

การตอบสนองทางสรีรวิทยาต่ออัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันของมันสำปะหลัง

2 พันธุ์ที่มีรูปแบบการแตกกิ่งที่ต่างกัน

Physiological Responses to Different Nitrogen Fertilization Regimes of

2 Cassava Genotypes with Different Branching Patterns

อนนท์ จันทรเกตุ^{1*} อารียา โคทาลิน¹ สุมิตรา ไชยลือชา¹ นทีทิพย์ สวัสดิ์รักษา² และ ปรียานุช ลาขุนทด³

Anon Janket^{1*} Areeya Kotalin¹ Sumitra Chailuech¹ Nateetip Sawatraksa² and Preeyanuch Lakhunthod³

¹ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

²สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาลำปาง

³ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

¹Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University

²Plant Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

³Department of Biological Sciences, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

*E-mail: anon.j@ubu.ac.th

Received: May 16, 2023

Revised: Aug 31, 2023

Accepted: Sep 04, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ที่มีรูปแบบการแตกกิ่งที่ต่างกันต่ออัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน วางแผนการทดลองแบบ Split-plot in RCBD จำนวน 4 ซ้ำ กำหนดให้ปัจจัยหลักเป็นปุ๋ยไนโตรเจน 3 ระดับ ได้แก่ 0, 15 และ 30 กิโลกรัมต่อไร่ (N0, N1 และ N2) และปัจจัยรองเป็นมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ คือพันธุ์ระยอง 9 (ไม่แตกกิ่ง) และสายพันธุ์ CMR38-125-77 (แตกกิ่ง) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อค่าคลอโรฟิลล์ ฟลูออเรสเซนซ์ (F_v/F_m) ที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก (MAP) พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ที่อายุ 2 และ 6 เดือนหลังปลูก อัตราการเจริญเติบโต (CGR) ที่อายุ 2-4 เดือนหลังปลูก ปริมาณคลอโรฟิลล์ และอัตราการระเหยน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR) ทุกระยะการเจริญเติบโต แต่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อพื้นที่ใบ (LA) และดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ที่อายุ 2 และ 6 เดือนหลังปลูก และน้ำหนักแห้งหัวที่อายุ 6 เดือนหลังปลูก ขณะที่พันธุ์มันสำปะหลังที่ต่างกันส่งผลต่อความแตกต่างของ LA และ LAI ที่อายุ 2 และ 6 เดือนหลังปลูก SLA และ CGR ที่อายุ 4-6 เดือนหลังปลูก และ NAR ที่อายุ 2-4 เดือนหลังปลูก นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังต่อ F_v/F_m , LA, LAI และน้ำหนักหัวแห้ง การศึกษานี้พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ที่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนได้ดี โดยให้ค่า LA, LAI, SLA, NAR, CGR และน้ำหนักหัวแห้งสูงกว่าสายพันธุ์ CMR38-125-77 ภายใต้อัตรา N1 และ N2 ขณะที่สายพันธุ์ CMR38-125-77 เป็นสายพันธุ์ที่มีพัฒนาการทรงพุ่ม (LA และ LAI) และผลผลิตหัวที่ไม่แตกต่างกันในทุกระดับของปุ๋ยไนโตรเจน จากการวิเคราะห์ stepwise linear regression พบว่าน้ำหนักหัวแห้งมีความสัมพันธ์กับ CGR ที่อายุ 2-4 เดือนหลังปลูก และ LA ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก ($R^2=0.54^*$) และเปอร์เซ็นต์แป้งมีความสัมพันธ์กับลักษณะทางสรีรวิทยาหลายประการ ($R^2=0.78^*$) ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเหมาะสม และการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังทางอ้อมต่อไป

คำสำคัญ: มันสำปะหลัง ปุ๋ยไนโตรเจน การตอบสนองทางสรีรวิทยา

Abstract

This study aimed to investigate the physiological responses of two cassava genotypes with different branching patterns to different nitrogen fertilizer application rates. A split-plot in a randomized complete block design with 4 replications was used. Main plot was three nitrogen fertilizer application rates, i.e., 0, 15 and 30 kg/rai (N0, N1 and N2). Subplot was two cassava varieties, i.e., Rayong 9 (non-forking) and CMR38-125-77 (forking). The results demonstrated that with difference in nitrogen fertilizer application rates, no significant difference was observed for chlorophyll florescence (F_v/F_m) at 2 and 4 months after planting (MAP), specific leaf area (SLA) at 2 and 6 MAP, crop growth rate (CGR) during 2-4 MAP, the content of chlorophylls and net assimilation rate (NAR) at all growth stages but significant difference was observed for leaf area (LA) and leaf area index (LAI) at 2 and 6 MAP and tuber dry weight at 6 MAP. However, different cassava genotypes resulted in differences in LA and LAI at 2 and 6 MAP, in SLA and CGR at 4-6 MAP and in NAR at 2-4 MAP. Furthermore, the interaction between nitrogen fertilizer application rates and genotypes was recorded for F_v/F_m , LA, LAI and tuber dry weight. It was noted that Rayong 9 showed a high response to nitrogen fertilizer application, having higher values of LA, LAI, SLA, NAR, CGR and tuber dry weight under N1 and N2 when compared to CMR38-125-77. In contrast, CMR38-125-77 showed no significant difference in canopy development (LA and LAI) and tuber yield at all nitrogen fertilizer application rates. The stepwise linear regression analysis revealed that tuber dry weight was significantly correlated with CGR at 2-4 MAP and LA at 4 MAP ($R^2=0.54^*$). Starch content was significantly correlated with several physiological traits ($R^2=0.78^*$). The information obtained from this study will be useful for the appropriate management of nitrogen fertilizer and the indirect selection of cassava varieties.

Keywords: Cassava, Nitrogen fertilizer, Physiological response

1. บทนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* L. Crantz) เป็นหนึ่งในพืชไร่เศรษฐกิจหลักที่สำคัญของโลก [1] สามารถปลูกได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และทนทานต่อสภาพแห้งแล้ง อย่างไรก็ตามผลผลิตเฉลี่ยของมันสำปะหลังโลกอยู่ที่ประมาณ 2 ตันต่อไร่ คิดเป็นเพียง 12 เปอร์เซ็นต์ของศักยภาพการให้ผลผลิตที่แท้จริง [2] การเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังที่สามารถหลายวิธี เช่น การพัฒนาการจัดการปุ๋ย และการพัฒนาพันธุ์ที่มีศักยภาพการให้ผลผลิตสูง เป็นที่ทราบกันดีว่าปุ๋ยไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง ซึ่งการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่เหมาะสมสามารถเพิ่มการเจริญเติบโต และผลผลิตมันสำปะหลังได้ [3] อย่างไรก็ตามมันสำปะหลังพันธุ์ที่ต่างกันจะมีการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน [4]

การศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่ได้มีการประเมินการตอบสนองของปุ๋ยไนโตรเจนของมันสำปะหลังโดยใช้ผลผลิตเป็นเกณฑ์ [5] อย่างไรก็ตามลักษณะการให้ผลผลิตของพืชมีความแปรปรวนสูงตามสภาพแวดล้อม และมีอัตราการถ่ายทอดทางพันธุกรรมต่ำ เพราะฉะนั้นการประเมินการ

ตอบสนองของพันธุ์มันสำปะหลังโดยใช้ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการตัดสินใจ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ นักปรับปรุงพันธุ์กำลังให้ความสนใจ ซึ่งมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อม และพันธุกรรมต่ำ และมีอัตราทางพันธุกรรมสูงกว่าลักษณะของผลผลิต [6] การศึกษาของ Phuntupan and Banterng [3] ได้ประเมินการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่ต่างกัน ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ที่ต่างกันในสภาพการปลูกแบบอาศัยน้ำฝนพบว่าอัตราการเจริญทั้งต้น และอัตราการเจริญของหัวที่อายุ 6-7 เดือน ดัชนีพื้นที่ใบที่อายุ 4 เดือน และพื้นที่ใบจำเพาะที่อายุ 7 เดือน มีความสัมพันธ์สูงกับการให้ผลผลิตมันสำปะหลังที่อายุเก็บเกี่ยวที่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจน 3 ระดับ Cruz et al. [7] พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในแปลงที่ปลูกแบบอาศัยน้ำฝนอย่างเดียว สามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ อัตราการสังเคราะห์แสง ค่าการชักนำปากใบ และพื้นที่ใบจำเพาะของมันสำปะหลังได้ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน Oliveira et al. [5] ได้ปลูกทดสอบมันสำปะหลังโดยมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน 5 อัตรา ได้แก่ 0, 30, 60, 150 และ 330 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ (Hectare) ที่ประเทศบราซิล ในสภาพอาศัยน้ำฝนที่

