ผลของปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

Effect of Different Nitrogenous Fertilizers on Growth and Yield of Cassava Planted in Kamphaeng Saen Soil Series

ธนากร คุ้มตรีทอง,[1] ชัยสิทธิ์ ทองจู,[1] ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย[1] และจุฑามาศ ร่มแก้ว[2]*

Thanakorn Koomtritong,[1] Chaisit Thongjoo,[1*] Tawatchai Inboonchuay[1] and Jutamas Romkaew[2]

Received 9 March 2024, Revised 31 March 2024, Accepted 1 April 2024

ABSTRACT

The effect of different nitrogen fertilizers on growth and yield of cassava (*var.* Huay Bong 60) planted in Kamphaeng Saen soil series was investigated. The experimental design was arranged in Randomized Complete Block (RCBD) with 3 replications of 7 treatments. The results showed that the application of controlled release chemical fertilizer (CRCF), of 50 kg/rai in combination with chemical fertilizer (CF) grade 0-46-0 and 0-0-60 of 4 and 4 kgP_2O_5 and K_2O per rai, respectively ($CRCF_{50}$,T_7) effected on the highest of plant height and leaf greenness (SPAD unit) which were not different from the application of ammonium sulfate (AS) of 95.24 kg/rai in combination with CF grade 0-46-0 and 0-0-60 of 4 and 4 kgP_2O_5 and K_2O per rai, respectively ($AS_{95.24}$, T_5) and the application of urea (U) of 43.48 kg/rai in combination with CF grade 0-46-0 and 0-0-60 of 4 and 4 kgP_2O_5 and K_2O per rai, respectively ($U_{43.48}$, T_6). While, all treatments applied with nitrogen fertilizers a insignificantly effected on fresh root yield, average weight/root, root width and root length, starch contents, starch yield, concentrations of total N, P and K in fresh root but significantly different when comparing with the control treatment that has resulted in the lowest fresh root yield, average weight/root, root width and root length, starch contents,

[1*] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

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

[2] ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

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

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

starch yield, concentrations of total N, P and K in fresh root. Furthermore, the application of CRCF provided the growth, yield, yield components and concentration of N, P and K in fresh root better than the application of quick release fertilizer.

Keywords: Chemical fertilizer, Nitrogenous fertilizers, Cassava

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 7 ตำรับทดลอง ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปลดปล่อยช้าสูตร 40-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ($CRCF_{50}$, T_7) มีผลให้ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 95.24 กิโลกรัม/ไร่ ($AS_{95.24}$, T_5) และการใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 43.48 กิโลกรัม/ไร่ ($U_{43.48}$, T_6) ขณะที่ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ มีผลให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว ความกว้างและความยาวหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสด ผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังใกล้เคียงกัน และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (control, T_1) ซึ่งมีผลให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว ความกว้างและความยาวหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสด ผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังน้อยที่สุด นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปลดปล่อยช้า มีผลให้การเจริญเติบโต ผลผลิตองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง และปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังโดยภาพรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยประเภทละลายเร็ว

คำสำคัญ: ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยไนโตรเจน มันสำปะหลัง

คำนำ

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2565) รายงานว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 10.86 ล้านไร่ ได้ผลผลิตหัวมันสด 34.07 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ 3.43 ตัน/ไร่ ปัจจุบันมันสำปะหลังมีการส่งออกและการเปิดตลาดในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปและสาธารณรัฐประชาชนจีนมากขึ้น ประกอบกับรัฐบาลไทยได้สนับสนุนการสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 จึงส่งผลให้ความต้องการผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) แนวทางหนึ่งที่ส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลัง คือ การเพิ่มผลผลิตหัวสดต่อหน่วยพื้นที่ให้สูงขึ้น ซึ่งอาจกระทำได้หลายวิธี เช่น การศึกษาอัตราปุ๋ยที่เหมาะสม (วราภรณ์ และคณะ, 2553; พิชญ์ศิณี และคณะ, 2559) รวมทั้งการลดต้นทุนการผลิตโดยใช้ผลพลอยได้จากภาคเกษตร หรือภาคอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ธีรยุทธ และคณะ, 2560; ณิชากร และคณะ, 2562; เสฏฐวุฒิ และคณะ, 2563;ณัฐวุฒิ และคณะ,2565) เป็นต้น โดยทั่วไปการใส่ปุ๋ยเคมีในแปลงพืชมักเกิดการ

