วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

# ผลของ NAA ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9

# Effects of naphthalene acetic acid (NAA) on growth and yield of cassava cv. Rayong 9

**ภากร พันธุพาน[1] และ ภาณุพงศ์ ผลเจริญ[1]***

Phakorn Phunthupan[1] and Phanupong Phoncharoen[1]*

[1] *สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จ.นครพนม 48000*
[1] *Department of Plant Science, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom 48000*

**บทคัดย่อ:** การแช่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังด้วยกรดแนฟทาลีนแอซีติก (naphthalene acetic acid, NAA) ในความเข้มข้นที่เหมาะสม จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและยกระดับผลผลิตของมันสำปะหลัง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ NAA ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 โดยทำการทดลองที่แปลงทดลองสาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม นำท่อนพันธุ์ความยาว 20 ซม. มาแช่สาร NAA ก่อนการปลูก ที่ความเข้มข้นจำนวน 4 ระดับ คือ 0, 1,000, 2,000 และ 4,000 มก./ล. เป็นเวลา 30 นาที ปลูกมันสำปะหลังในวันที่ 3 ธันวาคม 2561 โดยใช้แผนการทดลอง randomized complete block design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ทำการเก็บข้อมูลดินก่อนการปลูก และข้อมูลการเจริญเติบโตที่อายุ 90, 180 และ 270 วันหลังปลูก ผลการศึกษาพบว่า การแช่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่ระดับความเข้มข้น 1,000 มก./ล. ก่อนการปลูก เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ทำให้มีการเจริญเติบโตในแต่ละส่วนสูงที่สุดเกือบทุกช่วงอายุ โดยส่งผลให้มีน้ำหนักแห้งรวม น้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร น้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งใบสูงที่สุดเกือบทุกอายุ (90, 180 และ 270 วันหลังปลูก) และเป็นความเข้มข้นที่ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหารสูงที่สุด ที่ช่วงอายุ 90-180 และ 180-270 วันหลังปลูก นอกจากนี้ ยังส่งผลให้มีผลผลิตที่อายุ 270 วันหลังปลูก สูงกว่าการใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 มก./ล. และการใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 และ 4,000 มก./ล. ทำให้มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงกว่าการไม่ใช้สาร NAA

**คำสำคัญ:** *Manihot esculenta*; รากสะสมอาหาร; อัตราการเจริญเติบโต; ดัชนีการเก็บเกี่ยว

**ABSTRACT:** Soaking cassava stem cuttings in naphthalene acetic acid (NAA) solutions at an appropriate concentration can enhance growth and increase yield. This study aimed to investigate the effects of different concentrations of NAA on the growth and yield of cassava cv. Rayong 9. The experiment was conducted at the experimental field of the Department of Plant Science, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University. Before planting, cassava stem cuttings of 20 cm in length were soaked in NAA solutions of 0, 1,000, 2,000, and 4,000 mg/L for 30 minutes. The cassava was planted on 3 December 2018 using a randomized complete block design (RCBD) with four replications. Soil conditions before planting were collected, and cassava growth at 90, 180, and 270 days after planting (DAP) was recorded. The results indicated that soaking cassava stem cuttings in an NAA concentration of 1,000 mg/L was the optimal concentration for promoting growth and achieving the highest yield for almost the growth stage. It resulted in the highest total, storage root, stem, and leaf dry weights for almost age (90, 180, and 270 days after planting), and this concentration showed the highest growth rate (CGR) and storage root growth rate (SRGR) at 90-180 and 180-270 DAP. Moreover, NAA concentrations of 1,000 mg/L caused higher yield than those of

* Corresponding author: phanupong.phon@gmail.com

Received: date; April 25, 2023 Accepted: date; July 14, 2023 Published: date;

2,000 and 4,000 mg/L. Additionally, the use of NAA concentrations of 1,000 and 4,000 mg/L resulted in a higher harvest index than without using NAA.
**Keywords:** *Manihot esculenta*; storage root; growth rate; harvest index

