ton/rai)
T ₁ = control	22.56 ^{g 2/}	0.96 ^{i 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	23.83 ^{fg}	1.80 ⁱ
T ₃ = OF-A _{powder-1450}	28.23 ^{ab}	3.20 ^c
T ₄ = OF-A _{powder-725} + CF _{OF-A_{powder-725}}	29.53 ^a	3.69 ^a
T ₅ = OF-A _{pellet-1450}	26.32 ^{cd}	2.77 ^e
T ₆ = OF-A _{pellet-725} + CF _{OF-A_{pellet-725}}	28.76 ^{ab}	3.51 ^b
T ₇ = OF-A _{granular-1450}	24.25 ^{ef}	2.00 ^h
T ₈ = OF-A _{granular-725} + CF _{OF-A_{granular-725}}	25.22 ^{def}	2.22 ^g
T ₉ = OF-B _{powder-1450}	28.64 ^{ab}	3.31 ^c
T ₁₀ = OF-B _{powder-725} + CF _{OF-B_{powder-725}}	29.87 ^a	3.75 ^a
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1450}	27.25 ^{bc}	2.95 ^d
T ₁₂ = OF-B _{pellet-725} + CF _{OF-B_{pellet-725}}	29.26 ^a	3.62 ^{ab}
T ₁₃ = OF-B _{granular-1450}	24.38 ^{ef}	2.13 ^{gh}
T ₁₄ = OF-B _{granular-725} + CF _{OF-B_{granular-725}}	25.54 ^{de}	2.37 ^f
F-test	**	**
CV (%)	13.41	13.88

^{1/} Months after planting

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

** indicates significant difference at p< 0.01

2.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในผลผลิตหัวสด

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งตัวควบคุม (control) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 8) กล่าวคือ $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$ มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (0.242 และ 0.195 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-1450}}$ และ $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ ส่วน $OF-B_{\text{powder-725}} + CF_{OF-B_{\text{powder-725}}}$ มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (1.432 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-1450}}$, $OF-B_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-725}}}$, $OF-B_{\text{pellet-1450}}$, $OF-A_{\text{powder-725}} + CF_{OF-A_{\text{powder-725}}}$, $OF-A_{\text{powder-1450}}$, $OF-A_{\text{pellet-725}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-725}}}$ และ $OF-A_{\text{pellet-1450}}$ ขณะที่ตัวควบคุม (control) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (0.127, 0.092 และ 0.836 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังโดยภาพรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของณิชากร และคณะ (2562) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับมันสำปะหลังได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะเวลาผ่านไป นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงมีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังโดยภาพรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ด หรือปั้นเม็ด จะผ่านความร้อนเพื่อให้แห้ง จึงทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารได้ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ชนิดปั้นเม็ดจะมีการเติมวัสดุหรือดินขาวเพื่อให้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถขึ้นรูปเป็นเม็ดได้ จึงส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด และชนิดผง ตามลำดับ (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

Table 8 Concentrations of total N, P and K in fresh root of cassava at 12 MAP^{1/}

Treatments	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
T ₁ = control	0.127 ^{i2/}	0.092 ^{i2/}	0.836 ^{e2/}
T ₂ = CF _{DOA}	0.217 ^{de}	0.123 ^h	1.118 ^d
T ₃ = OF-A _{powder-1450}	0.240 ^{ab}	0.193 ^{ab}	1.413 ^a
T ₄ = OF-A _{powder-725} + CF _{OF-A_powder-725}	0.242 ^a	0.195 ^a	1.417 ^a
T ₅ = OF-A _{pellet-1450}	0.222 ^{cd}	0.178 ^{cde}	1.403 ^a
T ₆ = OF-A _{pellet-725} + CF _{OF-A_pellet-725}	0.225 ^c	0.181 ^{cd}	1.408 ^a
T ₇ = OF-A _{granular-1450}	0.183 ^{gh}	0.153 ^{fg}	1.225 ^c
T ₈ = OF-A _{granular-725} + CF _{OF-A_granular-725}	0.190 ^{fg}	0.158 ^f	1.227 ^c
T ₉ = OF-B _{powder-1450}	0.233 ^b	0.184 ^{bc}	1.429 ^a
T ₁₀ = OF-B _{powder-725} + CF _{OF-B_powder-725}	0.236 ^{ab}	0.187 ^{abc}	1.432 ^a
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1450}	0.195 ^f	0.170 ^e	1.422 ^a
T ₁₂ = OF-B _{pellet-725} + CF _{OF-B_pellet-725}	0.210 ^e	0.173 ^{de}	1.425 ^a
T ₁₃ = OF-B _{granular-1450}	0.172 ⁱ	0.146 ^g	1.330 ^b
T ₁₄ = OF-B _{granular-725} + CF _{OF-B_granular-725}	0.181 ^h	0.150 ^{fg}	1.333 ^b
F-test	**	**	**
CV (%)	12.13	12.35	11.63

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

** indicates significant difference at p< 0.01

สรุป

1. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่

2. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว ความกว้างและความยาวของหัว และผลผลิตแบ่งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับ

ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่

3. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 1,450 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 725 กิโลกรัม/ไร่

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาวิชาการระหว่างภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และบริษัท ดี. เอ. รีเชิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. รวมทั้งบริษัท วาย.วี.พี เพอร์ติไลเซอร์ จำกัด ที่สนับสนุนปุ๋ยเคมีตลอดระยะเวลาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบไฮโดรทศนุกรณ์. คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ, อัญธิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, สัณชัย ภูเงิน, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และ ศิริสุดา บุตรเพชร. 2562. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง “การจัดการวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ และอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณีศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ร่วมจากมันเอทานอล ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ และแกลบย่อยชีวมวล”. นครปฐม.
- ณิชากร ทองมี, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, สิริวิภา ช่วงโสภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุต, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2 (2): 91-105.
- ทิพวรรณ แก้วหนู, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อำคา, วิภาวรรณ ห้ายเมือง, ชาลินี คงสุต,

ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และ ศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากกากตะกอนยีสต์และน้ำวีเนสต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง, 53-66 น. ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.

- อนสมณท์ กุลการณย์เลิศ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฑามาศ ร่มแก้ว และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 36 (1): 40-49.
- ธีรยุทธ คล้าชื่น, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ทศพล พรพรม และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง และสมบัติของดิน. วารสารแก่นเกษตร 45 (4): 711-720.
- นฤพนธ์ รัชชยัน, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา, จุฑามาศ ร่มแก้ว และศิริสุดา บุตรเพชร. 2556. การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าว, น. 100-110. ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนครั้งที่ 10 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ. นครปฐม.
- ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และพงษ์เพชร พงษ์ศิริวาทย์. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อสมบัติดินผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิตอ้อยปลูกและอ้อยตัด 1. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 35 (3): 19-28.
- พงษ์นรินทร์ นิมนวล, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา, ปิยะ กิตติภาดากุล และศิริสุดา บุตรเพชร.

2556. การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลัง, น. 73-85. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ภาณุพงศ์ ชลชลา, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อำคา, วิชาวรรณ ท้ายเมือง, ชาลินี คงสุต, ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และ ศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ผลของการใช้กากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง, 67-80 น. ใน การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ยงยุทธ โสสถสภา. 2528. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.
- ยงยุทธ โสสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- รุจิกร ศรีมั่นม่วง, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ศุภชัย อำคา, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, กนกกร สีนมา, สิริณา ช่วงโสภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ทิพา พาโคกหม, จิราพร เชื้อกุล, ชาลินี คงสุต, ธรรมธวัช แสงงาม และ ธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากโรงงานผลิตเอทานอลต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสนและสมบัติของดินบางประการ. วารสารวิชาการเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน สายวิทยาศาสตร์ 2(1): 42-56.
- วิไลรัตน์ แป้นแก้ว, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, กนกกร สีนมา, สิริณา ช่วงโสภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุต, ธรรมธวัช แสงงาม และ ธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และสมบัติของดินบางประการ. วารสารวิชาการเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน สายวิทยาศาสตร์ 2(1): 28-41.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2554-2556. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. In C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis Part II. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc, Madison, Wisconsin, U.S.A.
- 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. 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.
- Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-35.

การใช้ประโยชน์เปลือกปูบดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

Utilization of Crab Meal on Growth and Yield of Rice

ชัยสิทธิ์ ทองจู้^{1*} เกวลิน ศรีจันทร์¹ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ อัญธิชา พรมเมืองคุก¹
สิรินภา ช่วงโสภาส¹ สุชาดา กรุณา¹ ศิริสุดา บุตรเพชร¹ ชาลินี คงสุต² ธรรมธวัช แสงงาม²
ธีรยุทธ คล้าชื่น³ และศิวิโรจน์ สุวรรณโณ⁴

Chaisit Thongjoo^{1*} Kavalin Srichan¹ Tawatchai Inboonchuay¹ Aunthicha Phommuangkuk¹

Sirinapa Chungopast¹ Suchada Karuna¹ Sirisuda Bootpetch¹ Chalinee Khongsud²

Thamthawat Saengngam² Teerayut Klumchaun³ and Siwarot Suwanno⁴

Abstract: The aim of this study was to investigate the effect of crab meal (CM) on growth, yield of rice (var. Suphanburi 1) and some soil properties. Experimental design was completely randomized design (CRD) with 4 replications and consisting of 8 treatments. The study revealed that the CM application of 150 kg/rai in combination with chemical fertilizers (CF) containing all major elements equivalent to 150 kg/rai of the CM gave the highest plant height, tiller/plant, leaf greenness (SPAD unit), panicle/plant, total weight and grain yield which were not different from those of the application of CF containing all major elements equivalent to 300 kg/rai of the CM and the CM application of 300 kg/rai. Furthermore, the CM application of 150 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 150 kg/rai of the CM gave the highest good seed weight which was not different from those of the application of CF containing all major elements equivalent to 300 kg/rai of the CM. At the end of the experiment, it was found that the CM application of 300 kg/rai resulted in the highest soil pH, followed by the CM application of 150 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 150 kg/rai of the CM and the CM application of 150 kg/rai which was not different from the CM application of 75 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 75 kg/rai of the CM. Furthermore, the CM application of 300 kg/rai affected on the highest ECe and available P of soil which was not different from the CM application of 150 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 150 kg/rai of the CM. The CM application of 300 kg/rai also affected on the highest organic matter, exchangeable Ca, Mg and Na of soil, followed by the CM application of 150 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 150 kg/rai of the CM which was not different from the CM application of 150 kg/rai.

Keywords: rice, crab meal, by-product

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

² ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

³ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12130

⁴ สถานีพัฒนาที่ดินตรัง ต.บ้านควน อ.เมือง จ.ตรัง 92000

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

² Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140.

³ Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130.

⁴ Trang Land Development Station, Ban Khuan, Muang Trang, Trang, 92000.

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

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของเปลือกปูดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และสมบัติทางประชากรของดิน โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ 8 ตำรับ การทดลองพบว่า การใส่เปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ความสูงต้น จำนวนแขนงตอกอ ค่าความเขียวของใบ จำนวนรวงตอกอ น้ำหนักรวมทั้งหมด และน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดของข้าวมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่เปลือกปูดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ นอกจากนี้ การใส่เปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้น้ำหนักเมล็ดดีของข้าวมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ ภายหลังการทดลอง พบว่า การใส่เปลือกปูดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ค่า pH ของดินมากที่สุด รองลงมา คือ การใส่เปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่เปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่เปลือกปูดอัตรา 75 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูดอัตรา 75 กิโลกรัม/ไร่ นอกจากนี้ การใส่เปลือกปูดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ค่า ECe และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่เปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ขณะที่การใส่เปลือกปูดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ ยังมีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด รองลงมา คือ การใส่เปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่เปลือกปูดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่

คำสำคัญ: ข้าว เปลือกปูด ผลพลอยได้

คำนำ

สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติได้ประเมินความต้องการข้าวของประชากรโลกเพิ่มขึ้นเป็น 760 ล้านตัน/ปี ใน ค.ศ. 2020 (IRRI, 1996) ดังนั้น เกษตรกรจึงควรเพิ่มผลผลิตข้าวต่อพื้นที่ให้มากขึ้น สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561) ได้รายงาน่ว่าประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 72.1 ล้านไร่ ได้ผลผลิต 33.1 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 558 กิโลกรัม/ไร่ โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ที่ใช้ปลูกข้าวมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำมาก ดังนั้น แนวทางที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตข้าวให้สูงขึ้น คือ การเพิ่มผลผลิตข้าวต่อพื้นที่ให้สูงขึ้น เช่น การศึกษาอัตราปุ๋ยที่เหมาะสม (ธวัชชัย และคณะ, 2553; ภาณุพรรณ และคณะ, 2557) การลดต้นทุนการผลิตโดยใช้ผลพลอยได้จากภาคเกษตรหรือภาคอุตสาหกรรมเกษตรมาทดแทนปุ๋ย หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2555; นฤพน และคณะ, 2556; ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2561; Thongjoo *et al.*, 2005) เป็นต้น โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้

เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยผลพลอยได้ส่วนใหญ่มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005) จึงเกิดแนวคิดว่าจะหากมีการนำเปลือกปูดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารทะเลมาใช้ประโยชน์ในแง่การทดแทนปุ๋ย หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยพิจารณาจากผลของเปลือกปูดที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว รวมทั้งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินบางประการ ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาทำให้เกิดประโยชน์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ยังช่วยลดปัญหาที่อาจเกิดจากผลพลอยได้ดังกล่าวในระยะยาวอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของเปลือกปูดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และสมบัติทางประชากรของดินในช่วงเดือนมีนาคม-เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561 ณ โรงเรือนทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา

คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม งานทดลองนี้ประกอบด้วย 32 กระถาง (จำนวน 4 ซ้ำ 8 ตำรับทดลอง) โดยรายละเอียดของตำรับทดลองได้แสดงไว้ใน (Table 1) ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเนื้อดิน สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน (Table 2)

ดวงตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 5 มิลลิเมตร ใส่ถังพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร และสูง 45 เซนติเมตร จนถึงระดับที่ต่ำกว่าขอบกระถางประมาณ 10 เซนติเมตร และเติมน้ำให้ท่วมผิวดินประมาณ 5 เซนติเมตร หมักดินไว้ประมาณ 1 เดือน นำเมล็ดข้าวแช่น้ำประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้น หุ้มด้วยผ้าที่มีความชื้นเป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอกโดยมีรากยาว 1-2 มิลลิเมตร นำไปหว่านในกระบะตักกล้าที่ทำเทือกไว้แล้ว เมื่อกล้าข้าวมีอายุ 20-25 วัน ถอนกล้าข้าวปักดำ 2 ต้น/กระถาง การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ทริปปิเลตซูเปอร์ฟอสเฟต (42 % P_2O_5) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 % K_2O) แบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 20 และ 40 วันหลังปักดำ โดยอัตราการใช้แสดงไว้ใน (Table 1) ส่วนในตำรับทดลองที่ 2 ใส่ไนโตรเจนอัตรา

12 กิโลกรัม/ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับการใส่เปลือกปูบด (crab meal, CM) จากห้างหุ้นส่วนจำกัด สีนอุดมเกษตรภัณฑ์ใส่เพียงครั้งเดียวที่อายุ 20 วันหลังปักดำ โดยตำรับทดลองที่ 3 และ 7 ใส่เปลือกปูบดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนตำรับทดลองที่ 4 และ 6 ใส่เปลือกปูบดอัตรา 75 และ 300 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ โดยสมบัติบางประการของเปลือกปูบดได้แสดงไว้ใน (Table 2)

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ความสูงต้น จำนวนแขนงตอก และค่าความเขียวของใบข้าว (วัดโดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (Minolta Co., Ltd., JAPAN: SPAD-502 model) ที่อายุ 1 และ 2 เดือนหลังปักดำ ส่วนข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวที่อายุ 4 เดือนหลังปักดำ ได้แก่ จำนวนรวงต่อต้น น้ำหนักรวงทั้งหมด น้ำหนักเมล็ดทั้งหมด น้ำหนักเมล็ดดี และน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ด ภายหลังการเก็บเกี่ยวดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละตำรับทดลองเพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่า EC_e และปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และสมบัติบางประการของดินที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-test พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test)

Table 1 Detail of treatments

Treatments	Descriptions	Symbols	Quantity of major elements (kgN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)
T ₁	no fertilizer and CM treatment	control	0-0-0
T ₂	the application of chemical fertilizer (CF) based on soil chemical analysis	CF _{DOA}	12-0-0
T ₃	the CM application of 150 kg/rai	CM ₁₅₀	5.40-11.21-0.84
T ₄	the CM application of 75 kg/rai in combination with CF containing all major elements (N, P, K) equivalent to 75 kg/rai of the CM	CM ₇₅ +CF _{CM-75}	5.40-11.21-0.84
T ₅	the application of CF containing all major elements equivalent to 150 kg/rai of the CM	CF _{CM-150}	5.40-11.21-0.84
T ₆	the CM application of 300 kg/rai	CM ₃₀₀	10.80-22.41-1.68
T ₇	the CM application of 150 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 150 kg/rai of the CM	CM ₁₅₀ +CF _{CM-150}	10.80-22.41-1.68
T ₈	the application of CF containing all major elements equivalent to 300 kg/rai of the CM	CF _{CM-300}	10.80-22.41-1.68

Table 2 Initial properties of soil and crab meal used in this experiment

Properties	Soil (0-30 cm)	Properties	Crab meal (CM)
pH (1:1 water)	7.63	pH (3:50)	9.65
EC _e (dS/m)	0.53	ECw (1:10, dS/m)	2.57
Organic matter (%) ^{1/}	1.23	Organic matter (%)	32.27
Available P (mg/kg) ^{2/}	44.56	Total N (%)	3.60
Exchangeable K (mg/kg) ^{3/}	84.23	Total P ₂ O ₅ (%)	7.47
Exchangeable Ca (mg/kg) ^{3/}	846	Total K ₂ O (%)	0.56
Exchangeable Mg (mg/kg) ^{3/}	114.88	Total Na (%)	0.64
Exchangeable Na (mg/kg) ^{3/}	27.34	Total Si (%)	0.28
Texture ^{4/}	clay loam	C/N ratio	5.20 : 1
		Moisture (%)	12.31

Note ^{1/} = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934) ^{2/} = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)

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

^{4/} = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของเปลือกปูปดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และสมบัติบางประการของดิน ปรากฏผลดังนี้

1. การเจริญเติบโตของข้าว

การใส่เปลือกปูปดอย่างเดียว การใส่เปลือกปูปดร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้น จำนวนแขนงตอก และค่าความเขียวของใบข้าวที่อายุ 1 และ 2 เดือนหลังปักดำ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) กล่าวคือ การใส่เปลือกปูปดอัตรา 150

กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูปดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ($CM_{150} + CF_{CM-150}$) มีผลให้ความสูงต้น จำนวนแขนงตอก และค่าความเขียวของใบข้าวมากที่สุด และไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูปดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ (CF_{CM-300}) และการใส่เปลือกปูปดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ (CM_{300}) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้น จำนวนแขนงตอก และค่าความเขียวของใบข้าวต่ำที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

Table 3 Plant height, tiller/plant and leaf greenness (SPAD unit) of rice at different growth stages

Treatments	Plant height (cm)		Tiller/plant		SPAD unit	
	1 MAT ^{1/}	2 MAT	1 MAT	2 MAT	1 MAT	2 MAT
T ₁ = control	55.54 ^{e 2/}	74.49 ^{f 2/}	4.52 ^{f 2/}	7.54 ^{d 2/}	35.72 ^{d 2/}	32.57 ^{e 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	70.47 ^b	106.29 ^{bc}	6.89 ^c	14.78 ^{ab}	43.35 ^{ab}	41.34 ^{ab}
T ₃ = CM ₁₅₀	61.53 ^d	85.29 ^e	6.48 ^e	12.57 ^c	38.45 ^{cd}	36.58 ^d
T ₄ = CM ₇₅ + CF _{CM-75}	68.59 ^b	102.52 ^c	6.75 ^d	14.38 ^{ab}	41.28 ^{bc}	39.23 ^{bc}
T ₅ = CF _{CM-150}	64.51 ^c	94.27 ^d	6.67 ^d	13.44 ^{bc}	40.67 ^{bc}	38.47 ^{cd}
T ₆ = CM ₃₀₀	74.62 ^a	107.49 ^{abc}	7.06 ^b	15.26 ^a	44.58 ^a	42.62 ^a
T ₇ = CM ₁₅₀ + CF _{CM-150}	77.38 ^a	112.51 ^a	7.23 ^a	15.79 ^a	46.26 ^a	43.55 ^a
T ₈ = CF _{CM-300}	76.21 ^a	110.56 ^{ab}	7.15 ^{ab}	15.71 ^a	45.80 ^a	43.16 ^a
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	12.34	12.90	11.95	12.99	12.09	13.12

^{1/} Months after transplant

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

** indicates significant difference at p < 0.01

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

2.1 จำนวนรวงตอกก น้ำหนักรวมทั้งหมด และน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด

การใส่เปลือกปูปดอย่างเดียว การใส่เปลือกปูปดร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้จำนวนรวงตอกก น้ำหนักรวมทั้งหมด และน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดของข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ $CM_{150} + CF_{CM-150}$

มีผลให้จำนวนรวงตอกก น้ำหนักรวมทั้งหมด และน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดของข้าวมากที่สุด (14.47 รวง 388.87 กรัม/ต้น และ 185.67 กรัม/ต้น ตามลำดับ) และไม่แตกต่างกับ CF_{CM-300} และ CM_{300} ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้จำนวนรวงตอกก น้ำหนักรวมทั้งหมด และน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดของข้าวน้อยที่สุด (4.51 รวง 242.59 กรัม/ต้น และ 103.55 กรัม/ต้น ตามลำดับ)