มันสำปะหลังได้รับปริมาณน้ำฝนน้อยในช่วง 1-6 เดือนหลังปลูก พบว่าเมื่อระดับปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความสูง น้ำหนักสดต้น ขนาดหัว ดัชนีเก็บเกี่ยว และน้ำหนักหัวแห้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น จากการคำนวณสมการเชิงเส้น (Linear regression) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 226 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ (36.2 กิโลกรัมต่อไร่) เป็นอัตราที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สอดคล้องกับการศึกษาในประเทศไทยที่รายงานว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 32 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ให้ผลผลิตหัวสดสูงที่สุดในสภาพอาศัยน้ำฝน และได้รับน้ำชลประทานที่ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของระดับน้ำที่เป็นประโยชน์ในดิน แต่ไม่มีรายงานการศึกษาภายใต้สภาพได้รับน้ำเต็มที่ [8]

อย่างไรก็ตามปัจจุบันการผลิตมันสำปะหลังภายใต้การให้น้ำชลประทานเสริมเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่เกษตรกรกำลังให้ความสนใจในการช่วยเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ หากมีแหล่งน้ำเพียงพอ ทั้งนี้องค์ความรู้เรื่องการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของลักษณะทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ที่ต่างกันในการปลูกแบบให้น้ำชลประทานเต็มที่ยังมีจำกัด โดยเฉพาะในสายพันธุ์ที่ได้รับพัฒนาขึ้นมาใหม่ยังไม่มีมีการรายงานมาก่อนงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ที่มีรูปแบบการแตกกิ่งที่ต่างกันต่ออัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน 3 ระดับ และเพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยาและผลผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้อัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันภายใต้สภาพที่ได้รับน้ำเต็มที่ ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ในการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง และทราบลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตภายใต้ระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ต่อนักปรับปรุงพันธุ์ในการใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์ทางอ้อม และออกแบบพันธุ์ที่ดีต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Split-plot in Randomized Complete Block Design จำนวน 4 ซ้ำ โดยกำหนดให้ปัจจัยหลักเป็นปุ๋ยไนโตรเจน 3 ระดับ ได้แก่ 0, 15 และ 30 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ (N0, N1 และ N2 ตามลำดับ) และปัจจัยรองเป็นมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ที่มีลักษณะการแตกกิ่งที่ต่างกัน ได้แก่ พันธุ์ระยอง 9 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีอายุการสะสมแป้งช้าและไม่แตกกิ่ง และสายพันธุ์ CMR38-125-77 เป็นสายพันธุ์ที่

มีอายุการสะสมแป้งเร็ว และแตกกิ่ง 2-3 ระดับ ทำการศึกษาในช่วงเดือนธันวาคม 2564 ถึงเดือนมิถุนายน 2565

2.2. การปลูก และการดูแลรักษา

ก่อนการปลูกเตรียมดินโดยการไถด้วยผาน 3 จำนวน 1 ครั้ง และตากดินไว้อย่างน้อย 20 วันหลังจากนั้นไถพรวนด้วยผาน 7 อีก 1 ครั้งเพื่อทำให้ดินที่มีความร่วนซุยเหมาะสมกับการปลูกมันสำปะหลัง ยกร่องปลูกให้มีระยะห่างระหว่างสันร่อง 0.8 เมตร และหลังจากนั้นทำการแบ่งแปลง (main-plot) ให้มีความกว้าง 6.4 เมตร และยาว 8 เมตร มี 4 ซ้ำ รวมทั้งหมด 12 แปลง (main-plot) ก่อนปลูกติดตั้งระบบน้ำหยด โดยใช้สายน้ำหยดที่มีหัวน้ำหยดต่างกัน 30 เซนติเมตร วางบนสันร่องทุกแถว และติดตั้งวาล์วน้ำเพื่อกำหนดการให้น้ำในทุกแถว

การเตรียมท่อนพันธุ์ ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากกลุ่มวิจัยและปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง แก่นตะวัน และมันสำปะหลัง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ใช้ต้นพันธุ์อายุ 10 เดือนที่ปราศจากโรคและแมลง ต้นพันธุ์ที่สมบูรณ์มีขนาดใกล้เคียงกัน นำส่วนกลางลำต้นมาตัดด้วยเครื่องตัดท่อนพันธุ์ให้มีความยาว 20 เซนติเมตร และแช่ท่อนพันธุ์ด้วยสารเคมีกำจัดเพลี้ยแป้ง ไธอะมีโทแซม (thiamethoxam) อัตรา 4 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร แช่นาน 10 นาที เพื่อป้องกันเพลี้ยแป้งที่อาจติดมากับท่อนพันธุ์

ทำการปลูกมันสำปะหลังบนสันร่อง โดยให้มีระยะห่างระหว่างต้น 0.8 เมตร และระยะห่างระหว่างแถว 0.8 เมตร จำนวน 8 แถวต่อ 1 แปลง แถวละ 10 ต้น (80 ต้นต่อแปลง) และแบ่ง sub-plot โดยแต่ละ sub-plot จะมี 4 แถว รวม 40 ต้น หลังปลูกมีการให้น้ำชลประทานทันทีให้น้ำให้ดินมีความชื้นสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง เพื่อให้ต้นสามารถงอกสม่ำเสมอและเจริญเติบโตได้ดี การให้น้ำจะให้ตั้งแต่ปลูก จนกระทั่งเก็บเกี่ยว โดยในช่วงที่ฝนทิ้งช่วง จะสังเกตดิน และสูมเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร นำไปอบแห้งเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นด้วยวิธี Gravimetric method หากดินที่ระดับ 30 เซนติเมตร เริ่มมีความชื้นต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จะให้น้ำทันทีเพื่อรักษาระดับความชื้นของดินให้อยู่ในระดับที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในแต่ละครั้งของการให้น้ำจะแบ่งให้น้ำครั้งละ 2 ซ้ำ เพื่อควบคุมแรงดันให้สม่ำเสมอ ควบคุมการเปิดปิดน้ำด้วยวาล์วน้ำที่ติดตั้งไว้ทุกแถวปลูก ระหว่างการทดลองมีการกำจัดวัชพืชอย่างสม่ำเสมอด้วยจอบ เพื่อป้องกันการแข่งขันกับวัชพืช โดยเฉพาะในช่วง 3 เดือนแรกหลังปลูก เมื่อทรงพุ่มเจริญจนคลุมพื้นที่ปลูก ทำการประเมินการกำจัดวัชพืชตามความจำเป็น

2.3. การใส่ปุ๋ย และการกำหนดชุดการทดลอง

ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 เมื่อมันสำปะหลังอายุ 30 วันหลังปลูก โดยใส่สูตร 15-7-18 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ให้กับมันสำปะหลังในทุกชุดการทดลอง (Treatment) และกำหนดการใส่ปุ๋ยเป็น 3 ระดับ ได้แก่ที่อัตรา 0 (N0), 15 (N1) และ 30 (N2) กิโลกรัมในโตรเจนต่อไร่ โดยใส่ในรูปของยูเรีย ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 45 วันหลังปลูก โดยการขุดหลุมข้างต้น แล้วจึงพรวนดินกลบ หลังใส่ปุ๋ยทำการให้น้ำมันสำปะหลังทันที