สูญเสียธาตุอาหารไปจากระบบรากอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ตัวอย่างกรณีของอ้อย พบว่า เมื่ออ้อยมีการแตกกอเต็มที่ หากเกิดการขาดธาตุไนโตรเจนจะทำให้หน่ออ้อยไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นท่อนลำที่สมบูรณ์ และส่งผลให้จำนวนท่อนลำที่ตัดส่งโรงงานลดลง Koochekzadeh *et al.* (2009) รายงานว่าธาตุไนโตรเจนสามารถช่วยเพิ่มการแตกกอและการยืดยาวของท่อนลำอ้อย สอดคล้องกับ Lofton and Tubana (2015) ที่รายงานว่าธาตุไนโตรเจนสามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยให้สูงขึ้น ดังนั้นการลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนจะเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มผลผลิตของพืชได้ (นิพนธ์และวรรณวิภา, 2561) ปุ๋ยเคมีควบคุมการปลดปล่อย (controlled release chemical fertilizers, CRCF) เป็นปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดที่ธาตุอาหารถูกควบคุมการปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายดินอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีทั่วไป สมบัตินี้เป็นการช่วยให้การดูดซึมธาตุอาหารของพืชเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องและยาวนาน ลดการสูญเสียที่เกิดจากการชะล้าง (leaching) หรือการระเหยของตัวปุ๋ย และประหยัดค่าแรงในการใส่ปุ๋ย จากผลการวิจัยพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทควบคุมการปลดปล่อย โดยเฉพาะปุ๋ยเคมีไนโตรเจน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนของพืชได้อย่างมีนัยสำคัญ (Verburg *et al*., 2017) และสามารถเพิ่มผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทละลายเร็ว (Garrett *et al*., 2017) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ เพื่อการผลิตพืชไร่เศรษฐกิจในประเทศไทยมีค่อนข้างน้อย จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลที่สำคัญและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic, Soil Survey Staff, 2003) เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ตามวิธีการของทัศนีย์และจงรักษ์ (2542) ได้แก่ ค่า pH (1:1 water) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ รวมทั้งเนื้อดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558) สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน Table 1 ปลูกมันสำปะหลังในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 จำนวน 21 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 8 เมตร จำนวน 5 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 1 เมตร เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถวประมาณ 1 เมตร โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 3 x 6 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCBD) จำนวน 3

ซ้ำ 7 ตำรับทดลอง โดยรายละเอียดของตำรับทดลองได้แสดงไว้ใน Table 2

ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยยูเรีย (46 %N) และปุ๋ยเคมีควบคุมการปลดปล่อย (40 %N) ส่วนปุ๋ยรองพื้นที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (46 %P_2O_5) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 %K_2O) โดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับมันสำปะหลัง คือ 16, 4 และ 4 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) ตำรับทดลองที่ 2, 3 และ 4 ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยยูเรีย และปุ๋ยเคมีควบคุมการปลดปล่อย เทียบเท่าธาตุไนโตรเจนอัตรา 16 กิโลกรัม N ต่อไร่ ส่วนตำรับทดลองที่ 5, 6 และ 7 ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยยูเรีย และปุ๋ยเคมีควบคุมการปลดปล่อยโดยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนอีก 25 เปอร์เซ็นต์จากอัตราเดิม นอกจากนี้ ตำรับทดลองที่ 2-7 ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นปุ๋ยรองพื้นอัตรา 4 และ 4 กิโลกรัม P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่อายุ 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) ส่วนการเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือน ได้แก่ ผลผลิตหัวสด น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว ความกว้าง และความยาวหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสด (ใช้เครื่อง Remain Scale) ผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในผลผลิตหัวสด (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542) จากนั้นนำข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS) version 22