Table 4 Panicle per plant, total weight and grain yield of rice

Treatments	Panicle/plant	Total weight (g/plant)	Grain yield (g/plant)
T ₁ = control	4.51 ^{e 1/}	242.59 ^{i 1/}	103.55 ^{d 1/}
T ₂ = CF _{DOA}	12.47 ^b	364.24 ^{bc}	172.32 ^b
T ₃ = CM ₁₅₀	7.47 ^d	333.39 ^e	158.46 ^c
T ₄ = CM ₇₅ + CF _{CM-75}	10.52 ^c	354.47 ^{cd}	170.50 ^b
T ₅ = CF _{CM-150}	9.58 ^c	342.66 ^{de}	158.65 ^c
T ₆ = CM ₃₀₀	13.51 ^{ab}	376.45 ^{ab}	182.50 ^a
T ₇ = CM ₁₅₀ + CF _{CM-150}	14.47 ^a	388.87 ^a	185.67 ^a
T ₈ = CF _{CM-300}	13.68 ^a	384.45 ^a	183.58 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	13.79	12.21	13.95

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

** indicates significant difference at p< 0.01

2.2 น้ำหนักเมล็ดดี และน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ด

การใส่ปุ๋ยเปลือกปูปดอย่างเดี่ยว การใส่เปลือกปูปดร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักเมล็ดดี และน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดของข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ CM₁₅₀ + CF_{CM-150} มีผลให้น้ำหนักเมล็ดดีของข้าวมากที่สุด (153.50 กรัม/ต้น) ไม่แตกต่างกับ CF_{CM-300} นอกจากนี้ CM₁₅₀ + CF_{CM-150}

ยังมีผลให้น้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดของข้าวมากที่สุด (22.94 กรัม) และไม่แตกต่างกับ CF_{CM-300}, CM₃₀₀, การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (CF_{DOA}) การใส่เปลือกปูปดอัตรา 75 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูปดอัตรา 75 กิโลกรัม/ไร่ (CM₇₅ + CF_{CM-75}) และการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปูปดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ (CF_{CM-150}) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักเมล็ดดี และน้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดของข้าว น้อยที่สุด (75.32 กรัม/ต้น และ 20.42 กรัม ตามลำดับ)

Table 5 Good seed weight and 1,000 grain weight of rice

Treatments	Good seed weight (g/plant)	1,000 grain weight (g)
T ₁ = control	75.32 ^{a 1/}	20.42 ^{c 1/}
T ₂ = CF _{DOA}	141.33 ^c	22.62 ^{ab}
T ₃ = CM ₁₅₀	129.50 ^d	21.36 ^{bc}
T ₄ = CM ₇₅ + CF _{CM-75}	140.35 ^c	22.56 ^{ab}
T ₅ = CF _{CM-150}	132.35 ^d	22.45 ^{ab}
T ₆ = CM ₃₀₀	148.36 ^b	22.75 ^a
T ₇ = CM ₁₅₀ + CF _{CM-150}	153.50 ^a	22.94 ^a
T ₈ = CF _{CM-300}	151.45 ^{ab}	22.85 ^a
F-test	**	**
C.V. (%)	12.78	11.23

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

** indicates significant difference at p< 0.01

3. สมบัติของดินบางประการ ภายหลังการปลูกข้าว

การใส่เปลือกปุ๋ยมุขอย่างเดียว การใส่เปลือกปุ๋ยมุขร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่า pH ค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ CF_{CM-300} มีผลให้ค่า pH ของดินต่ำที่สุด (pH 7.41) ไม่แตกต่างกับ CF_{CM-150} และ CF_{DOA} ทั้งนี้เป็นไปได้อาจปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็นปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21%N) ซึ่งในสภาพดินไร่ที่มีการถ่ายเทอากาศดีจะส่งผลให้แอมโมเนียมไอออน (NH₄⁺) ถูกออกซิไดซ์กระทั่งก่อให้เกิดไฮโดรเจนไอออน (H⁺) จึงมีผลตกค้างทำให้ดินมีค่า pH ลดลงได้ (ยงยุทธ และคณะ, 2551; ดัชนียา และคณะ, 2562) นอกจากนี้ CM₃₀₀ มีผลให้ค่า pH ของดินมากที่สุด (pH 8.54) รองลงมา คือ CM₁₅₀ + CF_{CM-150} และการใส่เปลือก

ปุ๋ยมุขตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ (CM₁₅₀) ซึ่งไม่แตกต่างกับ CM₇₅ + CF_{CM-75} ทั้งนี้เป็นเพราะเปลือกปุ๋ยมุขที่ใช้ทดลองมีค่า pH อยู่ในระดับต่างจืดมาก (pH > 9.0) (Table 2)

CM₃₀₀ มีผลให้ค่า EC_e และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินมากที่สุด (1.48 dS/m และ 73.54 mg/kg ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับ CM₁₅₀ + CF_{CM-150} นอกจากนี้ CM₃₀₀ ยังมีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด (2.07 เปอร์เซ็นต์ 983, 143.72 และ 44.73 mg/kg ตามลำดับ) รองลงมา คือ CM₁₅₀ + CF_{CM-150} ซึ่งไม่แตกต่างกับ CM₁₅₀ ขณะที่ทุกดำรับทดลองที่มีการใส่เปลือกปุ๋ยมุขอย่างเดียว การใส่เปลือกปุ๋ยมุขร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินใกล้เคียงกันในช่วง 85.26-90.36 mg/kg

Table 6 Soil properties as affected by different fertilizer management

Treatments	pH (1:1)	EC _e (dS/m)	Organic matter (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)	Extract. Na (mg/kg)
before experiment	7.63	0.53	1.23	44.56	84.23	846	114.88	27.34
T ₁ = control	7.62 ^{d 1/}	0.55 ^{f 1/}	1.25 ^{e 1/}	45.14 ^{e 1/}	85.26	851 ^{d 1/}	113.81 ^{c 1/}	26.53 ^{d 1/}
T ₂ = CF _{DOA}	7.53 ^{de}	0.89 ^e	1.28 ^e	47.53 ^{de}	86.21	855 ^d	115.26 ^c	28.15 ^{cd}
T ₃ = CM ₁₅₀	8.23 ^c	1.25 ^{cd}	1.71 ^b	58.72 ^c	88.72	926 ^b	130.43 ^b	35.84 ^b
T ₄ = CM ₇₅ + CF _{CM-75}	8.15 ^c	1.21 ^d	1.57 ^c	56.38 ^c	88.32	889 ^c	125.29 ^b	30.25 ^c
T ₅ = CF _{CM-150}	7.48 ^e	1.16 ^d	1.34 ^{de}	51.29 ^d	86.25	860 ^d	116.59 ^c	28.75 ^{cd}
T ₆ = CM ₃₀₀	8.54 ^a	1.48 ^a	2.07 ^a	73.54 ^a	90.36	983 ^a	143.72 ^a	44.73 ^a
T ₇ = CM ₁₅₀ + CF _{CM-150}	8.35 ^b	1.43 ^{ab}	1.75 ^b	71.23 ^a	89.72	935 ^b	127.56 ^b	36.56 ^b
T ₈ = CF _{CM-300}	7.41 ^e	1.34 ^{bc}	1.42 ^d	62.89 ^b	88.35	865 ^d	117.83 ^c	30.26 ^c
F-test	**	**	**	**	ns	**	**	**
C.V. (%)	12.84	11.69	12.41	13.77	12.18	12.74	11.48	12.98

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

ns = non-significant

** indicates significant difference at p < 0.01

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่เปลือกปุ๋ยร่วมกับปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว หรือการใส่เปลือกปุ๋ยแต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของดัชนียาและคณะ (2562) ที่ทดลองใช้เปลือกปุ๋ยกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับข้าวได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่เปลือกปุ๋ยจะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่อระยะเวลาผ่านไป นอกจากนี้การใส่เปลือกปุ๋ยอย่างเดียวในอัตราสูง มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า pH, EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน เมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่เปลือกปุ๋ยอย่างเดียวในอัตราที่ต่ำกว่า หรือการใส่เปลือกปุ๋ยร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งค่ารับควบคุม (control) โดยผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับ

งานวิจัยของชัยสิทธิ์ และคณะ (2555) ที่มีการใส่กากน้ำตาลผงขุขี้ (อามิ-อามิ) อย่างเดียวกับข้าวในอัตราสูง มีผลให้ค่า EC_e ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินสูงที่สุด ดังนั้น การนำเปลือกปุ๋ยไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จึงควรคำนึงถึงค่า EC_e และปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินที่สูงขึ้นในระยะยาวด้วย

สรุป

การใส่เปลือกปุ๋ยอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปุ๋ยอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ความสูงต้น จำนวนแขนงตอกอ ค่าความเขียวของใบ จำนวนรวงตอกอ น้ำหนักรวมทั้งหมด และน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดของข้าวมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปุ๋ยอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่เปลือกปุ๋ยอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ นอกจากนี้ การใส่เปลือกปุ๋ยอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่า

ธาตุอาหารหลักในเปลือกปุดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้น้ำหนักเมล็ดดีของข้าวมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปุดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่

การใส่เปลือกปุดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ค่า pH ของดินมากที่สุด รองลงมา คือ การใส่เปลือกปุดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปุดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่เปลือกปุดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่เปลือกปุดอัตรา 75 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปุดอัตรา 75 กิโลกรัม/ไร่ นอกจากนี้ การใส่เปลือกปุดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ค่า EC และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่เปลือกปุดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปุดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ขณะที่การใส่เปลือกปุดอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ ยังมีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด รองลงมา คือ การใส่เปลือกปุดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในเปลือกปุดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่เปลือกปุดอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้มีความเป็นไปได้ที่จะนำเปลือกปุดมาใช้สำหรับการปลูกข้าว อย่างไรก็ตาม ควรศึกษาในสภาพแปลงของเกษตรกรเพื่อยืนยันผลของการใช้เปลือกปุดสำหรับทดแทนปุ๋ยหรือการใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว อีกทั้งศึกษาผลของวัสดุดังกล่าวต่อสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินในระยะยาว นอกจากนี้ การใส่เปลือกปุดอย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราสูง มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า pH, EC และปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ดังนั้น จึงควรคำนึงถึงค่า pH และ EC ที่สูงขึ้นหรือปริมาณการสะสมของโซเดียมในดินด้วย

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่างภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ ห้างหุ้นส่วนจำกัด สีนอุดมเกษตรภัณฑ์

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบไฮโดรทอปกรณ. คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ปิยะพงศ์ เขตปิยรัตน์, ธนสมณท์ กุลการณย์เลิศ, ระวีวรรณ โชติพันธ์, ธีรยุทธ คล้าชื่น และรุจิกร ศรีแมนม่วง. 2555. ผลของการให้น้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 30 (1): 99-107.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และธรรมธวัช แสงงาม. 2561. ผลของการให้น้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 1 (1): 22-29.
- ดชนียา สิมมา, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, เกวลิน ศรีจันทร์, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, อัญชิชา พรมเมื่องคุก, สิริณา ช่างโสภาส, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาตินี้ คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม, ธีรยุทธ คล้าชื่น และศิวโรจน์ สุวรรณโณ. 2562. การใช้ประโยชน์เปลือกปุดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2 (2): 67-78.
- ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, ชัยสิทธิ์ ทองจุ และจุฑามาศ ร่มแก้ว. 2553. ผลของการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับยิปซัมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว, น. 33-42. ใน การประชุมวิชาการ

- ระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- นฤพนธ์ รัชชยัน, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา, จุฑามาศ ร่มแก้ว และศิริสุดา บุตรเพชร. 2556. การให้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าว, น. 100-110. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ภาณุพรรณ สระกอบแก้ว, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อำคา, วิภาวรรณ ท้ายเมือง, ชาลินี คงสุต, ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยยูเรียชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว, 1-10 น. ใน การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ยงยุทธ โอสดสภ, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต สงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- International Rice Research Institute (IRRI). 1996. Measurement of Methane Emissions from Rice Fields, Principles and Operation of GC Techniques. Soil and Water science Division and Training Center (SWSD), pp. 1-13.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. P. 1022-1030. In: C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part II. Amer. Soc. of Agron, Inc. Madison, Wisconsin.
- 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.
- Walkley, 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.

ผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและ
ผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

Effect of Controlled Release-Nano Material Coated Chemical Fertilizers on Growth and
Yield of Sugarcane Planted in Kamphaeng Saen Soil Series

ธนัฐนันท์ เต็งประเสริฐ¹ ชัยสิทธิ์ ทองจู^{1*} ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ กนกกร สินมา¹
วียงค์ กังวานสุขมงคล² เกวลิน ศรีจันทร์¹ อัญธิชา พรมเมืองคุก¹ สิริินภา ช่วงโอภาส¹
สุชาดา กรุณา¹ ศิริสุดา บุตรเพชร¹ ชาลีนี คงสุ³ ธรรมธวัช แสงงาม³ และธีรยุทธ คล้าชื่น⁴
Tanutnan Tengprasert¹ Chaisit Thongjoo^{1*} Tawatchai Inboonchuay¹ Kanokkorn Sinma¹
Wiyong Kangwansupamonkon² Kavalin Srichan¹ Aunthicha Phommuangkuk¹
Sirinapa Chungopast¹ Suchada Karuna¹ Sirisuda Bootpetch¹ Chalinee Khongsud³
Thamthawat Saengngam³ and Teerayut Klumchaun⁴

Abstract: This study investigated the effect of controlled release-nano material coated chemical fertilizers (CR-NF) on growth and yield of sugarcane var. Kamphaeng Saen 01-4-29 planted in Kamphaeng Saen soil series. Experimental design was arranged in Randomized Complete Block (RCBD) with 3 replications and consisting of 12 treatments. The study revealed that the application of controlled release-nano chemical fertilizers (CR-NF) formula 12-12-12 of 66 kg/rai/time at 1 and 3 months after planting (MAP) in combination with 23 kg/rai of CR-NF formula 41-0-0 at 3 MAP (T_4) gave the highest plant height, number of stalks for one-meter row, leaf greenness (SPAD unit), fresh yields, stalk height, stalk diameter and concentrations of N, P, K in stalks. This was not significantly different from the application of controlled release chemical fertilizers (CR-F) formula 16-16-16 of 50 kg/rai/time at 1 and 3 MAP in combination with 23 kg/rai of CR-F formula 40-0-0 at 3 MAP (T_5) and the application of chemical fertilizers (CF) formula 16-16-16 of 50 kg/rai/time at 1 and 3 MAP in combination with 20 kg/rai of CF formula 46-0-0 at 3 MAP (T_3). While, T_4 gave the highest sugar yield, followed by that the T_5 which was not significantly different from the T_3 .

Keywords: Kamphaeng Saen soil series, controlled release-nano material coated chemical fertilizers, sugarcane

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

² ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย จ.ปทุมธานี 1212

³ ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

⁴ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12130

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

² National Nanotechnology Center, National Science and Technology Development Agency, 111 Thailand Science Park, Pathum Thani, 12120.

³ Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140.

⁴ Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130.

* Corresponding author: agrcht@ku.ac.th และ thongjuu@yahoo.com

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยพันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 12 ตำรับทดลอง ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_4) มีผลให้ความสูงของต้น จำนวนลำใน 1 แถวเมตร ค่าความเขียวของใบ ผลผลิตอ้อยสด ความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ ปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในท่อน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_5) และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_3) ขณะที่ T_4 มีผลให้ผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด รองลงมา คือ T_5 ซึ่งไม่แตกต่างกับ T_3

คำสำคัญ: ชุดดินกำแพงแสน, ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย, อ้อย

คำนำ

อ้อยเป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่มีความสำคัญและเป็นวัตถุดิบหลักของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561) รายงานว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อย 12.24 ล้านไร่ ได้ผลผลิตอ้อยสด 131.48 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 10.75 ตัน/ไร่ ปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกพืชเศรษฐกิจส่วนใหญ่ของประเทศประสบปัญหาต้นทุนการผลิตที่สูงและส่งผลให้รายได้จากการเกษตรลดลง (นาวา และคณะ, 2562) แนวทางในการทำการเกษตรกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชที่เกษตรกรทั่วไปนิยมปฏิบัติ คือ การใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น แต่เนื่องจากปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรนิยมใช้ส่วนใหญ่มีสมบัติละลายน้ำและทำปฏิกิริยากับดินได้อย่างรวดเร็วภายหลังจากใส่ลงดิน (ปิยะ, 2538) ทำให้ธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีที่ละลายออกมาบางส่วนทำปฏิกิริยากับดินและถูกดูดตรึงอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ บางส่วนสูญหายไปโดยกระบวนการต่างๆ ในดิน เช่น การชะละลาย (leaching) อิมโมบิไลเซชัน (immobilization) ดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) เป็นต้น (Mullen, 2011) ส่งผลให้ธาตุอาหารพืชในปุ๋ยเคมีบางส่วนเท่านั้นที่พืชสามารถดูดใช้ได้จริง ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (controlled release fertilizer) หมายถึง

ปุ๋ยที่มีความสามารถในการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ นอกจากนี้ยังทราบชัดเจนว่ามีปัจจัยใดบ้าง? ที่มีอิทธิพลต่ออัตราและช่วงเวลาที่ยุ่่นั้นจะปลดปล่อยธาตุอาหาร ทั้งมีกลไกการควบคุมการปลดปล่อยอยู่แล้วในปุ๋ยที่ผลิต ตัวอย่างเช่น ปุ๋ยเคลือบ (coated fertilizer; ยงยุทธ และคณะ, 2551) ส่วนปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยซึ่งผลิตโดยศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2557) คือ ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดที่ธาตุอาหารถูกควบคุมการปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายดิน โดยสารหุ้มผิวเม็ดในรูปสารโพลิเมอร์นาโนเคลย์คอมโพสิต (nano-clay composite) มีสมบัติในการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีในปุ๋ยเคมีเมื่อใส่ลงดิน โดยปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ และมีระยะเวลาการปลดปล่อยธาตุอาหารยาวนานเพื่อปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในเม็ดปุ๋ยออกมาในอัตราที่สอดคล้องสมดุลกับปริมาณการดูดใช้ของพืชปลูกแต่ละชนิด การใช้ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของพืชปลูก ต่อการดูดใช้ธาตุอาหารพืชที่มีในปุ๋ยเคมีได้มากขึ้น ไม่จำเป็นต้องแบ่งใส่หลายครั้ง และใช้ในอัตราที่ต่ำกว่าปุ๋ยเคมีประเภทละลายเร็ว ทั้งนี้จะเห็นได้จากผลการวิจัยที่พบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุม

การปลดปล่อย โดยเฉพาะปุ๋ยเคมีไนโตรเจน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ในไนโตรเจนของอ้อยได้อย่างมีนัยสำคัญ (Verburg *et al.*, 2017) และการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อยในอ้อยยังสามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยสดและผลผลิตน้ำตาลสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทละลายเร็ว (Garrett *et al.*, 2017) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยเพื่อการผลิตพืชไร่เศรษฐกิจในประเทศไทยมีค่อนข้างน้อย เช่น นาวา และคณะ (2562) รายงานการใช้ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยและปุ๋ยเคมีประเภทละลายเร็วต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ในแปลงเกษตรกรรมจังหวัดขอนแก่น พบว่า อ้อยปลูกแสดงการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเคมีทั้ง 2 ประเภทอย่างมีนัยสำคัญ และการใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตผลผลิตอ้อยสด และผลผลิตน้ำตาลได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทละลายเร็ว จึงเกิดแนวคิดที่จะทำการศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน เพื่อเป็นข้อมูลที่สำคัญและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยในอนาคตต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยพันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน 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 รวมทั้งเนื้อดิน สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลอง พบว่า ดินมีค่า pH เป็นด่างเล็กน้อย มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำหรือไม่มีปัญหาดินเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (Table 1) จากนั้น นำปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากำหนดอัตราปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย คือ 12, 3 และ 12 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) งานทดลองนี้ประกอบด้วย 36 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 7.5 เมตร ยาว 6.0 เมตร จำนวน 5 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 1.5 เมตร เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถวประมาณ 1 เมตร โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 4.5×4.0 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วย 12 ดำรับทดลอง ดังนี้ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (control, T_1) 2) ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (CFDOA, T_2) 3) ใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_3) 4) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน หลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_4) 5) ใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_5) 6) ใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16

อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมชาติสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_9) 7) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 33 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 11.5 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_7) 8) ใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 16-16-16 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 40-0-0 อัตรา 11.5

กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_8) 9) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 33 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูก (T_9) 10) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 16.5 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูก (T_{10}) 11) ใส่ปุ๋ยออสโมโค้ท (ชื่อทางการค้า) สูตร 13-13-13 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูก (T_{11}) และ 12) ใส่ปุ๋ยออสโมโค้ท (ชื่อทางการค้า) สูตร 13-13-13 อัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูก (T_{12}) (Table 2)

Table 1 Properties of soil before the experiment

Properties	Results (0-30 cm)	Rating
pH (1:1 water)	7.40	slightly alkaline
EC _e (dS/m)	0.27	non-saline
Organic matter (%) ^{1/}	1.18	moderately low
Available P (mg/kg) ^{2/}	38.89	high
Exchangeable K (mg/kg) ^{3/}	48.27	low
Exchangeable Ca (mg/kg) ^{3/}	630	high
Exchangeable Mg (mg/kg) ^{3/}	80.66	moderately
Exchangeable Na (mg/kg) ^{3/}	9.01	-
Texture ^{4/}	sandy loam	-

Note ^{1/} = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934) ^{2/} = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)