2.4. การเก็บข้อมูล

2.4.1. ข้อมูลดิน และข้อมูลฟ้าอากาศ

ก่อนปลูกทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดินโดยเก็บดินที่ระดับ 0-30 และ 30-60 เซนติเมตร จำนวน 10 จุด ทำการรวมตัวอย่างของแต่ละระดับ ความลึก แล้วนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์ทราย เปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง และ เปอร์เซ็นต์ดินเหนียว และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ดิน ประกอบด้วยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic matter) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียม บันทึกข้อมูลฟ้าอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประกอบด้วย อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

2.4.2. คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์

ทำการวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ (Chlorophyll fluorescence; F_v/F_m) โดยใช้เครื่อง Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) โดยวัดจำนวน 4 ต้นต่อแปลงย่อย (sub-plot) ที่อายุ 2, 4 และ 6 เดือนหลังปลูก วัดในช่วงเวลา 8.00-12.00 น. ในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง และมีแสงแดด ในใบที่ 4 หรือ 5 จากลำต้นหลักที่แผ่ขยายเต็มที่ นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าเฉลี่ย

2.4.3. ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมทำการวัดตามวิธีของ Lichtenthaler and Buschmann [9] ที่อายุ 2, 4 และ 6 เดือนหลังปลูก ตัดใบด้วยการกรไให้ เป็นชิ้นเล็ก ๆ ให้น้ำหนัก 0.2 กรัม แชใน 80% acetone ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในที่มืด หลังจากนั้น

นำสารสกัดที่ได้มาวัดการเกิดสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสงต่างกันได้แก่ 663 นาโนเมตร และ 645 นาโนเมตร และคำนวณค่าคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ค่าที่ได้แสดงเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักสด โดยค่าคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คำนวณ ดังนี้

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ} = (12.25)(A_{663}) - (2.79)(A_{645})$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี} = (21.50)(A_{645}) - (5.10)(A_{663})$$

2.4.4. ข้อมูลน้ำหนักแห้ง

ทำการตรวจวัดข้อมูลการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 2, 4 และ 6 เดือนหลังจากปลูก เมื่อขุดต้นแล้วทำการแยกส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง ได้แก่ ต้น ใบ ก้านใบ และหัว (จำนวน 4 ต้นต่อแปลงย่อย ที่อายุ 2 และ 4 เดือน) และที่มันสำปะหลังอายุ 6 เดือน เก็บตัวอย่างจากมันสำปะหลังแถวกลางจำนวน 6 ต้นต่อแปลงย่อย ทำความสะอาดหัวด้วยน้ำสะอาด แล้วชั่งน้ำหนักสดแต่ละส่วน จากนั้นนำส่วนต้น และหัว (ถ้ามี) มาย่อยด้วยมิด แล้วสุมตัวอย่างของแต่ละส่วนอย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดทั้งหมด นำไปอบด้วยตู้อบตัวอย่างพืช ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลที่มีทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2.4.5. พื้นที่ใบ ดัชนีพื้นที่ใบ และพื้นที่ใบจำเพาะ

วัดพื้นที่ใบ (Leaf area; LA) ที่มันสำปะหลังอายุ 2 4 และ 6 เดือนหลังปลูก โดยสุ่มใบมาจากตัวอย่างที่ทำลายพืชในแต่ละอายุมาประมาณอย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักใบทั้งหมด (ถ้ามีใบจำนวนมาก) เพื่อวัดพื้นที่ใบโดยใช้เครื่อง leaf area meter (Li-cor 3100) แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาพื้นที่ใบต่อต้น นำค่าที่ได้มาคำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index; LAI) มีหน่วยเป็นพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก จากสูตร

$$LAI = \frac{\text{พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)}}{\text{พื้นที่ดิน (ตารางเซนติเมตร)}}$$

และคำนวณหาพื้นที่ใบจำเพาะ (Specific leaf area; SLA) มีหน่วยเป็นพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักของใบ จากสูตร

$$SLA = \frac{\text{พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)}}{\text{น้ำหนักใบแห้ง (กรัม)}}$$

2.4.6. อัตราการเจริญเติบโต

อัตราการเจริญเติบโต (Crop growth rate; CGR) มีหน่วยเป็นน้ำหนักแห้งพืชต่อตารางเมตรต่อวัน คำนวณได้จาก

$$CGR = G \times \left(\frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \right)$$

เมื่อ

G = พื้นที่ปลูก

W = น้ำหนักแห้ง (กรัม)

T = จำนวนเวลาหลังวันที่ปลูก (วัน)

W1, W2 = น้ำหนักแห้งของพืชที่เวลา T1 และ T2

2.4.7. อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ใบ

ต่อเวลา

อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ใบต่อเวลา (Net assimilation rate; NAR) มีหน่วยเป็นน้ำหนักพืชต่อพื้นที่ใบต่อเวลา คำนวณได้จาก

$$NAR = \left(\frac{\ln(LA_2) - \ln(LA_1)}{LA_2 - LA_1} \right) \times \left(\frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \right)$$

เมื่อ

W1 = น้ำหนักแห้งที่เวลา T1

W2 = น้ำหนักแห้งที่เวลา T2

LA1 = พื้นที่ใบที่เวลา T1

LA2 = พื้นที่ใบที่เวลา T2

2.4.8. เปอร์เซนต์แป้ง

ทำการวัดเปอร์เซนต์แป้งด้วยวิธีวัดความถ่วงจำเพาะที่มันสำปะหลังอายุ 6 เดือน โดยสับหัวมันสำปะหลังเป็นท่อนท่อนละประมาณ 5 เซนติเมตร ทั้งหมด 5 กิโลกรัมต่อซ้ำ นำท่อนมันสำปะหลังใส่ถุงตาข่าย แล้วจึงชั่งน้ำหนักในอากาศ และชั่งน้ำหนักในน้ำด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลแบบแขวน นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาความถ่วงจำเพาะ และปริมาณแป้งด้วยวิธีของ Chua et al. [10] ดังสมการ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักในอากาศ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักในน้ำ (กรัม)}}$$

$$\text{เปอร์เซนต์แป้ง} = (210.8 \times \text{ความถ่วงจำเพาะ}) - 213.4$$

2.5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลในแบบแผนการทดลอง Split-plot in Randomized Complete Block Design [11] และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significance Difference (LSD) และวิเคราะห์ Stepwise linear regression เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยา กับผลผลิตหัวแห้ง และเปอร์เซนต์แป้งของมันสำปะหลัง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

3. ผลการวิจัย

3.1. ข้อมูลดิน และข้อมูลฟ้าอากาศ

คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของดินก่อนปลูกพบว่าเนื้อดินเป็นทรายร่วน มีค่า pH เท่ากับ 6.08 อินทรีย์วัตถุเท่ากับ 0.39 เปอร์เซนต์ ไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.02 เปอร์เซนต์ ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีเท่ากับ 33.75 และ 23.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Table 1) ข้อมูลฟ้าอากาศในช่วงการทดลอง พบว่าในเดือนธันวาคม ถึงเดือนมิถุนายน มีการกระจายตัวของน้ำฝนรายวันอยู่ในช่วง 0-88.1 มิลลิเมตรต่อวัน ซึ่งพบฝนตกชุกในช่วง 4-5 เดือนหลังปลูก ปริมาณน้ำฝนรวมในช่วงปลูกทดสอบมันสำปะหลังเท่ากับ 634.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 26.0-38.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดอยู่ระหว่าง 14.5-25.6 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อากาศอยู่ระหว่าง 58.50-89.75 เปอร์เซนต์ และมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยเท่ากับ 69.14 เปอร์เซนต์ (Figure 1)

เมื่อพิจารณาถึงสภาพดินในแปลงที่ปลูกทดสอบ (ที่ระดับ 0-60 เซนติเมตร) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมในการปลูกมันสำปะหลัง แต่มีค่า pH ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณฟอสฟอรัสที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง และมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในระดับต่ำกว่าความต้องการของมันสำปะหลัง [12] และมันสำปะหลังที่ปลูกทดสอบในการทดลองนี้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต Alves [12] รายงานว่ามันสำปะหลังเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่มีผลให้มีการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงที่สุด เนื่องจากการศึกษานี้มีการให้น้ำชลประทานเสริมตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำฝนจึงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโต

