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] ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย,[1] สิรินภา ช่วงโอภาส,[1] วิยงค์ กังวานศุภมงคล,[2] เกวลิน ศรีจันทร์,[1] อัญธิชา พรมเมืองคุก,[1] สุชาดา กรุณา,[1] ศิริสุดา บุตรเพชร,[1] ชาลินี คงสุด,[3] ธรรมธวัช แสงงาม[3] และธีรยุทธ คล้ำชื่น[4]*

Ruethairat Hoisan,[1] Chaisit Thongjoo,[1*] Tawatchai Inboonchuay,[1] Sirinapa Chungopast, [1] Wiyong Kangwansupamonkon, [2] Kavalin Srichan, [1] Aunthicha Phommuangkhuk, [1] Suchada Karuna, [1] Sirisuda Bootpetch, [1] Chalinee Khongsud, [3] Thamthawat Saengngam[3] and Teerayut Klumchaun[4]

Received 5 June 2020, Accepted 31 August 2020

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 (T_4) 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

[1*] ภาควิชาปฐพีวิทยา 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.

[2] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย จ.ปทุมธานี 12120
National Nanotechnology Center, National Science and Technology Development Agency, 111 Thailand Science Park, Pathum Thani 12120, Thailand.

[3] ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ 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.

[4] คณะเทคโนโลยีการเกษตร 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

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

ศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอปีที่ 1 พันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อค (RCBD) ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ประกอบด้วย 12 ตำรับทดลอง ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_4) มีผลให้ความสูงของต้น จำนวนลำใน 1 แถวเมตร ค่าความเขียวของใบ ความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ ปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในลำของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_5) และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_3) นอกจากนี้ T_4 ยังมีผลให้ผลผลิตอ้อยสด และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยตอมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5

คำสำคัญ: ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย อ้อยตอปีที่ 1

คำนำ

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561) รายงานว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อย 12.24 ล้านไร่ ได้ผลผลิตอ้อยสด 131.48 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 10.75 ตัน/ไร่ ปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกพืชเศรษฐกิจส่วนใหญ่ของประเทศประสบปัญหาต้นทุนการผลิตที่สูงและรายได้จากผลผลิตลดลง (นาวา และคณะ, 2562) แนวทางในการทำการเขตกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชที่นิยมปฏิบัติโดยทั่วไป คือ การใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น แต่ปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้ส่วนใหญ่มีสมบัติละลายน้ำและทำปฏิกิริยากับดินได้อย่างรวดเร็วภายหลังจากใส่ลงดิน (ปิยะ, 2538) ทำให้ธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีที่ละลายง่ายออกมาบางส่วนทำปฏิกิริยากับดินและถูกดูดตรึงอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ บางส่วนสูญหายไปโดยกระบวนการต่างๆ ในดิน เช่น อิมโมบิไลเซชัน (immobilization) การแปรสภาพเป็นแก๊สโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) การสูญหายในรูปแอมโมเนียของปุ๋ยไนโตรเจน (ammonia volatilizatio) และการชะละลายของปุ๋ยเคมีหลายชนิด (leaching) เป็นต้น (Mullen, 2011) ส่งผลให้ธาตุอาหารพืชในปุ๋ยเคมีบางส่วนเท่านั้นที่พืชสามารถดูดใช้ได้จริง ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยซึ่งผลิตโดยศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2557) คือ ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดที่ธาตุอาหารถูกควบคุมการปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายดิน โดยสารหุ้มผิวเม็ดในรูปสารโพลิเมอร์นาโนเคลย์คอมโพสิท (nano-clay composite) มีสมบัติในการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีในปุ๋ยเคมีเมื่อใส่ลงดิน โดยปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ และมีระยะเวลาการปลดปล่อยธาตุอาหารยาวนานเพื่อปลดปล่อย

