Content List Available at ThaiJo
Khon Kaen Agriculture Journal
Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

# ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน การเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ที่มีลักษณะการแตกกิ่งต่างกันที่ปลูกภายใต้การให้น้ำเสริม

## Nitrogen use efficiency, growth and yield of 2 cassava genotypes with different branching patterns under supplemental irrigation

**อนนท์ จันทร์เกตุ[1], พีรวัฒน์ พิพิธกุล[1], ธนารักษ์ แสงทอง[1], ภาษิตา ทุ่นศิริ[1], ปรเมศ บรรเทิง[2], รัตนจิรา รัตนประเสริฐ[3] และ นทีทิพย์ สวัสดิ์รักษา[4]***

Anon Janket[1], Phirawat Phiphitkun[1], Thanarak Saengthong[1], Phasita Toonsiri[1], Poramate Banterng[2], Ruttanachira Ruttanaprasert[3] and Nateetip Sawatraksa[4]*

*[1] คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190*
*[1] Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, 34190*
*[2] คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40000*
*[2] Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40000*
*[3] คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สุรินทร์ 32000*
*[3] Faculty of Agriculture and Technology Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin, 32000*
*[4] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000*
*[4] Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang, Lampang 52000*

**บทคัดย่อ:** การจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนของมันสำปะหลังพันธุ์ต่างกันภายใต้การให้น้ำชลประทานเต็มที่ โดยวางแผนการทดลองแบบ split-plot in randomized complete block design จำนวน 4 ซ้ำ กำหนดให้ main-plot เป็นอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 3 ระดับ ได้แก่ 0, 15 และ 30 กิโลกรัม/ไร่ (N0, N1 และ N2 ตามลำดับ) และ sup-plot เป็นมันสำปะหลังที่มีลักษณะแตกกิ่งที่ต่างกัน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ระยอง 9 (ไม่แตกกิ่ง) และสายพันธุ์ CMR38-125-77 (แตกกิ่ง) ทำการเก็บข้อมูลมวลชีวภาพที่อายุ 2, 4 และ 6 เดือน และข้อมูลผลผลิตหัว เปอร์เซ็นต์แป้ง ผลผลิตแป้ง ดัชนีเก็บเกี่ยวเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 6 เดือน และคำนวณประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (NUE) ดัชนีการตอบสนองของปุ๋ยไนโตรเจน และผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งพบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน N2 ทำให้มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีมวลชีวภาพ ผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง ผลผลิตแป้งสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน N0 และ N1 ที่ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในทางตรงกันข้ามพบว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ไม่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในทุกอัตราของทุกลักษณะที่ตรวจวัด ทั้งนี้กลับพบว่าสายพันธุ์ CMR-38-125-77 มีศักยภาพการให้ผลผลิตหัว และผลผลิตแป้งที่ดีกว่าพันธุ์ระยอง 9 ในสภาพที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย N0 และ N1 นอกจากนี้พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อดัชนีเก็บเกี่ยว และจำนวนหัวของมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้น จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลังลดลงในทั้ง 2 สายพันธุ์ การศึกษานี้พบว่า มีเพียงมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่ปลูกในสภาพที่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจน N2 เท่านั้นที่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่สูง (60%) และให้ผลตอบแทนส่วนเพิ่มคุ้มค่ากับการลงทุน (302%)

* Corresponding another: s.nateetip@rmutl.ac.th
Received: date; April 4, 2023 Revised: date; December 13, 2023
Accepted: date; January 9, 2024 Published: date;

**คำสำคัญ:** *Manihot esculanta* Crantz; ปุ๋ยไนโตรเจน; อัตราปุ๋ย; ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย; การจัดการธาตุอาหาร

**ABSTRACT:** Optimum fertilizer management is one of the strategies for improving cassava yield. This study aimed to investigate the effects of nitrogen fertilizer rates on growth, yield and nitrogen use efficiency (NUE) of different cassava varieties under full irrigated condition. The field experiment was a split-plot in randomized complete block design with 4 replications. Main plot factor included three nitrogen application rates, i.e., 0, 15 and 30 kg/ rai (N0, N1 and N2, respectively). Sub plot factor consisted of two cassava varieties with different branching patterns, i.e., Rayong 9 (non-forking) and CMR38-125-77 (forking). Data were recorded for biomass at 2, 4 and 6 months after planting (MAP). Whereas storage root yield, starch content, starch yield and harvest index were recorded at 6 MAP. NUE, nitrogen response index and marginal rate of return were also calculated. It was noted for Rayong 9 that the application of nitrogen at N2 gave the highest biomass, fresh and dry yields of storage root and starch yield when compared to N0 and N1 with no significant difference. On the other hand, CMR38-125-77 did not respond to nitrogen at all application rates for all traits. Yet CMR-38-125-77 had higher storage root and starch yields than Rayong 9 under N0 and N1. Moreover, the results indicated that no significant difference among nitrogen treatments was observed regarding to harvest index and storage root numbers, and the starch content was decreased with increasing of nitrogen rates for both cassava varieties. Only Rayong 9 variety planted under N2 showed a great response to the application of nitrogen (60%), thereby resulting in a satisfactory of the marginal rate of return (302%).
**Keywords:** *Manihot esculanta* Crantz; nitrogen; fertilizer rate; nutrient use efficiency; nutrient management