Table 1 Soil physicochemical properties prior to planting cassava at the depth of 0-60 cm

Soil physicochemical properties	Values
pH (1:1 H ₂ O)	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 ₂ O)	0.03
Soil texture	Loamy sand

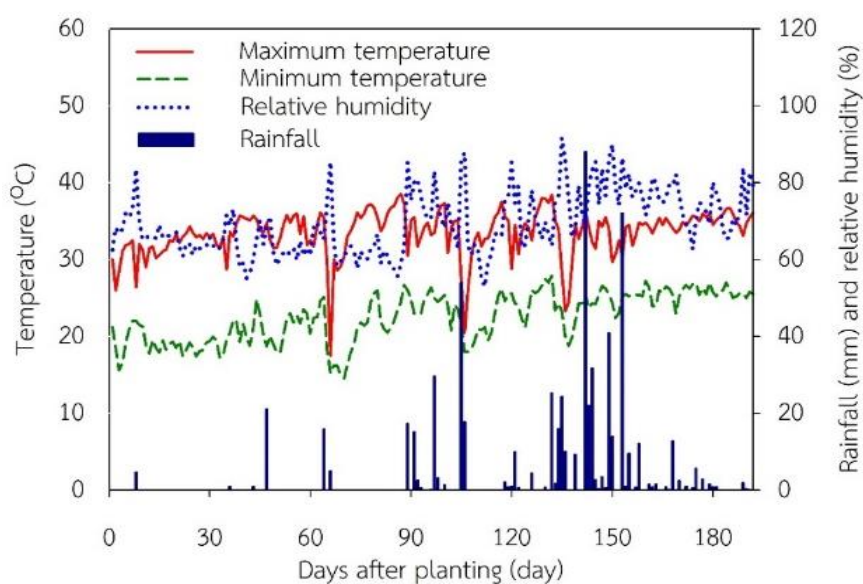


Figure 1 Maximum temperature (°C), minimum temperature (°C), Rainfall (mm) and relative humidity (%) during the crop growth period of cassava

3.2. คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (F_v/F_m) พื้นที่ใบ (LA) ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และผลผลิตหัวแห้ง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่ต่างกันส่งผลต่อความแตกต่างของ F_v/F_m ที่อายุ 6 เดือน LA และ LAI ที่มันสำปะหลังอายุ 2 และ 6 เดือน และน้ำหนักหัวแห้งที่อายุ 6 เดือน แต่ไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของ F_v/F_m ที่ 2 และ 4 เดือน LA และ LAI ที่ 4 เดือน (Table 2 และ Table 3) เมื่อพิจารณาปัจจัยพันธุ์ พบว่าพันธุ์มันสำปะหลังที่ต่างกัน ส่งผลต่อความแตกต่างของ F_v/F_m ที่อายุ 6 เดือน LA และ LAI ที่มันสำปะหลังอายุ 2 และ 6 เดือน แต่พันธุ์ไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของ F_v/F_m ที่ 2 และ 4 เดือน LA และ LAI ที่ 4 เดือน สำหรับปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างระดับปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ พบปฏิกริยาสัมพันธ์ของ F_v/F_m LA LAI และน้ำหนักหัวแห้งในทุกระยะการเจริญเติบโต แสดงให้

เห็นว่าพันธุ์มีการตอบสนองที่ต่างกันในแต่ละระดับปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้การวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลักษณะดังกล่าวจะทำการวิเคราะห์แบบปัจจัยร่วม (Treatment combination) (Table 2 และ Table 3)

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย Treatment combination ของค่า F_v/F_m พบว่ากรรมวิธี N0 x CMR38-125-77 มีค่า F_v/F_m สูงที่สุดที่มันสำปะหลังมีอายุ 2 เดือน แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ๆ ยกเว้นเพียงกรรมวิธี N0 x ระยะยง 9 เท่านั้นที่ให้ค่าต่ำที่สุด (Table 2) และที่มันสำปะหลังอายุ 4 เดือนกลับพบว่ากรรมวิธี N0 x ระยะยง 9 มีค่าสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ๆ เมื่อพิจารณาที่มันสำปะหลังอายุ 6 เดือนพบว่ากรรมวิธี N2 x CMR38-125-77 มีค่า F_v/F_m สูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ๆ ยกเว้นเพียงกรรมวิธี N0 x ระยะยง 9 เท่านั้น

เมื่อพิจารณาการสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของมันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์ จะพบว่าการตอบสนองของปุ๋ยไนโตรเจนของลักษณะ F_v/F_m จะชัดเจนเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 6 เดือน โดยพบว่าค่า F_v/F_m จะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 มีค่าเท่ากับ 0.525, 0.595 และ 0.623 เมื่อปลูกในสภาพ N0, N1 และ N2 ตามลำดับ ขณะที่พันธุ์ระยอง 9 มีค่าเท่ากับ 0.492, 0.546 และ 0.552 เมื่อปลูกในสภาพ N0, N1 และ N2 ตามลำดับ และพบความแตกต่างทางสถิติของการเพิ่มขึ้นในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 เท่านั้น (Table 2)

สำหรับ LA และ LAI พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ค่าเฉลี่ยของ LA และ LAI เพิ่มขึ้นไปด้วย ซึ่งจะชัดเจนเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 6 เดือนภายใต้การ

ปลูกในสภาพ N2 ที่ให้ค่าที่แตกต่างทางสถิติกับ N1 และ N0 ขณะที่ค่าเฉลี่ยของพันธุ์มันสำปะหลังที่อายุ 2 เดือน พบว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 จะมี LA และ LAI สูงกว่าพันธุ์ระยอง 9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่อายุ 4 เดือนมีค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามที่มันสำปะหลังอายุ 6 เดือนกลับพบว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ระยอง 9 จะมี LA และ LAI สูงกว่าพันธุ์ CMR38-125-77 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2 และ Table 3) และจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของปัจจัยร่วมของค่า LA และ LAI พบว่าที่มันสำปะหลังมีอายุ 2 เดือนหลังปลูก กรรมวิธี N1 x CMR38-125-77 มีค่า LA และ LAI สูงที่สุด ขณะที่มันสำปะหลังอายุ 4 และ 6 เดือนพบว่ากรรมวิธี N2 x ระยอง 9 มี LA และ LAI สูงที่สุด (Table 2 และ Table 3)

Table 2 Chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) and leaf areas (LA) (cm^2/plant) at 2, 4 and 6 months after planting (MAP) of two cassava genotypes planted under three nitrogen fertilization regimes

Treatment	Chlorophyll fluorescence (F_v/F_m)			Leaf area (LA) (cm^2/plant)		
	2 MAP	4 MAP	6 MAP	2 MAP	4 MAP	6 MAP
Nitrogen fertilization Regimes (N)						
0 kgN (N0)	0.625	0.643	0.509b	3,134a	13,739	5,195b
15 kgN (N1)	0.627	0.620	0.570a	3,626a	14,716	5,218b
30 KgN (N2)	0.610	0.595	0.587a	2,337b	14,063	8,586a
Genotypes (G)						
CMR38-125-77	0.639	0.623	0.581a	3,925a	13,335	5,160b
Rayong 9	0.603	0.616	0.530b	2,139b	15,010	7,505a
N x G Interaction						
N0 x CMR38-125-77	0.682a	0.630ab	0.525ab	3,904b	14,847ab	4,810b
N0 x Rayong 9	0.567b	0.657a	0.492b	2,365c	12,601bc	5,581b
N1 x CMR38-125-77	0.609ab	0.620ab	0.595ab	5,270a	14,551ab	5,446b
N1 x Rayong 9	0.645ab	0.621ab	0.546ab	1,982c	14,881ab	4,989b
N2 x CMR38-125-77	0.625ab	0.620ab	0.623a	2,603c	10,578c	5,225b
N2 x Rayong 9	0.596ab	0.570b	0.552ab	2,073c	17,548a	1,1947a
CV (a)	13.21	14.31	15.61	18.68	14.31	19.11
CV (b)	8.39	13.72	9.91	24.29	13.72	34.73
N	ns	ns	*	*	ns	**
G	ns	ns	**	**	ns	*
N x G Interaction	*	**	*	*	**	*

ns, * and ** = non-significant difference, significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively;