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

Properties	Results	Rating[1/]
pH (1:1)	6.85	neutral
EC_e (dS/m)	0.62	non-saline
Organic matter (g/kg)	0.68	low
Available P (mg/kg)	26.89	high
Exchangeable K (mg/kg)	64.23	moderately
Exchangeable Ca (mg/kg)	957	high
Exchangeable Mg (mg/kg)	67.25	moderately
Exchangeable Na (mg/kg)	95.56	-
Texture	sandy loam	-

[1/] = FAO Project Staff and Land Classification Division (1973)

Table 2 Detail of treatments

Treatments	Describes	Symbols	Quantity of major elements (kgN-P_2O_5-K_2O per rai)
T_1	no fertilizer treatment	control	0-0-0
T_2	the application of ammonium sulfate (AS) of 76.19 kg/rai in combination with chemical fertilizer (CF) grade 0-46-0 and 0-0-60 of 4 and 4 kgP_2O_5 and K_2O per rai, respectively	$AS_{76.19}$	16-4-4
T_3	the application of urea (U) of 34.78 kg/rai in combination with CF grade 0-46-0 and 0-0-60 of 4 and 4 kgP_2O_5 and K_2O per rai, respectively	$U_{34.78}$	16-4-4
T_4	the application of controlled release chemical fertilizer (CRCF) of 40 kg/rai in combination with CF grade 0-46-0 and 0-0-60 of 4 and 4 kgP_2O_5 and K_2O per rai, respectively	$CRCF_{40}$	16-4-4
T_5	the application of AS of 95.24 kg/rai in combination with CF grade 0-46-0 and 0-0-60 of 4 and 4 kgP_2O_5 and K_2O per rai, respectively	$AS_{95.24}$	20-4-4
T_6	the application of U of 43.48 kg/rai in combination with CF grade 0-46-0 and 0-0-60 of 4 and 4 kgP_2O_5 and K_2O per rai, respectively	$U_{43.48}$	20-4-4
T_7	the application of CRCF of 50 kg/rai in combination with CF grade 0-46-0 and 0-0-60 of 4 and 4 kgP_2O_5 and K_2O per rai, respectively	$CRCF_{50}$	20-4-4

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ปรากฏผลดังนี้

1. การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

1.1 ความสูงต้น

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control, T_1) มีผลให้ความสูงของต้นมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือน

หลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) กล่าวคือ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปลดปล่อยช้าสูตร 40-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ($CRCF_{50}$, T_7) มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังมากที่สุด (90.36 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 95.24 กิโลกรัม/ไร่ ($AS_{95.24}$, T_5) และการใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 43.48 กิโลกรัม/ไร่ ($U_{43.48}$, T_6) ที่อายุ 6 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปลดปล่อยช้าสูตร 40-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ($CRCF_{50}$, T_7) มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังมากที่สุด (168.36 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 95.24 กิโลกรัม/ไร่ ($AS_{95.24}$, T_5) ที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปลดปล่อยช้าสูตร 40-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ($CRCF_{50}$, T_7) มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังมากที่สุด (322.42 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 95.24 กิโลกรัม/ไร่ ($AS_{95.24}$, T_5) การใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 43.48 กิโลกรัม/ไร่ ($U_{43.48}$, T_6) และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปลดปล่อยช้าสูตร 40-0-0 อัตรา 40 กิโลกรัม/ไร่ ($CRCF_{40}$, T_4) ส่วนที่อายุ 9 เดือนหลังปลูก พบว่าทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังใกล้เคียงกันในช่วง 225.62-241.60 เซนติเมตร ขณะที่ตำรับควบคุม (control, T_1) มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังน้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต

1.2 ค่าความเขียวของใบ

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control, T_1) มีผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปลดปล่อยช้าสูตร 40-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ($CRCF_{50}$, T_7) มีผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 95.24 กิโลกรัม/ไร่ ($AS_{95.24}$, T_5) และการใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 43.48 กิโลกรัม/ไร่ ($U_{43.48}$, T_6) ขณะที่ตำรับควบคุม (control, T_1) มีผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังน้อยที่สุดทุกระยะการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังที่อายุ 6 เดือนหลังปลูกมีค่าสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการศึกษา สอดคล้องกับ ธีรยุทธ และคณะ (2560) เสฏฐวุฒิ และคณะ (2563) และณัฐวุฒิ และคณะ (2565) ที่ทดลองกับมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ และการปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยที่ใส่จะลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ (ยงยุทธ, 2558)