**บทนำ**

มันสำปะหลัง (*Manihot esculanta* L. Crantz) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลก โดยประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังเป็นอันดับ 2 รองจากประเทศไนจีเรีย และส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังเป็นลำดับที่ 1 ของโลก รวมทั้งมีการขยายตัวของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามผลผลิตเฉลี่ยของมันสำปะหลังของเกษตรกรยังค่อนข้างต่ำเพียง 3.25 ตัน/ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากการขาดประสิทธิภาพในการผลิต เช่น การใช้ระยะปลูกที่ไม่เหมาะสม การขาดพันธุ์ที่เหมาะสมในแต่ละเขตเกษตรนิเวศ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การจัดการปุ๋ยไม่เหมาะสม และผลกระทบจากความแห้งแล้ง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2566) จากสถานการณ์ความต้องการมันสำปะหลังของตลาดโลกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้น (FAO, 2018) ส่งผลให้ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยขยายตัวเฉลี่ย 16.6% ต่อปี (ชัยวัช, 2563) ทำให้ปัจจุบันราคามันสำปะหลังค่อนข้างสูงซึ่งจูงใจให้เกษตรกรเพาะปลูก ทำให้ในหลายพื้นที่มีการขยายพื้นที่ปลูกมากขึ้น เช่น ปลูกมันสำปะหลังช่วงหลังฤดูกาลเพาะปลูกข้าว ซึ่งจะมีช่วงเวลาการเพาะปลูกค่อนข้างจำกัดประมาณ 6-8 เดือน (Sawatraksa et al., 2018) โดยพื้นที่นาส่วนใหญ่จะมีเนื้อดินแบบร่วนปนทราย ส่วนพื้นที่ไร่นั้นจะมีเนื้อดินแบบทราย ในส่วนของคุณสมบัติทางเคมี พบว่าดินนามีปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้สูงกว่าพื้นที่ไร่ ส่วนความเป็นกรด-ด่างของดิน และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน (Phoncharoen et al., 2019; Sawatraksa et al., 2019; 2023) มีการศึกษาพบว่ามวลชีวภาพของมันสำปะหลังที่อายุ 6 เดือนหลังปลูกในทั้งสองพื้นที่มีค่าใกล้เคียงกัน (Phoncharoen et al., 2019; Sawatraksa et al., 2019) อีกทั้งเกษตรกรยังให้ความสนใจเกี่ยวกับการจัดการที่ดี เพื่อเพิ่มศักยภาพการให้ผลผลิตต่อพื้นที่กันมากขึ้น เช่น การจัดการปุ๋ย และการจัดการน้ำ (Janket et al., 2020) ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังด้วยการจัดการที่ดีแล้วประมาณ 30% ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2565) อย่างไรก็ตามภาพรวมปริมาณการผลิตมันสำปะหลังปัจจุบันยังต่ำกว่าทิศทางการขยายตัวของความต้องการในภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นยังมีความจำเป็นที่ต้องขยายพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังภายใต้การจัดการที่ดีเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ เนื่องจากการขยายพื้นที่ปลูกในแนวราบอาจเป็นไปได้ยาก สาเหตุจากการแข่งขันระหว่างพื้นที่เพาะปลูกกับพืชไร่เศรษฐกิจชนิดอื่นๆ นอกจากนี้นักวิจัยยังให้ความสำคัญในการผลิตมันสำปะหลังที่มีอายุสั้น สามารถเก็บเกี่ยวได้เร็วและให้ผลผลิตที่น่าพอใจ ซึ่งจะเพื่อเพิ่มโอกาสให้เกษตรกรปลูกมันสำปะหลังได้มากกว่า 1 รอบต่อปี (Adu-Gyamfi et al., 2016; Chipeta et al., 2020; Sawatraksa et al., 2018; 2019)

ไนโตรเจน (nitrogen) เป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญมากชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นองค์ประกอบของโปรตีน กรดอะมิโน และเอนไซม์ต่างๆ ทำให้ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างเซลล์ใหม่ และการเคลื่อนย้ายอาหารและธาตุอาหารระหว่างเซลล์ (พิทยา,

2554) อีกทั้งไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของคลอโรฟิลล์ซึ่งช่วยในการสังเคราะห์แสง จากการศึกษาของ ธยานี และคณะ (2560) พบว่า ปุ๋ยไนโตรเจนมีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และผลผลิตของหญ้ากินนีมอมบาซา ชยันต์ และ วิทยา (2557) ได้ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 โดยทดลองเปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่ต่างกันในชุดดินร้อยเอ็ด โดยปลูกภายใต้การให้น้ำ 50% และ 25% ของระดับน้ำที่เป็นประโยชน์ในดิน (AW) และสภาพอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน อัตรา 32 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตหัวสดสูงที่สุดเท่ากับ 4,650 กิโลกรัม/ไร่ ขณะที่การให้น้ำ 50% AW ทำให้ผลผลิตหัวของมันสำปะหลังสูงที่สุด คมสันต์ และ ปรเมศ (2559) ได้ทำการปลูกมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ระยอง 9 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ภายใต้ระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0, 15 และ 30 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่ ในสภาพอาศัยน้ำฝนในชุดดินโพนพิสัย พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ ให้น้ำหนักแห้งหัวสูงที่สุดทั้ง 2 พันธุ์ ในขณะที่ Oliveira et al. (2017) ได้ปลูกทดสอบมันสำปะหลังโดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน 5 อัตรา ได้แก่ 0, 4.8, 9.6, 24.0 และ 52.8 กิโลกรัม/ไร่ ที่ประเทศบราซิล พบว่า เมื่อระดับปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความสูง น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน ขนาดหัว และน้ำหนักหัวแห้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น และเมื่อทำนายด้วยสมการ การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 36.2 กิโลกรัม/ไร่ เป็นอัตราที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ผลผลิตหัวสด ผลผลิตแป้ง และดัชนีเก็บเกี่ยวสูงที่สุด

การศึกษาการตอบสนองของปุ๋ยไนโตรเจนในมันสำปะหลังที่ผ่านมาจะเป็นการศึกษาภายใต้การปลูกแบบอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว และภายใต้สภาพการให้น้ำเพียง 50% และ 25% AW อีกทั้งยังมุ่งเน้นเรื่องการให้ผลผลิตเป็นเกณฑ์การตัดสินใจ อย่างไรก็ตามทั้งนักวิจัยควรจะใช้ข้อมูลด้านผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ และข้อมูลประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยในการตัดสินใจร่วมด้วย เพื่อจะได้ข้อมูลพันธุ์ที่สามารถใช้ปุ๋ยไนโตรเจนไปสร้างเป็นผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งนี้ข้อมูลการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่ต่างกันภายใต้สภาพการได้รับน้ำชลประทานเสริมในช่วงที่ฝนน้อยลง หรือฝนทิ้งช่วง และดินมีความชื้นลดลง ซึ่งเป็นสภาพการเพาะปลูกที่มีการจัดการน้ำที่ดี เพื่อป้องกันไม่ให้มันสำปะหลังได้รับความเครียดจากการขาดน้ำ และเป็นสภาพที่ส่งเสริมต่อการใช้ธาตุอาหารของพืช ซึ่งยังเป็นประเด็นที่น่าสนใจเพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการปุ๋ยภายใต้การปลูกที่มีการให้น้ำเสริม ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และความคุ้มทุนในด้านเศรษฐศาสตร์ของมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ที่มีรูปแบบการแตกกิ่งที่ต่างกันภายใต้สภาพที่มีการให้น้ำชลประทานเสริมเต็มที่ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจในการวางแผนการผลิตมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน เพื่อให้ได้ผลผลิตหัว และผลผลิตแป้งที่ดี รวมถึงมีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ และยังข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้ในโปรแกรมปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังต่อไป

## วิธีการศึกษา

### แผนการทดลอง และสถานที่ทดลอง

การศึกษานี้ใช้แผนการทดลอง split-plot in randomized complete block design มี 4 ซ้ำ โดย main-plot คือ อัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 3 ระดับ ได้แก่ 0, 15 และ 30 กิโลกรัม/ไร่ และ sub-plot กำหนดให้เป็นมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ ที่มีลักษณะการแตกกิ่งที่ต่างกัน ได้แก่ พันธุ์ระยอง 9 มีลำต้นตั้งตรงสูง ไม่มีการแตกกิ่ง (non-forking type) และสายพันธุ์ CMR38-125-77 มีการแตกกิ่ง (forking type) ดำเนินการทดลองที่แปลงสำนักงานไร่ฝึกทดลองและห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2564 ถึงเดือนมิถุนายน 2565