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

Table 3 Leaf area indexes (LAI) at 2, 4 and 6 months after planting (MAP) and tuber dry weights (kg/rai) at 6 MAP of two cassava genotypes planted under three nitrogen fertilization regimes

Treatment	Leaf area index (LAI)			Tuber dry weight (kg/rai)
	2 MAP	4 MAP	6 MAP	6 MAP
Nitrogen fertilization regimes (N)				
0 kgN (N0)	0.490a	2.147	0.812b	1,361a
15 kgN (N1)	0.567a	2.299	0.815b	1,280a
30 KgN (N2)	0.365b	2.197	1.342a	1,651b
Genotypes (G)				
CMR38-125-77	0.613a	2.084	0.806b	1,439
Rayong 9	0.334b	2.345	1.173a	1,419
N x G Interaction				
N0 x CMR38-125-77	0.610b	2.320ab	0.752b	1,516ab
N0 x Rayong 9	0.370c	1.969bc	0.872b	1,206b
N1 x CMR38-125-77	0.823a	2.274ab	0.851b	1,430ab
N1 x Rayong 9	0.310c	2.325ab	0.780b	1,120b
N2 x CMR38-125-77	0.407c	1.653c	0.816b	1,372ab
N2 x Rayong 9	0.324c	2.742a	1.867a	1,931a
CV (a)	18.61	14.32	19.11	15.23
CV (b)	24.26	13.72	34.73	17.73
N	**	ns	**	*
G	**	ns	*	ns
N x G Interaction	**	**	*	*

ns, * and ** = non-significant difference, significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively;

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

เมื่อพิจารณาการสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของมันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์ พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 จะมีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของลักษณะ LA และ LAI ชัดเจนเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 4-6 เดือน ซึ่งพบว่าค่า LA ของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่อายุ 4 เดือนมีค่าเท่ากับ 12,601 ตารางเซนติเมตร และ 14,881 ตารางเซนติเมตร เมื่อปลูกในสภาพ N0 และ N1 ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อปลูกในสภาพ N2 (17,548 ตารางเซนติเมตร) ขณะที่ LAI มีค่าเท่ากับ 1.969, และ 2.325 เมื่อปลูกในสภาพ N0 และ N1 และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อปลูกในสภาพ N2 (2.742) ขณะที่เมื่อมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีอายุ 6 เดือนการปลูกภายใต้สภาพ N0 และ N1 จะมีค่า LA

เท่ากับ 5,581 ตารางเซนติเมตร และ 5,446 ตารางเซนติเมตร และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อปลูกในสภาพ N2 (11,947 ตารางเซนติเมตร) สำหรับ LAI ภายใต้สภาพ N0 และ N1 มีค่าเท่ากับ 0.872 และ 0.780 และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อปลูกในสภาพ N2 (1.867) (Table 2 และ Table 3) การศึกษานี้พบว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ไม่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในลักษณะ LA และ LAI โดยค่าเฉลี่ยของ LA ที่อายุ 4 เดือนมีค่าระหว่าง 10,578-14,847 ตารางเซนติเมตร และ LAI มีค่าระหว่าง 1.653-2.320 และที่อายุ 6 เดือนมีค่า LA ระหว่าง 4,810-5,446 ตารางเซนติเมตร และ LAI มีค่าระหว่าง 0.752-0.851 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจน (N0, N1 และ N2)

3.3. ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี คลอโรฟิลล์รวม และเปอร์เซ็นต์แป้ง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี (ไม่ได้แสดงข้อมูล) และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ ที่อายุ 2, 4 และ 6 เดือน ที่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่ต่างกัน พบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์มันสำปะหลังที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อความแตกต่างของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของมันสำปะหลังทั้ง 2 พันธุ์ และทุกช่วงอายุการเจริญเติบโต และไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างระดับปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ในทุกระยะการเจริญเติบโต (Table 4) มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ตลอดช่วงการเจริญเติบโตระหว่าง 3.76-4.15 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม และพันธุ์ระยอง 9 มีค่าระหว่าง 3.32-4.20 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม คลอโรฟิลล์บีของมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 อยู่ระหว่าง 0.70-0.96 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม และพันธุ์ระยอง 9 มีค่าระหว่าง 0.69-0.96 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม (ไม่ได้แสดง

ข้อมูล) และคลอโรฟิลล์รวมของสายพันธุ์ CMR38-125-77 มีค่าอยู่ระหว่าง 4.46-5.10 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม และพันธุ์ระยอง 9 มีค่าอยู่ระหว่าง 4.01-5.16 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม (Table 4)

สำหรับเปอร์เซ็นต์แป้ง พบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์มันสำปะหลังที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์แป้งที่อายุ 6 เดือน และไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างระดับปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ (Table 4) และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งลดลง แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยการให้ปุ๋ย N0 มีเปอร์เซ็นต์แป้งเท่ากับ 25.3 เปอร์เซ็นต์ และการให้ปุ๋ย N1 และ N2 มีเปอร์เซ็นต์แป้งเท่ากับ 23.1 เปอร์เซ็นต์ และ 20.9 เปอร์เซ็นต์ และมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แป้งกับ 22.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แป้งกับ 23.7 เปอร์เซ็นต์

Table 4 Total chlorophyll contents at 2, 4 and 6 months after planting (MAP) and starch contents at 6 MAP of two cassava genotypes planted under three nitrogen fertilization regimes

Treatment	Total chlorophyll (µg/ml)			Starch content (%)
	2 MAP	4 MAP	6 MAP	6 MAP
Nitrogen fertilization regimes (N)				
0 kgN (N0)	4.34	4.67	4.84	25.3
15 kgN (N1)	4.21	5.06	4.87	23.1
30 KgN (N2)	4.17	5.32	5.01	20.9
Genotypes (G)				
CMR38-125-77	4.46	4.86	5.10	22.5
Rayong 9	4.01	5.16	4.70	23.7
CV (a)	20.15	16.72	15.88	8.77
CV (b)	10.12	15.16	12.18	6.81
N	ns	ns	ns	ns
G	ns	ns	ns	ns
N x G Interaction	ns	ns	ns	ns

ns = non-significant difference

3.4. พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) อัตราการเจริญเติบโต (CGR) และอัตราการสะสมน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ใบต่อเวลา (NAR)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ SLA ที่อายุ 2, 4 และ 6 เดือน CGR และ NAR ที่ 2-4 เดือน และ 4-6 เดือน พบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันส่งผลต่อความแตกต่างของ SLA ที่อายุ 4 เดือน และ CGR ที่อายุ 4-6 เดือน และพบความแตกต่างระหว่างพันธุ์มันสำปะหลังในลักษณะ SLA ที่อายุ 4 และ 6 เดือนเท่านั้น และไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างระดับปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ในทุกลักษณะ (Table 5)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ SLA ของมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน พบว่าการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ N2 มีค่าเฉลี่ยของ SLA สูงที่สุด (215.4 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม) รองลงมาคือที่ N0 และ N1 (194.5 และ 192.4 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม) และพบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีค่าเฉลี่ยของ SLA ที่อายุ 4 และ 6 เดือน สูงกว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษายังพบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้มันสำปะหลังมีค่า CGR ที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะเห็นได้ชัดในช่วง 4-6 เดือน การให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ N2 มีค่าเฉลี่ย CGR ที่ 4-6 เดือนสูงที่สุด (12.01 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) และมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ยังให้ CGR ที่ 4-6 เดือน และ NAR ที่ 2-4 เดือนสูงกว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย โดยค่าเฉลี่ย CGR ของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่อายุ 4-6 เดือน มีค่าเท่ากับ 12.29 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ขณะที่สายพันธุ์ CMR38-125-77 มีค่าเฉลี่ย CGR ที่อายุ 4-6 เดือน เพียง 4.76 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (Table 5)