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

^{4/} = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

Table 2 Detail of treatments

Treatments	Treatment description			
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (MAP ^{1/})
T ₁	-	-	-	-
T ₂	CF ^{2/}	21-0-0	28.57, 28.57	2, 4
		0-42-0	7.14	4
		0-0-60	20	4
T ₃	CF ^{2/}	16-16-16	50, 50	1, 3
		46-0-0	20	3
T ₄	CR-NF ^{3/}	12-12-12	66, 66	1, 3
		41-0-0	23	3
T ₅	CR-F ^{4/}	16-16-16	50, 50	1, 3
		40-0-0	23	3
T ₆	CF ^{2/}	16-16-16	25, 25	1, 3
		46-0-0	10	3
T ₇	CR-NF ^{3/}	12-12-12	33, 33	1, 3
		41-0-0	11.5	3
T ₈	CR-F ^{4/}	16-16-16	25, 25	1, 3
		40-0-0	11.5	3
T ₉	CR-F ^{4/}	12-12-12	33	1
T ₁₀	CR-F ^{4/}	12-12-12	16.5	1
T ₁₁	OMC ^{5/}	13-13-13	30	1
T ₁₂	OMC ^{5/}	13-13-13	15	1

Note ^{1/} = Months after planting^{3/} = controlled release-nano chemical fertilizers^{2/} = chemical fertilizer^{4/} = controlled release chemical fertilizers^{5/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือน ได้แก่ ความสูงต้น จำนวนลำใน 1 แถวเมตร และค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) (วัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด ทำการวัด 6 ครั้งต่อใบ) ซึ่งวัดโดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (Minolta Co., Ltd., JAPAN: SPAD-502 model) ส่วนการเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่อายุ 12 เดือน ได้แก่ ผลผลิตต่อไร่ จำนวนลำต่อไร่ น้ำหนักต่อลำ ความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาล นอกจากนี้วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในท่อนลำ ได้แก่ ความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามที

ได้อธิบายไว้โดยทัศนีย์ และจรงค์ (2542) โดยข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่ได้จากการทดลอง นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test)

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยพันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ปรากฏผลดังนี้

1. การเจริญเติบโตของอ้อย

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงของต้นอ้อยที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) กล่าวคือ ที่อายุ 3, 6 และ 8 เดือน พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_4) มีผลให้ความสูงของต้นอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_5) และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_3) ส่วนที่อายุ 9 เดือนหลังปลูก พบว่า T_4 มีผลให้ความสูงของต้นอ้อยมากที่สุด (357.65 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ T_5 โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Bhanuvally *et al.* (2017) ที่รายงานว่า การใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อยมีผลให้ความสูงต้นของอ้อยดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีละลายเร็ว โดยช่วยลดการสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารหลักในปุ๋ย โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า T_4 มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยมากที่สุด (12.36 ลำ) ไม่แตกต่างกับ T_5 , T_3 และการใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 33 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 11.5 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_7) ส่วนที่อายุ 6, 8 และ 9 เดือนหลังปลูก พบว่า T_4 มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5 โดยมีข้อสังเกตว่าจำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยที่อายุ 8 และ 9 เดือน มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่ออ้อยมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงเพิ่มขึ้น จึงมีผลให้เกิดการบังแสงทำให้แสงแดดที่ส่องผ่านเข้าไปในกออ้อยมีปริมาณลดลง ดังนั้น เมื่อหน่ออ้อยที่เกิดขึ้นใหม่ไม่ได้รับแสงอย่างเหมาะสม ก็ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง หรืออาจเป็นผลจากการแก่งแย่งธาตุอาหาร การสะสมของโรคและแมลงจึงทำให้หน่อใหม่ไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของชัยสิทธิ์ และคณะ (2560) นัฐพร และคณะ (2561) ภิญญาพัชญ์ และคณะ (2561) วรัญญา และคณะ (2561) ยศวดี และคณะ (2561) และณัฐภัทร และคณะ (2562)

Table 3 Height of sugarcane at different ages

Treatments	Treatment description				Height (cm)			
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (MAP ^{1/})	3 MAP	6 MAP	8 MAP	9 MAP
T ₁	-	-	-	-	72.13 ^{e 6/}	172.23 ^{g 6/}	224.54 ^{h 6/}	235.50 ^{i 6/}
T ₂	CF ^{2/}	21-0-0	28.57, 28.57	2, 4	89.50 ^{cd}	239.67 ^{cd}	280.45 ^{ef}	295.60 ^f
		0-42-0	7.14	4				
		0-0-60	20	4				
T ₃	CF ^{2/}	16-16-16	50, 50	1, 3	115.87 ^a	251.57 ^{ab}	325.41 ^{ab}	345.30 ^b
		46-0-0	20	3				
T ₄	CR-NF ^{3/}	12-12-12	66, 66	1, 3	119.40 ^a	258.97 ^a	335.36 ^a	357.65 ^a
		41-0-0	23	3				
T ₅	CR-F ^{4/}	16-16-16	50, 50	1, 3	116.33 ^a	252.33 ^{ab}	329.47 ^a	354.26 ^a
		40-0-0	23	3				
T ₆	CF ^{2/}	16-16-16	25, 25	1, 3	93.20 ^{cd}	243.17 ^{bcd}	293.44 ^{de}	322.50 ^d
		46-0-0	10	3				
T ₇	CR-NF ^{3/}	12-12-12	33, 33	1, 3	102.33 ^b	248.43 ^{bc}	310.57 ^{bc}	340.57 ^{bc}
		41-0-0	11.5	3				
T ₈	CR-F ^{4/}	16-16-16	25, 25	1, 3	95.60 ^{bc}	244.90 ^{bc}	297.62 ^{cd}	337.51 ^c
		40-0-0	11.5	3				
T ₉	CR-F ^{4/}	12-12-12	33	1	89.53 ^{cd}	240.87 ^{cd}	285.55 ^{def}	304.62 ^e
T ₁₀	CR-F ^{4/}	12-12-12	16.5	1	86.93 ^d	229.77 ^{ef}	269.66 ^{fg}	273.58 ^h
T ₁₁	OMC ^{5/}	13-13-13	30	1	87.17 ^d	233.70 ^{de}	278.55 ^{efg}	287.32 ^g
T ₁₂	OMC ^{5/}	13-13-13	15	1	85.37 ^d	223.47 ^f	263.27 ^g	270.30 ^h
F-test					**	**	**	**
CV (%)					13.86	12.17	13.06	14.38

Note ^{1/} = Months after planting^{2/} = chemical fertilizer^{3/} = controlled release-nano chemical fertilizers^{4/} = controlled release chemical fertilizers^{5/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)^{6/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT

** indicates significant difference at p< 0.01

Table 4 Number of stalk within one-meter row of sugarcane at different ages

Treatments	Treatment description				Number of stalk within one-meter row			
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (MAP ^{1/})	3 MAP	6 MAP	8 MAP	9 MAP
T ₁	-	-	-	-	7.21 ^g _{6/}	7.11 ^g _{6/}	6.88 ^f _{6/}	6.73 ^f _{6/}
T ₂	CF ^{2/}	21-0-0	28.57, 28.57	2, 4	9.85 ^{de}	10.42 ^d	10.28 ^d	10.14 ^d
		0-42-0	7.14	4				
		0-0-60	20	4				
T ₃	CF ^{2/}	16-16-16	50, 50	1, 3	11.89 ^{ab}	12.36 ^b	12.28 ^b	12.05 ^b
		46-0-0	20	3				
T ₄	CR-NF ^{3/}	12-12-12	66, 66	1, 3	12.36 ^a	13.58 ^a	13.42 ^a	13.21 ^a
		41-0-0	23	3				
T ₅	CR-F ^{4/}	16-16-16	50, 50	1, 3	12.12 ^{ab}	13.42 ^a	13.38 ^a	13.11 ^a
		40-0-0	23	3				
T ₆	CF ^{2/}	16-16-16	25, 25	1, 3	10.68 ^c	11.69 ^c	11.53 ^{bc}	11.28 ^{bc}
		46-0-0	10	3				
T ₇	CR-NF ^{3/}	12-12-12	33, 33	1, 3	11.68 ^{ab}	12.12 ^b	12.00 ^{bc}	11.69 ^{bc}
		41-0-0	11.5	3				
T ₈	CR-F ^{4/}	16-16-16	25, 25	1, 3	11.47 ^b	12.10 ^b	11.79 ^{bc}	11.53 ^{bc}
		40-0-0	11.5	3				
T ₉	CR-F ^{4/}	12-12-12	33	1	10.23 ^{cd}	11.46 ^c	11.27 ^c	11.13 ^c
T ₁₀	CR-F ^{4/}	12-12-12	16.5	1	9.23 ^e	9.58 ^e	9.42 ^{de}	9.36 ^d
T ₁₁	OMC ^{5/}	13-13-13	30	1	9.75 ^{de}	10.17 ^d	10.01 ^d	9.57 ^d
T ₁₂	OMC ^{5/}	13-13-13	15	1	8.42 ^f	8.69 ^f	8.53 ^e	8.42 ^e
F-test					**	**	**	**
CV (%)					13.58	12.88	14.93	14.27

Note ^{1/} = Months after planting^{2/} = chemical fertilizer^{3/} = controlled release-nano chemical fertilizers^{4/} = controlled release chemical fertilizers^{5/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)^{6/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT

** indicates significant difference at p< 0.01

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตัวรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ที่อายุ 3 เดือนหลัง

ปลูก พบว่า T₄ มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T₅ ที่อายุ 6 เดือนหลังปลูก พบว่า T₄ มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T₅ และ T₃ ที่อายุ 8 เดือนหลังปลูก พบว่า T₄ มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยมากที่สุดไม่แตกต่างกับ T₅, T₃ และ T₇ ส่วนที่อายุ 9 เดือนหลังปลูก พบว่า T₄ มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อย

มากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5 , T_3 , T_7 และการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 16-16-16 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 40-0-0 อัตรา 11.5 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_8) โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบอ้อยที่อายุ 8 และ 9 เดือน มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณ

อินทรีย์วัตถุในระดับค่อนข้างต่ำ ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์นั่นเอง (ยางยุทธ, 2558) อย่างไรก็ตาม ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความสูงของต้นจำนวนลำใน 1 แถวเมตร และค่าความเขียวของใบอ้อยน้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

Table 5 Leaf greenness (SPAD unit) of sugarcane at different ages

Treatments	Treatment description				SPAD unit			
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (MAP ^{1/})	3 MAP	6 MAP	8 MAP	9 MAP
T_1	-	-	-	-	33.80 ^{f g/}	31.58 ^{g g/}	28.75 ^{g g/}	26.58 ^{h g/}
T_2	CF ^{2/}	21-0-0	28.57, 28.57	2, 4	36.56 ^{de}	37.36 ^e	36.83 ^{de}	35.38 ^{def}
		0-42-0	7.14	4				
		0-0-60	20	4				
T_3	CF ^{2/}	16-16-16	50, 50	1, 3	41.61 ^b	45.67 ^a	43.36 ^a	39.25 ^{abc}
		46-0-0	20	3				
T_4	CR-NF ^{3/}	12-12-12	66, 66	1, 3	43.32 ^a	46.32 ^a	43.79 ^a	41.53 ^a
		41-0-0	23	3				
T_5	CR-F ^{4/}	16-16-16	50, 50	1, 3	42.56 ^{ab}	46.12 ^a	43.68 ^a	40.84 ^{ab}
		40-0-0	23	3				
T_6	CF ^{2/}	16-16-16	25, 25	1, 3	37.98 ^{cd}	39.42 ^d	38.76 ^{cd}	37.65 ^{bcd}
		46-0-0	10	3				
T_7	CR-NF ^{3/}	12-12-12	33, 33	1, 3	38.16 ^c	43.85 ^b	42.15 ^{ab}	38.77 ^{abcd}
		41-0-0	11.5	3				
T_8	CR-F ^{4/}	16-16-16	25, 25	1, 3	38.11 ^{cd}	42.11 ^c	40.28 ^{bc}	38.12 ^{abcd}
		40-0-0	11.5	3				
T_9	CR-F ^{4/}	12-12-12	33	1	36.87 ^{cde}	37.54 ^e	37.15 ^{de}	36.42 ^{cde}
T_{10}	CR-F ^{4/}	12-12-12	16.5	1	36.12 ^e	36.55 ^{ef}	35.74 ^{ef}	32.71 ^{fg}
T_{11}	OMC ^{5/}	13-13-13	30	1	36.26 ^e	37.22 ^{ef}	36.63 ^{de}	33.54 ^{efg}
T_{12}	OMC ^{5/}	13-13-13	15	1	35.92 ^e	36.24 ^f	33.58 ^f	30.84 ^g
F-test					**	**	**	**
CV (%)					12.52	13.92	13.81	12.13

Note ^{1/} = Months after planting

^{2/} = chemical fertilizer

^{3/} = controlled release-nano chemical fertilizers

^{4/} = controlled release chemical fertilizers

^{5/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)

^{6/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT

** indicates significant difference at $p < 0.01$

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย

2.1 ผลผลิตอ้อยสด จำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำ

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตัวรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตอ้อยสด จำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำของอ้อยที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ T₄ มีผลให้ผลผลิตอ้อยสดมากที่สุด (20.53 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ T₅ และ T₉ นอกจากนี้ T₄ มีผลให้จำนวนลำต่อไร่ของอ้อยมากที่สุด (9,837 ลำ/ไร่) ไม่แตกต่างกับ T₅, T₃, T₇ และ T₈ ขณะที่ T₄ มีผลให้น้ำหนักต่อลำของอ้อยมากที่สุด (2.11 กิโลกรัม/ลำ) ไม่แตกต่างกับ T₅ ส่วนตัวรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตอ้อยสด จำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำของอ้อยต่ำที่สุด (8.38 ตัน/ไร่ 8,895 ลำ/ไร่ และ 0.98 กิโลกรัม/ลำ ตามลำดับ)

Table 6 Yield, number of stalk/rai and weight/stalk of sugarcane at 12 MAP^{1/}

Treatments	Treatment description				Yield (ton/rai)	Number of stalk (stalk/rai)	Weight/stalk (kg)
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (MAP ^{1/})			
T ₁	-	-	-	-	8.38 ^{g 6/}	8,895 ^{f 6/}	0.98 ^{h 6/}
T ₂	CF ^{2/}	21-0-0	28.57, 28.57	2, 4	14.53 ^e	9,539 ^c	1.50 ^{ef}
		0-42-0	7.14	4			
		0-0-60	20	4			
T ₃	CF ^{2/}	16-16-16	50, 50	1, 3	18.79 ^{abc}	9,813 ^{ab}	1.92 ^{bc}
		46-0-0	20	3			
T ₄	CR-NF ^{3/}	12-12-12	66, 66	1, 3	20.53 ^a	9,837 ^a	2.11 ^a
		41-0-0	23	3			
T ₅	CR-F ^{4/}	16-16-16	50, 50	1, 3	19.36 ^{ab}	9,825 ^{ab}	1.99 ^{ab}
		40-0-0	23	3			
T ₆	CF ^{2/}	16-16-16	25, 25	1, 3	16.83 ^d	9,733 ^b	1.73 ^d
		46-0-0	10	3			
T ₇	CR-NF ^{3/}	12-12-12	33, 33	1, 3	17.59 ^{bcd}	9,753 ^{ab}	1.83 ^{cd}
		41-0-0	11.5	3			
T ₈	CR-F ^{4/}	16-16-16	25, 25	1, 3	17.23 ^{cd}	9,741 ^{ab}	1.78 ^{cd}
		40-0-0	11.5	3			
T ₉	CR-F ^{4/}	12-12-12	33	1	14.79 ^e	9,583 ^c	1.52 ^e
T ₁₀	CR-F ^{4/}	12-12-12	16.5	1	12.59 ^f	9,326 ^d	1.36 ^{fg}
T ₁₁	OMC ^{5/}	13-13-13	30	1	13.83 ^{ef}	9,525 ^c	1.47 ^{efg}
T ₁₂	OMC ^{5/}	13-13-13	15	1	12.33 ^f	9,228 ^e	1.33 ^g
F-test					**	**	**
CV (%)					15.69	14.59	12.92

Note ^{1/} = Months after planting

^{2/} = chemical fertilizer

^{3/} = controlled release-nano chemical fertilizers

^{4/} = controlled release chemical fertilizers

^{5/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)

^{6/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT

** indicates significant difference at p< 0.01

2.2 ความยาวลำ และเส้นผ่านศูนย์กลางลำ การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตัวควบคุม (control) มีผลให้ความยาวลำและเส้นผ่านศูนย์กลางลำของอ้อยที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ T_4 มีผลให้

ความยาวลำของอ้อยมากที่สุด (318.40 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ T_5 และ T_3 นอกจากนี้ T_4 ยังมีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำของอ้อยมากที่สุด (3.26 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ T_5 , T_3 และ T_7 ขณะที่ตัวควบคุม (control) มีผลให้ความยาวลำและเส้นผ่านศูนย์กลางลำของอ้อยน้อยที่สุด (212.43 และ 2.12 เซนติเมตรตามลำดับ)

Table 7 Stalk height and stalk diameter of sugarcane at 12 MAP^{1/}

Treatments	Treatment description				Stalk height	Stalk diameter
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (MAP ^{1/})	(cm)	(cm)
T_1	-	-	-	-	212.43 ^{f 6/}	2.12 ^{g 6/}
T_2	CF ^{2/}	21-0-0	28.57, 28.57	2, 4	270.50 ^d	2.73 ^{de}
		0-42-0	7.14	4		
		0-0-60	20	4		
T_3	CF ^{2/}	16-16-16	50, 50	1, 3	311.51 ^{ab}	3.18 ^{ab}
		46-0-0	20	3		
T_4	CR-NF ^{3/}	12-12-12	66, 66	1, 3	318.40 ^a	3.26 ^a
		41-0-0	23	3		
T_5	CR-F ^{4/}	16-16-16	50, 50	1, 3	315.54 ^a	3.24 ^a
		40-0-0	23	3		
T_6	CF ^{2/}	16-16-16	25, 25	1, 3	286.39 ^c	2.88 ^{cd}
		46-0-0	10	3		
T_7	CR-NF ^{3/}	12-12-12	33, 33	1, 3	305.63 ^b	3.13 ^{ab}
		41-0-0	11.5	3		
T_8	CR-F ^{4/}	16-16-16	25, 25	1, 3	293.55 ^c	3.02 ^{bc}
		40-0-0	11.5	3		
T_9	CR-F ^{4/}	12-12-12	33	1	274.47 ^d	2.84 ^d
T_{10}	CR-F ^{4/}	12-12-12	16.5	1	254.31 ^e	2.43 ^f
T_{11}	OMC ^{5/}	13-13-13	30	1	265.40 ^d	2.58 ^{ef}
T_{12}	OMC ^{5/}	13-13-13	15	1	246.43 ^e	2.23 ^g
F-test					**	**
CV (%)					13.94	13.32

Note ^{1/} = Months after planting

^{2/} = chemical fertilizer

^{3/} = controlled release-nano chemical fertilizers

^{4/} = controlled release chemical fertilizers

^{5/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)

^{6/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT

** indicates significant difference at $p < 0.01$

2.3 ค่า commercial cane sugar (CCS) และผลผลิตน้ำตาล

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตัวรับควบคุม (control) มีผลให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 8) กล่าวคือ T_4 มีผลให้ค่า CCS ของอ้อยมากที่สุด (12.28 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ T_5 ,

T_3 , T_7 , T_8 และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_6) ขณะที่ T_4 มีผลให้ผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด (2.52 ตัน/ไร่) รองลงมา คือ T_5 ซึ่งไม่แตกต่างกับ T_3 ส่วนตัวรับควบคุม (control) มีผลให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยน้อยที่สุด (8.36 เปอร์เซ็นต์ และ 0.70 ตัน/ไร่ ตามลำดับ)

Table 8 CCS and sugar yield of sugarcane at 12 MAP^{1/}

Treatments	Treatment description				CCS (%)	Sugar yield (ton/rai)
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (MAP ^{1/})		
T_1	-	-	-	-	8.36 ^{e g/}	0.70 ^{h g/}
T_2	CF ^{2/}	21-0-0	28.57, 28.57	2, 4	10.63 ^{bc}	1.54 ^a
		0-42-0	7.14	4		
		0-0-60	20	4		
T_3	CF ^{2/}	16-16-16	50, 50	1, 3	12.00 ^a	2.25 ^b
		46-0-0	20	3		
T_4	CR-NF ^{3/}	12-12-12	66, 66	1, 3	12.28 ^a	2.52 ^a
		41-0-0	23	3		
T_5	CR-F ^{4/}	16-16-16	50, 50	1, 3	12.15 ^a	2.35 ^b
		40-0-0	23	3		
T_6	CF ^{2/}	16-16-16	25, 25	1, 3	11.27 ^{ab}	1.90 ^d
		46-0-0	10	3		
T_7	CR-NF ^{3/}	12-12-12	33, 33	1, 3	11.87 ^a	2.09 ^c
		41-0-0	11.5	3		
T_8	CR-F ^{4/}	16-16-16	25, 25	1, 3	11.56 ^{ab}	1.99 ^{cd}
		40-0-0	11.5	3		
T_9	CR-F ^{4/}	12-12-12	33	1	10.72 ^{bc}	1.59 ^e
T_{10}	CR-F ^{4/}	12-12-12	16.5	1	9.58 ^d	1.21 ^g
T_{11}	OMC ^{5/}	13-13-13	30	1	9.86 ^{cd}	1.36 ^f
T_{12}	OMC ^{5/}	13-13-13	15	1	9.42 ^d	1.16 ^g
F-test					**	**
CV (%)					12.16	11.46

Note ^{1/} = Months after planting

^{2/} = chemical fertilizer

^{3/} = controlled release-nano chemical fertilizers

^{4/} = controlled release chemical fertilizers

^{5/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)

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

** indicates significant difference at $p < 0.01$

2.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักที่สะสมในท่อน้ำของอ้อย

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตัวควบคุม (control) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในท่อน้ำของอ้อยที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทาง

สถิติ (Table 9) กล่าวคือ T_4 มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในท่อน้ำของอ้อยมากที่สุด (0.338, 0.058 และ 0.523 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับ T_5 และ T_3 ขณะที่ตัวควบคุม (control) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในท่อน้ำของอ้อยน้อยที่สุด (0.123, 0.010 และ 0.189 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