### การปลูก และการดูแลรักษา

การเตรียมแปลงปลูก ก่อนปลูกทดลองทำการปลูกถั่วพร้าเพื่อบำรุงดินโดยทำการไถกลบเมื่อออกดอก การเตรียมแปลงจะไถด้วยผาน 3 จำนวน 1 ครั้ง ตากดินไว้ประมาณ 20 วัน ทำการไถพรวนด้วยผาล 7 อีก 1 ครั้ง เพื่อปรับให้ดินที่ความร่วนซุย หลังจากนั้นยกร่องปลูกให้มีระยะห่างระหว่างสันร่อง 0.8 เมตร แบ่งแปลงย่อยให้มีความกว้าง 3.2 เมตร และความยาว 8 เมตร จำนวน 24 แปลงย่อย วางระบบน้ำหยดโดยใช้ท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว ติดตั้งวาล์วน้ำเพื่อกำหนดการให้น้ำให้กับมันสำปะหลังในทุกแถว และวางสายน้ำหยดที่มีระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด 30 เซนติเมตร ในทุกแถวที่มีการปลูกมันสำปะหลัง

การเตรียมท่อนพันธุ์ และการปลูก โดยใช้ท่อนพันธุ์ 2 สายพันธุ์จากต้นพันธุ์อายุ 10 เดือน ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ปลูกในแปลงขยายพันธุ์มันสำปะหลัง ต้นพันธุ์มีความสมบูรณ์ขนาดเท่าๆ กัน โดยใช้ส่วนกลางลำต้นมาตัดด้วยเครื่องตัดท่อนพันธุ์ ให้มีความยาวขนาด 20 เซนติเมตร หลังจากนั้นแช่ท่อนพันธุ์ด้วยสารเคมี ไธอะมีโทแซม (thiamethoxam) (3-(2-chloro-thiazol-5-ylmethyl)-5-methyl-(1,3,5)-oxadiazinan-4-ylidene-N-nitroamine 25% WG) อัตรา 4 กรัม/น้ำ 20 ลิตร แช่นาน 10 นาที เพื่อป้องกันเพลี้ยแป้งที่ติดมากับท่อนพันธุ์ ก่อนปลูกจะทำการให้น้ำในแปลงเพื่อให้ความชื้นเหมาะสม และทำการปลูกมันสำปะหลังบนสันร่อง โดยมีระยะห่างระหว่างต้น 0.8 เมตร และระยะห่างระหว่างแถว 0.8 เมตร จำนวน 4 แถวๆ ละ 10 ต้น ต่อแปลงย่อย (40 ต้นต่อแปลงย่อย; sub-plot) หลังปลูกจนกระทั่ง 45 วันหลังปลูกมีการให้น้ำชลประทานอย่างสม่ำเสมอทุก ๆ 2 วันเพื่อให้ต้นสามารถงอก และเจริญเติบโตได้ดี เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงเวลาที่ฝนทิ้งช่วง การให้น้ำชลประทานแต่ละครั้งจะควบคุมแรงดันน้ำเท่ากับ 2 บาร์ และเปิดน้ำให้กับแปลงทดสอบมันสำปะหลังครั้งละ 2 ซ้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเริ่มมีฝนตกจากการเข้าสู่ฤดูฝน การให้น้ำชลประทานจะให้ในช่วงที่ฝนทิ้งช่วงโดยจะให้จนกระทั่งเก็บเกี่ยว การกำหนดช่วงเวลาที่ต้องให้น้ำแต่ละครั้งนั้น จะทำการสุ่มตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร ในช่วงเวลาที่มีฝนทิ้งช่วง (ข้อมูลไม่ได้แสดง) และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน ด้วยวิธี Gravimetric method ซึ่งหากดินมีความชื้นดินลดลงใกล้เคียง 10% จะมีการให้น้ำทันที ซึ่งข้อมูลความชื้นดินดังกล่าวอ้างอิงจากระดับน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ (available water) ต่อพืชของดินทรายร่วน (loamy sand) ซึ่งอยู่ระหว่าง 10% ถึง 18% (Kramer et al., 1944) ระหว่างงานทดลองมีการกำจัดวัชพืชอย่างสม่ำเสมอด้วยจอบ เพื่อป้องกันการแข่งขันกับวัชพืชโดยเฉพาะในช่วง 3 เดือนแรกหลังปลูก และเมื่อทรงพุ่มเจริญจนคลุมพื้นที่ปลูก ทำการประเมินการกำจัดวัชพืชตามความจำเป็น เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 เดือน ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่

เมื่อมันสำปะหลังมีอายุได้ 45 วันหลังปลูกใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) เพื่อกำหนดทรีตเมนต์ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0, 15 และ 30 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่ ใส่ปุ๋ยด้วยการขุดหลุมข้างต้นห่างจากโคนต้น 20 เซนติเมตร แล้วจึงพรวนดินกลบ หลังใส่ปุ๋ยทำการให้น้ำมันสำปะหลังทันที

**การเก็บข้อมูล**

(1) ข้อมูลดิน เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-30 และ 30-60 เซนติเมตร จำนวน จำนวน 10 จุด จากนั้นรวมตัวอย่างดินที่ระดับความลึกเดียวกัน ทำให้แห้งโดยตากในที่ร่ม ทำการร่อนดินด้วยตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีของดินซึ่งประกอบด้วย ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter) โดยวิธี Walkley and Black (Black, 1965) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) (1:2.5 $H_2O$) โดยวิธี Std. Glass Electrode (Black, 1965) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Kjeldahl (Black, 1965) และวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชอัตโนมัติ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II (Drilon, 1980) และประเมินด้วยเครื่อง Spectrophotometer และโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้โดยวิธี ammonium acetate (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) และประเมินด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometry

(2) ข้อมูลฟ้าอากาศ ระหว่างการทดลอง ตรวจวัดข้อมูลฟ้าอากาศรายวันจากสถานีตรวจวัดฟ้าอากาศ ของสำนักงานไร่ฝึกทดลองและห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตั้งอยู่ห่างจากแปลงทดลอง 100 เมตร ค่าที่บันทึกประกอบด้วย ค่าพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

(3) ข้อมูลด้านการเจริญเติบโตและผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักแห้ง และดัชนีเก็บเกี่ยว ตรวจวัดข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง เมื่อมีอายุ 2, 4 และ 6 เดือนหลังปลูก จากมันสำปะหลังแถวกลางจำนวน 4 ต้นต่อแปลงย่อย นำมันสำปะหลังมาแยกส่วน ลำต้น ใบ ก้านใบ และหัว ออกจากกัน ล้างทำความสะอาดหัวด้วยน้ำประปา แล้วชั่งน้ำหนักสดแต่ละส่วน จากนั้นนำส่วนต้น และหัว (ถ้ามี) มาย่อยด้วยมีด แล้วสุ่มตัวอย่างของแต่ละส่วนอย่างน้อย 10% ของน้ำหนักสดทั้งหมด นำไปอบด้วยตู้อบตัวอย่างพืช ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ นำไปชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลที่มีทศนิยม 2 ตำแหน่ง เมื่อ