3.5. Stepwise linear regression ของน้ำหนักหัวแห้ง และเปอร์เซ็นต์แป้ง กับลักษณะทางสรีรวิทยา

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของน้ำหนักหัวแห้ง และเปอร์เซ็นต์แป้ง กับลักษณะทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง (LA LAI SLA ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม F_v/F_m ที่อายุ 2, 4 และ 6 เดือน CGR NAR ที่อายุ 2-4 เดือน และ 4-6 เดือน) ด้วย stepwise linear regression พบว่า น้ำหนักหัวแห้งหัวของมันสำปะหลังมีความสัมพันธ์กับ CGR ที่อายุ 2-4 เดือน และ LA ที่อายุ 4 เดือน โดยที่ R^2 เท่ากับ 0.54* (Table 6) ซึ่งพบว่า LA ที่อายุ 4 เดือน เป็นลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักหัวแห้งมากที่สุด โดยมีค่า t เท่ากับ

2.61** รองลงมาคือ CGR ที่อายุ 2-4 เดือน โดยมีค่า t เท่ากับ 2.34**

ขณะที่เปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลัง จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะทางสรีรวิทยาหลายลักษณะ ได้แก่ CGR ที่อายุ 2-4 และ 4-6 เดือน LA ที่อายุ 4 เดือน F_v/F_m ที่อายุ 6 เดือน ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมที่อายุ 4 และ 6 เดือน LAI ที่อายุ 2 เดือน และ NAR ที่อายุ 2-4 เดือน โดยที่ R^2 เท่ากับ 0.78* ซึ่งพบว่าลักษณะทางสรีรวิทยาที่กล่าวมาข้างต้นนั้นมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์แป้งที่ใกล้เคียงกันทุกลักษณะ เมื่อพิจารณาจากระดับนัยสำคัญที่เท่ากัน และมีค่า t ที่มีค่าใกล้เคียงกัน (Table 6)

4. อภิปรายผลการทดลอง

การศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อระดับปุ๋ยไนโตรเจนในมันสำปะหลัง จะช่วยให้นักวิจัยเข้าใจถึงพฤติกรรมการตอบสนองของมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังช่วยในการตัดสินใจคัดเลือก และพัฒนาพันธุ์ รวมถึงเป็นแนวทางการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันไม่ส่งต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า F_v/F_m ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม SLA CGR และ NAR ของเกือบทุกระยะการเจริญเติบโต แต่ระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันส่งผลต่อ LA, LAI และน้ำหนักหัวแห้งของมันสำปะหลัง ขณะที่พันธุ์มันสำปะหลังที่ต่างกันส่งผลต่อความแตกต่างของค่า LA และค่า LAI ที่อายุ 2 และ 6 เดือน SLA และ CGR ที่อายุ 4-6 เดือน และ NAR ที่อายุ 2-4 เดือน และพบปฏิกริยาสัมพันธ์ของระดับปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของ F_v/F_m , LA, LAI และน้ำหนักหัวแห้ง ขณะที่การศึกษาของ Phuntupan and Banterng [3] ซึ่งได้ทำการศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลัง 3 สายพันธุ์ ได้แก่พันธุ์ระยอง 9 ระยอง 11 และเกษตรศาสตร์ 50 ต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน 3 ระดับ (46.9, 90.0 และ 133.2 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์) ภายใต้การปลูกแบบอาศัยน้ำฝน พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อความแตกต่างทางสถิติของ LAI, SLA, CGR และน้ำหนักหัวแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าพันธุ์มีการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันของลักษณะดังกล่าวด้วย และไม่พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างระดับปุ๋ย และพันธุ์ของลักษณะ LA และ LAI ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ เมื่อพิจารณาค่า F_v/F_m ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของ photosystem II

ที่พบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า F_v/F_m สอดคล้องกับการศึกษาของ Cruz et al. [13] ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับปุ๋ยไนโตรเจนไม่ส่งผลต่อค่า F_v/F_m ของมันสำปะหลัง โดย Cruz et al. [13] อธิบายว่าประสิทธิภาพการทำงานของ photosystem II สามารถถูกยับยั้ง หรือพืชสามารถรักษาระดับไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อพืชประสบกับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น สภาวะเครียดจากธาตุอาหาร หรือแสงที่มาก หรือน้อยเกินไป และสภาวะเครียดจากอุณหภูมิ หรือความแห้งแล้ง เป็นต้น [13]

ผลการศึกษาพบว่าลักษณะที่ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างระดับปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ แต่มีการตอบสนองต่อ

ปุ๋ยไนโตรเจน ได้แก่ SLA และ CGR จะแสดงให้เห็นว่าพันธุ์มันสำปะหลังจะมีการตอบสนองที่เหมือนกันต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่เพิ่มขึ้นในลักษณะดังกล่าว ซึ่งการค้นพบนี้อาจเป็นประโยชน์สำหรับใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินสายพันธุ์มันสำปะหลังด้วยลักษณะดังกล่าวต่อไป กล่าวคือหากนักวิจัยต้องการประเมินสายพันธุ์มันสำปะหลังโดยใช้ลักษณะดังกล่าวเป็นเกณฑ์อาจไม่จำเป็นต้องประเมินในหลายระดับปุ๋ยไนโตรเจน เนื่องจากพันธุ์มีการตอบสนองในทิศทางเดียวกันในทุกะดับปุ๋ย ทำให้การประเมินสามารถทำได้ง่าย และรวดเร็วขึ้น [14]

Table 5 Specific leaf areas (SLA) at 2, 4 and 6 months after planting (MAP), crop growth rates (CGR) and net assimilation rates (NAR) during 2-4 and 4-6 MAP of two cassava genotypes planted under three nitrogen fertilization regimes

Treatment	Specific leaf area (SLA)			Crop growth rate (CGR) (g/m ² /day)		Net assimilation rate (NAR) (g/cm ² /day)	
	2 MAP	4 MAP	6 MAP	2-4 MAP	4-6 MAP	2-4 MAP	4-6 MAP
Nitrogen fertilization regimes (N)							
0 kgN (N0)	178.9	194.5b	175.9	4.17	5.67c	0.08	-0.05
15 kgN (N1)	179.4	192.4b	172.3	4.98	7.88b	0.04	-0.08
30 KgN (N2)	171.1	215.4a	173.5	4.55	12.01a	0.10	-0.05
Genotypes (G)							
CMR38-125-77	178.6	194.0b	165.2b	4.74	4.76b	0.07b	-0.05
Rayong 9	174.3	207.6a	182.2a	4.39	12.29a	0.08a	-0.07
CV (a)	19.57	5.55	5.23	7.90	15.81	17.79	34.52
CV (b)	18.29	7.34	7.40	10.73	14.84	19.20	32.76
N	ns	*	ns	ns	*	ns	ns
G	ns	*	*	ns	*	*	ns
N x G Interaction	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns and * = non-significant difference and significant at the 0.05 probability level;

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

Table 6 Stepwise linear regression of tuber dry weight (kg/rai) and starch content (%) and physiological traits of two cassava genotypes planted under three nitrogen fertilization regimes

Variable	Coefficient	t	R ²
Tuber dry weight (kg/rai)			
Constant	0.220	0.61ns	0.54
CGR during 2-4 MAP	0.110	2.34*	(P≤0.05)
LA at 4 MAP	0.000	2.61**	
Starch content (%)			
Constant	66.22	8.84**	
CGR during 2-4 MAP	4.164	3.75**	
CGR during 4-6 MAP	0.172	3.16**	
LA at 4 MAP	0.001	3.19**	0.78
F_v/F_m at 6 MAP	-30.31	-4.74**	(P≤0.05)
Total chlorophyll at 4 MAP	-2.68	-2.96*	
Total chlorophyll at 6 MAP	-3.15	-4.67**	
LAI at 2 MAP	-32.30	-3.40**	
NAR during 4-6 MAP	-312.6	-4.05**	

ns, * and ** = non-significant difference, significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively;

MAP = months after planting (MAP)