Table 9 Concentrations of major plant nutrients in stalk of sugarcane at 12 MAP^{1/}

Treatments	Treatment description				Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (MAP ^{1/})			
T_1	-	-	-	-	0.123 ^g _{6/}	0.010 ^f _{6/}	0.189 ^f _{6/}
T_2	CF ^{2/}	21-0-0	28.57, 28.57	2, 4	0.276 ^d	0.023 ^c	0.439 ^c
		0-42-0	7.14	4			
		0-0-60	20	4			
T_3	CF ^{2/}	16-16-16	50, 50	1, 3	0.326 ^a	0.051 ^a	0.512 ^a
		46-0-0	20	3			
T_4	CR-NF ^{3/}	12-12-12	66, 66	1, 3	0.338 ^a	0.058 ^a	0.523 ^a
		41-0-0	23	3			
T_5	CR-F ^{4/}	16-16-16	50, 50	1, 3	0.331 ^a	0.056 ^a	0.518 ^a
		40-0-0	23	3			
T_6	CF ^{2/}	16-16-16	25, 25	1, 3	0.283 ^{cd}	0.036 ^b	0.443 ^c
		46-0-0	10	3			
T_7	CR-NF ^{3/}	12-12-12	33, 33	1, 3	0.300 ^b	0.043 ^b	0.463 ^b
		41-0-0	11.5	3			
T_8	CR-F ^{4/}	16-16-16	25, 25	1, 3	0.292 ^{bc}	0.041 ^b	0.458 ^b
		40-0-0	11.5	3			
T_9	CR-F ^{4/}	12-12-12	33	1	0.235 ^e	0.021 ^{cd}	0.363 ^d
T_{10}	CR-F ^{4/}	12-12-12	16.5	1	0.211 ^f	0.015 ^{def}	0.235 ^e
T_{11}	OMC ^{5/}	13-13-13	30	1	0.230 ^e	0.018 ^{cde}	0.357 ^d
T_{12}	OMC ^{5/}	13-13-13	15	1	0.203 ^f	0.012 ^{ef}	0.231 ^e
F-test					**	**	**
CV (%)					12.94	11.31	12.85

Note ^{1/} = Months after planting

^{2/} = chemical fertilizer

^{3/} = controlled release-nano chemical fertilizers

^{4/} = controlled release chemical fertilizers

^{5/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)

^{6/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT

** indicates significant difference at $p < 0.01$

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต รวมทั้งความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในท่อน้ำของอ้อยดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้า การค้า) การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา และการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ท ตามลำดับ ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการวิจัยที่รายงานว่า การใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อยมีผลดีต่อการเพิ่มผลผลิตของอ้อย เพราะการใช้ปุ๋ยประเภทนี้ช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงดินได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่น การลดการสูญเสียไนโตรเจนในดินโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification process) ได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีในโตรเจนประเภทละลายเร็ว (Morgan, 2009; Zwieten *et al.*, 2016) เนื่องจากกลไกการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคมีควบคุมการปลดปล่อยและปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย จะดูดซึมน้ำและความชื้นในดินผ่านเปลือกที่หุ้มเม็ดเข้าไปในเม็ดปุ๋ยแล้วละลายตัวปุ๋ยเกิดเป็นสารละลายเกลือที่เข้มข้นภายในเปลือกของปุ๋ยแต่ละเม็ด ในสภาพเช่นนี้จะทำให้เกิดความดันออสโมซิส (osmotic pressure) ขึ้นภายในและเมื่อมีความดันสูงจนถึงระดับหนึ่ง จะมีผลทำให้น้ำปุ๋ยในรูปสารละลายค่อยๆ แพร่ซึมผนังเปลือกเม็ดปุ๋ยที่บริเวณออกมาภายนอกอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอเป็นระยะเวลานาน ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ (ปิยะ, 2538; วียงค์ และคณะ, 2557)

สรุป

การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_4) มีผลให้ความสูงของต้น จำนวนลำใน 1 แถวเมตร ค่าความเขียวของใบ ผลผลิตอ้อยสด ความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ ปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

ที่สะสมในท่อน้ำของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_5) และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก (T_3) นอกจากนี้ T_4 ยังมีผลให้ผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด รองลงมา คือ T_5 ซึ่งไม่แตกต่างกับ T_3

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัยระหว่างศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) รวมทั้งบริษัท วาย.วี.พี เฟอร์ติไลเซอร์ จำกัด ที่สนับสนุนปุ๋ยเคมีตลอดระยะเวลาการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบไฮด์รอสโคปิก. คณะเกษตร กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ศุภชัย อำคา และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้ของโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตอ้อยและสมบัติของดิน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 6 (1) : 21-32.
- ณัฐภัทร ถาวรกิจการ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, ทศพล พรพรม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของการจัดการปุ๋ยเคมีร่วมกับซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตและ

- ผลผลิตของอ้อยตอ (ปีที่ 1) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2 (1): 68-81.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรัสกร จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นาวา ทวิชาโรตม, ปิยะ ดวงพัตรา, ปิติ กันตังกุล และจุฑามาศ ร่มแก้ว. 2562. ประสิทธิภาพทางการเกษตรและความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยไนโตรเจน. วารสารเกษตร 47 (2) : 259-270.
- นัฐพร กลิ่นหอม, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ทศพล พรพรม และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. ผลของการจัดการปุ๋ยธาตุอาหารหลักร่วมกับสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย. วารสารเกษตร 46 (4): 709-720.
- ปิยะ ดวงพัตรา. 2538. หลักการและวิธีการใช้ปุ๋ยเคมี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปัญญาพัชญ์ มิ่งมิตร, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฑามาศ ร่มแก้ว, สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์ และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. ผลของการจัดการปุ๋ยร่วมกับโบรอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 (1) : 1-14.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2558. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ยศวดี เม่งเอียด, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2561. ผลของการจัดการปุ๋ยเคมีร่วมกับโบรอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอ (ปีที่ 1) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 1 (2): 80-94.
- วรัญญา เอมถมยา, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2561. ผลของการจัดการปุ๋ยเคมีร่วมกับสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอ (ปีที่ 1) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 1 (2): 66-79.
- วียงค์ กังวานสุขมงคล, สุวัชชัย จรัสโสภณ, ภาวิณี พงษ์วัน, ธนกร วิรุฬห์มงคล, กนิษฐา บุญภาวนา และกมลทิศา กุล และกมลทิศา กุล. 2557. กรรมวิธีการเตรียมเมล็ดปุ๋ยเคมีจากการเคลือบด้วยสารเคลือบชนิดโพลิเมอร์-นาโนเคลย์คอมพอสิตและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรรมวิธีดังกล่าว. สิทธิบัตรไทยเลขที่ 1401003878.
- ศุภณัฏฐา นานเทคโนโยลีแห่งชาติ. 2557. กรรมวิธีการเตรียมเมล็ดปุ๋ยเคมีจากการเคลือบด้วยสารเคลือบชนิดโพลิเมอร์-นาโนเคลย์คอมพอสิตและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรรมวิธีดังกล่าว. สิทธิบัตรไทยเลขที่ 1401003878.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Bhanuvally, M., Y.M. Ramesha and H. Yogeeshappa. 2017. Effect of slow releasing nitrogen fertilizers on growth and yield of sugarcane. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6: 570-577.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Garrett, J., B. Tubana, S. Kwakye, W. Paye, F.B. Agostinho, D. Forestieri, M.S. Daren and M. Martins. 2017. Controlled release nitrogen fertilizer and application timing: soil N, leaf N and yield respond in sugarcane. In Proceedings of Managing Global Resources for a Secure Future 2017 Annual meeting, USA.

- Morgan, K.T. 2009. Improved fertilizer use efficiency with controlled release sources on sandy soils in South Florida. Southwest Florida Research and Education Center, Florida.
- Mullen, R.W. 2011. Nutrient cycling in soils: nitrogen. In Hatfield, J.L., Sauer, T.J. (Eds.), Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 67-78.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. p. 1022-1030. In C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part II. Amer. Soc. of Agron, Inc. Madison, Wisconsin.
- Soil Survey Staff. 2003. Key to Soil Taxonomy: Ninth Edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C. 332 p.
- Verburg, K., T.H. Muster, Z. Zhao, J.S. Biggs, P.J. Thorburn, J. Kandulu, K. Witter-Schmid, G. McLachlan, K.L. Bristow, J. Poole, M.F.T. Wong and J.I. Mardell. 2017. Roles of controlled release fertilizer in Australian sugarcane system: final report 2014/11. Sugar Research Australia Ltd., Australia.
- Walkley, 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.
- Zwieten, L.V., J. Rush, T.J. Rose, S. Joseph, R. Beattie, S. Donne, G. Butler, R. Quirk, S. Kimber and S. Morris. 2016. Assessing controlled release and deep placement N fertilizer technologies in subtropical sugarcane, pp 1-4. In Proceedings of the 2016 International Nitrogen Initiative Conference. Melbourne, Australia.

ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรม
 เยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Effects of Powder, Pellet and Granular Organic Fertilizers from Pulp and Paper Industry
 on Growth and Yield of Maize

ดุษฎีนิยา สิมมา¹ ชัยสิทธิ์ ทองจู^{1*} วัชรชัย อินทร์บุญช่วย¹ จุฑามาศ ร่มแก้ว²
 เกวลิน ศรีจันทร์¹ อัญธิชา พรมเมืองคุก¹ สิริินภา ช่างโสภาส¹ สุชาดา กรุณา¹
 ศิริสุดา บุตรเพชร¹ ชาลินี คงสุต³ ธรรมธวัช แสงงาม³ และธีรยุทธ คล้าชื่น⁴

Dutchaneeya Simma¹ Chaisit Thongjoo^{1*} Tawatchai Inboonchuay¹ Jutamas Romkaew²

Kavalin Srichan¹ Aunthicha Phommuangkhu¹ Sirinapa Chungopast¹ Suchada Karuna¹

Sirisuda Bootpetch¹ Chalinee Khongsud³ Thamthawat Saengngam³ and Teerayut Klumchaun⁴

Abstract: This study investigated the effects of powder, pellet and granular organic fertilizers (OF) from pulp and paper industry 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 (RCB) with 3 replications and consisted of 14 treatments. The results revealed that the application of powder OF-B of 900 kg/rai in combination with chemical fertilizer (CF) containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the powder OF-B gave the highest plant height, ear weight, ear without husk weight, grain weight and 1,000 grain weight which were not significantly different from the application of powder OF-A of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the powder OF-A, and the application of pellet OF-B of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the pellet OF-B. The application of powder OF-A of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the powder OF-A provided the highest leaf greenness value, total N and protein in grain which were not significantly different from the application of powder OF-B of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the powder OF-B, and the application of pellet OF-A of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the pellet OF-A.

Keywords: maize, organic fertilizer, waste materials

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

² ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

³ ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

⁴ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12130

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

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

³ Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140.

⁴ Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12130.

* Corresponding author: agrcht@ku.ac.th และ thongjuu@yahoo.com

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์ดีสโตน 188 ที่ปลูกในชุดดินก้ำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 14 ดำรับทดลอง ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ความสูงต้น น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ค่าความเขียวของใบ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่

คำสำคัญ: ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, ปุ๋ยอินทรีย์, วัสดุเหลือใช้

คำนำ

ในปีเพาะปลูก 2561/62 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 6.87 ล้านไร่ ผลผลิต 4.99 ล้านตัน และผลผลิตเฉลี่ย 727 กิโลกรัม/ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และปริมาณผลผลิตไม่แน่นอน แนวทางที่ช่วยส่งเสริมผลผลิตของข้าวโพดให้สูงขึ้น คือ การเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ เช่น การใช้ผลพลอยได้จากภาคเกษตรหรือภาคอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ธนสมณท์ และคณะ, 2555; ชัยวัฒน์ และคณะ, 2558; Thongjoo *et al.*, 2002) เป็นต้น ที่ผ่านมามีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้จากภาคอุตสาหกรรมเกษตรมาช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เช่น การใช้กากตะกอนเยื่อกระดาษ (จันจิรา และคณะ, 2552) กากตะกอนยีสต์จากโรงงานเอทานอล (ชัยวัฒน์ และคณะ, 2558) กากสับปะรด (กัญญ์วิมล และคณะ, 2555) เปลือกปื๊ด (ดิชนียา และคณะ, 2562) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตอาหาร (เกียรติศักดิ์ และชัยสิทธิ์, 2561) ผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) ผสมซีเมนต์ (ธนสมณท์ และคณะ, 2561) เป็นต้น โรงงาน

อุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยผลพลอยได้ส่วนใหญ่มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อยและอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005) การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากกากตะกอน (activated sludge) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ากากตะกอนน้ำเสียเหล่านั้นสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีกับพืชเศรษฐกิจชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น ข้าว (นฤพน และคณะ, 2556) อ้อย (ปิยพงศ์ และคณะ, 2560; ชาลี และคณะ, 2562) มันสำปะหลัง (ธีรยุทธ และคณะ, 2560) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ธนสมณท์ และคณะ, 2561; รุจิกร และคณะ, 2562; วิไลรัตน์ และคณะ, 2562) เป็นต้น จากประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้นจึงเกิดแนวคิดในการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมแล้ว ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งของผลพลอยได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ซีดส์เทค 188 ในช่วงเดือนสิงหาคม-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ณ แปลงทดลองของภาคการปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic, Soil Survey Staff, 2003) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design) จำนวน 3 ซ้ำ 14 ดำรับทดลอง (Table 1) ประกอบ

ด้วย 42 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 4.5 เมตร ยาว 6.0 เมตร จำนวน 5 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 0.75 เมตร เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตรเพื่อวิเคราะห์สมบัติของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเนื้อดิน สำหรับสมบัติของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน (Table 2) เก็บข้อมูลผลผลิตของข้าวโพดเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถว ประมาณ 1 เมตร คิดเป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 3.0 x 4.0 ตารางเมตร

Table 1 Detail of treatments

Treatments	Descriptions	Symbols	Quantity of major elements (kgN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)
T ₁	no fertilizer and organic fertilizer (OF) treatment	control	0-0-0
T ₂	the application of chemical fertilizer (CF) based on soil chemical analysis	CF _{DOA}	20 - 5 - 10
T ₃	the application of powder OF-A of 1,800 kg/rai	OF-A _{powder-1800}	20.16 - 35.46 - 40.68
T ₄	the application of powder OF-A of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements (N, P, K) equivalent to 900 kg/rai of the powder OF-A	OF-A _{powder-900} + CF _{OF-A_powder-900}	20.16 - 35.46 - 40.68
T ₅	the application of pellet OF-A of 1,800 kg/rai	OF-A _{pellet-1800}	18.54 - 34.92 - 38.52
T ₆	the application of pellet OF-A of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the pellet OF-A	OF-A _{pellet-900} + CF _{OF-A_pellet-900}	18.54 - 34.92 - 38.52
T ₇	the application of granular OF-A of 1,800 kg/rai	OF-A _{granular-1800}	15.66 - 27.72 - 31.32
T ₈	the application of granular OF-A of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the granular OF-A	OF-A _{granular-900} + CF _{OF-A_granular-900}	15.66 - 27.72 - 31.32
T ₉	the application of powder OF-B of 1,800 kg/rai	OF-B _{powder-1800}	19.44 - 34.92 - 44.28
T ₁₀	the application of powder OF-B of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the powder OF-B	OF-B _{powder-900} + CF _{OF-B_powder-900}	19.44 - 34.92 - 44.28
T ₁₁	the application of pellet OF-B of 1,800 kg/rai	OF-B _{pellet-1800}	16.92 - 34.20 - 42.12
T ₁₂	the application of pellet OF-B of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the pellet OF-B	OF-B _{pellet-900} + CF _{OF-B_pellet-900}	16.92 - 34.20 - 42.12
T ₁₃	the application of granular OF-B of 1,800 kg/rai	OF-B _{granular-1800}	14.94 - 27.18 - 33.12
T ₁₄	the application of granular OF-B of 900 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 900 kg/rai of the granular OF-B	OF-B _{granular-900} + CF _{OF-B_granular-900}	14.94 - 27.18 - 33.12

Table 2 Properties of soil before the experiment

Properties	Results (0-30 cm)	Rating
pH (1:1 water)	7.78	slightly alkaline
EC _e (dS/m)	0.46	non-saline
Organic matter (%) ^{1/}	0.93	low
Available P (mg/kg) ^{2/}	38.88	high
Exchangeable K (mg/kg) ^{3/}	44.98	low
Exchangeable Ca (mg/kg) ^{3/}	559	high
Exchangeable Mg (mg/kg) ^{3/}	64.85	moderately
Exchangeable Na (mg/kg) ^{3/}	23.58	-
Texture ^{4/}	sandy loam	-

Note ^{1/} = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934) ^{2/} = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)

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

^{4/} = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (42 %P₂O₅) และ ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 %K₂O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 20 และ 40 วันหลังปลูก ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ 20, 5 และ 10 กิโลกรัม N, P₂O₅ และ K₂O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการ เกษตร, 2553) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง มาจากโครงการพัฒนาระบบการระหว่าง บริษัท ดี. เอ. รีเซิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะ เกษตร กำแพงแสน ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการ พัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. โดยปุ๋ย อินทรีย์ชนิดผงสูตร A และสูตร B ประกอบด้วยกากมัน สำปะหลัง : กากตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการบำบัด : ขี้เถ้าลอย เท่ากับ 5 : 2 : 5 และ 4 : 2 : 4 โดยปริมาตร ตามลำดับ จากนั้น นำปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงไปอัดเม็ด และบดเม็ดต่อไป (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2562) การใส่ ปุ๋ยอินทรีย์ใส่เพียงครั้งเดียวในแต่ละตำรับทดลองที่ อายุ 20 วันหลังปลูก สำหรับสมบัติบางประการของ

ปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน (Table 3)

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพด เลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก ได้แก่ ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) (วัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด) โดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (Minolta Co., Ltd., JAPAN: SPAD-502 model) สำหรับการเก็บข้อมูลผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนัก เมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโปรตีนในเมล็ด (คำนวณจากปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ด (%) x empirical factor โดย กำหนด empirical factor สำหรับเมล็ดข้าวโพดเท่ากับ 6.25) โดยข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ ประกอบผลผลิตที่ได้จากการทดลอง นำมาวิเคราะห์ ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test)

Table 3 Chemical and physical properties of organic fertilizer (OF)

Properties	OF-A			OF-B		
	powder	pellet	granular	powder	pellet	granular
pH (3:50)	9.04	8.78	8.62	9.00	8.88	8.47
EC 1:10 (dS/m)	8.78	8.62	7.23	9.23	8.94	7.65
Organic matter (%)	25.36	23.15	17.56	23.24	21.36	16.85
Organic carbon (%)	14.71	13.43	10.19	13.48	12.39	9.77
C:N ratio	13.13	13.04	11.71	12.48	13.18	11.78
Total N (%)	1.12	1.03	0.87	1.08	0.94	0.83
Total P ₂ O ₅ (%)	1.97	1.94	1.54	1.94	1.90	1.51
Total K ₂ O (%)	2.26	2.14	1.74	2.46	2.34	1.84
Total primary nutrients (%)	5.35	5.11	4.15	5.48	5.18	4.18
Total Ca (%)	19.59	18.23	13.25	19.18	18.32	12.88
Total Mg (%)	1.42	1.34	1.14	1.42	1.28	1.17
Total Na (%)	0.17	0.16	0.14	0.19	0.17	0.15
Germination index (%)	99.13	102.36	113.25	100.86	112.36	118.12
Moisture (%)	25.42	23.12	21.41	26.68	24.12	23.14

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ปรากฏผลดังนี้

1. การเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

1.1 ความสูงต้น

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งการควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูก พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่

(OF-B_{powder-900} + CF_{OF-B-powder-900}) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (149.63 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ (OF-A_{powder-900} + CF_{OF-A-powder-900}) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ (OF-B_{pellet-900} + CF_{OF-B-pellet-900}) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ (OF-A_{pellet-900} + CF_{OF-A-pellet-900}) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 1,800 กิโลกรัม/ไร่ (OF-B_{powder-1800}) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 1,800 กิโลกรัม/ไร่ (OF-A_{powder-1800})

ที่อายุ 2 เดือนหลังปลูก พบว่า $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (178.30 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{powder-900}}}$, $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{pellet-900}}}$, $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{pellet-900}}}$ และ $OF-B_{\text{powder-1800}}$ ส่วนที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้

ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (222.57 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{powder-900}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{pellet-900}}}$ ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต

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	85.00 ^{f 2/}	126.77 ^{h 2/}	147.53 ^{h 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	120.63 ^e	141.93 ^g	169.20 ^g
T ₃ = $OF-A_{\text{powder-1800}}$	144.77 ^{ab}	163.97 ^{bcd}	204.80 ^{bcd}
T ₄ = $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{powder-900}}}$	148.37 ^{ab}	175.20 ^a	220.43 ^a
T ₅ = $OF-A_{\text{pellet-1800}}$	136.97 ^c	162.67 ^{cde}	196.90 ^{de}
T ₆ = $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{pellet-900}}}$	147.23 ^{ab}	170.97 ^{abc}	208.63 ^b
T ₇ = $OF-A_{\text{granular-1800}}$	121.93 ^{de}	148.03 ^{fg}	181.20 ^f
T ₈ = $OF-A_{\text{granular-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{granular-900}}}$	128.10 ^{de}	154.03 ^{ef}	192.73 ^e
T ₉ = $OF-B_{\text{powder-1800}}$	145.60 ^{ab}	170.50 ^{abc}	207.53 ^{bc}
T ₁₀ = $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{powder-900}}}$	149.63 ^a	178.30 ^a	222.57 ^a
T ₁₁ = $OF-B_{\text{pellet-1800}}$	140.77 ^{bc}	163.57 ^{bcd}	199.37 ^{cde}
T ₁₂ = $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{pellet-900}}}$	148.20 ^{ab}	172.53 ^{ab}	218.70 ^a
T ₁₃ = $OF-B_{\text{granular-1800}}$	124.50 ^{de}	149.37 ^{fg}	181.97 ^f
T ₁₄ = $OF-B_{\text{granular-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{granular-900}}}$	129.43 ^d	159.30 ^{de}	193.47 ^e
F-test	**	**	**
CV (%)	13.28	13.23	12.38