ได้น้ำหนักแห้งมันสำปะหลังทำการคำนวณหามวลชีวภาพ และดัชนีเก็บเกี่ยว จากสัดส่วนของน้ำหนักแห้งหัว (economic yield) (กิโลกรัม/ไร่) ต่อน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้น (biological yield) (กิโลกรัม/ไร่)

(4) ข้อมูลด้านคุณภาพผลผลิต ได้แก่ เปอร์เซ็นต์แป้ง และผลผลิตแป้งที่มันสำปะหลังอายุ 6 เดือน นำตัวอย่างจากข้อ (3) มาทำการวัดเปอร์เซ็นต์แป้งด้วยวิธีวัดความถ่วงจำเพาะ โดยนำหัวมันสำปะหลังมาตัดหัวท้าย สับเป็นท่อนๆ ละประมาณ 5 เซนติเมตร จำนวน 5 กิโลกรัม ใส่ถุงตาข่าย ชั่งน้ำหนักในอากาศ และชั่งน้ำหนักในน้ำด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลแบบแขวน นำน้ำหนักหัวมันสำปะหลังที่ชั่งในอากาศ และน้ำมาคำนวณหาความถ่วงจำเพาะ และประมาณปริมาณแป้งจากวิธีของ Chua et al. (2020) ดังสูตร ความถ่วงจำเพาะ= น้ำหนักในอากาศ/ (น้ำหนักในอากาศ-น้ำหนักในน้ำ) และหาเปอร์เซ็นต์แป้ง จากสูตร เปอร์เซ็นต์แป้ง = (210.8 x ความถ่วงจำเพาะ) - 213.4 และคำนวณหาผลผลิตแป้งจากผลคูณของเปอร์เซ็นต์แป้ง กับน้ำหนักสดหัว (กิโลกรัม/ไร่)

(5) ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (nitrogen use efficeincy; NUE) คำนวณได้จากสัดส่วนของน้ำหนักแห้งหัว (กิโลกรัม/ไร่) ที่อายุ 6 เดือน ต่อปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (กิโลกรัม/ไร่) ตามสูตรของ Hoang et al. (2019)

(6) ดัชนีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน (nitrogen response index; NRI) คำนวณตามสูตรของ Johnson and Raun (2003) โดยที่ดัชนีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของผลผลิตที่อายุ 6 เดือน คำนวณได้จากสัดส่วนของผลผลิตในสภาพที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อผลผลิตในสภาพไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

(7) ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ วิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้อัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม (marginal rate of return, MRR) ตามวิธีของ อารันต์ และ ธนรักษ์ (2534) และวัลลีย์ และคณะ (2560) โดยมีหลักเกณฑ์ที่ว่าการลงทุนจะคุ้มทุน เมื่อ MRR เท่ากับหรือมากกว่า 100 ดังสูตร

MRR (%) = (กำไรที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใส่ปุ๋ย/ ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใส่ปุ๋ย) x 100

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) สำหรับข้อมูลพืชทุกลักษณะที่ตรวจวัด ตามแบบแผนการทดลอง split-plot in randomized complete block design และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significance Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Gomez and Gomez, 1984) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำเร็จรูป Statistix 10 (Statistix 10, 2013)

## ผลการศึกษา

**ข้อมูลดิน และข้อมูลสภาพอากาศ**

คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของดินก่อนปลูก พบว่าดินในแปลงทดสอบ (ที่ระดับ 0 - 60 เซนติเมตร) มีเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน (loamy sand) มีอินทรียวัตถุเท่ากับ 0.39% ไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.02% และ pH ของดินมีค่าเท่ากับ 6.08 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.75 และ 23.55 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ **(Table 1)** ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของมันสำปะหลังพบว่าดินในแปลงทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมในการปลูกมันสำปะหลัง แต่มีค่า pH ลักษณะเนื้อดินเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในระดับต่ำ และพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าความต้องการของมันสำปะหลัง (Aves, 2002) สภาพอากาศในช่วงการทดลองเดือนธันวาคม ถึงเดือนมิถุนายน พบว่ามีปริมาณฝนรายวันอยู่ที่ 0 - 88.1 มิลลิเมตร/วัน ฝนตกชุกในช่วง 4-5 เดือนหลังปลูก มีปริมาณน้ำฝนรวมตลอด 6 เดือนเท่ากับ 634.5 มิลลิเมตร และมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ในช่วง 26.0-38.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดอยู่ในช่วง 14.5-25.6 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ระหว่าง 58.50% - 89.75% โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยเท่ากับ 69.14% **(Figure 1)** เนื่องจากการศึกษานี้มีการให้น้ำชลประทานเสริมตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโต ฉะนั้นปริมาณน้ำฝนจึงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโต ทั้งนี้มันสำปะหลังที่ปลูกทดสอบในการทดลองนี้อยู่ในเขตที่มีอุณหภูมิเหมาะสมกับการเจริญเติบโต ซึ่งมันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 25 - 35 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่มีผลให้มีการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงที่สุด ทำให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดี (Alves, 2002)

**Table 1** Soil physical and chemical properties before cassava planting at 0-60 cm

| Soil physical and chemical properties | Mean |
|---|---|
| pH (1:1 $H_2O$) | 6.08 |
| Organic matter (%) | 0.39 |
| Total nitrogen (%) | 0.02 |
| Available phosphorus (mg/kg) | 33.75 |
| Exchangeable potassium (mg/kg) | 23.55 |
| Electrical conductivity (dS/m) (1:5 $H_2O$) | 0.03 |
| Soil texture | Loamy sand |

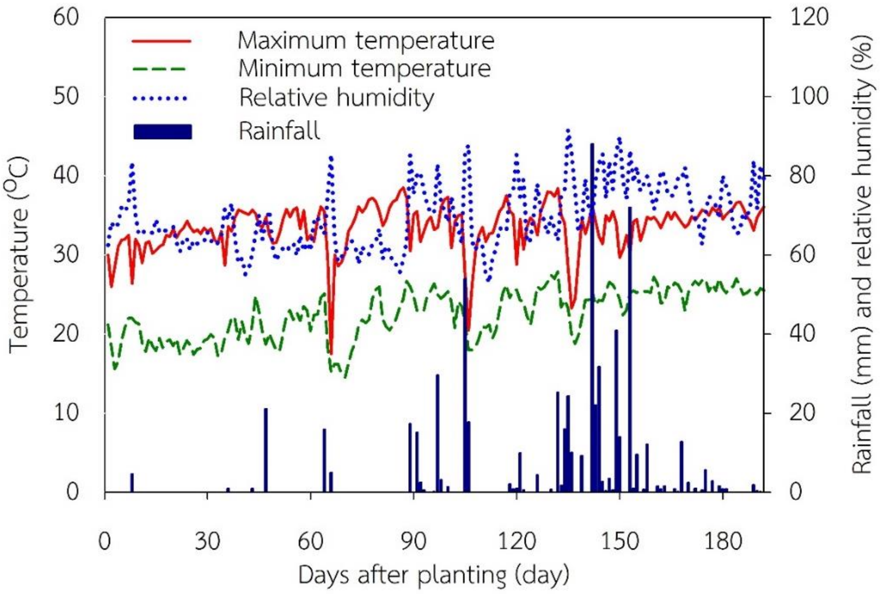


**Figure 1** Rainfall (mm), maximum temperature (°C), minimum temperature (°C), and relative humidity (%) during the growing period of cassava.