ธาตุอาหารพืชในเม็ดปุ๋ยออกมาในอัตราที่สอดคล้องสมดุลกับปริมาณการดูดใช้ของพืชปลูกแต่ละชนิด การใช้ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของพืชปลูกต่อการดูดใช้ธาตุอาหารพืชที่มีในปุ๋ยเคมีโดยไม่จำเป็นต้องแบ่งใส่หลายครั้ง และใช้ในอัตราที่ต่ำกว่าปุ๋ยเคมีประเภทละลายเร็ว ทั้งนี้จะเห็นได้จากผลการวิจัยที่พบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อย โดยเฉพาะปุ๋ยเคมีไนโตรเจน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของอ้อยได้อย่างมีนัยสำคัญ (Verburg *et al*., 2017) และการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อยในอ้อยยังสามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยสดและผลผลิตน้ำตาลสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทละลายเร็ว (Garrett *et al*., 2017) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยเพื่อการผลิตพืชไร่เศรษฐกิจในประเทศไทยมีค่อนข้างน้อย จึงเกิดแนวคิดที่จะทำการศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอ (ปีที่ 1) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ต่อเนื่องจากธนัฐนันท์และคณะ (2563) ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลที่สำคัญและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอ (ปีที่ 1) พันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ต่อเนื่องจากแปลงอ้อยปลูกของธนัฐนันท์และคณะ (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) โดยเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 ซม. เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ รวมทั้งเนื้อดิน สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 1 จากนั้น นำผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากำหนดอัตราปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยตอ คือ 18, 6 และ 18 กม. 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 x 4.0 ตร.ม. วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วย 12 ตำรับทดลอง (Table 2) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (control, T_1) 2) ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (CF_{DOA}, T_2) 3) ใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_3) 4) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_4) 5) ใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_5) 6) ใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 25 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับ

ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_6) 7) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 33 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 11.5 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_7) 8) ใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 16-16-16 อัตรา 25 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 40-0-0 อัตรา 11.5 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_8) 9) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 33 กม./ไร่ ที่อายุ 1 เดือน (T_9) 10) ใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 16.5 กม./ไร่ ที่อายุ 1 เดือน (T_{10}) 11) ใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทสูตร 13-13-13 อัตรา 30 กม./ไร่ ที่อายุ 1 เดือน (T_{11}) และ 12) ใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทสูตร 13-13-13 อัตรา 15 กม./ไร่ ที่อายุ 1 เดือน (T_{12}) การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยตอที่อายุ 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) ส่วนการเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยตอที่อายุ 12 เดือน ได้แก่ ผลผลิตต่อไร่ จำนวนลำต่อไร่ น้ำหนักต่อลำ ความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ ค่า CCS โดยอาศัยสมการของ Meade & Chen (1977) และผลผลิตน้ำตาล โดยคำนวณจากสูตร ดังนี้

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

2นอกจากนี้ วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในลำ ได้แก่ ความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามที่ได้อธิบายไว้โดยทัศนีย์ และจงรักษ์ (2542) โดยข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่ได้จากการทดลอง 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 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 & Black, 1934) 2/ = Bray II method (Bray & 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 ($kgN-P_2O_5-K_2O$ 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

Note: 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 (ปลดปล่อยช้าการค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงของต้นอ้อยตอที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_4) มีผลให้ความสูงของต้นอ้อยตอมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_5) และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_3) โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Bhanuvally *et al*. (2017) ที่รายงานว่าการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อยมีผลให้ความสูงต้นของอ้อยดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีละลายเร็ว โดยช่วยลดการสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารหลักในปุ๋ย โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน นอกจากนี้ การที่ T_4

มีผลให้ความสูงของต้นอ้อยตอไม่แตกต่างกับ 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	CF1/	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	CF1/	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-NF2/	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-F3/	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	CF1/	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-NF2/	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-F3/	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-F3/	12-12-12	33	1	99.78^{cd}	260.34^{de}	315.60^{d}	327.57^{e}
T_{10}	CR-F3/	12-12-12	16.5	1	96.39^{d}	249.45^{fg}	283.54^{f}	291.65^{fg}
T_{11}	OMC4/	13-13-13	30	1	97.46^{cd}	253.58^{ef}	287.62^{f}	300.47^{f}
T_{12}	OMC4/	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

Note: 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 (ปลดปล่อยช้าการค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยตอที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ T_4 มีผลให้จำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยตอมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5, T_3, การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 33 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 11.5 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_7) การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 16-16-16 อัตรา 25 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 40-0-0 อัตรา 11.5 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_8) และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 25 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_6) โดยมีข้อสังเกตว่าจำนวนลำใน 1 แถวเมตรของอ้อยที่อายุ 8 และ 9 เดือน

มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของอ้อยในด้านความสูงเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการบังแสง ดังนั้น เมื่อหน่ออ้อยที่เกิดขึ้นใหม่ไม่ได้รับแสงอย่างเหมาะสม จึงส่งผลให้การสังเคราะห์แสงลดลง หรืออาจเป็นผลจากการแก่งแย่งธาตุอาหาร การสะสมของโรคและแมลง จึงทำให้หน่อใหม่ไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปในลักษณะเดียวกับงานวิจัยของภิญญาพัชญ์ และคณะ (2561) และณัฐภัทร และคณะ (2562)

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยตอที่อายุ 3, 6, 8 และ 9 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ที่อายุ 3 และ 6 เดือน พบว่า T_4 มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยตอมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5, T_3 และ T_7 ที่อายุ 8 เดือน พบว่า T_4 มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยตอมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5, T_3, T_7 และ T_8 ส่วนที่อายุ 9 เดือน พบว่า T_4 มีผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยตอมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5, T_3, T_7, T_8 และ T_6 โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบอ้อยตอที่อายุ 8 และ 9 เดือน มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับค่อนข้างต่ำ ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบอ้อยลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์นั่นเอง (ยงยุทธ, 2558) อย่างไรก็ตาม ตำรับควบคุม (control) ให้ความสูงของต้น จำนวนลำใน 1 แถวเมตร และค่าความเขียวของใบอ้อยตอน้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

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}

Table 4 (Continue)

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_{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

Note: 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

Note: 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. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยตอ (ปีที่ 1)

2.1 ผลผลิตอ้อยสดจำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำ

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตอ้อยสด จำนวนลำต่อไร่ และน้ำหนักต่อลำของอ้อยตอที่อายุ 12 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ T_4 มีผลให้ผลผลิตอ้อยสดมากที่สุด (22.58 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ T_5 นอกจากนี้ T_5 มีผลให้จำนวนลำต่อไร่ของอ้อยมากที่สุด (10,263 ลำ/ไร่) ไม่แตกต่างกับ T_6 และ T_4 ขณะที่ T_4 มีผลให้น้ำหนักต่อลำของอ้อยมากที่สุด (2.21 กม./ลำ) ไม่แตกต่างกับ T_5, T_3 และ T_7 ส่วนตำรับควบคุม (control) ให้ผลผลิตอ้อยสด และน้ำหนักต่อลำของอ้อยต่ำที่สุด (6.29 ตัน/ไร่ และ 0.67 กม./ลำ ตามลำดับ)

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

Treatments	Treatment descriptions				Yield	Number of stalk	Weight/stalk
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (months)	(ton/rai)	(stalk/rai)	(kg)
T_1	-	-	-	-	6.29^{e} 5/	9,378^{c} 5/	0.67^{f} 5/
T_2	CF1/	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	CF1/	16-16-16	50, 50	1, 3	19.86^{b}	9,288^{c}	2.14^{a}
		46-0-0	20	3			
T_4	CR-NF2/	12-12-12	66, 66	1, 3	22.58^{a}	10,225^{a}	2.21^{a}
		41-0-0	23	3			
T_5	CR-F3/	16-16-16	50, 50	1, 3	22.15^{a}	10,263^{a}	2.16^{a}
		40-0-0	23	3			
T_6	CF1/	16-16-16	25, 25	1, 3	18.61^{b}	10,233^{a}	1.82^{b}
		46-0-0	10	3			
T_7	CR-NF2/	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-F3/	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-F3/	12-12-12	33	1	15.53^{c}	8,933^{d}	1.74^{bc}
T_{10}	CR-F3/	12-12-12	16.5	1	12.64^{d}	8,973^{d}	1.41^{e}
T_{11}	OMC4/	13-13-13	30	1	14.29^{cd}	9,409^{c}	1.52^{de}
T_{12}	OMC4/	13-13-13	15	1	12.48^{d}	8,986^{d}	1.39^{e}
		F-test			**	**	**
		CV (%)			14.75	14.67	11.54

Note: 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 และเส้นผ่านศูนย์กลางลำ