พื้นที่ใบ เป็นพื้นที่รับแสงเพื่อการสังเคราะห์แสง และสร้างอาหารของพืช การศึกษานี้พบว่า LA และ LAI มีค่าสูงที่สุดที่มันสำปะหลังอายุ 4 เดือน และจะมีค่าลดลงเมื่อมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน ซึ่งที่ระยะ 6 เดือนนี้เป็นระยะเริ่มต้นของการเคลื่อนย้ายสารอาหารจากต้น และใบมาสะสมที่หัว [12] และมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 เป็นสายพันธุ์ที่มีการพัฒนาการทางทรงพุ่มในช่วงต้น 2 เดือนแรกได้เร็วกว่าพันธุ์ระยอง 9 (ประเมินได้จาก LA และ LAI) จากการศึกษาของ Santanoo et al. [15] พบว่าสายพันธุ์ CMR38-125-77 เป็นสายพันธุ์ที่มีการผลิตใบใหม่ได้เร็วในช่วงต้นของการเจริญเติบโต ทำให้มี LA และ LAI สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ระยอง 9 เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 11 ในสภาพได้รับน้ำเต็มที่ อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้พบว่าค่าเฉลี่ยของ LA และ LAI ที่อายุ 6 เดือนจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากขึ้น โดยที่มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ที่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ดีกว่าสายพันธุ์ CMR38-125-77 ซึ่งพบว่าในช่วง 6 เดือนพันธุ์นี้จะมี LA, LAI และ CGR สูงกว่าสายพันธุ์ CMR38-125-77 ค่อนข้างมาก และมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ยังมีค่าเฉลี่ยของ SLA ที่อายุ 6 เดือน และ NAR ที่อายุ 2-4 เดือนสูงกว่าสายพันธุ์ CMR38-125-77

อีกด้วย จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าการเพิ่มระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่สูงขึ้น จะส่งผลทำให้มันสำปะหลังมี LAI ที่เพิ่มมากขึ้นด้วย [16] และส่งผลทำให้มีพื้นที่การสังเคราะห์แสงและ NAR มากขึ้น ทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตหัวมากขึ้นตามไปด้วย [17], [18] แต่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้กับมันสำปะหลังในอัตราที่สูงเกินไป (มากกว่า 36.2 กิโลกรัมต่อไร่) จะส่งผลด้านลบต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตมันสำปะหลัง [5]

ศักยภาพการเจริญเติบโตที่ดีของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ในช่วงกลางของการเจริญเติบโตนี้ ยังสอดคล้องกับรายงานของ Phoncharoen et al. [19] ที่ได้ปลูกทดสอบมันสำปะหลัง 4 สายพันธุ์ใน 6 วันปลูกที่มีสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่ต่างกันภายใต้การให้น้ำชลประทาน พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 จะมี CGR ช่วง 6-8 เดือนหลังปลูกที่สูงกว่าช่วง 2-4 เดือนหลังปลูก และ CGR ในช่วง 2-4 เดือนของพันธุ์ระยอง 9 จะมีค่าต่ำกว่าสายพันธุ์ CMR38-125-77 ในเกือบทุกวันปลูกที่ทดสอบ

เมื่อพิจารณาถึง LA, LAI และน้ำหนักแห้งของหัว จะเห็นว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77 ไม่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน แต่มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9

จะมีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องด้วยสายพันธุ์ CMR38-125-77 มีประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารที่ต่ำ ซึ่งประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารพืชนั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถของพืชในการดูดธาตุอาหารจากดิน และความสามารถภายในต้นพืชในการนำธาตุอาหารไปสร้างส่วนต่าง ๆ ของต้น [20] ลักษณะนี้เกิดจากขบวนการทางชีวเคมีภายในต้นที่มีความซับซ้อน เช่นการดูดใช้ การลำเลียง การสะสม และการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารภายในต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์พืช รูปของปุ๋ยที่ใช้ รวมถึงปัจจัยทางสภาพแวดล้อม และวิธีการจัดการ [21], [22] Phuntupan and Banterng [3] พบว่าพันธุ์มันสำปะหลังที่ต่างกันจะมีการตอบสนองของอัตราการเจริญของหัวต่ออัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันในสภาพการปลูกแบบอาศัยน้ำฝน ทั้งนี้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากแตกต่างของสภาพสภาพแวดล้อม และพันธุ์ที่ใช้ นอกจากนี้ Santanoo et al. [23] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์แสงสุทธิของมันสำปะหลังพันธุ์ต่างกัน ในฤดูกาลต่าง ๆ และพบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยะ 9 มีการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าพันธุ์ CMR38-125-77 ในทุกฤดูกาล (ร้อน หนาว และฝน) จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยะ 9 ค่อนข้างมีเสถียรภาพของการปรับตัวที่ดีกว่ามันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR38-125-77

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Phuntupan and Banterng [3] ที่พบว่าปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 90 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ (14.4 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่) ให้ค่าเปอร์เซ็นต์แป้งสูงที่สุด (31.0 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 46.9 และ 133.2 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (7.5 และ 21.3 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่) ซึ่งเห็นว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่ต่ำ หรือสูงเกินไป จะส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งลดลง และไม่พบปฏิกริยาระหว่างระดับปุ๋ยและพันธุ์ แสดงถึงพันธุ์มีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมือนกันในลักษณะเปอร์เซ็นต์แป้ง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการศึกษาจากการศึกษาของ Omondi et al. [24] ได้อธิบายว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปริมาณสูงให้กับมันสำปะหลัง มีผลทำให้ขบวนการสังเคราะห์แสง และการลำเลียงแป้งไปสะสมที่หัวลดลง

จากการวิเคราะห์ stepwise linear regression 0t จะเห็นได้ว่าน้ำหนักแห้งหัวของมันสำปะหลังมีความสัมพันธ์กับ CGR ที่อายุ 2-4 เดือน และ LA ที่อายุ 4 เดือน ($R^2=0.54^*$) ซึ่ง

การค้นพบนี้อาจช่วยในการตัดสินใจของนักปรับปรุงพันธุ์ในการใช้ลักษณะดังกล่าวเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังหรือตัดสินใจในการออกแบบพันธุ์ในอุดมคติ (ideotype) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ El-Sharkawy et al. [17] ที่รายงานว่า LA, LAI และ CGR จะมีความสัมพันธ์กับผลผลิตมันสำปะหลัง ฉะนั้นการพัฒนาสายพันธุ์มันสำปะหลังให้มีผลผลิตหัวสูงภายใต้การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน นักวิจัยควรจะมีการพิจารณาการเพิ่มขึ้นของ LA, LAI และ CGR เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์ด้วย [3] การศึกษาของ Sangakkara and Wijesinghe [16] ได้อธิบายความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่สูงขึ้น จะทำให้มันสำปะหลังมีค่า LA, LAI และ CGR เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถสร้างอาหารจากการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น ส่งผลทำให้ผลผลิตสูงขึ้นด้วย [18], [24] การศึกษานี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาในสภาพอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว ที่รายงานว่า การให้ผลผลิตหัวของมันสำปะหลังภายใต้การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน จะสัมพันธ์กับค่า LA ที่อายุ 120 วัน และ CGR อัตราการเจริญเติบโตของหัวในช่วงอายุ 180-210 มากที่สุด [3] ขณะที่เปอร์เซ็นต์แป้ง เป็นลักษณะที่ถูกกำหนดด้วยลักษณะทางสรีรวิทยาหลายประการ ได้แก่ CGR ที่อายุ 2-4 และ 4-6 เดือน LA ที่อายุ 4 เดือน LAI ที่อายุ 2 เดือน ค่า F_v/F_m ที่อายุ 6 เดือน ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมที่อายุ 4 เดือน และ 6 เดือน และ NAR ที่อายุ 2-4 เดือน ($R^2=0.78^*$) และลักษณะทางสรีรวิทยาเหล่านี้แสดงออกแบบร่วมกัน ทำให้มีความซับซ้อน และส่งผลต่อประสิทธิภาพการคัดเลือกพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงด้วยลักษณะทางสรีรวิทยาเหล่านี้ เนื่องจากทำได้ค่อนข้างยาก