**บทนำ**

มันสำปะหลัง (Cassava; *Manihot esculenta* L. Crantz) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีปริมาณแป้งในรากสะสมอาหารสูงและเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ โดยเป็นอาหารหลักของผู้คนมากกว่าหนึ่งพันล้านคนใน 105 ประเทศทั่วโลก (Bull et al. 2011; Latif and Müller, 2014) และมีการใช้ประโยชน์จากรากสะสมอาหารของมันสำปะหลังในการแปรรูปเป็นอาหารสัตว์และมนุษย์ รวมถึงนำไปแปรรูปเป็นเอทานอลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (Howeler, 2013; Phuntupan and Banterng, 2017) ซึ่งประเทศไทยจัดเป็นหนึ่งในผู้ผลิตและส่งออกมันสำปะหลังหลักของโลก (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018) โดยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังประมาณ 11.1 ล้านไร่ และมีพื้นที่ปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณ 6.1 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) จากวิกฤตการณ์ของพลังงานเชื้อเพลิงที่มีราคาสูง ทำให้มีความต้องการมันสำปะหลังเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลผลิตของมันสำปะหลังในประเทศไทยส่วนใหญ่ประสบปัญหาผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำ (3.5 ตัน/ไร่) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพการให้ผลผลิตสูงสุดของมันสำปะหลัง (Howeler, 2013) โดยแนวทางการเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเลือกพันธุ์ วันปลูก การจัดการน้ำและปุ๋ย รวมถึงการใช้สารฮอร์โมนในอัตราที่เหมาะสม เป็นต้น

กรดแนฟทาลีนแอซีติก (naphthylacetic acid, NAA) คือสารสังเคราะห์ในกลุ่มออกซินซึ่งมีผลกระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์ในบริเวณเนื้อเยื่อเจริญของพืช ทำให้มีการชักนำให้เกิดรากในพืช (Srivastava, 2002) โดย NAA มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการเกษตรในด้านต่าง ๆ เช่น ควบคุมการออกดอกของแอปเปิ้ล (Yuan and Carbaugh, 2007) ใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตในถั่วพุ่ม (Ullah et al., 2007) ยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ของแตงกวา (จิราภรณ์ และ บุญมี, 2561) ควบคุมคุณภาพและผลผลิตของดอกแอสเตอร์จีน (Sharma and Joshi, 2015) ชักนำให้เกิดรากในกิ่งปักชำสบู่ดำและม่วงไตรบุญ (ปิยะณัฏฐ์ และ อนงค์ภัทร, 2558; เพ็ญแข และคณะ, 2561) และใช้สาร NAA ในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อชักนำให้เกิดรากในปาล์มน้ำมันและมันสำปะหลัง (วราภรณ์ และ คณะ, 2563; Fan et al., 2011) เป็นต้น โดยในพืชแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน (โสภณ และคณะ, 2558) การใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ อย่างไรก็ตาม การใช้ NAA ที่ความเข้มข้นที่สูงเกินไป อาจทำให้เป็นพิษต่อพืชและสิ่งมีชีวิตได้ (Tomlin, 2006; Hossain and Urbi, 2016; Chanu and Singh, 2020) จึงมีการนำสารกลุ่มนี้มาประยุกต์ใช้เป็นสารกำจัดวัชพืชด้วย (Taiz and Zeiger, 2003)

โดยทั่วไปการพัฒนาระบบรากฝอย (fibrous root system) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตโดยรวมของพืช โดยมีหน้าที่ในการดูดซับสารอาหาร น้ำ และการยึดเกาะของพืช (Lynch, 1995) ซึ่งมันสำปะหลังมีรากฝอยที่ทำหน้าที่ดูดซึมน้ำและแร่ธาตุอาหาร นอกจากนี้ ยังมีรากพิเศษ (adventitious root) ซึ่งจะพัฒนาไปเป็นรากที่ทำหน้าที่ในการสะสมอาหาร (Alves, 2002) ดังนั้นการกระตุ้นให้มีการสร้างรากและพัฒนารากของมันสำปะหลังได้เร็ว จะสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในช่วงต้นของการเจริญเติบโต และอาจทำให้ได้ผลผลิตสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้น (Kamau et al. 2011) NAA จะกระตุ้นการเกิดรากและทำให้มีความยาวมากขึ้น (Demeke et al., 2014) โดย NAA จะเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase และ polyphenol oxidase ซึ่งเป็นเอนไซน์ที่มีส่วนสำคัญในการสร้างราก (Yan et al., 2014) ทำให้รากมันสำปะหลังเกิดได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมให้มันสำปะหลังสามารถสร้างและขยายทรงพุ่มได้ดี Abah et al. (2017) รายงานว่า การใช้สาร NAA ช่วยให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในช่วงต้นของการเจริญเติบโต โดยพบว่าการใช้ NAA ปริมาณ 0.02 มิลลิโมล/ล. ในพันธุ์ CR 41-10 จะทำให้มันสำปะหลังที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก มีชีวมวล ความสูง และพื้นที่ใบสูงกว่าการไม่ใช้สาร NAA ซึ่งการตอบสนองจะแตกต่างกันไปในมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ และมีการใช้ NAA ในมันสำปะหลังในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของราก โดย Mapayi et al. (2013) พบว่า การเพิ่มสาร NAA 0.02 มก./ล. ในสูตรอาหาร MS ส่งผลให้มีจำนวนรากต่อต้นเพิ่มขึ้น แต่การใช้ NAA ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้การเกิดราก