Table 3 Plant height of cassava at different ages

Treatments	Plant height (cm)			
	3 MAP[1/]	6 MAP	9 MAP	12 MAP
T_1 = control	48.49^{e} [2/]	96.78^{d} [2/]	153.26^{e} [2/]	183.63^{e} [2/]
T_2 = $AS_{76.19}$	65.35^{d}	130.60^{c}	228.69^{cd}	302.59^{d}
T_3 = $U_{34.78}$	60.66^{d}	126.53^{c}	225.62^{d}	297.43^{d}
T_4 = $CRCF_{40}$	71.71^{c}	134.56^{c}	230.62^{cd}	309.54^{c}
T_5 = $AS_{95.24}$	86.23^{ab}	163.38^{a}	237.45^{ab}	318.36^{ab}
T_6 = $U_{43.48}$	82.39^{b}	150.25^{b}	233.51^{bc}	313.62^{bc}
T_7 = $CRCF_{50}$	90.36^{a}	168.36^{a}	241.60^{a}	322.42^{a}
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	14.93	13.60	13.64	12.13

[1/] Months after planting

[2/] means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

Table 4 Leaf greenness (SPAD unit) of cassava at different ages

Treatments	SPAD unit			
	3 MAP[1/]	6 MAP	9 MAP	12 MAP
T_1 = control	34.86^{c} [2/]	33.59^{c} [2/]	31.58^{d} [2/]	29.58^{d} [2/]
T_2 = $AS_{76.19}$	40.18^{b}	43.72^{b}	38.56^{bc}	36.52^{bc}
T_3 = $U_{34.78}$	38.76^{b}	41.63^{b}	36.57^{c}	35.42^{c}
T_4 = $CRCF_{40}$	40.42^{b}	45.58^{b}	40.56^{b}	38.88^{b}
T_5 = $AS_{95.24}$	45.73^{a}	51.43^{a}	46.56^{a}	44.75^{a}
T_6 = $U_{43.48}$	44.63^{a}	49.85^{a}	45.69^{a}	43.59^{a}
T_7 = $CRCF_{50}$	46.68^{a}	52.73^{a}	46.85^{a}	44.87^{a}
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	12.45	12.79	10.47	11.38

[1/] Months after planting

[2/] means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง

2.1 ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control, T_1) มีผลให้ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักเฉลี่ยต่อหัวของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ มีผลให้ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักเฉลี่ยต่อหัวของมันสำปะหลังใกล้เคียงกัน

ในช่วง 9.83-10.89 ตัน/ไร่ และ 0.38-0.48 กิโลกรัม/หัว ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (control, T_1) ซึ่งมีผลให้ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักเฉลี่ยต่อหัวของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (3.48 ตัน/ไร่ และ 0.23 กิโลกรัม/หัว ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่เพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์จากอัตราเดิม (20 กิโลกรัม N ต่อไร่) ไม่ได้มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตหัวสดและน้ำหนักเฉลี่ยต่อหัวแตกต่างกันในทางสถิติ

2.2 ความกว้างและความยาวหัวสด

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control, T_1) มีผลให้ความกว้างและความยาวหัวสดของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ มีผลให้ความกว้างและความยาวหัวสดของมันสำปะหลังใกล้เคียงกันในช่วง 6.17-6.38 และ 23.54-24.25 เซนติเมตร ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (control, T_1) ซึ่งมีผลให้ความกว้างและความยาวหัวสดของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (3.86 และ 17.83 เซนติเมตร ตามลำดับ)

2.3 เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสดและผลผลิตแป้งต่อพื้นที่