**การวิเคราะห์ความแปรปรวน**

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของอิทธิพลของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ต่อมวลชีวภาพของมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ ที่อายุ 2, 4 และ 6 เดือน พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อมวลชีวภาพของมันสำปะหลังทุกระยะการเจริญเติบโต และจำนวนหัวของมันสำปะหลังที่ระยะเก็บเกี่ยว **(Table 2)** ขณะที่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่ต่างกัน ส่งผลต่อความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ของผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง เปอร์เซ็นต์แป้ง ผลผลิตแป้ง และดัชนีเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยว (6 เดือน) มันสำปะหลังพันธุ์ที่ต่างกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของมวลชีวภาพที่อายุ 4 เดือน ผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง เปอร์เซ็นต์แป้ง ผลผลิตแป้ง และจำนวนหัว แต่พันธุ์มันสำปะหลังที่ต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของลักษณะมวลชีวภาพที่อายุ 2 เดือน ($P \leq 0.01$) และ 6 เดือน ($P \leq 0.05$) และดัชนีเก็บเกี่ยวที่ระยะเก็บเกี่ยว ($P \leq 0.01$) **(Table 2)** ทั้งนี้ยังพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของลักษณะมวลชีวภาพที่อายุ 4 และ 6 เดือน น้ำหนักหัวสด น้ำหนักหัวแห้ง และผลผลิตแป้ง ($P \leq 0.05$) แต่ไม่พบในลักษณะอื่น เนื่องจากพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของลักษณะหลักส่วนใหญ่ที่ทำการศึกษาจึงวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยแยกตามพันธุ์

**การสะสมมวลชีวภาพ**

จากการศึกษาพบว่า มันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ มีการสะสมมวลชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีอายุเพิ่มขึ้นในทุกระดับปุ๋ยไนโตรเจน **(Figure 2)** ทั้งนี้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน 3 ระดับไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพของมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ในทุกระยะการเจริญเติบโต ในขณะที่มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 เมื่ออายุ 6 เดือนมีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีมวลชีวภาพสูงที่สุด (6,026 กิโลกรัม/ไร่) **(Figure 2)**

**องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต ดัชนีเก็บเกี่ยว เปอร์เซ็นต์แป้ง และผลผลิตแป้ง**

จากการศึกษาพบว่าปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อดัชนีเก็บเกี่ยว และจำนวนหัวของมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ที่อายุเก็บเกี่ยว **(Table 3 and 4)** นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่ต่างกัน 3 ระดับไม่ส่งต่อผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง **(Table 3)** และผลผลิตแป้งของมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ที่อายุ 6 เดือน **(Table 4)** ทั้งนี้กลับพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลต่อผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง และผลผลิตแป้งของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 อย่างเป็นนัยสำคัญทางสถิติ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีผลผลิตหัวสด (5,043 กิโลกรัม/ไร่) ผลผลิตหัวแห้ง (1,930 กิโลกรัม/ไร่) และผลผลิตแป้งสูงที่สุด (1,086 กิโลกรัม/ไร่) ทั้งนี้พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตหัวสด และผลผลิตหัวแห้งของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน **(Table 3 and 4)**

สำหรับเปอร์เซ็นต์แป้ง พบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์มีค่าสูงสุด **(Table 4)** โดยที่สายพันธุ์ CMR38-125-77 มีเปอร์เซ็นต์แป้งเท่ากับ 25.29% และพันธุ์ระยอง 9 มีค่าเท่ากับ 25.46% ขณะที่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นเป็นอัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ และ 30 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้มีเปอร์เซ็นต์แป้งที่ลดลงทั้ง 2 สายพันธุ์ โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้มีเปอร์เซ็นต์แป้ง เท่ากับ 22.28% และ 24.02% ในมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 และมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ตามลำดับ และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 30 กิโลกรัมไร่ ทำให้มีเปอร์เซ็นต์แป้ง เท่ากับ 19.90% และ 21.60% ในมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 และมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ตามลำดับ **(Table 4)**

**Table 2** Analysis of variance for biomass (kg/rai) at 2, 4 and 6 months after planting (MAP), storage root fresh weight (kg/rai), storage root dry weight (kg/rai) , starch content (%), starch yield (kg/rai) , storage root number (no.), and harvest index at 6 MAP of two cassava genotypes planted under three nitrogen rate

| Source of | Biomass | | | Storage root fresh weight | Storage root dry weight | Starch content | Starch yield | Storage root number | Harvest index |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| variation | 2 MAP | 4 MAP | 6 MAP | 6 MAP | 6 MAP | 6 MAP | 6 MAP | 6 MAP | 6 MAP |
| Replication (R) | | | | | | | | | |
| Nitrogen rate (N) | ns | ns | ns | * | * | * | * | ns | * |
| Error (a) | | | | | | | | | |
| Genotype (G) | ** | ns | * | ns | ns | ns | ns | ns | ** |
| N × G | ns | * | * | * | * | ns | * | ns | ns |
| Error (b) | | | | | | | | | |
| CV (a) | 21.05 | 11.42 | 17.71 | 17.22 | 15.23 | 8.77 | 14.72 | 22.13 | 19.85 |
| CV (b) | 18.31 | 19.31 | 16.38 | 19.42 | 17.73 | 6.81 | 15.61 | 24.35 | 19.36 |

ns, non-significant differences

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

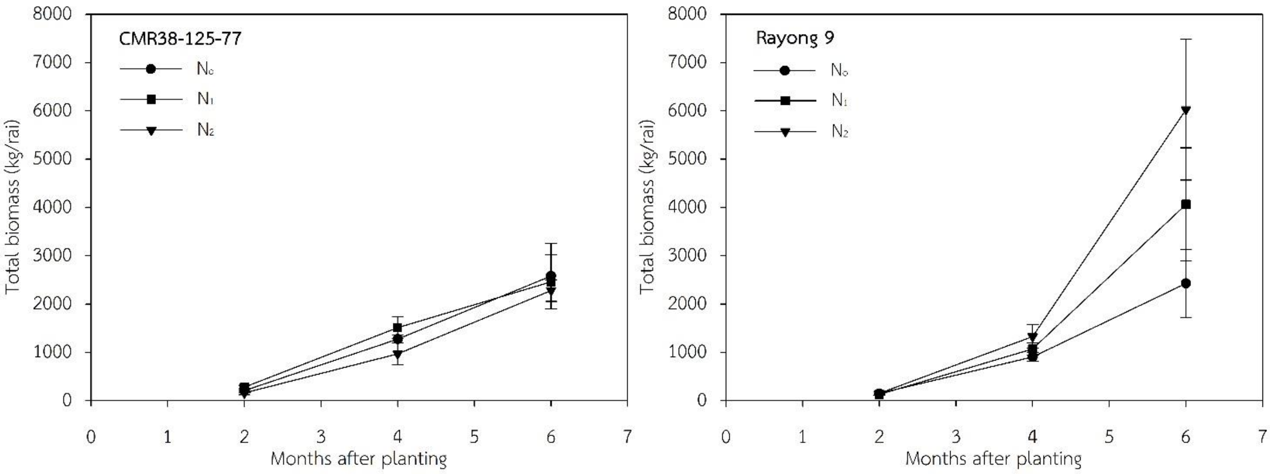


**Figure 2** Biomass of two cassava genotypes planted under three nitrogen fertilizer rates at 2, 4, and 6 months after planting.