การศึกษานี้ได้เก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังเมื่ออายุ 6 เดือน ซึ่งหากทำการเก็บผลผลิตมันสำปะหลังตามอายุเก็บเกี่ยว คือ 8-12 เดือน อาจให้ผลการศึกษาที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษานี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเพาะปลูกมันสำปะหลังที่มีช่วงเวลาการเจริญเติบโตอย่างจำกัด เช่นการเพาะปลูกภายหลังการเก็บเกี่ยวข้าว

ความเข้าใจเกี่ยวกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และการประเมินหาความสัมพันธ์ของลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตมันสำปะหลัง เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการตัดสินใจในการคัดเลือกพันธุ์ และออกแบบพันธุ์ รวมถึงการจัดการด้านเกษตรกรรมเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังต่อไป

5. บทสรุป

อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า F_v/F_m ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี คลอโรฟิลล์รวม SLA, CGR และ NAR ของมันสำปะหลังเกือบทุกระยะการเจริญเติบโต ยกเว้นค่า F_v/F_m ที่อายุ 6 เดือน SLA ที่อายุ 4 เดือน และ CGR ที่อายุ 4-6 เดือน ขณะที่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่ต่างกันส่งผลต่อความแตกต่างของ LA, LAI และน้ำหนักแห้งหัว และพบความแตกต่างทางสถิติระหว่างพันธุ์มันสำปะหลังของลักษณะ LA และ LAI ที่อายุ 2 และ 6 เดือน SLA และ CGR ที่อายุ 4-6 เดือน และ NAR ที่อายุ 2-4 เดือน นอกจากนี้ยังพบปฏิกริยาสัมพันธ์ของระดับปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของลักษณะ F_v/F_m , LA, LAI และน้ำหนักแห้งหัวเท่านั้น มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ที่มีการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่ดีเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่สูงขึ้น โดยมีค่า LA, LAI, SLA, NAR, CGR และน้ำหนักแห้งหัวสูงกว่าสายพันธุ์ CMR38-125-77 ภายใต้ N1 และ N2 และสูงที่สุดที่ N2 ในทางตรงกันข้ามสายพันธุ์ CMR38-125-77 เป็นพันธุ์ที่ไม่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในทุกอัตราเมื่อพิจารณาจาก LA, LAI และผลผลิตหัวแห้ง จากการวิเคราะห์ stepwise linear regression ของมันสำปะหลังทั้ง 2 พันธุ์ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งหัว และเปอร์เซ็นต์แป้งกับลักษณะทางสรีรวิทยาพบว่าน้ำหนักแห้งหัวมีความสัมพันธ์กับ CGR ที่อายุ 2-4 เดือน และ LA ที่อายุ 4 เดือน ($R^2=0.54^*$) การศึกษานี้จะเห็นได้ว่าการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังทางอ้อมให้มี CGR และ LA สูงจะทำให้ได้มันสำปะหลังที่มีผลผลิตที่ดี ขณะที่เปอร์เซ็นต์แป้งจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางสรีรวิทยาหลายประการ ซึ่งทำให้การคัดเลือกทางอ้อมทำได้ยาก อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษาในฤดูปลูกเดียว สภาพดินชนิดเดียว และใช้มันสำปะหลังเพียง 2 พันธุ์เท่านั้น จึงจำเป็นต้องขยายขอบเขตการทดลองในหลายฤดูกาล หลายสภาพดิน และเพิ่มจำนวนพันธุ์ในการทดสอบ เพื่อให้ได้ผลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยระดับปริญญาตรี คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และขอขอบคุณกลุ่มวิจัยและปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง แก่นตะวัน และมันสำปะหลัง

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ท่อนมันสำปะหลังปลอดโรคเพื่อใช้ในการทำวิจัย

7. References

- [1] Li, S. and et al. 2017. The industrial applications of cassava: Current status, opportunities and prospects. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 97(8): 2282-2290.
- [2] Byju, G. and Saja, G. 2020. Mineral nutrition of cassava. **Advances in Agronomy**. 159: 169-235.
- [3] Phuntupan, K. and Banterng, P. 2017. Physiological determinants of storage root yield in three cassava genotypes under different nitrogen supply. **Journal of Agriculture Science**. 115: 978-992.
- [4] Kaweewong, J. and et al. 2013. Cassava nitrogen requirements in Thailand and crop simulation model predictions. **Soil Science**. 178: 248-255.
- [5] Oliveira, N.T. and et al. 2017. Effect of harvest time and nitrogen doses on cassava root yield and quality. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**. 41: 150204.
- [6] Wright, G.C., Rao, R.C.N. and Basu, M.S. 1996. A physiological approach to the understanding of genotype by environment interactions - A case study on improvement of drought adaptation in groundnut. In: Cooper, M. and Hammer, G.L. (eds.) **Plant Adaptation and Crop Improvement**. CAB International. Wallingford: CAB International.
- [7] Cruz, J.L. and et al. 2003. Photosynthesis impairment in cassava leaves in response to nitrogen deficiency. **Plant and Soil**. 257: 417-423.
- [8] Pakdeethaiand, C. and Trelo-ges, V. 2014. Response of cassava to nitrogen fertilizer application and drip irrigation for short-term harvesting. **Khon Kaen Agriculture Journal**. 42(1): 196. (in Thai)

- [9] Lichtenthaler, H.K. and Buschmann, C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: Wrolstad, R.E. and et al. (eds.) **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. New York: John Wiley and Sons.
- [10] Chua, M.F. and et al. 2020. Potassium fertilisation is required to sustain cassava yield and soil fertility. **Agronomy**. 10(8): 1103.
- [11] Gomez, K.A. and Gomez, A.A. 1984. **Statistical Procedures for Agricultural Research**. New York: John Wiley and Sons.
- [12] Alves, A.A.C. 2002. Cassava botany and physiology. In: Hillocks, R.J., Thresh, J.M. and Bellotti, A.C. (eds) **Cassava: Biology, Production and Utilization**. Wallingford: CAB International.
- [13] Cruz, J.L. and et al. 2003. Photosynthesis impairment in cassava leaves in response to nitrogen deficiency. **Plant and Soil**. 257: 417-423.
- [14] Janket, A. and et al. 2023. Genetic diversity of chlorophyll fluorescence in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) germplasm under different water regimes. **Khon Kaen Agriculture Journal**. 51(3): 573-589.
- [15] Santanoo, S. and et al. 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.
- [16] Sangakkara, U.R. and Wijesinghe, D.B. 2014. Nitrogen fertilizer affects growth, yield, and N recovery in cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 45(11): 1446-1452.
- [17] El-Sharkawy, M.A. and et al. 1992. Potential photosynthesis of cassava as affected by growth conditions. **Crop Science**. 32(6): 1336-1342.
- [18] El-Sharkawy, M.A. and De Tafur, S.M. 2010. Comparative photosynthesis, growth, productivity, and nutrient use efficiency among tall-and short-stemmed rain-fed cassava cultivars. **Photosynthetica**. 48: 173-188.
- [19] Phoncharoen, P. and et al. 2019. Growth rates and yields of cassava at different planting dates in a tropical savanna climate. **Scientia Agricola**. 76: 376-388.
- [20] Moll, R.H. and et al. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**. 74(3): 562-564.
- [21] Lopez-Arredondo, D.L. and et al. 2017. Molecular and genetic basis of plant macronutrient use efficiency: Concepts, opportunities, and challenges. In: Hossain, M.A. and et al. (eds.) **Plant Macronutrients Use Efficiency**. Cambridge: Academic Press.
- [22] Reich, M. 2017. The significance of nutrient interactions for crop yield and nutrient use efficiency. In: Hossain, M.A. and et al. (eds.) **Plant Macronutrients Use Efficiency**. Cambridge: Academic Press.
- [23] Santanoo, S. and et al. 2020. Canopy structure and photosynthetic performance of irrigated cassava genotypes growing in different seasons in a tropical savanna climate. **Agronomy**. 10: 2018.
- [24] Omondi, J.O. and et al. 2019. High nitrogen availability limits photosynthesis and compromises carbohydrate allocation to storage in roots of *Manihot esculenta* Crantz. **Frontiers in Plant Science**. 10: 1041.