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control, T_1) มีผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสดและผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ มีผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสดและผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังใกล้เคียงกันในช่วง 27.84-28.42 เปอร์เซ็นต์ และ 2.74-3.09 ตัน/ไร่ ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (control, T_1) ซึ่งมีผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสดและผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (22.82 เปอร์เซ็นต์ และ 0.79 ตัน/ไร่ ตามลำดับ)

Table 5 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	3.48^{b} [2/]	0.23^{d} [2/]	3.86^{d} [2/]	17.83^{b} [2/]
T_2 = $AS_{76.19}$	10.12^{a}	0.41^{bc}	6.21^{bc}	23.63^{a}
T_3 = $U_{34.78}$	9.83^{a}	0.38^{c}	6.17^{c}	23.54^{a}
T_4 = $CRCF_{40}$	10.23^{a}	0.43^{abc}	6.25^{abc}	23.76^{a}
T_5 = $AS_{95.24}$	10.83^{a}	0.47^{a}	6.33^{ab}	24.18^{a}
T_6 = $U_{43.48}$	10.76^{a}	0.46^{ab}	6.31^{abc}	24.12^{a}
T_7 = $CRCF_{50}$	10.89^{a}	0.48^{a}	6.38^{a}	24.25^{a}
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	14.76	10.68	11.26	12.51

[1/] Months after planting

[2/] means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at $P< 0.01$

Table 6 Starch contents and starch yield of cassava at 12 MAP[1/].

Treatments	Starch contents (%)	Starch yield (ton/rai)
T_1 = control	22.82[b 2/]	0.79[d 2/]
T_2 = $AS_{76.19}$	27.93[a]	2.83[bc]
T_3 = $U_{34.78}$	27.84[a]	2.74[c]
T_4 = $CRCF_{40}$	28.18[a]	2.88[abc]
T_5 = $AS_{95.24}$	28.36[a]	3.07[ab]
T_6 = $U_{43.48}$	28.32[a]	3.05[ab]
T_7 = $CRCF_{50}$	28.42[a]	3.09[a]
F-test	**	**
C.V. (%)	11.46	9.49

[1/] Months after planting

[2/] means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at *P*< 0.01

3. ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักที่สะสมในผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลัง

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ รวมทั้งตำรับควบคุม (control, T_1) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังใกล้เคียงกันในช่วง 0.221-0.243, 0.125-0.129 และ 0.973-0.983 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ตำรับควบคุม (control, T_1) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (0.121, 0.088 และ 0.486 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

Table 7 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	0.121[b 2/]	0.088[b 2/]	0.486[b 2/]
T_2 = $AS_{76.19}$	0.226[a]	0.126[a]	0.976[a]
T_3 = $U_{34.78}$	0.221[a]	0.125[a]	0.973[a]
T_4 = $CRCF_{40}$	0.231[a]	0.127[a]	0.978[a]
T_5 = $AS_{95.24}$	0.241[a]	0.128[a]	0.982[a]
T_6 = $U_{43.48}$	0.237[a]	0.128[a]	0.980[a]
T_7 = $CRCF_{50}$	0.243[a]	0.129[a]	0.983[a]
F-test	**	**	**
C.V. (%)	11.63	10.37	10.49

[1/] Months after planting

[2/] means within the same column followed by the same letter indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at *P*< 0.01

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า ตำรับทดลองที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ (20 กิโลกรัม N ต่อไร่, ตำรับทดลองที่ 5-7) มีผลให้ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจน 16 กิโลกรัม N ต่อไร่ (ตำรับทดลองที่ 2-4) แม้ว่าจะไม่มีผลให้ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังโดยภาพรวมแตกต่างกันในทางสถิติก็ตาม นอกจากนี้ ตำรับทดลองที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนเท่ากัน (16 หรือ 20 กิโลกรัม N ต่อไร่) พบว่า ตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปลดปล่อยช้า มีผลให้ความสูงต้น ค่าความเขียวของใบ ผลผลิตหัวสด น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว ความกว้าง ความยาวหัวสด และปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนที่สะสมในผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังโดยภาพรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และปุ๋ยยูเรีย ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยเคมีปลดปล่อยช้าสามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนออกมาสู่สารละลายดินอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีทั่วไป ทำให้การดูดซึมธาตุอาหารของพืชเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและยาวนานกว่า (Verburg *et al*., 2017) จึงส่งผลให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังโดยภาพรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีประเภทละลายเร็ว (Garrett *et al*., 2017)