$N_0$ = nitrogen fertilizer at rates of 0 kg/rai, $N_1$ = nitrogen fertilizer at rates of 15 kg/rai and $N_2$ = nitrogen fertilizer at rates of 30 kg/rai.

**Table 3** Storage root fresh weight (kg/rai), storage root dry weight (kg/rai) and harvest index at 6 months after planting of two cassava genotypes planted under three nitrogen fertilizer rates

| Nitrogen level | Storage root fresh weight (kg/rai) | | Mean | Storage root dry weight (kg/rai) | | Mean | Harvest index | | Mean |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CMR38-125-77 | Rayong 9 | | CMR38-125-77 | Rayong 9 | | CMR38-125-77 | Rayong 9 | |
| $N_0$ | 3,904A | 3,032bB | 3,468 | 1,515A | 1,206abB | 1,360 | 0.60 | 0.505 | 0.552 |
| $N_1$ | 3,992A | 2,837bB | 3,414 | 1,429A | 1,119bB | 1,274 | 0.61 | 0.360 | 0.485 |
| $N_2$ | 3,905B | 5,043aA | 4,474 | 1,371B | 1,930aA | 1,650 | 0.53 | 0.352 | 0.441 |
| Mean | 3,933 | 3,637 | | 1,438 | 1,418 | | 0.58 | 0.405 | |

Values in the same column followed by the same small letter are not significantly different at the 0.05 by the least significant difference (LSD) test.

Values in the same row followed by the same capital letter are not significantly different at the 0.05 by the least significant difference (LSD) test.

$N_0$ = nitrogen fertilizer at rates of 0 kg/rai, $N_1$ = nitrogen fertilizer at rates of 15 kg/rai and $N_2$ = nitrogen fertilizer at rates of 30 kg/rai.

**Table 4** Starch content (%), starch yield (kg/rai) and storage root number (no./plant) at 6 months after planting of two cassava genotypes planted under three nitrogen fertilizer rates

| Nitrogen level | Starch content (%) | | Mean | Starch yield (kg/rai) | | Mean | Storage root number (no./plant) | | Mean |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CMR38-125-77 | Rayong 9 | | CMR38-125-77 | Rayong 9 | | CMR38-125-77 | Rayong 9 | |
| $N_0$ | 25.29a | 25.46a | 25.36 | 992.4A | 766.5abB | 879.5 | 8.958 | 9.540 | 9.249 |
| $N_1$ | 22.28b | 24.02ab | 23.15 | 885.9A | 682.9bB | 784.4 | 10.25 | 8.375 | 9.312 |
| $N_2$ | 19.90b | 21.60b | 20.75 | 786.3B | 1,086aA | 936.2 | 8.792 | 8.835 | 8.813 |
| Mean | 22.49 | 23.69 | | 888.2 | 845.1 | | 9.333 | 8.916 | |

Values in the same column followed by the same small letter are not significantly different at the 0.05 by the least significant difference (LSD) test.

Values in the same row followed by the same capital letter are not significantly different at the 0.05 by the least significant difference (LSD) test.

$N_0$ = nitrogen fertilizer at rates of 0 kg/ rai, $N_1$ = nitrogen fertilizer at rates of 15 kg/ rai and $N_2$ = nitrogen fertilizer at rates of 30 kg/ rai.

**ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย ดัชนีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน และอัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม**

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 มีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 30 กิโลกรัม/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนของผลผลิตหัวแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างระดับปุ๋ยไนโตรเจน **(Table 5)** นอกจากนี้ยังพบว่า มีเพียงมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่ปลูกในสภาพที่ได้รับอัตราไนโตรเจน 30 กิโลกรัม/ไร่ เท่านั้น ที่มีดัชนีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (1.66) จึงทำให้มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่ปลูกในสภาพที่ได้รับอัตราไนโตรเจน 30 กิโลกรัม/ไร่ นั้น ที่มีอัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่มเท่ากับ 302% ซึ่งเป็นอัตราตอบแทนที่คุ้มค่ากับการลงทุน ขณะที่พันธุ์ระยอง 9 ในสภาพที่ได้รับอัตราไนโตรเจน 15 กิโลกรัม/ไร่ และมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ไม่มีการตอบสนองต่อการปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งมีค่าดัชนีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากับ 0.94-1.02 ทำให้มีค่าอัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่มที่ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน **(Table 5)** ซึ่งการลงทุนจะคุ้มทุนเมื่ออัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม (%) มากกว่าหรือเท่ากับ 100 และดัชนีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนเท่ากับ 1.00 กล่าวคือผลผลิตในสภาพใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ในผลการศึกษานี้ได้คำนวณราคาปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อ้างอิงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในเดือนและปีที่ใส่ปุ๋ยเท่ากับ 27 บาท/กิโลกรัม และราคาหัวมันสำปะหลังสดอ้างอิงจากสมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยที่ราคาหัวมันสำปะหลังที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งต่ำกว่า 25% ในเดือนมิถุนายน 2565 เท่ากับ 2.65 บาท/กิโลกรัม

**Table 5** Nitrogen use efficiency, nitrogen response index and marginal rate of return at 6 months after planting of two cassava genotypes planted under different nitrogen fertilizer rates

| Nitrogen level | Nitrogen use efficiency | | Mean | Nitrogen response index | | Mean | Marginal rate of return | | Mean |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CMR38-125-77 | Rayong 9 | | CMR38-125-77 | Rayong 9 | | CMR38-125-77 | Rayong 9 | |
| $N_1$ | 95.3 a | 74.6 | 84 | 1.02 | 0.94b | 0.98 | 26 | -58 | -16 |
| $N_2$ | 45.7b | 64.3 | 55 | 1.00 | 1.66a | 1.29 | 0 | 302 | 151 |
| Mean | 70 | 92 | | 1.01 | 1.30 | 1.14 | 13 | 122 | |

Values in the same column followed by the same small letter are not significantly different at the 0.05 by the least significant difference (LSD) test.