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความยาวลำและเส้นผ่านศูนย์กลางลำของอ้อยตอที่อายุ 12 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ T_4 มีผลให้ความยาวลำของอ้อยตอมากที่สุด (329.47 ซม.) ไม่แตกต่างกับ T_5 และ T_3 นอกจากนี้ T_4 ยังมีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำของอ้อยตอมากที่สุด (3.36 ซม.) ไม่แตกต่างกับ T_5, T_3 และ T_7 ขณะที่ตำรับควบคุม (control) ให้ความยาวลำและเส้นผ่านศูนย์กลางลำของอ้อยตอน้อยที่สุด (203.50 และ 2.02 ซม. ตามลำดับ)

2.3 ค่า commercial cane sugar (CCS) และผลผลิตน้ำตาล

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยตอที่อายุ 12 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 8) กล่าวคือ T_4 มีผลให้ค่า CCS ของอ้อยมากที่สุด (12.43%) ไม่แตกต่างกับ T_5, T_3, T_7, T_8, T_6 และการใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 33 กม./ไร่ ที่อายุ 1 เดือน (T_9) ขณะที่ T_4 มีผลให้ผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด (2.81 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ T_5 ส่วนตำรับควบคุม (control) ให้ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยตอน้อยที่สุด (8.12% และ 0.51 ตัน/ไร่ ตามลำดับ)

2.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักที่สะสมในลำของอ้อย

การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย การใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) หรือการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ทอัตราต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในลำของอ้อยที่อายุ 12 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 9) กล่าวคือ T_4 มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนที่สะสมในลำของอ้อยตอมากที่สุด (0.347%) ไม่แตกต่างกับ T_5 และ T_3 นอกจากนี้ T_4 มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสที่สะสมในลำของอ้อยตอมากที่สุด (0.064%) ไม่แตกต่างกับ T_5 ส่วน T_4 มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมที่สะสมในลำของอ้อยตอมากที่สุด (0.546%) ไม่แตกต่างกับ T_5, T_3 และ T_7 ขณะที่ตำรับควบคุม (control) ให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในลำของอ้อยตอน้อยที่สุด (0.111, 0.007 และ 0.172% 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	CF1/	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	CF1/	16-16-16	50, 50	1, 3	322.31^{ab}	3.28^{abc}
		46-0-0	20	3		
T_4	CR-NF2/	12-12-12	66, 66	1, 3	329.47^{a}	3.36^{a}
		41-0-0	23	3		
T_5	CR-F3/	16-16-16	50, 50	1, 3	326.35^{ab}	3.32^{ab}
		40-0-0	23	3		
T_6	CF1/	16-16-16	25, 25	1, 3	300.53^{d}	3.12^{cd}
		46-0-0	10	3		
T_7	CR-NF2/	12-12-12	33, 33	1, 3	316.43^{bc}	3.22^{abcd}
		41-0-0	11.5	3		
T_8	CR-F3/	16-16-16	25, 25	1, 3	309.58^{cd}	3.16^{bcd}
		40-0-0	11.5	3		
T_9	CR-F3/	12-12-12	33	1	285.54^{e}	3.06^{d}
T_{10}	CR-F3/	12-12-12	16.5	1	263.55^{f}	2.54^{f}
T_{11}	OMC4/	13-13-13	30	1	276.40^{e}	2.67^{f}
T_{12}	OMC4/	13-13-13	15	1	251.58^{g}	2.33^{g}
		F-test			**	**
		CV (%)			12.17	13.19