^{1/} Months after planting

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

** indicates significant difference at p < 0.01

1.2 ค่าความเขียว (SPAD unit) ของใบ
การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ที่อายุ 1 และ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{powder-900}}}$ และ $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{pellet-900}}}$

ส่วนที่อายุ 2 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-A_{powder-900} + CF_{OF-A_{powder-900}} มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-B_{powder-900} + CF_{OF-B_{powder-900}}, OF-A_{pellet-900} + CF_{OF-A_{pellet-900}} และ OF-B_{pellet-900} + CF_{OF-B_{pellet-900}} โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 2 เดือนหลังปลูกมีค่าสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการศึกษา สอดคล้องกับงานวิจัยของธนสมณท์และคณะ (2561) รุจิกร และคณะ (2562) และวิลัย

รัตน์ และคณะ (2562) ที่ทดลองกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำ ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยที่ปลดปล่อยไนโตรเจนลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์นั่นเอง (ยงยุทธ, 2528) อย่างไรก็ตาม ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต

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

Treatments	SPAD unit		
	1 MAP	2 MAP	3 MAP
T ₁ = control	34.47 ^{i2/}	31.33 ^{i2/}	28.60 ^{i2/}
T ₂ = CF _{DOA}	36.60 ^{ij}	38.50 ^h	32.37 ^h
T ₃ = OF-A _{powder-1800}	44.73 ^{cde}	49.50 ^{bc}	42.37 ^{cd}
T ₄ = OF-A _{powder-900} + CF _{OF-A_{powder-900}}	48.43 ^a	53.37 ^a	47.73 ^a
T ₅ = OF-A _{pellet-1800}	42.40 ^{ef}	47.37 ^{cd}	40.50 ^{de}
T ₆ = OF-A _{pellet-900} + CF _{OF-A_{pellet-900}}	46.43 ^{abc}	52.17 ^a	45.43 ^{ab}
T ₇ = OF-A _{granular-1800}	37.63 ^{hi}	41.30 ^g	34.50 ^{gh}
T ₈ = OF-A _{granular-900} + CF _{OF-A_{granular-900}}	39.33 ^{gh}	44.43 ^{ef}	37.50 ^f
T ₉ = OF-B _{powder-1800}	43.57 ^{def}	48.43 ^{cd}	41.37 ^d
T ₁₀ = OF-B _{powder-900} + CF _{OF-B_{powder-900}}	47.63 ^{ab}	52.63 ^a	46.40 ^{ab}
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1800}	41.23 ^{fg}	46.30 ^{de}	38.37 ^{ef}
T ₁₂ = OF-B _{pellet-900} + CF _{OF-B_{pellet-900}}	45.43 ^{bcd}	51.47 ^{ab}	44.50 ^{bc}
T ₁₃ = OF-B _{granular-1800}	37.60 ^{hi}	40.43 ^{gh}	33.57 ^h
T ₁₄ = OF-B _{granular-900} + CF _{OF-B_{granular-900}}	38.27 ^{hi}	42.50 ^{fg}	36.50 ^{fg}
F-test	**	**	**
CV (%)	13.22	13.17	12.15

^{1/} Months after planting

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

** indicates significant difference at p< 0.01

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.1 น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ด

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆอย่างเดียวหรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งตัวควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (2,683.79 กิโลกรัม/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{powder-900}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{pellet-900}}}$ นอกจากนี้ $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{\\text{OF-B}_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้น้ำหนักฝักปอกเปลือกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (2,250.94 กิโลกรัม/ไร่)

ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{powder-900}}}$, $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{pellet-900}}}$, $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{pellet-900}}}$, $OF-B_{\text{powder-1800}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{powder-1800}}}$, $OF-A_{\text{powder-1800}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{powder-1800}}}$ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร B อัตรา 1,800 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-B_{\text{pellet-1800}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{pellet-1800}}}$) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร A อัตรา 1,800 กิโลกรัม/ไร่ ($OF-A_{\text{pellet-1800}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{pellet-1800}}}$) ส่วน $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้น้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (1,576.98 กิโลกรัม/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{powder-900}}}$, $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{pellet-900}}}$, $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{pellet-900}}}$, $OF-B_{\text{powder-1800}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{powder-1800}}}$, $OF-A_{\text{powder-1800}} + CF_{\text{OF-A}_{\text{powder-1800}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-1800}} + CF_{\text{OF-B}_{\text{pellet-1800}}}$ ขณะที่ตัวควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด (1,113.59, 930.28 และ 653.68 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ)

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	1,113.59 ^{1/}	930.28 ^{d 1/}	653.68 ^{e 1/}
T ₂ = CF _{DOA}	2,312.56 ^h	1,936.58 ^c	1,355.94 ^d
T ₃ = OF-A _{powder-1800}	2,643.85 ^{cde}	2,218.75 ^a	1,552.95 ^{ab}
T ₄ = OF-A _{powder-900} + CF _{OF-A_{powder-900}}	2,675.23 ^{ab}	2,245.78 ^a	1,569.49 ^{ab}
T ₅ = OF-A _{pellet-1800}	2,625.83 ^e	2,204.61 ^a	1,542.13 ^b
T ₆ = OF-A _{pellet-900} + CF _{OF-A_{pellet-900}}	2,658.79 ^{bcd}	2,231.37 ^a	1,560.15 ^{ab}
T ₇ = OF-A _{granular-1800}	2,514.27 ^g	2,111.42 ^b	1,476.51 ^c
T ₈ = OF-A _{granular-900} + CF _{OF-A_{granular-900}}	2,551.29 ^f	2,144.48 ^b	1,493.65 ^c
T ₉ = OF-B _{powder-1800}	2,650.43 ^{cd}	2,224.95 ^a	1,556.11 ^{ab}
T ₁₀ = OF-B _{powder-900} + CF _{OF-B_{powder-900}}	2,683.79 ^a	2,250.94 ^a	1,576.98 ^a
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1800}	2,638.79 ^{de}	2,212.58 ^a	1,549.62 ^{ab}
T ₁₂ = OF-B _{pellet-900} + CF _{OF-B_{pellet-900}}	2,665.42 ^{abc}	2,236.81 ^a	1,565.26 ^{ab}
T ₁₃ = OF-B _{granular-1800}	2,523.66 ^g	2,115.79 ^b	1,482.24 ^c
T ₁₄ = OF-B _{granular-900} + CF _{OF-B_{granular-900}}	2,563.84 ^f	2,150.58 ^b	1,500.71 ^c
F-test	**	**	**
CV (%)	14.53	13.91	13.15

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

** indicates significant difference at p < 0.01

2.2 น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนในเมล็ด

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งตัวควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (333.86 กรัม) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$, $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-900}}}$, $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-900}}}$, $OF-B_{\text{powder-1800}}$ และ $OF-A_{\text{powder-1800}}$ นอกจากนี้ $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (1.87 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$, $OF-A_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-A_{\text{pellet-900}}}$ และ $OF-B_{\text{pellet-900}} + CF_{OF-B_{\text{pellet-900}}}$

ส่วน $OF-A_{\text{powder-900}} + CF_{OF-A_{\text{powder-900}}}$ มีผลให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (11.69 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{\text{powder-900}} + CF_{OF-B_{\text{powder-900}}}$ ขณะที่ตัวควบคุม (control) มีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด (280.15 กรัม 1.08 และ 6.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่าทุกตัวทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดจัดอยู่ในประเภท “ข้าวโพดเมล็ดเกรด 1” คือ มีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง “กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ที่มีใช้สำหรับควบคุมเฉพาะ ประเภทวัตถุดิบ พ.ศ. 2559” (ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

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	280.15 ^{g 1/}	1.08 ^{k 1/}	6.75 ^{l 1/}
T ₂ = CF _{DOA}	326.52 ^f	1.52 ^j	9.50 ^k
T ₃ = OF-A _{powder-1800}	331.49 ^{abcd}	1.78 ^{bcd}	11.13 ^d
T ₄ = OF-A _{powder-900} + CF _{OF-A_{powder-900}}	333.59 ^{ab}	1.87 ^a	11.69 ^a
T ₅ = OF-A _{pellet-1800}	330.36 ^{cd}	1.74 ^{de}	10.88 ^e
T ₆ = OF-A _{pellet-900} + CF _{OF-A_{pellet-900}}	332.65 ^{abc}	1.83 ^{ab}	11.44 ^{bc}
T ₇ = OF-A _{granular-1800}	327.83 ^{ef}	1.60 ^{hi}	10.00 ⁱ
T ₈ = OF-A _{granular-900} + CF _{OF-A_{granular-900}}	329.42 ^{de}	1.68 ^{fg}	10.50 ^g
T ₉ = OF-B _{powder-1800}	332.15 ^{abc}	1.76 ^{cde}	11.00 ^{de}
T ₁₀ = OF-B _{powder-900} + CF _{OF-B_{powder-900}}	333.86 ^a	1.85 ^a	11.56 ^{ab}
T ₁₁ = OF-B _{pellet-1800}	331.26 ^{bcd}	1.71 ^{ef}	10.69 ^f
T ₁₂ = OF-B _{pellet-900} + CF _{OF-B_{pellet-900}}	332.78 ^{abc}	1.81 ^{abc}	11.31 ^c
T ₁₃ = OF-B _{granular-1800}	329.15 ^{de}	1.57 ^{ij}	9.81 ^j
T ₁₄ = OF-B _{granular-900} + CF _{OF-B_{granular-900}}	329.56 ^{de}	1.65 ^{gh}	10.31 ^h
F-test	**	**	**
CV (%)	12.17	12.01	11.98

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

** indicates significant difference at p < 0.01

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันงานวิจัยของจันจิรา และคณะ (2552) กัญญ์รัฐ และคณะ (2555) ชัยวัฒน์ และคณะ (2558) และธนสมณท์ และคณะ (2561) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะเวลาผ่านไป นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงมีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยภาพรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ด หรือปั้นเม็ดจะผ่านความร้อนเพื่อลดความชื้น จึงทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารได้ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ชนิดปั้นเม็ดจะมีการเติมวัสดุหรือดินขาวเพื่อให้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถขึ้นรูปเป็นเม็ดได้ จึงส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด และชนิดผง ตามลำดับ (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

สรุป

1. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ความสูงต้น น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก น้ำหนักเมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวโพดมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบ

เท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่

2. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ค่าความเขียวของใบ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวโพดมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผงสูตร B อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ดสูตร A อัตรา 900 กิโลกรัม/ไร่

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาวิชาการระหว่างภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และบริษัท ดี. เอ. รีเชิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. รวมทั้งบริษัท วาย.วี.พี เฟอริติไลเซอร์ จำกัด ที่สนับสนุนปุ๋ยเคมีตลอดระยะเวลาการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใส่ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- เกียรติศักดิ์ สนศรี และชัยสิทธิ์ ทองจุ. 2561. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารดินและปุ๋ย 40 (1): 27-38.
- กัญญ์รัฐ ภรณ์สิริภัสร์, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา, จุฑามาศ ร่มแก้ว, ชาลินี คงสุด และวิษณุ ชินธรรมมิตร. 2555. ผลของปุ๋ยหมักกากสบู่ดำต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์,

- น.1235-1247. ใน การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบโสตทัศนูปกรณ์. คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- จันจิรา แสงสีเหลือง, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฑามาศ ร่มแก้ว และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์. 2552. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน, น. 19-28. ใน การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ชาลินี คงสุด, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. การจัดการปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้โรงงานน้ำตาลต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อยปลูกและอ้อยต่อ 1 และสมบัติของดินบางประการ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2 (2): 35-47.
- ชัยวัฒน์ วงษ์ไกร, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ธนสมณท์ กุลการณย์เลิศ, อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2558. ผลของกากตะกอนยีสต์จากโรงงานเอทานอลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 999, น. 188-195. ใน การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 4 “ธรรมชาติของดินและความจริงของปุ๋ยเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืน”, สงขลา.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ, อัญชิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, สันชัย ภูเงิน, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และศิริสุดา บุตรเพชร. 2562. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง “การจัดการวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ และอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณีศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ร่วมจากมันเอทานอล ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ และเถ้าลอยชีวมวล”. นครปฐม.
- ดัชนียา สิมมา, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, เกวลิน ศรีจันทร์, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, อัญชิชา พรหมเมืองคุก, สิริณภา ช่วงโอภาส, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุด, ธรรมธัช แสงงาม, ธีรยุทธ คล้าชื่น และศิริโรจน์ สุวรรณโณ. 2562. การใช้ประโยชน์เปลือกปูปดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2 (2): 67-78.
- ธนสมณท์ กุลการณย์เลิศ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ และศุภชัย อำคา. 2555. ผลของกากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) ผสมขี้เถ้าลอยต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 999. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 (1) : 29-41.
- ธนสมณท์ กุลการณย์เลิศ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฑามาศ ร่มแก้ว และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 36 (1): 40-49.
- ธีรยุทธ คล้าชื่น, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ทศพล พรพรหม และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง และสมบัติของดิน. วารสารแก่นเกษตร 45 (4): 711-720.
- นฤพน รักขยัน, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา, จุฑามาศ ร่มแก้ว และ ศิริสุดา บุตรเพชร. 2556. การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงาน

- ผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าว, น. 100-110. ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนครั้งที่ 10 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ. นครปฐม.
- ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ที่มีใช้ อาหารสัตว์ควบคุมเฉพาะ ประเภทวัตถุดิบ พ.ศ. 2559. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://legal.dld.go.th/web2012/news/P15/133242201025593.PDF> (7 พฤษภาคม 2563).
- ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และพงษ์เพชร พงษ์ศิริวาทย์. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อสมบัติดิน ผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิตอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 35 (3): 19-28.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2528. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.
- ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต สงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- รุจิกร ศรีมั่นม่วง, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, กนกกร สีนมา, สิริินภา ช่วงโอภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ทิพา พาโคกทม, จิราพร เชื้อกุล, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากโรงงานผลิตเอทานอลต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสนและสมบัติของดินบางประการ. วารสารวิชาการเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน สายวิทยาศาสตร์ 2 (1): 42-56.
- วิไลรัตน์ แป้นแก้ว, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, กนกกร สีนมา, สิริินภา ช่วงโอภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และสมบัติของดินบางประการ. วารสารวิชาการเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน สายวิทยาศาสตร์ 2 (1): 28-41.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. P. 1022-1030. In: C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis. Part II.* Amer. Soc. of Agron, Inc. Madison, Wisconsin.
- 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., Panichsakpatana, S. and Miyagawa, S. 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 Prod. Sci. 8 (4):
475-481.

Walkley, 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.



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Journal of Science and Technology Kasetsart University

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2563

Vol. 9 No. 2 August 2020

ISSN 2286-6558



วารสารวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอปีที่ 1 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

Effect of Chemical Fertilizers Coated with Nano Material Controlling Release of Nutrients on Growth and Yield of 1st Ratoon Cane Planted in Kamphaeng Saen Soil Series

ฤทัยรัตน์ ห้อยสัน,¹ ชัยสิทธิ์ ทองจู,^{1*} วัชรชัย อินทร์บุญช่วย,¹ สิริินภา ช่วงโสภาส,¹ วียงค์ กังวานศุภมงคล,² เกวลิน ศรีจันทร์,¹ อัญธิชา พรมเมืองคุก,¹ สุชาดา กรุณา,¹ ศิริสุดา บุตรเพชร,¹ ชาลิณี คงสุต,³ ธรรมธวัช แสงงาม³ และธีรยุทธ คล้าชื่น⁴

Ruethairat Hoisan,¹ Chaisit Thongjoo,^{1} Tawatchai Inboonchuay,¹ Sirinapa Chungopast,¹ Wiyong Kangwansupamonkon,² Kavalin Srichan,¹ Aunthicha Phommuangkhu,¹ Suchada Karuna,¹ Sirisuda Bootpetch,¹ Chalinee Khongsud,³ Thamthawat Saengngam³ and Teerayut Klumchaun⁴*

ABSTRACT

The effect of chemical fertilizers coated with nano material controlling release of nutrients on growth and yield of 1st ratoon cane var. Kamphaeng Saen 01-4-29 planted in Kamphaeng Saen soil series was investigated. Plots were arranged in Randomized Complete Block Design (RCBD) consisting of 12 treatments and 3 replications. The study revealed that the application of controlled release-nano chemical fertilizers (CR-NF) formula 12-12-12 of 66 kg/rai/time at 1 and 3 months in combination with 23 kg/rai of CR-NF formula 41-0-0 at 3 months (T₄)

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakorn Pathom 73140, Thailand.

²ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย จ.ปทุมธานี 12120

National Nanotechnology Center, National Science and Technology Development Agency, 111 Thailand Science Park, Pathum Thani 12120 Thailand.

³ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140 Thailand.

⁴คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130, Thailand.

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

gave the highest plant height, number of stalks for one-meter row, leaf greenness, stalk height, stalk diameter and concentrations of N, P, K in stalks. This was not significantly different from the application of controlled release chemical fertilizers (CR-F) formula 16-16-16 of 50 kg/rai/time at 1 and 3 months in combination with 23 kg/rai of CR-F formula 40-0-0 at 3 months (T_5) and the application of chemical fertilizers (CF) formula 16-16-16 of 50 kg/rai/time at 1 and 3 months in combination with 20 kg/rai of CF formula 46-0-0 at 3 months (T_3). Furthermore, T_4 gave the highest fresh yield and sugar yield which was not significantly different from the comparable to T_5 .

Keywords: controlled release-nano chemical fertilizers, 1st ratoon cane

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยต่อปีที่ 1 พันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ประกอบด้วย 12 ดำรับทดลอง ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_4) มีผลให้ความสูงของต้น จำนวนลำใน 1 แถวเมตร ค่าความเขียวของใบ ความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ ปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในลำของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_5) และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_3) นอกจากนี้ T_4 ยังมีผลให้ผลผลิตอ้อยสดและผลผลิตน้ำตาลของอ้อยต่อมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5

คำสำคัญ: ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย อ้อยต่อปีที่ 1

คำนำ

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561) รายงานว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อย 12.24 ล้านไร่ ได้ผลผลิตอ้อยสด 131.48 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 10.75 ตัน/ไร่ ปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกพืชเศรษฐกิจส่วนใหญ่ของประเทศประสบปัญหาต้นทุนการผลิตที่สูงและรายได้จากผลผลิตลดลง (นาวา และคณะ,

2562) แนวทางในการทำการเกษตรกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชที่นิยมปฏิบัติโดยทั่วไป คือ การใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น แต่ปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้ส่วนใหญ่มีสมบัติละลายน้ำและทำปฏิกิริยากับดินได้อย่างรวดเร็วภายหลังจากใส่ลงดิน (ปิยะ, 2538) ทำให้ธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีที่ละลายง่ายออกมาบางส่วนทำปฏิกิริยากับดินและถูกดูดตรึงอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ บางส่วนสูญหายไปโดยกระบวนการต่างๆ ในดิน เช่น อิมโมบิไลเซชัน (immobilization) การแปรสภาพเป็นแก๊สโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) การสูญหายในรูปแอมโมเนียของปุ๋ยไนโตรเจน (ammonia volatilization) และการชะละลายของปุ๋ยเคมีหลายชนิด (leaching) เป็นต้น (Mullen, 2011) ส่งผลให้ธาตุอาหารพืชในปุ๋ยเคมีบางส่วนเท่านั้นที่พืชสามารถดูดใช้ได้จริง ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยซึ่งผลิตโดยศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2557) คือ ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดที่ธาตุอาหารถูกควบคุมการปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายดิน โดยสารหุ้มผิวเม็ดในรูปสารโพลิเมอร์นาโนเคลย์คอมโพสิต (nano-clay composite) มีสมบัติในการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีในปุ๋ยเคมีเมื่อใส่ลงดิน

โดยปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ และมีระยะเวลาการปลดปล่อยธาตุอาหารยาวนานเพื่อปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในเม็ดปุ๋ยออกมาในอัตราที่สอดคล้องสมดุลกับปริมาณการดูดใช้ของพืชปลูกแต่ละชนิด การใช้ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของพืชปลูกต่อการดูดใช้ธาตุอาหารพืชที่มีในปุ๋ยเคมี โดยไม่จำเป็นต้องแบ่งใส่หลายครั้ง และใช้ในอัตราที่ต่ำกว่าปุ๋ยเคมีประเภทละลายเร็ว ทั้งนี้จะเห็นได้จากผลการวิจัยที่พบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อย โดยเฉพาะปุ๋ยเคมีไนโตรเจน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ในโตรเจนของอ้อยได้อย่างมีนัยสำคัญ (Verburg *et al.*, 2017) และการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อยในอ้อยยังสามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยสดและผลผลิตน้ำตาลสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทละลายเร็ว (Garrett *et al.*, 2017) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยเพื่อการผลิตพืชไร่เศรษฐกิจในประเทศไทยมีค่อนข้างน้อย จึงเกิดแนวคิดที่จะทำการศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยต่อ (ปีที่ 1) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ต่อเนื่องจากธรรณัฐนันท์และคณะ (2563) ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลที่สำคัญและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยต่อ (ปีที่ 1) พันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ซึ่งเป็น

งานวิจัยที่ต่อเนื่องจากแปลงอ้อยปลูกของรณัฐนันท์และคณะ (2563) ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นชุดดิน กำแพงแสน (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 รวมทั้งเนื้อดิน สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 1 จากนั้น นำผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากำหนดอัตราปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยต่อ คือ 18, 6 และ 18 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) งานทดลองนี้ประกอบด้วย 36 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 7.5 เมตร ยาว 6.0 เมตร จำนวน 5 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 1.5 เมตร เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถวประมาณ 1 เมตร โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 4.5×4.0 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วย 12 ดำรับทดลอง (Table 2) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (control, T_1)

2) ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (CF_{DOA} , T_2) 3) ใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_3) 4) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_4) 5) ใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับ ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_5) 6) ใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_6) 7) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 33 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 11.5 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_7) 8) ใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 16-16-16 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 40-0-0 อัตรา 11.5 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_8) 9) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 33 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 1 เดือน (T_9) 10) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 16.5 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 1 เดือน (T_{10}) 11) ใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทสูตร 13-13-

13 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 1 เดือน (T_{11}) และ 12) ใส่ปุ๋ยออสโมค็อคทูต 13-13-13 อัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 1 เดือน (T_{12})

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยต่อที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือน ได้แก่ ความสูงต้น จำนวนลำใน 1 แถวเมตร และค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) (วัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด ทำการวัด 6 ครั้งต่อ

ใบ) ซึ่งวัดโดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (SPAD-502 model) ส่วน การเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยต่อที่อายุ 12 เดือน ได้แก่ ผลผลิตต่อไร่ จำนวนลำต่อไร่ น้ำหนักต่อลำ ความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ ค่า CCS โดยอาศัยสมการของ Meade and Chen (1977) และผลผลิตน้ำตาลโดยคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{ผลผลิตของน้ำตาล} = \frac{\text{CCS} \times \text{ผลผลิตอ้อยสด (ตัน/ไร่)}}{100}$$

นอกจากนี้ วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในลำ ได้แก่ ความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามที่ได้อธิบายไว้โดยทัศนีย์ และจรงค์ (2542) โดยข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่ได้จากการทดลอง นำมา

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (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 before the experiment

Properties	Results (0-30 cm)	Rating
pH (1:1 water)	7.40	slightly alkaline
EC _e (dS/m)	0.27	non-saline
Organic matter (%) ^{1/}	1.18	moderately low
Available P (mg/kg) ^{2/}	38.89	high
Exchangeable K (mg/kg) ^{3/}	48.27	low
Exchangeable Ca (mg/kg) ^{3/}	630	high
Exchangeable Mg (mg/kg) ^{3/}	80.66	moderately
Exchangeable Na (mg/kg) ^{3/}	9.01	-
Texture ^{4/}	sandy loam	-

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

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

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

^{4/} = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

Table 2 Detail of treatments

Treatments	Treatment descriptions				Quantity of major elements (kgN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (months)	
T ₁	-	-	-	-	0 - 0 - 0
T ₂	CF ^{1/}	21-0-0	42.86, 42.86	2, 4	18 - 6 - 18
		0-42-0	14.29	4	
		0-0-60	30	4	
T ₃	CF ^{1/}	16-16-16	50, 50	1, 3	25.2 - 16 - 16
		46-0-0	20	3	
T ₄	CR-NF ^{2/}	12-12-12	66, 66	1, 3	25.27 – 15.84 – 15.84
		41-0-0	23	3	
T ₅	CR-F ^{3/}	16-16-16	50, 50	1, 3	25.2 - 16 - 16
		40-0-0	23	3	
T ₆	CF ^{1/}	16-16-16	25, 25	1, 3	12.6 - 8 - 8
		46-0-0	10	3	
T ₇	CR-NF ^{2/}	12-12-12	33, 33	1, 3	12.64 – 7.92 – 7.92
		41-0-0	11.5	3	
T ₈	CR-F ^{3/}	16-16-16	25, 25	1, 3	12.6 - 8 - 8
		40-0-0	11.5	3	
T ₉	CR-F ^{3/}	12-12-12	33	1	3.96 – 3.96 – 3.96
T ₁₀	CR-F ^{3/}	12-12-12	16.5	1	1.98 – 1.98 – 1.98
T ₁₁	OMC ^{4/}	13-13-13	30	1	3.9 – 3.9 – 3.9
T ₁₂	OMC ^{4/}	13-13-13	15	1	1.95 – 1.95 – 1.95

Notes ^{1/} = chemical fertilizer^{2/} = controlled release-nano chemical fertilizers^{3/} = controlled release chemical fertilizers^{4/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอ (ปีที่ 1) พันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ปรากฏผลดังนี้

1. การเจริญเติบโตของอ้อยตอ (ปีที่ 1)

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้า การค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งการควบคุม (control) มีผลให้ความสูง

ของต้นอ้อยตอที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T₄) มีผลให้ความสูงของต้นอ้อยตอมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า)

สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_5) และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_3) โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Bhanuvally *et al.* (2017) ที่รายงานว่า การใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อยมีผลให้ความสูงต้นของ

อ้อยดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีละลายเร็ว โดยช่วยลดการสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารหลักในปุ๋ยโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน นอกจากนี้ การที่ T_4 มีผลให้ความสูงของต้นอ้อยต่อไม่แตกต่างกับ T_5 และ T_3 เป็นเพราะปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ในแต่ละตำรับทดลองดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกัน (Table 2)

Table 3 Height of 1st ratoon cane at different ages

Treatments	Treatment descriptions				Height (cm)			
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (months)	3 months	6 months	8 months	9 months
T_1	-	-	-	-	82.45 ^{e 5/}	192.71 ^{h 5/}	213.59 ^{g 5/}	225.40 ^{h 5/}
T_2	CF ^{1/}	21-0-0	42.86, 42.86	2, 4	99.56 ^{cd}	259.49 ^{de}	300.49 ^e	322.47 ^e
		0-42-0	14.29	4				
		0-0-60	30	4				
T_3	CF ^{1/}	16-16-16	50, 50	1, 3	125.83 ^a	271.50 ^{abc}	340.47 ^{ab}	360.47 ^{abc}
		46-0-0	20	3				
T_4	CR-NF ^{2/}	12-12-12	66, 66	1, 3	129.45 ^a	278.44 ^a	348.65 ^a	369.38 ^a
		41-0-0	23	3				
T_5	CR-F ^{3/}	16-16-16	50, 50	1, 3	126.52 ^a	272.61 ^{ab}	343.60 ^{ab}	364.54 ^{ab}
		40-0-0	23	3				
T_6	CF ^{1/}	16-16-16	25, 25	1, 3	103.54 ^{cd}	263.56 ^{cd}	318.52 ^d	341.50 ^d
		46-0-0	10	3				
T_7	CR-NF ^{2/}	12-12-12	33, 33	1, 3	112.52 ^b	268.40 ^{bcd}	333.51 ^{bc}	355.23 ^{bc}
		41-0-0	11.5	3				
T_8	CR-F ^{3/}	16-16-16	25, 25	1, 3	105.54 ^{bc}	264.58 ^{bcd}	325.40 ^{cd}	350.40 ^{cd}
		40-0-0	11.5	3				
T_9	CR-F ^{3/}	12-12-12	33	1	99.78 ^{cd}	260.34 ^{de}	315.60 ^d	327.57 ^e
T_{10}	CR-F ^{3/}	12-12-12	16.5	1	96.39 ^d	249.45 ^{fg}	283.54 ^f	291.65 ^{fg}
T_{11}	OMC ^{4/}	13-13-13	30	1	97.46 ^{cd}	253.58 ^{ef}	287.62 ^f	300.47 ^f
T_{12}	OMC ^{4/}	13-13-13	15	1	95.87 ^d	243.31 ^g	274.71 ^f	284.31 ^g
F-test					**	**	**	**
CV (%)					14.37	13.89	12.46	13.02

Notes ^{1/} = chemical fertilizer

^{2/} = controlled release-nano chemical fertilizers

^{3/} = controlled release chemical fertilizers

^{4/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)

^{5/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT

** indicates significant difference at $P < 0.01$

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้า การค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยต่อที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ T_4 มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยต่อมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5 , T_3 , การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 33 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 11.5 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_7) การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 16-16-16 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 40-0-0 อัตรา 11.5 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_8) และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_6) โดยมีข้อสังเกตว่าจำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยที่อายุ 8 และ 9 เดือน มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของอ้อยในด้านความสูงเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการบังแสง ดังนั้น เมื่อหน่ออ้อยที่เกิดขึ้นใหม่ไม่ได้รับแสงอย่างเหมาะสม จึงส่งผลให้การสังเคราะห์แสงลดลง หรืออาจเป็นผลจากการแก่งแย่งธาตุอาหาร การสะสมของโรคและแมลงจึงทำให้หน่อใหม่ไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปในลักษณะ

เดียวกับงานวิจัยของภิญญาพัชญ์ และคณะ (2561) และณัฐภัทร และคณะ (2562)

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้า การค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยต่อที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ที่อายุ 3 และ 6 เดือน พบว่า T_4 มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยต่อมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5 , T_3 และ T_7 ที่อายุ 8 เดือน พบว่า T_4 มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยต่อมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5 , T_3 , T_7 และ T_8 ส่วนที่อายุ 9 เดือน พบว่า T_4 มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยต่อมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5 , T_3 , T_7 , T_8 และ T_6 โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบอ้อยต่อที่อายุ 8 และ 9 เดือน มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับค่อนข้างต่ำ ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์นั่นเอง (ยงยุทธ, 2558) อย่างไรก็ตาม ดำรับควบคุม (control) ให้ค่าความสูงของต้น จำนวนลำใน 1 แถวเมตร และค่าความเขียวของใบอ้อยต่อน้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

Table 4 Number of stalk within one-meter row of 1st ratoon cane at different ages

Treatments	Treatment descriptions				Number of stalk within one-meter row			
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (months)	3 months	6 months	8 months	9 months
T ₁	-	-	-	-	6.32 ^{f 5/}	6.93 ^{f 5/}	6.84 ^{f 5/}	6.65 ^{f 5/}
T ₂	CF ^{1/}	21-0-0	42.86, 42.86	2, 4	10.63 ^{bcd}	11.63 ^{cd}	11.56 ^{cd}	11.26 ^{cd}
		0-42-0	14.29	4				
		0-0-60	30	4				
T ₃	CF ^{1/}	16-16-16	50, 50	1, 3	12.23 ^a	13.54 ^{ab}	13.29 ^{ab}	13.12 ^a
		46-0-0	20	3				
T ₄	CR-NF ^{2/}	12-12-12	66, 66	1, 3	12.56 ^a	13.69 ^a	13.54 ^a	13.41 ^a
		41-0-0	23	3				
T ₅	CR-F ^{3/}	16-16-16	50, 50	1, 3	12.51 ^a	13.62 ^{ab}	13.51 ^a	13.38 ^a
		40-0-0	23	3				
T ₆	CF ^{1/}	16-16-16	25, 25	1, 3	11.72 ^{abc}	12.76 ^{abc}	12.54 ^{abc}	12.48 ^{abc}
		46-0-0	10	3				
T ₇	CR-NF ^{2/}	12-12-12	33, 33	1, 3	12.18 ^a	13.23 ^{abc}	13.13 ^{abc}	13.00 ^{ab}
		41-0-0	11.5	3				
T ₈	CR-F ^{3/}	16-16-16	25, 25	1, 3	11.89 ^{ab}	12.84 ^{abc}	12.64 ^{abc}	12.57 ^{abc}
		40-0-0	11.5	3				
T ₉	CR-F ^{3/}	12-12-12	33	1	10.85 ^{bcd}	11.89 ^{bcd}	11.73 ^{bcd}	11.63 ^{bcd}
T ₁₀	CR-F ^{3/}	12-12-12	16.5	1	10.28 ^d	10.63 ^d	10.56 ^d	10.42 ^d
T ₁₁	OMC ^{4/}	13-13-13	30	1	10.54 ^{cd}	10.96 ^d	10.83 ^d	10.63 ^d
T ₁₂	OMC ^{4/}	13-13-13	15	1	8.59 ^e	8.89 ^e	8.76 ^e	8.65 ^e
F-test					**	**	**	**
CV (%)					13.67	12.81	13.39	13.66

Notes ^{1/} = chemical fertilizer^{2/} = controlled release-nano chemical fertilizers^{3/} = controlled release chemical fertilizers^{4/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)^{5/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT** indicates significant difference at $P < 0.01$

Table 5 Leaf greenness (SPAD reading) of 1st ratoon cane at different ages

Treatments	Treatment descriptions				SPAD reading			
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (months)	3 months	6 months	8 months	9 months
T ₁	-	-	-	-	32.56 ^{f 5/}	30.48 ^{h 5/}	28.64 ^{f 5/}	25.38 ^{e 5/}
T ₂	CF ^{1/}	21-0-0	42.86, 42.86	2, 4	38.23 ^{de}	42.18 ^{defg}	40.11 ^{cde}	39.68 ^{bc}
		0-42-0	14.29	4				
		0-0-60	30	4				
T ₃	CF ^{1/}	16-16-16	50, 50	1, 3	43.58 ^{ab}	48.63 ^{ab}	45.48 ^{ab}	43.12 ^a
		46-0-0	20	3				
T ₄	CR-NF ^{2/}	12-12-12	66, 66	1, 3	45.68 ^a	49.56 ^a	46.76 ^a	43.56 ^a
		41-0-0	23	3				
T ₅	CR-F ^{3/}	16-16-16	50, 50	1, 3	45.32 ^a	49.23 ^{ab}	46.32 ^{ab}	43.25 ^a
		40-0-0	23	3				
T ₆	CF ^{1/}	16-16-16	25, 25	1, 3	39.56 ^{cde}	44.28 ^{cde}	43.16 ^{bc}	41.79 ^{ab}
		46-0-0	10	3				
T ₇	CR-NF ^{2/}	12-12-12	33, 33	1, 3	42.64 ^{abc}	46.84 ^{abc}	45.15 ^{ab}	42.49 ^{ab}
		41-0-0	11.5	3				
T ₈	CR-F ^{3/}	16-16-16	25, 25	1, 3	40.32 ^{bcd}	45.23 ^{bcd}	43.82 ^{ab}	42.36 ^{ab}
		40-0-0	11.5	3				
T ₉	CR-F ^{3/}	12-12-12	33	1	38.76 ^{de}	43.69 ^{cdef}	40.38 ^{cd}	40.12 ^{bc}
T ₁₀	CR-F ^{3/}	12-12-12	16.5	1	37.00 ^{de}	39.63 ^{fg}	38.54 ^{de}	37.59 ^{cd}
T ₁₁	OMC ^{4/}	13-13-13	30	1	37.15 ^{de}	40.56 ^{efg}	38.69 ^{de}	38.12 ^c
T ₁₂	OMC ^{4/}	13-13-13	15	1	36.42 ^e	38.76 ^g	36.83 ^e	35.23 ^d
F-test					**	**	**	**
CV (%)					12.64	13.51	12.48	12.86

Notes ^{1/} = chemical fertilizer^{2/} = controlled release-nano chemical fertilizers^{3/} = controlled release chemical fertilizers^{4/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)^{5/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT** indicates significant difference at $P < 0.01$

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยโต (ปีที่ 1)

2.1 ผลผลิตอ้อยสดจำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำ

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้า การค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งการควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิต

อ้อยสด จำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำของอ้อยโตที่อายุ 12 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ T₄ มีผลให้ผลผลิตอ้อยสดมากที่สุด (22.58 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ T₅ นอกจากนี้ T₅ มีผลให้จำนวนลำต่อไร่ของอ้อยมากที่สุด (10,263 ลำ/ไร่) ไม่แตกต่างกับ T₆ และ T₄ ขณะที่ T₄ มีผลให้น้ำหนักต่อลำของอ้อยมากที่สุด

(2.21 กิโลกรัม/ลำ) ไม่แตกต่างกับ T₅, T₃ และ T₇ ส่วนดำรับควบคุม (control) ให้ผลผลิตอ้อย

สด และน้ำหนักต่อลำของอ้อยต่ำที่สุด (6.29 ตัน/ไร่ และ 0.67 กิโลกรัม/ลำ ตามลำดับ)

Table 6 Yield, number of stalk/rai and weight/stalk of 1st ratoon cane at 12 months

Treatments	Treatment descriptions				Yield (ton/rai)	Number of stalk (stalk/rai)	Weight/stalk (kg)
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (months)			
T ₁	-	-	-	-	6.29 ^{e 5/}	9,378 ^{c 5/}	0.67 ^{f 5/}
T ₂	CF ^{1/}	21-0-0	42.86, 42.86	2, 4	15.42 ^c	9,468 ^c	1.63 ^{cd}
		0-42-0	14.29	4			
		0-0-60	30	4			
T ₃	CF ^{1/}	16-16-16	50, 50	1, 3	19.86 ^b	9,288 ^c	2.14 ^a
		46-0-0	20	3			
T ₄	CR-NF ^{2/}	12-12-12	66, 66	1, 3	22.58 ^a	10,225 ^a	2.21 ^a
		41-0-0	23	3			
T ₅	CR-F ^{3/}	16-16-16	50, 50	1, 3	22.15 ^a	10,263 ^a	2.16 ^a
		40-0-0	23	3			
T ₆	CF ^{1/}	16-16-16	25, 25	1, 3	18.61 ^b	10,233 ^a	1.82 ^b
		46-0-0	10	3			
T ₇	CR-NF ^{2/}	12-12-12	33, 33	1, 3	19.53 ^b	9,489 ^c	2.06 ^a
		41-0-0	11.5	3			
T ₈	CR-F ^{3/}	16-16-16	25, 25	1, 3	18.72 ^b	9,913 ^b	1.89 ^b
		40-0-0	11.5	3			
T ₉	CR-F ^{3/}	12-12-12	33	1	15.53 ^c	8,933 ^d	1.74 ^{bc}
T ₁₀	CR-F ^{3/}	12-12-12	16.5	1	12.64 ^d	8,973 ^d	1.41 ^e
T ₁₁	OMC ^{4/}	13-13-13	30	1	14.29 ^{cd}	9,409 ^c	1.52 ^{de}
T ₁₂	OMC ^{4/}	13-13-13	15	1	12.48 ^d	8,986 ^d	1.39 ^e
F-test					**	**	**
CV (%)					14.75	14.67	11.54

Notes ^{1/} = chemical fertilizer

^{2/} = controlled release-nano chemical fertilizers

^{3/} = controlled release chemical fertilizers

^{4/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)

^{5/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT

** indicates significant difference at $P < 0.01$

2.2 ความยาวลำ และเส้นผ่าน

ศูนย์กลางลำ

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุม การปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้า การค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งการควบคุม (control) มีผลให้ความยาวลำและเส้นผ่านศูนย์กลางของอ้อยต่อที่อายุ 12 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ T_4 มีผลให้ความยาวลำของอ้อยต่อมากที่สุด (329.47 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ T_5 และ T_3 นอกจากนี้ T_4 ยังมีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของอ้อยต่อมากที่สุด (3.36 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ T_5 , T_3 และ T_7 ขณะที่การควบคุม (control) ให้ความยาวลำและเส้นผ่านศูนย์กลางของอ้อยต่อน้อยที่สุด (203.50 และ 2.02 เซนติเมตร ตามลำดับ)

2.3 ค่า commercial cane sugar

(CCS) และผลผลิตน้ำตาล

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุม การปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้า การค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งการควบคุม (control) มีผลให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยต่อที่อายุ 12 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 8) กล่าวคือ T_4 มีผลให้ค่า CCS ของอ้อยมากที่สุด (12.43 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ T_5 , T_3 , T_7 , T_8 , T_6 และการใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 33 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 1 เดือน (T_9) ขณะที่ T_4 มีผลให้ผลผลิตน้ำตาลของอ้อย

มากที่สุด (2.81 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ T_5 ส่วนการควบคุม (control) ให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยต่อน้อยที่สุด (8.12 เปอร์เซ็นต์ และ 0.51 ตัน/ไร่ ตามลำดับ)

2.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักที่สะสมในลำของอ้อย

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุม การปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้า การค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งการควบคุม (control) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในลำของอ้อยที่อายุ 12 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 9) กล่าวคือ T_4 มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนที่สะสมในลำของอ้อยต่อมากที่สุด (0.347 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ T_5 และ T_3 นอกจากนี้ T_4 มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุ ฟอสฟอรัสที่สะสมในลำของอ้อยต่อมากที่สุด (0.064 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ T_5 ส่วน T_4 มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมที่สะสมในลำของอ้อยต่อมากที่สุด (0.546 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ T_5 , T_3 และ T_7 ขณะที่การควบคุม (control) ให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในลำของอ้อยต่อน้อยที่สุด (0.111, 0.007 และ 0.172 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

Table 7 Stalk height and stalk diameter of 1st ratoon cane at 12 months

Treatments	Treatment descriptions				Stalk height (cm)	Stalk diameter (cm)
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (months)		
T ₁	-	-	-	-	203.50 ^{h 5/}	2.02 ^{h 5/}
T ₂	CF ^{1/}	21-0-0	42.86, 42.86	2, 4	280.49 ^e	2.89 ^e
		0-42-0	14.29	4		
		0-0-60	30	4		
T ₃	CF ^{1/}	16-16-16	50, 50	1, 3	322.31 ^{ab}	3.28 ^{abc}
		46-0-0	20	3		
T ₄	CR-NF ^{2/}	12-12-12	66, 66	1, 3	329.47 ^a	3.36 ^a
		41-0-0	23	3		
T ₅	CR-F ^{3/}	16-16-16	50, 50	1, 3	326.35 ^{ab}	3.32 ^{ab}
		40-0-0	23	3		
T ₆	CF ^{1/}	16-16-16	25, 25	1, 3	300.53 ^d	3.12 ^{cd}
		46-0-0	10	3		
T ₇	CR-NF ^{2/}	12-12-12	33, 33	1, 3	316.43 ^{bc}	3.22 ^{abcd}
		41-0-0	11.5	3		
T ₈	CR-F ^{3/}	16-16-16	25, 25	1, 3	309.58 ^{cd}	3.16 ^{bcd}
		40-0-0	11.5	3		
T ₉	CR-F ^{3/}	12-12-12	33	1	285.54 ^e	3.06 ^d
T ₁₀	CR-F ^{3/}	12-12-12	16.5	1	263.55 ^f	2.54 ^f
T ₁₁	OMC ^{4/}	13-13-13	30	1	276.40 ^e	2.67 ^f
T ₁₂	OMC ^{4/}	13-13-13	15	1	251.58 ^g	2.33 ^g
F-test					**	**
CV (%)					12.17	13.19