$N_1$ = nitrogen fertilizer at rates of 15 kg/rai and $N_2$ = nitrogen fertilizer at rates of 30 kg/rai

The price of chemical nitrogen fertilizer is 27 Baht/kg, and storage root of cassava is 2.65 Baht/kg

**วิจารณ์**

การจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนของมันสำปะหลังพันธุ์ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน ซึ่งพบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีมวลชีวภาพ ผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง ผลผลิตแป้งสูงที่สุดเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ (N2) ซึ่งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ ($N_1$) และไม่มีการใส่ปุ๋ย ($N_0$) ซึ่งให้ค่าของลักษณะดังกล่าวที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR-38-125-77 ไม่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับทุกลักษณะที่ทำการตรวจวัด แต่กลับมีศักยภาพการให้ผลผลิตหัว และผลผลิตแป้งที่ดีกว่าพันธุ์ระยอง 9 ในสภาพไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N0) การที่พันธุ์มันสำปะหลังมีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันนั้น อาจเนื่องมาจากพันธุกรรมของมันสำปะหลัง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Phuntupan and Banterng (2017) รายงานว่าพันธุ์มันสำปะหลังที่ต่างกัน จะมีการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันในลักษณะของอัตราการเจริญของหัว น้ำหนักแห้งหัว พื้นที่ใบ และพื้นที่ใบจำเพาะในสภาพการปลูกแบบอาศัยน้ำฝน Santanoo et al. (2019) พบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงกว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ในทุกฤดูกาล ได้แก่ฤดูร้อน ฤดูหนาว และฤดูฝน ซึ่งอาจจะชี้ให้เห็นความสามารถในการปรับตัวที่ดีของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ในสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่ต่างกัน ขณะที่ คมสันต์ และ ปรเมศ (2559) ได้ปลูกทดสอบมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ ได้แก่พันธุ์ระยอง 9 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ภายใต้ระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน 3 ระดับ (0, 15 และ 30 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่) ในสภาพอาศัยน้ำฝน พบว่าพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกันมีการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีการตอบสนองของลักษณะมวลชีวภาพ และน้ำหนักแห้งหัวต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณสูงที่สูงกว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวพบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้น้ำหนักแห้งหัวสูงที่สุดทั้งมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ระยอง 9

การศึกษานี้พบว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ไม่ตอบสนองต่อการปุ๋ยไนโตรเจนของลักษณะมวลชีวภาพ ผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง และผลผลิตแป้ง แต่พบว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 มีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนของหัวแห้งในสภาพการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 15 กิโลกรัม/ไร่ สูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ และสูงกว่าพันธุ์ระยอง 9 ภายใต้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทั้ง 2 อัตรา (15 และ 30 กิโลกรัม/ไร่) ทั้งนี้อาจเนื่องจากมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 เป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตหัว และผลผลิตแป้งที่สูงในสภาพที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และในสภาพที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผลทำให้มีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสูงไปด้วย อย่างไรก็ตามมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ไม่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย

ไนโตรเจน (ดัชนีการตอบสนองเท่ากับ 1.00-1.02) กล่าวคือการเพิ่มอัตราปุ๋ยโนโตรเจน ไม่สามารถเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ได้และเมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์แป้ง จำนวนหัว และดัชนีเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่าเปอร์เซ็นต์แป้งจะมีค่าสูงที่สุดในสภาพที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และจะลดลงตามอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับหลายการศึกษาที่กล่าวว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้มีการเจริญเติบโตทางลำต้นมากขึ้น ส่งผลทำให้มีการใช้สารอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงในการเจริญทางลำต้น และทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งลดลง (Oliveira et al., 2017; Phuntupan and Banterng, 2017) อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อมันสำปะหลังมีอายุเพียง 6 เดือนเท่านั้น ซึ่งหากทำการเก็บผลผลิตมันสำปะหลังที่มันสำปะหลังมีอายุมากกว่านี้ (10-12 เดือน) อาจให้ผลที่แตกต่างกัน เนื่องจากที่อายุ 8-12 เดือน เป็นช่วงนี้มันสำปะหลังมีการลำเลียงสารอาหารจากต้น และใบมาสะสมที่หัวมากที่สุด (Aves, 2002) และผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกมันสำปะหลังที่มีการเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาจำกัด เช่นการปลูกหลังนา หรือมีการเก็บเกี่ยวที่เร็วขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นของภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบัน (Sawatraksa et al., 2018; Sawatraksa et al., 2019)

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยให้กับมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มผลผลิตมีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ที่ทดสอบซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีการแตกกิ่ง และไม่มีการแตกกิ่ง การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้นให้กับมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 (ไม่แตกกิ่ง) สามารถทำได้โดยการใส่ไนโตรเจนในอัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ แต่การเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจนให้กับมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 (แตกกิ่ง) ไม่สามารถเพิ่มผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง และผลผลิตแป้งที่อายุ 6 เดือนได้ อย่างไรก็ตามมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 เป็นสายพันธุ์ที่มีศักยภาพการให้ผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง และผลผลิตแป้งที่ดีกว่าพันธุ์ระยอง 9 ในสภาพที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน อาจเนื่องมาจากลักษณะทางพันธุกรรม และลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงที่ดีของสายพันธุ์ CMR38-125-77 ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้มันสำปะหลังพันธุ์ดังกล่าวให้ผลผลิตได้ดีแม้ในสภาพไม่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจน เมื่อพิจารณาถึงผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน พบว่ามีเพียงมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่ปลูกในสภาพที่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ เท่านั้นที่มีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่ชัดเจน (1.66) และให้ผลตอบแทนส่วนเพิ่มคุ้มค่ากับการลงทุน (302%) ขณะที่การใส่ปุ๋ยในอัตราอื่น และการใส่ปุ๋ยให้กับมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นการศึกษาเพียงฤดูกาลเดียว สภาพดินชนิดเดียว คือชุดดินร้อยเอ็ด ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ และใช้มันสำปะหลังที่ทดสอบเพียง 2 พันธุ์เท่านั้น ควรมีการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองในหลายฤดูกาล หลายสภาพดิน และเพิ่มจำนวนพันธุ์ในการทดสอบ จึงจะสามารถทำให้ผลของงานทดลองนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางมากขึ้น และแม่นยำมากขึ้น

**สรุป**

มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และสายพันธุ์ CMR38-125-77 มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน โดยที่มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ไม่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนของลักษณะมวลชีวภาพ ผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง และผลผลิตแป้งในทางตรงกันข้ามมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีการสะสมมวลชีวภาพ ผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง และผลผลิตแป้งที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผลทำให้มี ดัชนีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน และผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์สูงที่สุดด้วย อย่างไรก็ตามพบว่าสายพันธุ์ CMR38-125-77 เป็นสายพันธุ์ที่มีศักยภาพการให้ผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง และผลผลิตแป้งที่ดีกว่าพันธุ์ระยอง 9 ในสภาพที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเลย ($N_0$) และในสภาพการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 15 กิโลกรัม/ไร่ นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อดัชนีเก็บเกี่ยว และจำนวนหัวของมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ แต่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้น จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งลดลงในทั้ง 2 สายพันธุ์

**เอกสารอ้างอิง**

กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และวิเคราะห์เพื่อตรวจจับรับรองมาตรฐานสินค้า. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2566. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมันสำปะหลัง. สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กลุ่มส่งเสริมพืชเส้นใยและพืชหัว กรมส่งเสริมการเกษตร.