Note: 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
	Fertilizer materials	Fertilizer grades	Applied rates (kg/rai)	Applied time (months)	(%)	(ton/rai)
T_1	-	-	-	-	8.12^{f} 5/	0.51^{g} 5/
T_2	CF1/	21-0-0	42.86, 42.86	2, 4	10.89^{bcde}	1.68^{d}
		0-42-0	14.29	4		
		0-0-60	30	4		
T_3	CF1/	16-16-16	50, 50	1, 3	12.28^{ab}	2.44^{b}
		46-0-0	20	3		
T_4	CR-NF2/	12-12-12	66, 66	1, 3	12.43^{a}	2.81^{a}
		41-0-0	23	3		
T_5	CR-F3/	16-16-16	50, 50	1, 3	12.36^{a}	2.74^{a}
		40-0-0	23	3		
T_6	CF1/	16-16-16	25, 25	1, 3	11.68^{abc}	2.17^{c}
		46-0-0	10	3		
T_7	CR-NF2/	12-12-12	33, 33	1, 3	12.22^{ab}	2.39^{b}
		41-0-0	11.5	3		
T_8	CR-F3/	16-16-16	25, 25	1, 3	11.84^{abc}	2.22^{c}
		40-0-0	11.5	3		
T_9	CR-F3/	12-12-12	33	1	11.21^{abcd}	1.74^{d}
T_{10}	CR-F3/	12-12-12	16.5	1	9.84^{de}	1.24^{f}
T_{11}	OMC4/	13-13-13	30	1	10.63^{cde}	1.52^{e}
T_{12}	OMC4/	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^{i} 5/	0.007^{i} 5/	0.172^{f} 5/
T_2	CF1/	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	CF1/	16-16-16	50, 50	1, 3	0.341^{a}	0.057^{bc}	0.536^{a}
		46-0-0	20	3			
T_4	CR-NF2/	12-12-12	66, 66	1, 3	0.347^{a}	0.064^{a}	0.546^{a}
		41-0-0	23	3			
T_5	CR-F3/	16-16-16	50, 50	1, 3	0.343^{a}	0.061^{ab}	0.542^{a}
		40-0-0	23	3			
T_6	CF1/	16-16-16	25, 25	1, 3	0.302^{d}	0.043^{e}	0.458^{b}
		46-0-0	10	3			
T_7	CR-NF2/	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-F3/	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-F3/	12-12-12	33	1	0.247^{f}	0.031^{fg}	0.387^{c}
T_{10}	CR-F3/	12-12-12	16.5	1	0.216^{h}	0.018^{h}	0.243^{e}
T_{11}	OMC4/	13-13-13	30	1	0.234^{g}	0.026^{g}	0.364^{d}
T_{12}	OMC4/	13-13-13	15	1	0.210^{h}	0.014^{h}	0.233^{e}
		F-test			**	**	**
		CV (%)			12.59	11.95	11.96

Note: 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 รวมทั้งความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในลำของอ้อยตอดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) การใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา และการใส่ปุ๋ยออสโมโค้ท ตามลำดับ ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการวิจัยที่รายงานว่าการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อยมีผลดีต่อการเพิ่มผลผลิตของอ้อย เพราะการใช้ปุ๋ยประเภทนี้ช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงดินได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่น การลดการสูญเสียไนโตรเจนในดินโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification process) ได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนประเภทละลายเร็ว (Morgan, 2009; Zwieten *et al*., 2016) เนื่องจากกลไกการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคมีควบคุมการปลดปล่อยและปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย จะดูดซึมน้ำและความชื้นในดินผ่านเปลือกที่หุ้มเม็ดเข้าไปในเม็ดปุ๋ยแล้วละลายตัวปุ๋ยเกิดเป็นสารละลายเกลือที่เข้มข้นภายในเปลือกของปุ๋ยแต่ละเม็ด ในสภาพเช่นนี้จะทำให้เกิดความดันออสโมซิส (osmotic pressure) ขึ้นภายในและเมื่อมีความดันสูงจนถึงระดับหนึ่ง จะมีผลทำให้น้ำปุ๋ยในรูปสารละลายค่อยๆ แพร่ซึมผนังเปลือกเม็ดปุ๋ยที่ปริร้าวออกมาภายนอกอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอเป็นระยะเวลานาน ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ (ปิยะ, 2538; วิยงค์ และคณะ, 2557)

สรุปผลการทดลอง

การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 อัตรา 66 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 41-0-0 อัตรา 23 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_4) มีผลให้ความสูงของต้น จำนวนลำใน 1 แถวเมตร ค่าความเขียวของใบ ความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ ปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในลำของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 16-16-16 อัตรา 50 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปลดปล่อยช้าการค้า) สูตร 40-0-0 อัตรา 23 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_5) และการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กม./ไร่/ครั้ง ที่อายุ 1 และ 3 เดือน ร่วมกับปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กม./ไร่ ที่อายุ 3 เดือน (T_3) นอกจากนี้ T_4 ยังมีผลให้ผลผลิตอ้อยสดและผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T_5