Notes ^{1/} = chemical fertilizer^{2/} = controlled release-nano chemical fertilizers^{3/} = controlled release chemical fertilizers^{4/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)^{5/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT** indicates significant difference at $P < 0.01$

Table 8 CCS and sugar yield of 1st ratoon cane at 12 months

Treatments	Treatment descriptions				CCS (%)	Sugar yield (ton/rai)
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (months)		
T ₁	-	-	-	-	8.12 ^{f 5/}	0.51 ^{g 5/}
T ₂	CF ^{1/}	21-0-0	42.86, 42.86	2, 4	10.89 ^{bcd^e}	1.68 ^d
		0-42-0	14.29	4		
		0-0-60	30	4		
T ₃	CF ^{1/}	16-16-16	50, 50	1, 3	12.28 ^{ab}	2.44 ^b
		46-0-0	20	3		
T ₄	CR-NF ^{2/}	12-12-12	66, 66	1, 3	12.43 ^a	2.81 ^a
		41-0-0	23	3		
T ₅	CR-F ^{3/}	16-16-16	50, 50	1, 3	12.36 ^a	2.74 ^a
		40-0-0	23	3		
T ₆	CF ^{1/}	16-16-16	25, 25	1, 3	11.68 ^{abc}	2.17 ^c
		46-0-0	10	3		
T ₇	CR-NF ^{2/}	12-12-12	33, 33	1, 3	12.22 ^{ab}	2.39 ^b
		41-0-0	11.5	3		
T ₈	CR-F ^{3/}	16-16-16	25, 25	1, 3	11.84 ^{abc}	2.22 ^c
		40-0-0	11.5	3		
T ₉	CR-F ^{3/}	12-12-12	33	1	11.21 ^{abcd}	1.74 ^d
T ₁₀	CR-F ^{3/}	12-12-12	16.5	1	9.84 ^{de}	1.24 ^f
T ₁₁	OMC ^{4/}	13-13-13	30	1	10.63 ^{cde}	1.52 ^e
T ₁₂	OMC ^{4/}	13-13-13	15	1	9.53 ^e	1.19 ^f
F-test					**	**
CV (%)					13.79	13.46

Notes ^{1/} = chemical fertilizer^{2/} = controlled release-nano chemical fertilizers^{3/} = controlled release chemical fertilizers^{4/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)^{5/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT** indicates significant difference at $P < 0.01$

Table 9 Concentration of major plant nutrients in stalk of 1st ratoon cane at 12 months

Treatments	Treatment descriptions				Total N	Total P	Total K
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (months)	(%)	(%)	(%)
T ₁	-	-	-	-	0.111 ¹ ^{5/}	0.007 ¹ ^{5/}	0.172 ¹ ^{5/}
T ₂	CF ^{1/}	21-0-0	42.86, 42.86	2, 4	0.285 ^e	0.035 ^f	0.451 ^b
		0-42-0	14.29	4			
		0-0-60	30	4			
T ₃	CF ^{1/}	16-16-16	50, 50	1, 3	0.341 ^a	0.057 ^{bc}	0.536 ^a
		46-0-0	20	3			
T ₄	CR-NF ^{2/}	12-12-12	66, 66	1, 3	0.347 ^a	0.064 ^a	0.546 ^a
		41-0-0	23	3			
T ₅	CR-F ^{3/}	16-16-16	50, 50	1, 3	0.343 ^a	0.061 ^{ab}	0.542 ^a
		40-0-0	23	3			
T ₆	CF ^{1/}	16-16-16	25, 25	1, 3	0.302 ^d	0.043 ^e	0.458 ^b
		46-0-0	10	3			
T ₇	CR-NF ^{2/}	12-12-12	33, 33	1, 3	0.326 ^b	0.051 ^{cd}	0.533 ^a
		41-0-0	11.5	3			
T ₈	CR-F ^{3/}	16-16-16	25, 25	1, 3	0.314 ^c	0.047 ^{de}	0.463 ^b
		40-0-0	11.5	3			
T ₉	CR-F ^{3/}	12-12-12	33	1	0.247 ^f	0.031 ^{fg}	0.387 ^c
T ₁₀	CR-F ^{3/}	12-12-12	16.5	1	0.216 ^h	0.018 ^h	0.243 ^e
T ₁₁	OMC ^{4/}	13-13-13	30	1	0.234 ^g	0.026 ^g	0.364 ^d
T ₁₂	OMC ^{4/}	13-13-13	15	1	0.210 ^h	0.014 ^h	0.233 ^e
F-test					**	**	**
CV (%)					12.59	11.95	11.96

Notes ^{1/} = chemical fertilizer^{2/} = controlled release-nano chemical fertilizers^{3/} = controlled release chemical fertilizers^{4/} = Osmocote (Product from Sotus International Co., Ltd.)^{5/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by DMRT** indicates significant difference at $P < 0.01$

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต รวมทั้งความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในลำของอ้อยตอดดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา และการใส่ปุ๋ยออสโมติก ตามลำดับ ผลการทดลอง

สอดคล้องกับผลการวิจัยที่รายงานว่า การใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อยมีผลดีต่อการเพิ่มผลผลิตของอ้อย เพราะการใช้ปุ๋ยประเภทนี้ช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงดินได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่น การลดการสูญเสียไนโตรเจนในดิน โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification process) ได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนประเภทละลายเร็ว

(Morgan, 2009; Zwieten *et al.*, 2016) เนื่องจากกลไกการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคมีควบคุมการปลดปล่อยและปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยจะดูดซึมน้ำและความชื้นในดินผ่านเปลือกที่หุ้มเม็ดเข้าไปในเม็ดปุ๋ยแล้วละลายตัวปุ๋ยเกิดเป็นสารละลายเกลือที่เข้มข้นภายในเปลือกของปุ๋ยแต่ละเม็ด ในสภาพเช่นนี้จะทำให้เกิดความดันออสโมซิส (osmotic pressure) ขึ้นภายในและเมื่อมีความดันสูงจนถึงระดับหนึ่ง จะมีผลทำให้น้ำปุ๋ยในรูปสารละลายค่อยๆ แพร่ซึมผ่านเปลือกเม็ดปุ๋ยที่ปริรั่วออกมาภายนอกอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอเป็นระยะเวลานาน ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ (ปิยะ, 2538; วียงค์ และคณะ, 2557)

สรุปผลการทดลอง

การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_4) มีผลให้ความสูงของต้นจำนวนลำใน 1 แถวเมตร ค่าความเขียวของใบ ความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ ปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในลำของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้ำ) สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_5) และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0

อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_3) นอกจากนี้ T_4 ยังมีผลให้ผลผลิตอ้อยสด และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัยระหว่างศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) รวมทั้งบริษัท วาย.วี.พี เพอร์ติไลเซอร์ จำกัด ที่สนับสนุนปุ๋ยเคมีตลอดระยะเวลาการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบไฮโดรทศนูปรกรณ์. คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- ณัฐภัทร ถาวรกิจการ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, ทศพล พรพรม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของการจัดการปุ๋ยเคมีร่วมกับซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอ (ปีที่ 1) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2 (1): 68-81.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันท์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร

- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.
- ธนฐนันท์ เต็งประเสริฐ, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย
อินทร์บุญช่วย, กนกกร สีนมา, วียงค์
กังวานสุขุมงคล, เกวลิน ศรีจันทร์,
อัญชิชา พรหมเมืองคุก, สิริธิดา ช่าง
โอภาส, สุชาดา กรุณา, ศิริสุตา บุตร
เพชร, ซาลินี คงสุต, ธรรมธวัช แสง
งาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2563. ผล
ของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่
ควบคุมการปลดปล่อยต่อการ
เจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยที่
ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วารสาร
วิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 3
(2): in press.
- นาวา ทวิชาโรตม, ปิยะ ดวงพัตรา, ปิติ กันตัง
กุล และจุฑามาต ร่มแก้ว. 2562.
ประสิทธิผลทางการเกษตรและความ
คุ้มค่าในทางเศรษฐกิจของปุ๋ยเคมี
เคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการ
ปลดปล่อยในอ้อย. วารสารแก่น
เกษตร 47 (2) : 259-270.
- ปิยะ ดวงพัตรา. 2538. หลักการและวิธีการใช้
ปุ๋ยเคมี. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.
- ภิญญาพัชญ์ มิ่งมิตร, ชัยสิทธิ์ ทองจู, จุฑามาต
ร่มแก้ว, สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์ และธวัช
ชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. ผลของการ
จัดการปุ๋ยร่วมกับโบรอนต่อการ
เจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย.
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7
(1) : 1-14.
- ยงยุทธ โอสธสภ. 2558. ธาตุอาหารพืช.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
, กรุงเทพฯ.
- วียงค์ กังวานสุขุมงคล, สุวัชชัย จรัสโสภณ, ภา
วินี พงษ์วัน, ธนกร วิรุฬห์มงคล,
กนิษฐา บุญภาวณิชกุล และกรรณิกา
สิทธิสุวรรณกุล. 2557. กรรมวิธีการ
เตรียมเม็ดปุ๋ยเคมีจากการเคลือบด้วย
สารเคลือบชนิดโพลิเมอร์-นาโนเคลย์
คอมพอสิตและผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก
กรรมวิธีดังกล่าว. สิทธิบัตรไทยเลขที่
1401003878.
- ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2557. กรรมวิธี
การเตรียมเม็ดปุ๋ยเคมีจากการเคลือบ
ด้วยสารเคลือบชนิดโพลิเมอร์-นาโน
เคลย์คอมพอสิตและผลิตภัณฑ์ที่ได้
จากกรรมวิธีดังกล่าว. สิทธิบัตรไทย
เลขที่ 1401003878.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติ
การเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-
2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
กรุงเทพฯ.
- Bhanuvally, M., Y.M. Ramesha and H.
Yogeeshappa. 2017. Effect of slow
releasing nitrogen fertilizers on
growth and yield of sugarcane.
App. Sci. 6: 570-577.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945.
Determination of total organic and
available forms of phosphorus in
soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Garrett, J., B. Tubana, S. Kwakye, W.
Paye, F.B. Agostinho, D. Forestieri,
M.S. Daren and M. Martins. 2017.
Controlled release nitrogen

- fertilizer and application timing: soil N, leaf N and yield respond in sugarcane. *In* Proceeding of Managing Global Resources for a Secure Future 2017 Annual meeting, USA.
- Meade, G.P. and J.C.P. Chen. 1977. Cane Sugar Handbook. 10th ed. John Wiley and Sons, New York.
- Morgan, K.T. 2009. Improved fertilizer use efficiency with controlled release sources on sandy soils in South Florida. Southwest Florida Research and Education Center, Florida.
- Mullen, R.W. 2011. Nutrient cycling in soils: nitrogen. *In* Hatfield, J.L., Sauer, T.J. (Eds.), Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Medison, WI, pp.67-78.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. p. 1022-1030. *In* C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part II. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin.
- Soil Survey Staff. 2003. Key to Soil Taxonomy: Ninth Edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C. 332 p.
- Verburg, K., T.H. Muster, Z. Zhao, J.S. Biggs, P.J. Thorburn, J. Kandulu, K. Witter-Schmid, G. McLachlan, K.L. Bristow, J. Poole, M.F.T. Wong and J.I. Mardell. 2017. Roles of controlled release fertilizer in Australian sugarcane system: final report 2014/11. Sugar Research Australia Ltd, Australia.
- Walkley, 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.
- Zwieten, L.V., J. Rush, T.J. Rose, S. Joseph, R. Beattie, S. Donne, G. Butler, R. Quirk, S. Kimber and S. Morris. 2016. Assessing controlled release and deep placement N fertilizer technologies in subtropical sugarcane, pp 1-4. *In* Proceeding of the 2016 International Nitrogen Initiative Conference. Melbourne, Australia.

Received 5 June 2020

Accepted 31 August 2020

ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้ของเครื่องกำจัดเศษขยะต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

Effect of Organic Fertilizer from the by-Product of Oklin Composter on Growth and Yield of Sugarcane Planted in Kamphaeng Saen Soil Series

ทินกร ปัทเมม,¹ ชัยสิทธิ์ ทองจู,^{1*} ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย,¹ จุฑามาศ ร่มแก้ว,² เกวลิน ศรีจันทร์,¹
อัญธิชา พรหมเมืองคุก,¹ สุชาดา กรุณา,¹ ศิริสุดา บุตรเพชร,¹ ชาลินี คงสุต,³ ธรรมธวัช แสงงาม,³
และธีรยุทธ คล้าชื่น⁴

Tinnakorn Pattamek,¹ Chaisit Thongjoo,^{1*} Tawatchai Inboonchuay,¹ Jutamas Romkaew,²
Kavalin Srichan,¹ Aunthicha Phommuangkhu,¹ Suchada Karuna,¹ Sirisuda Bootpetch,¹
Chaline Khongsud,³ Thamthawat Saengngam³ and Teerayut Klumchaun⁴

ABSTRACT

This study investigated the effect of organic fertilizer (OF) from the by-product of Oklin Composter on growth and yield of sugarcane var. Kamphaeng Saen 01-4-29 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 showed that the OF-C application of 325 kg/rai in combination with chemical fertilizer (CF) containing all major elements (N, P and K) equivalent to 325 kg/rai of the OF-C (OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325}, T₈) provided the highest plant height, leaf greenness (SPAD unit), weight/stalk and sugar yield which was not significantly different from the OF-A application of 325 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 325 kg/rai of the OF-A (OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325}, T₄). Furthermore, the OF- C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) provided the highest number of stalk within

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakorn Pathom, 73140, Thailand.

²ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakorn Pathom 73140, Thailand.

³ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

⁴คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130, Thailand.

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

one-meter row and stalk height which was not significantly different from the OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄) and the OF-B application of 325 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 325 kg/rai of the OF-B (OF-B₃₂₅+CF_{OF-B-325}, T₆). While, the OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) provided the highest stalk diameter and CCS which was not significantly different from the OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄), OF-B₃₂₅+CF_{OF-B-325} (T₆), the application of CF based on soil chemical analysis (CF_{DOA}, T₂) and the OF-C application of 650 kg/rai (OF-C₆₅₀, T₇).

Keywords: sugarcane, organic fertilizer, by-product, Oklin Composter

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้ของเครื่องกำจัดเศษขยะต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยพันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) ทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ประกอบด้วย 8 ตำรับทดลอง ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ (OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325}, T₈) มีผลให้ความสูงของต้น ค่าความเขียวของใบ น้ำหนักต่อลำ และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ (OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325}, T₄) นอกจากนี้ OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) มีผลให้จำนวนลำ ใน 1 แถวเมตร และความยาวลำของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ (OF-B₃₂₅+CF_{OF-B-325}, T₆) ขณะที่ OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) มีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำ และค่า CCS ของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄), OF-B₃₂₅+CF_{OF-B-325} (T₆), การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (CF_{DOA}, T₂) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ (OF-C₆₅₀, T₇)

คำสำคัญ: อ้อย ปุ๋ยอินทรีย์ ผลพลอยได้ เครื่องกำจัดเศษขยะ

คำนำ

อ้อยเป็นพืชที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศ โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561) รายงานว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อย 12.24 ล้านไร่ ได้ผลผลิตอ้อยสด 131.48 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 10.75 ตัน/ไร่ ซึ่งผลพลอยได้ปริมาณมหาศาลจากโรงงานน้ำตาลที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ คือ กากชานอ้อย (bagasse) และกากตะกอนอ้อย (filter cake) มี

การคาดการณ์ปริมาณกากตะกอนอ้อยจากโรงงานน้ำตาลจำนวน 47 โรง มีปริมาณไม่น้อยกว่า 1.04 ล้านตัน/ปี (ธงชัย, 2546) ที่ผ่านมามีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาช่วยเพิ่มผลผลิตของอ้อย เช่น กากตะกอนอ้อย (ชาลินี และคณะ, 2562) กากตะกอนเยื่อกระดาษ (จุฬามาศ และคณะ, 2553) กากน้ำตาลผงซุส (อามิ-อามิ) (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2560; ปิยพงศ์ และคณะ, 2560) น้ำวีเนสจากโรงงานเอทา

นอล (กาญจนา และคณะ, 2557) ปากตะกอน ยีสต์และน้ำวีเนส (สันติภาพ และคณะ, 2557) เป็นต้น โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยผลพลอยได้ดังกล่าวมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005) จึงเกิดแนวคิดว่าหากมีการนำผลพลอยได้จากเครื่องกำจัดเศษขยะ (Oklin Composter) ที่ใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในอุณหภูมิสูง (thermophilic) เพื่อการย่อยสลายขยะในครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม โดยเครื่องกำจัดเศษขยะสามารถลดปริมาณขยะดังกล่าวได้มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น นำผลพลอยได้จากการย่อยสลายมาผสมเป็นปุ๋ยอินทรีย์ และหาแนวทางการใช้ประโยชน์ในแง่การทดแทนปุ๋ยหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยพิจารณาผลของปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมแล้วยังเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกรในด้านการลดต้นทุนการผลิตอ้อยให้ต่ำลงได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้ของเครื่องกำจัดเศษขยะต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยพันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งตามแผนที่ดินระดับจังหวัดระบุเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks) จำแนกตามระบบอนุกรมวิธาน

ดินชั้นวงศ์ดินเป็น Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic (โรจน์, 2525) งานทดลองนี้ประกอบด้วย 24 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 7.5 เมตร ยาว 6.0 เมตร จำนวน 5 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 1.5 เมตร เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยเฉพาะ 3 แถว กลาง เว้นหัวและท้ายแถวประมาณ 1 เมตร โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 4.5 x 4.0 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 8 ดำรับทดลอง โดยรายละเอียดของดำรับทดลองได้แสดงไว้ใน Table 1 ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรีย์วัตถุวิธี Walkley and Black (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์วิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้วิธีสกัดด้วย NH_4OAc pH 7.0 (Pratt, 1965) และเนื้อดินโดยวิธี Pipette (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558) สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 2

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (42 % P_2O_5) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 % K_2O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตราในแต่ละดำรับทดลองที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย คือ 12, 6 และ 12 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ

K₂O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ 3 สูตร (สูตร A, B และ C) ที่ใช้ในการทดลองมาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท โอคลิน อินเตอร์เนชั่นแนล (ไทยแลนด์) จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยโปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. ภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง “การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากเครื่องกำจัดเศษขยะเพื่อผลิตวัสดุปลูก และปุ๋ยอินทรีย์ตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรสำหรับพืชอายุสั้น” ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์แต่ละสูตรผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2550 ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร และประกอบด้วยผลพลอยได้จากเครื่องกำจัดเศษขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เศษผักและผลไม้จากครัวเรือน โรงอาหารขนาดกลาง-ใหญ่ และห้างสรรพสินค้า (Oklin Composter, OC) กากตะกอนอ้อย (filter cake, FC) และขี้เถ้า (ash, A) โดยปุ๋ยอินทรีย์สูตร A, B และ C มีสัดส่วนของ OC : FC : A = 1 : 3 : 0.5, 2 : 3 : 0.5 และ 2 : 4 : 0.5 โดยปริมาตร ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ใส่เพียงครั้งเดียวในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 2

เดือนหลังปลูก สำหรับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุดของปุ๋ยอินทรีย์สูตร C (1.84 เปอร์เซ็นต์) ให้ได้ใกล้เคียงกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (12 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่) นั่นคือ 652.17 กิโลกรัม/ไร่ แต่ในการทดลองนี้ได้กำหนดอัตราปุ๋ยอินทรีย์เพื่อความสะดวกต่อการใช้ คือ 650 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์แต่ละสูตรก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 3

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือน ได้แก่ ความสูงต้น จำนวนลำใน 1 แถวเมตร และค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) (วัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด ทำการวัด 6 ครั้งต่อใบ) ซึ่งวัดโดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (SPAD-502 model) ส่วนการเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่อายุ 12 เดือน ได้แก่ ผลผลิตต่อไร่ จำนวนลำต่อไร่ น้ำหนักต่อลำ ความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ ค่า CCS โดยอาศัยสมการของ Meade and Chen (1977) และผลผลิตน้ำตาล โดยคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{ผลผลิตของน้ำตาล} = \frac{\text{CCS} \times \text{ผลผลิตอ้อยสด (ตัน/ไร่)}}{100}$$

100

นอกจากนี้ วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในท่อนลำ ได้แก่ ความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามที่ได้อธิบายไว้โดยทัศนีย์ และจรงค์ (2542) โดยข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตที่ได้จากการทดลอง

นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS)

Table 1 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) and no organic fertilizer (OF) treatment	control	0-0-0
T ₂	the application of CF based on soil chemical analysis	CF _{DOA}	12-6-12
T ₃	the OF-A application of 650 kg/rai	OF-A ₆₅₀	10.92-12.94-13.72
T ₄	the OF-A application of 325 kg/rai in combination with CF containing all major elements (N, P, K) equivalent to 325 kg/rai of the OF-A	OF-A ₃₂₅ +CF _{OF-A-325}	10.92-12.94-13.72
T ₅	the OF-B application of 650 kg/rai	OF-B ₆₅₀	9.88-11.38-12.74
T ₆	the OF-B application of 325 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 325 kg/rai of the OF-B	OF-B ₃₂₅ +CF _{OF-B-325}	9.88-11.38-12.74
T ₇	the OF-C application of 650 kg/rai	OF-C ₆₅₀	11.96-12.42-12.68
T ₈	the OF-C application of 325 kg/rai in combination with CF containing all major elements equivalent to 325 kg/rai of the OF-C	OF-C ₃₂₅ +CF _{OF-C-325}	11.96-12.42-12.68