สรุป

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปลดปล่อยช้าสูตร 40-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ($CRCF_{50}$, T_7) มีผลให้ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอัตรา 95.24 กิโลกรัม/ไร่ ($AS_{95.24}$, T_5) และการใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 43.48 กิโลกรัม/ไร่ ($U_{43.48}$, T_6) ขณะที่ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดต่างๆ มีผลให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว ความกว้างและความยาวหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสด ผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังใกล้เคียงกันและแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (control, T_1) ซึ่งมีผลให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว ความกว้างและความยาวหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสด ผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังน้อยที่สุด จากผลการทดลอง การใช้ชนิดของปุ๋ยและปริมาณของไนโตรเจน ไม่ทำให้ผลผลิตหัวสดแตกต่างกันในทางสถิติ ทำให้ไม่สามารถแนะนำวิธีการที่สามารถเพิ่มผลผลิตได้ จึงควรวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเช่น อัตราส่วนรายได้ต่อการลงทุน (benefit cost ratio: BCR) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการเลือกวิธีการที่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

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

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

ณิชากร ทองมี, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, สิรินภา ช่วงโอภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้ำชื่น. (2562). ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ, 2*(2), 91-105.

ณัฐวุฒิ อ่อนเฉียบ, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, อัญธิชา พรมเมืองคุก, และธีรยุทธ คล้ำชื่น. (2565). การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ, 5*(2), 16-27.

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

ธีรยุทธ คล้ำชื่น, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ทศพล พรพรหม และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. (2560). ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง และสมบัติของดิน. *วารสารแก่นเกษตร, 45*(4), 711-720.

นิพนธ์ มาวัน และวรรณวิภา แก้วประดิษฐ์. (2561). ระดับของปุ๋ยเคมีไนโตรเจนต่อผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน เอนไซม์ยูรีเอส และความอุดมสมบูรณ์ของดินหลังการเก็บเกี่ยวอ้อยในสภาพดินทราย. *วารสารเกษตรพระวรุณ,15*(1), 74-84.

พิชญ์ศิณี แก้ววงศ์หาญ, ชัยสิทธิ์ ทองจู, จุฑามาศ ร่มแก้ว, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้ำชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ธนศมณท์ กุลการัณย์เลิศ, อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์, รุจิกร ศรีแม้นม่วง และศิริสุดา บุตรเพชร. (2559). การจัดการปุ๋ยเคมีร่วมกับสารปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลัง (ปีที่ 2). *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,5* (2), 1-16.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2558). ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วราภรณ์ นิติกูล, ชัยสิทธิ์ ทองจู และศุภชัย อำคา. 2553. การจัดการปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินเพื่อยกระดับผลผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินปากช่องต้นฤดูฝน. *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ.* (น. 54-64). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสฏฐวุฒิ อภิวัฒน์ตั้งสกุล, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, สิรินภา ช่วงโอภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้ำชื่น. (2563). ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ*, *3*(2), 34-46.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2554-2556*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563-2565*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

FAO Project Staff and Land Classification Division. (1973). *Soil interpretation handbook for Thailand*. Bangkok: Department of land development, ministry of agriculture and cooperation. p. 135.

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. *Proceeding of Managing Global Resources for a Secure Future 2017 Annual meeting*, Madison: American Society of Agronomy.

Koochekzadeh, A., G. Fathi, M.H. Gharineh, S.A. Siadat, S. Jafari and K. Alami-Saeid. (2009). Impacts of rate and split application of N fertilizer on sugarcane quality. *International Journal of Agricultural Research, 4* (3), 116-123. doi: 10.3923/ijar.2009.116.123.

Lofton, J. and B. Tubana. (2015). Effect of nitrogen rates and application time on sugarcane yield and quality. *Journal of Plant Nutrition, 38*(2), 161-176. doi: 10.1080/01904167.2013.828752.

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

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*. Indooroopilly: Sugar Research Australia Ltd.