กิตติกรรมประกาศ

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

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. (2553). *คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ.* กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2558). *คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบโสตทัศนูปกรณ์.* นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐภัทร ถาวรกิจการ, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, ทศพล พรพรหม, และธีรยุทธ คล้ำชื่น. (2562). ผลของการจัดการปุ๋ยเคมีร่วมกับซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยตอ (ปีที่ 1) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ, 2*(1), 68-81.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. (2542). *แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช.* กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนัฐนันท์ เต็งประเสริฐ, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, กนกกร สินมา, วิยงค์ กังวานศุภมงคล, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรมเมืองคุก, สิรินภา ช่วงโอภาส, สุชาดา กรุณา,ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม, และธีรยุทธ คล้ำชื่น. (2563). ผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ*, 3(2), 47-62

นาวา ทวิชาโรดม, ปิยะ ดวงพัตรา, ปิติ กันตังกุล และจุฑามาศ ร่มแก้ว. (2562). ประสิทธิผลทางการเกษตรและความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยในอ้อย. *วารสารแก่นเกษตร*, 47 (2), 259-270.

ปิยะ ดวงพัตรา. (2538). หลักการและวิธีการใช้ปุ๋ยเคมี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภิญญาพัชญ์ มิ่งมิตร, ชัยสิทธิ์ ทองจู, จุฑามาศ ร่มแก้ว, สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์, และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. (2561). ผลของการจัดการปุ๋ยร่วมกับโบรอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,* 7(1), 1-14.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2528). *หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย.* กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

วิยงค์ กังวานศุภมงคล, สุวัชชัย จรัสโสภณ, ภาวิณี พงษ์วัน, ธนกร วิรุฬห์มงคล, กนิษฐา บุญภาวาณิชกุล, และกรรณิกา สิทธิสุวรรณกุล. (2557). *กรรมวิธีการเตรียมเม็ดปุ๋ยเคมีจากการเคลือบด้วยสารเคลือบชนิดโพลิเมอร์-นาโนเคลย์คอมพอสิทและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรรมวิธีดังกล่าว.* สิทธิบัตรไทย เลขที่ 1401003878.

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2557). *กรรมวิธีการเตรียมเม็ดปุ๋ยเคมีจากการเคลือบด้วยสารเคลือบชนิดโพลิเมอร์-นาโนเคลย์คอมพอสิทและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรรมวิธีดังกล่าว.* สิทธิบัตร ไทยเลขที่ 1401003878.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2561). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559-2561.* กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Bhanuvally, M., Ramesha, Y. M., & Yogeeshappa, H. (2017). Effect of slow releasing nitrogen fertilizers on growth and yield of sugarcane. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, *6*(10), 570-577.

Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil science*, *59*(1), 39-46.

Garrett, J., Tubana, B., Kwakye, S., Paye, W., Agostinho, F. B., Forestieri, D., ... & de Santana Martins, M. (2017). Controlled Release Nitrogen Fertilizer and Application Timing: Soil N, Leaf N, and Yield Response in Sugarcane. *ASA, CSSA and SSSA International Annual (2017)*.

Meade, G. P., & Chen, J. C. (1977). *Cane sugar handbook. A manual for cane sugar manufacturers and their chemists* (10th ed.). New York: John Wiley and Sons.

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. In C.A. Black, (Eds.) *Methods of Soil Analysis. Part II.* (pp. 1022-1030.) Madison, Wisconsin

Soil Survey Staff. (2003). *Key to Soil Taxonomy* (9th ed.). (p. 332). Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Survice.

Verburg, K., Muster, T.H., Zhao, Z., Biggs, J.S., Thorburn, P.J., Kandulu, J., ... & Mardell, J.I. (2017). *Roles of controlled release fertilizer in Australian sugarcane system: final report 2014/11.* Australia: Sugar Research Australia.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, *37*(1), 29-38.

Zwieten, L.V., Rush, J., Rose, T.J., Joseph, S., Beattie, R., Donne, S., ... & Morris, S. (2016). Assessing controlled release and deep placement N fertilizer technologies in subtropical sugarcane. In *Proceeding of the 2016 International Nitrogen Initiative Conference.* (pp 1-4). Australia: Melbourne.