Table 2 Properties of soil (0-30 cm depth) before the experiment

Properties	Results	Rating
pH (1:1 water)	7.12	neutral
EC _e (dS/m)	0.49	non-saline
Organic matter (%) ^{1/}	0.72	low
Available P (mg/kg) ^{2/}	28.96	high
Exchangeable K (mg/kg) ^{3/}	58.69	low
Exchangeable Ca (mg/kg) ^{3/}	1,084	high
Exchangeable Mg (mg/kg) ^{3/}	117.42	moderately
Exchangeable Na (mg/kg) ^{3/}	24.87	-
Texture ^{4/}	sandy loam	-

Note ^{1/} = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934) ^{2/} = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)

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

^{4/} = Pipette method (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558)

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

Properties	Results		
	OF-A	OF-B	OF-C
pH (3:50)	5.88	6.34	6.20
EC 1:10 (dS/m)	7.86	8.83	8.16
Sodium (%)	0.56	0.76	0.64
Organic matter (%)	26.42	32.55	32.50
Organic carbon (%)	15.32	18.88	18.85
C:N ratio	9.12 : 1	12.42 : 1	10.25 : 1
Total N (%)	1.68	1.52	1.84
Total P ₂ O ₅ (%)	1.99	1.75	1.91
Total K ₂ O (%)	2.11	1.96	1.95
Total primary nutrients (%)	5.78	5.23	5.70
Total Ca (%)	3.03	3.47	3.17
Total Mg (%)	0.45	0.42	0.44
Germination index (%)	83.93	106.52	97.83
Moisture (%)	27.29	26.42	24.80

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้ของเครื่องกำจัดเศษขยะต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ปรากฏผลการทดลองดังนี้

1. การเจริญเติบโตของอ้อย

1.1 ความสูงต้น

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงของต้นอ้อยที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ ที่อายุ 3, 6 และ 9 เดือน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์

สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ (OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325}, T₈) มีผลให้ความสูงของต้นอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ (OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325}, T₄) ส่วนที่อายุ 8 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) มีผลให้ความสูงของต้นอ้อยมากที่สุด (278.44 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ (OF-B₃₂₅+CF_{OF-B-325}, T₆) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงของต้นของอ้อยน้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

Table 4 Height of sugarcane at different ages

Treatments	Plant height (cm)			
	3 MAP ^{1/}	6 MAP	8 MAP	9 MAP
T ₁ = control	48.48 ^{f 2/}	118.46 ^{f 2/}	168.42 ^{f 2/}	223.42 ^{g 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	80.38 ^c	156.62 ^{cd}	270.45 ^{bc}	293.50 ^{cd}
T ₃ = OF-A ₆₅₀	73.30 ^{de}	148.49 ^e	261.50 ^d	281.49 ^e
T ₄ = OF-A ₃₂₅ +CF _{OF-A-325}	87.53 ^{ab}	165.30 ^{ab}	276.49 ^{ab}	306.25 ^{ab}
T ₅ = OF-B ₆₅₀	70.09 ^e	144.67 ^e	250.43 ^e	268.36 ^f
T ₆ = OF-B ₃₂₅ +CF _{OF-B-325}	84.31 ^{bc}	160.58 ^{bc}	273.40 ^{ab}	300.22 ^{bc}
T ₇ = OF-C ₆₅₀	75.36 ^d	151.43 ^{de}	265.31 ^{cd}	290.30 ^{de}
T ₈ = OF-C ₃₂₅ +CF _{OF-C-325}	89.53 ^a	168.72 ^a	278.44 ^a	310.52 ^a
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.06	12.89	13.61	12.53

^{1/} Months after planting^{2/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by using DMRT** indicates significant difference at $P < 0.01$

1.2 จำนวนลำใน 1 แถวเมตร

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดี่ยว หรือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า ทุกดำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดี่ยว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดี่ยว มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยใกล้เคียงกัน ในช่วง 10.29-11.25 ลำ ส่วนที่อายุ 6, 8 และ 9 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄) และ OF-B₃₂₅+CF_{OF-B-325} (T₆) โดยมีข้อสังเกตว่าจำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยที่อายุ 8 และ 9 เดือนหลังปลูก มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้

อาจเนื่องมาจากเมื่ออ้อยมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงเพิ่มขึ้น จึงเกิดการบังแสงทำให้ปริมาณแสงที่ส่องผ่านเข้าไปในกออ้อยลดลง ดังนั้น เมื่อหน่ออ้อยที่เกิดขึ้นใหม่ไม่ได้รับแสงอย่างเหมาะสม ก็ส่งผลให้การสังเคราะห์แสงลดลง หรืออาจเป็นผลจากการแก่งแย่งธาตุอาหาร การสะสมของโรคและแมลงจึงทำให้หน่อใหม่ไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปในลักษณะเดียวกับงานวิจัยของชัยสิทธิ์ และคณะ (2560) ภิญญาพัชญ์ และคณะ (2561) ยศวดี และคณะ (2561) และณัฐภัทร และคณะ (2562) อย่างไรก็ตาม ดำรับควบคุม (control) มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยน้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

Table 5 Number of stalk within one-meter row of sugarcane at different ages

Treatments	Number of stalk within one-meter row			
	3 MAP ^{1/}	6 MAP	8 MAP	9 MAP
T ₁ = control	9.56 ^{b 2/}	9.27 ^{c 2/}	8.73 ^{c 2/}	8.65 ^{d 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	10.65 ^{ab}	12.63 ^b	12.51 ^b	12.36 ^{bc}
T ₃ = OF-A ₆₅₀	10.48 ^{ab}	12.42 ^b	12.31 ^b	12.18 ^{bc}
T ₄ = OF-A ₃₂₅ +CF _{OF-A-325}	11.12 ^{ab}	13.29 ^a	13.18 ^a	13.12 ^a
T ₅ = OF-B ₆₅₀	10.29 ^{ab}	12.36 ^b	12.12 ^b	12.00 ^c
T ₆ = OF-B ₃₂₅ +CF _{OF-B-325}	10.83 ^{ab}	13.15 ^a	13.00 ^a	12.89 ^{ab}
T ₇ = OF-C ₆₅₀	10.53 ^{ab}	12.53 ^b	12.43 ^b	12.27 ^{bc}
T ₈ = OF-C ₃₂₅ +CF _{OF-C-325}	11.25 ^a	13.56 ^a	13.42 ^a	13.35 ^a
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.76	12.32	13.15	13.29

^{1/} Months after planting^{2/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by using DMRT** indicates significant difference at $P < 0.01$

1.3 ค่าความเขียว (SPAD unit) ของใบ

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือนหลังปลูก แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ยิงทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄) และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (CF_{DOA}, T₂) ส่วนที่อายุ 6, 8 และ 9 เดือนหลังปลูก พบว่า OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄) โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบอ้อยที่อายุ 8 และ 9 เดือนหลังปลูก มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการใส่ปุ๋ย ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำ

ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยโดยเฉพาะไนโตรเจนที่ลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์นั่นเอง (ยงยุทธ, 2528) อย่างไรก็ตาม ดำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยน้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

Table 6 Leaf greenness (SPAD unit) of sugarcane at different ages

Treatments	SPAD unit			
	3 MAP ^{1/}	6 MAP	8 MAP	9 MAP
T ₁ = control	32.48 ^{d 2/}	30.63 ^{f 2/}	28.23 ^{g 2/}	26.31 ^{e 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	40.71 ^{ab}	45.26 ^{bc}	43.38 ^{bc}	40.57 ^{bc}
T ₃ = OF-A ₆₅₀	37.52 ^{bc}	42.83 ^{cde}	40.22 ^{de}	37.59 ^{cd}
T ₄ = OF-A ₃₂₅ +CF _{OF-A-325}	42.77 ^a	47.65 ^{ab}	45.55 ^{ab}	43.65 ^{ab}
T ₅ = OF-B ₆₅₀	35.42 ^{cd}	39.69 ^e	37.40 ^f	35.40 ^d
T ₆ = OF-B ₃₂₅ +CF _{OF-B-325}	36.75 ^{bc}	40.28 ^{de}	38.55 ^{ef}	36.62 ^d
T ₇ = OF-C ₆₅₀	38.59 ^{bc}	43.26 ^{cd}	41.36 ^{cd}	38.82 ^{cd}
T ₈ = OF-C ₃₂₅ +CF _{OF-C-325}	43.53 ^a	49.28 ^a	47.47 ^a	45.79 ^a
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.66	12.41	13.17	11.46

^{1/} Months after planting^{2/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by using DMRT** indicates significant difference at $P < 0.01$

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย

2.1 ผลผลิตอ้อยสดจำนวนลำต่อไร่และน้ำหนักต่อลำ

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตอ้อยสด จำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำของอ้อยที่อายุ 12 เดือนหลังปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ ทุกดำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว มีผลให้ผลผลิตอ้อยสดใกล้เคียงกันในช่วง 19.23-21.58 ตัน/ไร่ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ (OF-A₆₅₀, T₃) มีผลให้จำนวนลำต่อไร่ของอ้อยมากที่สุด (10,516 ลำ/ไร่) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ (OF-

B₆₅₀, T₅), CF_{DOA} (T₂), การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ (OF-C₆₅₀, T₇) และ OF-B₃₂₅+CF_{OF-B-325} (T₆) ส่วน OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) มีผลให้น้ำหนักต่อลำของอ้อยมากที่สุด (2.13 กิโลกรัม/ลำ) ไม่แตกต่างกับ OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตอ้อยสด จำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำของอ้อยต่ำที่สุด (12.76 ตัน/ไร่ 8,980 ลำ/ไร่ และ 1.42 กิโลกรัม/ลำตามลำดับ)

2.2 ความยาวลำ และเส้นผ่านศูนย์กลางลำ

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งดำรับควบคุม (control) มีผลให้ความยาวลำและเส้นผ่านศูนย์กลางลำของอ้อยที่อายุ 12 เดือนหลังปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 8) กล่าวคือ

OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) มีผลให้ความยาวลำแตกต่างกับ OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄) และ OF-B₃₂₅+CF_{OF-B-325} (T₆) นอกจากนี้ OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) ยังมีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำของอ้อยมากที่สุด (3.22 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-} ของอ้อยมากที่สุด (272.43 เซนติเมตร) ไม่ 325(T₄), OF-B₃₂₅+CF_{OF-B-325} (T₆), CF_{DOA} (T₂) และ OF-C₆₅₀ (T₇) ขณะที่ดำรับควบคุม (control) มีผลให้ ความยาวลำและเส้นผ่านศูนย์กลางลำของอ้อยน้อยที่สุด (157.47 และ 2.33 เซนติเมตร) ตามลำดับ

Table 7 Yield, number of stalk/rai and weight/stalk of sugarcane at 12 MAP^{1/}

Treatments	Yield (ton/rai)	Number of stalk (stalk/rai)	Weight/stalk (kg)
T ₁ = control	12.76 ^{b 2/}	8,980 ^{c 2/}	1.42 ^{e 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	20.23 ^a	10,482 ^a	1.93 ^{cd}
T ₃ = OF-A ₆₅₀	19.56 ^a	10,516 ^a	1.86 ^{cd}
T ₄ = OF-A ₃₂₅ +CF _{OF-A-325}	21.48 ^a	10,228 ^b	2.10 ^{ab}
T ₅ = OF-B ₆₅₀	19.23 ^a	10,510 ^a	1.83 ^d
T ₆ = OF-B ₃₂₅ +CF _{OF-B-325}	20.56 ^a	10,384 ^a	1.98 ^{bc}
T ₇ = OF-C ₆₅₀	19.86 ^a	10,453 ^a	1.90 ^{cd}
T ₈ = OF-C ₃₂₅ +CF _{OF-C-325}	21.58 ^a	10,131 ^b	2.13 ^a
F-test	**	**	**
CV (%)	14.73	13.71	12.38

^{1/} Months after planting

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

** indicates significant difference at $P < 0.01$

Table 8 Stalk height and stalk diameter of sugarcane at 12 MAP^{1/}

Treatments	Stalk height (cm)	Stalk diameter (cm)
T ₁ = control	157.47 ^{e 2/}	2.33 ^{c 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	260.37 ^{bc}	3.14 ^a
T ₃ = OF-A ₆₅₀	251.51 ^{cd}	2.93 ^b
T ₄ = OF-A ₃₂₅ +CF _{OF-A-325}	268.42 ^{ab}	3.18 ^a
T ₅ = OF-B ₆₅₀	243.54 ^d	2.86 ^b
T ₆ = OF-B ₃₂₅ +CF _{OF-B-325}	265.67 ^{ab}	3.16 ^a
T ₇ = OF-C ₆₅₀	255.32 ^c	3.08 ^a
T ₈ = OF-C ₃₂₅ +CF _{OF-C-325}	272.43 ^a	3.22 ^a
F-test	**	**
CV (%)	13.08	12.62

^{1/} Months after planting

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

** indicates significant difference at $P < 0.01$

2.3 ค่า commercial cane sugar (CCS) และผลผลิตน้ำตาล

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งการควบคุม (control) มีผลให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 9) กล่าวคือ $OF-C_{325}+CF_{OF-C-325}$ (T_8) มีผลให้ค่า CCS ของอ้อยมากที่สุด (12.53 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$ (T_4), $OF-B_{325}+CF_{OF-B-325}$ (T_6), CF_{DOA} (T_2) และ $OF-C_{650}$ (T_7) ขณะที่ $OF-C_{325}+CF_{OF-C-325}$ (T_8) มีผลให้ผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด (2.70 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$ (T_4) ส่วนการควบคุม (control) มีผลให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยน้อยที่สุด (8.69 เปอร์เซ็นต์ และ 1.11 ตัน/ไร่ ตามลำดับ)

2.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักที่สะสมในท่อน้ำของอ้อย

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมทั้งการควบคุม (control) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในท่อน้ำของอ้อยที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ (Table 10) กล่าวคือ $OF-C_{325}+CF_{OF-C-325}$ (T_8) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนที่สะสมในท่อน้ำของอ้อยมากที่สุด (0.281 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$ (T_4), CF_{DOA} (T_2), $OF-C_{650}$ (T_7) และ $OF-A_{650}$ (T_3) นอกจากนี้ $OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$ (T_4) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสที่สะสมในท่อน้ำของอ้อยมากที่สุด (0.053 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $OF-C_{325}+CF_{OF-C-325}$ (T_8), $OF-B_{325}+CF_{OF-B-325}$ (T_6) และ $OF-A_{650}$ (T_3) ส่วน $OF-A_{325}+CF_{OF-A-325}$ (T_4) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมที่สะสมในท่อน้ำของอ้อยมากที่สุด (0.658 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $OF-B_{325}+CF_{OF-B-325}$ (T_6), $OF-C_{325}+CF_{OF-C-325}$ (T_8), CF_{DOA} (T_2) และ $OF-A_{650}$ (T_3) ขณะที่การควบคุม (control) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในท่อน้ำของอ้อยน้อยที่สุด (0.092, 0.013 และ 0.132 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

Table 9 CCS and sugar yield of sugarcane at 12 MAP^{1/}

Treatments	CCS (%)	Sugar yield (ton/rai)
T ₁ = control	8.69 ^d ^{2/}	1.11 ^e ^{2/}
T ₂ = CF _{DOA}	12.43 ^{ab}	2.51 ^{bc}
T ₃ = OF-A ₆₅₀	12.15 ^b	2.38 ^{cd}
T ₄ = OF-A ₃₂₅ +CF _{OF-A-325}	12.50 ^{ab}	2.69 ^a
T ₅ = OF-B ₆₅₀	11.76 ^c	2.26 ^d
T ₆ = OF-B ₃₂₅ +CF _{OF-B-325}	12.47 ^{ab}	2.56 ^b
T ₇ = OF-C ₆₅₀	12.33 ^{ab}	2.45 ^{bc}
T ₈ = OF-C ₃₂₅ +CF _{OF-C-325}	12.53 ^a	2.70 ^a
F-test	**	**
CV (%)	12.58	13.08

^{1/} Months after planting^{2/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by using DMRT** indicates significant difference at $P < 0.01$ **Table 10** Concentration of major plant nutrients in stalk of sugarcane at 12 MAP^{1/}

Treatments	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
T ₁ = control	0.092 ^d ^{2/}	0.013 ^d ^{2/}	0.132 ^d ^{2/}
T ₂ = CF _{DOA}	0.273 ^{ab}	0.041 ^c	0.647 ^{abc}
T ₃ = OF-A ₆₅₀	0.268 ^{abc}	0.047 ^{abc}	0.642 ^{abc}
T ₄ = OF-A ₃₂₅ +CF _{OF-A-325}	0.277 ^{ab}	0.053 ^a	0.658 ^a
T ₅ = OF-B ₆₅₀	0.255 ^c	0.043 ^c	0.638 ^{bc}
T ₆ = OF-B ₃₂₅ +CF _{OF-B-325}	0.263 ^{bc}	0.048 ^{abc}	0.653 ^{ab}
T ₇ = OF-C ₆₅₀	0.270 ^{abc}	0.045 ^{bc}	0.633 ^c
T ₈ = OF-C ₃₂₅ +CF _{OF-C-325}	0.281 ^a	0.051 ^{ab}	0.651 ^{abc}
F-test	**	**	**
CV (%)	11.37	12.89	12.73

^{1/} Months after planting^{2/} means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by using DMRT** indicates significant difference at $P < 0.01$

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต รวมทั้งความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในท่อนลำของอ้อยดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว หรือการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่ง

เป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของจุฑามาศ และคณะ (2553) และชาลินี และคณะ (2562) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับอ้อยได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตเมื่อระยะ

เวลานานขึ้น ในทางตรงกันข้ามพบว่า การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ (control) มีผลให้การเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต รวมทั้งความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในท่อนลำของอ้อยต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะการปลูกพืชที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยในระยะยาวจะมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินลดน้อยลง และไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้ได้เลือกใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร โดยมีปริมาณธาตุอาหารหลักหรือปริมาณธาตุอาหารหลักรวมใกล้เคียงกัน (5.23-5.78 เปอร์เซ็นต์) จึงส่งผลให้ผลผลิตของอ้อยไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้น จึงควรทำการศึกษาต่อไปอีก 2-3 ปี เพื่อยืนยันผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวกับอ้อยต่อ และผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีต่อสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินในระยะยาวต่อไป

สรุป

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ (OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325}, T₈) มีผลให้ค่าความสูงของต้น ค่าความเขียวของใบ น้ำหนักต่อลำ และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร A อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ (OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325}, T₄) นอกจากนี้ OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตร และความยาวลำของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์สูตร B อัตรา 325 กิโลกรัม/ไร่ (OF-

B₃₂₅+CF_{OF-B-325}, T₆) ขณะที่ OF-C₃₂₅+CF_{OF-C-325} (T₈) มีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำ และค่า CCS ของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ OF-A₃₂₅+CF_{OF-A-325} (T₄), OF-B₃₂₅+CF_{OF-B-325} (T₆), การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (CF_{DOA}, T₂) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร C อัตรา 650 กิโลกรัม/ไร่ (OF-C₆₅₀, T₇)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท ไอคลิน อินเตอร์เนชั่นแนล (ไทยแลนด์) จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. รวมทั้งบริษัท วาย.วี.พี เฟอร์ติไลเซอร์ จำกัด ที่สนับสนุนปุ๋ยเคมีตลอดการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กาญจนา มัลลอม, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ทศพล พรพรม, วิภาวรรณ ท้ายเมือง, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ผลของน้ำวิเนสจากโรงงานเอทานอลที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย, 81-93 น. ใน การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบโสตทัศนูปกรณ์. คณะเกษตร

- กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- จุฬามาศ กล่อมจิตร, ชัยสิทธิ์ ทองจู และจุฬามาศ ร่มแก้ว. 2553. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยต่อปีที่ 1 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน, น. 148-159. ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ชาลินี คงสุด, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. การจัดการปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้โรงงานน้ำตาลต่อผลผลิตองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยปลูกและอ้อยต่อ 1 และสมบัติของดินบางประการ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2 (2): 35-47.
- ชัยสิทธิ์ ทองจู, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ศุภชัย อำคา และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้ของโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และซีเถ้าลอยต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตอ้อย และสมบัติของดิน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 6 (1) : 21-32.
- ณัฐภัทร ถาวรกิจการ, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, ทศพล พรพรหม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของการจัดการปุ๋ยเคมีร่วมกับซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยต่อ (ปีที่ 1) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน.
- วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2 (1): 68-81.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ จงรักษ์ จันทรเจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ศุภชัย อำคา, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และพงษ์เพชร พงษ์ศิริวาทย์. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และซีเถ้าลอยต่อสมบัติดิน ผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิตอ้อยปลูกและอ้อยต่อ 1. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 35 (3): 19-28.
- ภิญญาพัชญ์ มิ่งมิตร, ชัยสิทธิ์ ทองจู, จุฬามาศ ร่มแก้ว, สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์ และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. ผลของการจัดการปุ๋ยร่วมกับไบรอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 (1) : 1-14.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2528. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.
- ยศวดี เม่งเอียด, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฬามาศ ร่มแก้ว, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2561. ผลของการจัดการปุ๋ยเคมีร่วมกับ

- โบราณต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยต่อ (ปีที่ 1) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 1 (2): 80-94.
- โรจน์ เทพพูลผล. 2525. รายงานการสำรวจความเหมาะสมของดิน ฉบับที่ 311 รายงานการสำรวจดินจังหวัดนครปฐม. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สันติภาพ ทองอุ่น, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อำคา, วิภาวรรณ ท้ายเมือง, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากกากตะกอนยีสต์และน้ำวีเนสส์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยต่อปีที่ 1, 39-52 น. ใน การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Meade, G.P. and J.C.P. Chen. 1977. Cane Sugar Handbook. 10th ed. John Wiley and Sons, New York.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. P. 1022-1030. In C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part II. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin.
- 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.
- Walkley, 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.

Received 9 June 2020

Accepted 31 August 2020