คมสันต์ พันธุพาน และปรเมศ บรรเทิง. 2559. การประเมินความเข้มของสีใบด้วย SCMR การเจริญเติบโตและผลิตของมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน. แก่นเกษตร. 44 (พิเศษ 1): 1086-1091.

ชยันต์ ภักดีไทย และวิยา ตรีโลเกศ. 2557. การตอบสนองของมันสำปะหลังต่อปุ๋ยไนโตรเจนและการให้น้ำชลประทานแบบหยดเพื่อการเก็บเกี่ยวอายุสั้น. แก่นเกษตร. 42 (พิเศษ 1): 192-197.

ชัยวัช โชวเจริญสุข. 2563. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2563-65: มันสำปะหลัง. วิจัยกรุงศรี.

ธยานี แน่นอน, ฐิติรัตน์ เพ็งสม และนิตยา ผกามาศ. 2560. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และผลผลิตของหญ้ากินนีมอมบาซา. แก่นเกษตร. 45 (พิเศษ 1): 1009-1015.

พิทยา สรวมศิริ. 2554. ธาตุอาหารในการผลิตพืชสวน. ภาควิชา พืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. จังหวัดเชียงใหม่.

วัลลีย์ อมรพล, กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, ศรีสุดา ทิพยรักษ์, ศุภกาญจน์ ล้วนมณี, จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข, ประพิศ วองเทียม และสมพงษ์ ทองช่วย. 2560. การศึกษาอัตราปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมสำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในกลุ่มดินร่วนปนทราย: ชุดดินห้วยโป่ง. วารสารวิชาการเกษตร. 35(2): 151-163.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. 2565. การติดตามระบบพื้นที่เพาะปลูกผ่านภาพถ่ายดาวเทียม. แหล่งข้อมูล: https://www.ecoplant.gistda.or.th/. ค้นเมื่อ 4 กุมพาพันธ์ 2565.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. เนื้อที่เพาะปลูก จำนวนครัวเรือน และเนื้อที่เพาะปลูกเฉลี่ยต่อครัวเรือนระดับจังหวัด ปี 2564. แหล่งข้อมูล: https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups /prcaidata/files/Casava%20Holdland%2063.pdf. ค้นเมื่อ 4 มกราคม 2566.

อารันต์ พัฒโนทัย และธนรักษ์ เมฆขยาย. 2534. ข้อมูลผลการทดลองสู่คำแนะนำเกษตรกร. คู่มือการอบรมทางเศรษฐศาสตร์ ฝ่ายเศรษฐศาสตร์ศูนย์วิจัยการปรับปรุงข้าวโพด และข้าวสาลีนานาชาติ. กรุงเทพมหานคร.

Adu-Gyamfi, R., C. Osei, and E. Anadumba. 2016. Yield and earliness in bulking of some introduced cassava genotypes under moist savanna. UDS International Journal of Development. 3(1): 20-28.

Alves, A. A. C. 2002. Cassava botany and physiology. p. 183-203. In: R. J. Hillocks, J. M. Thresh, and A. C. Bellotti (eds). Cassava: Biology, Production and Utilization. CABI Publishing, New York.

Black, C. A. 1965. Methods of Soil Analysis: Part I, Physical and Mineralogical Properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Chipeta, M. M., P. Shanahan, R. Melis, J. Sibiya, and I. R. Benesi. Early storage root bulking index and agronomic traits associated with early bulking in cassava. Field Crops Research. 198: 171-178.

Chua, M. F., L. Youbee, S. Oudthachit, P. Khanthavong, E. J. Veneklaas, and A. I. Malik. 2020. Potassium fertilization is required to sustain cassava yield and soil fertility. Agronomy. 10(8): 1103.

Drilon, Jr. J. D. 1980. Standard method of analysis for soil, plant, water and fertilizer. Los Banos, Laguna, Philippines.

FAO. 2018. Statistics databases: Production. Available: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC. Accessed Mar. 28, 2022.

Gomez, K. A., and A. A. Gomez. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. New York: John Wiley & Sons.

Hoang, D. T., T. Hiroo, and K. Yoshinobu. 2019. Nitrogen use efficiency and drought tolerant ability of various sugarcane varieties under drought stress at early growth stage. Plant Production Science. 22(2): 250-261.

Janket, A., S. Jogloy, N. Vorasoot, B. Toomsan, W. Kaewpradit, P. Theerakulpisut, C. C. Holbrook, C. K. Kvien, and P. Banterng. 2020. Nutrient uptake and nutrient use efficiency of cassava genotypes with different starch bulking periods as affected by different planting dates. Journal of Plant Nutrition. 44: 580-599.

Johnson, G. V., and W. R. Raun. 2003. Nitrogen response index as a guide to fertilizer management. Journal of plant Nutrition. 26(2): 249-262.

Kramer, P. J. 1944. Soil moisture in relation to plant growth. The Botanical Review. 10: 525-559.

Oliveira, N. T. D., S. C. P. Uchôa, J. M. A. Alves, J. D. A. A. D. Albuquerque, and G. S. Rodrigues. 2017. Effect of harvest time and nitrogen doses on cassava root yield and quality. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 41.

Phoncharoen, P., P. Banterng, N. Vorasoot, S. Jogloy, P. Theerakulpisut, and G. Hoogenboom. 2019. Growth rates and yields of cassava at different planting dates in a tropical savanna climate. Scientia Agricola. 76(5): 376-388.

Phuntupan, K., and P. Banterng. 2017. Physiological determinants of storage root yield in three cassava genotypes under different nitrogen supply. Journal of Agriculture Science. 115: 978-992.

Santanoo, S., K. Vongcharoen, P. Banterng, N. Vorasoot, S. Jogloy, S. Roytrakul, and P. Theerakulpisut. 2019. Seasonal variation in diurnal photosynthesis and chlorophyll fluorescence of four genotypes of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) under irrigation conditions in a tropical savanna climate. Agronomy. 9(4): 206.

Sawatraksa, N., P. Banterng, S. Jogloy, V. Vorasoot, and G. Hoogenboom. 2018. Chlorophyll fluorescence and biomass of four cassava genotypes grown under rain-fed upper paddy field conditions in the tropics. Journal of Agronomy and Crop Science. 204(6): 554-565.

Sawatraksa, N., P. Banterng, S. Jogloy, V. Vorasoot, and G. Hoogenboom. 2019. Cassava growth analysis of production during the off-season of paddy rice. Crop Science. 59(2): 760-771.

Sawatraksa, N., P. Banterng, S. Jogloy, V. Vorasoot, and G. Hoogenboom. 2023. Crop model determined mega-environments for cassava yield trials on paddy fields following rice. Heliyon. 9: e14201.

Statistix. 2013. version 10; Analytical Software: Tallahassee, FL, USA.