ลดลง และ Fan et al. (2011) รายงานว่า NAA ที่ความเข้มข้น 0.2 มก./ล. เป็นอัตราที่เหมาะสมที่ทำให้มันสำปะหลังมีการเกิดรากสูงที่สุด ในขณะที่ความเข้มข้นที่สูงจะทำให้อัตราในการเกิดรากลดลงเช่นกัน

ดังนั้นการใช้สารชักนำเพื่อกระตุ้นการออกรากของมันสำปะหลังในอัตราที่เหมาะสม จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและยกระดับผลผลิตของมันสำปะหลังให้สูงขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบการแช่ท่อนพันธุ์ด้วยสาร NAA ในความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์หลักในสภาพไร่ของประเทศไทยยังมีจำกัด เช่น พันธุ์ระยอง 9 ซึ่งเป็นพันธุ์รับรองของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.) และเป็นพันธุ์ที่มีรายงานว่ามีผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งสูง (Mahakosee et al., 2019; Phoncharoen et al., 2019a, 2019b; Janket et al., 2020a, 2020b; Wongnoi et al., 2020) เหมาะสำหรับการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนและอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ NAA ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9

## วิธีการศึกษา

### การปลูกและการเตรียมแปลงทดลอง

ทำการศึกษาโดยใช้มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 **(Figure 1)** ทำการทดลองที่แปลงทดลอง สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จ.นครพนม (17°17'29.61"N, 104°46'59.99"E, ความสูงจากระดับน้ำทะเล 152 ม.) ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 ถึงเดือนกันยายน 2562 โดยใช้แผนการทดลอง randomized complete block design (RCBD) จำนวน 4 กรรมวิธี ได้แก่ ไม่แช่สาร NAA (ชุดควบคุม) และแช่ท่อนพันธุ์ด้วยสาร NAA ที่ความเข้มข้น 1,000, 2000 และ 4,000 มก./ล. ทำการทดลอง 4 ซ้ำ

การเตรียมพื้นที่ปลูกโดยไถดะ ไถแปร จากไถพรวน และยกร่องให้มีความสูงประมาณ 30 ซม. ระยะห่างระหว่างร่องประมาณ 1 ม. ทำการปลูกในวันที่ 3 ธันวาคม 2561 ใช้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่มีอายุ 270 วันหลังปลูก โดยคัดเลือกต้นที่มีสภาพสมบูรณ์และปราศจากโรคและแมลง นำมาตัดเป็นท่อนพันธุ์ให้มีความยาว 20 ซม. จากนั้นนำไปแช่ท่อนพันธุ์ด้วยสาร NAA เกรดทางการค้า (commercial grade) ที่วางจำหน่ายตามร้านอุปกรณ์และเคมีภัณฑ์เกษตรทั่วไป ตามกรรมวิธีที่กำหนด เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปปลูกโดยใช้ระยะปลูก 1x1 ม. โดยปลูกหลุมละ 1 ต้น มีขนาดพื้นที่แปลงย่อย 42 ต้น/แปลงย่อย ทำการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ($N$-$P_2O_5$-$K_2O$) อัตรา 50 กก./ไร่ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 30 วันหลังปลูก และใส่ปุ๋ยสูตร ($K_2O$) 0-0-60 อัตรา 15 กก./ไร่ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 60 วันหลังปลูก ตามคำแนะนำการปลูกมันสำปะหลัง (กรมวิชาการเกษตร, 2563) ทำการปลูกโดยอาศัยน้ำฝน และทำการกำจัดวัชพืชและโรคแมลงตามความจำเป็น

**Figure 1** Cassava cv. Rayong 9 at 30 (left) and 270 (right) days after planting (DAP) grown at the Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Thailand

**การเก็บข้อมูล**

ทำการเก็บข้อมูลดินก่อนการไถที่ระดับความลึก 0-30 และ 30-60 ซม. โดยสุ่มเก็บดินจาก 4 จุดที่แตกต่างกัน จากนั้นนำตัวอย่างดินที่ระดับความลึกเดียวกันมารวมกัน แล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ซึ่งประกอบไปด้วย อนุภาคขนาดทราย (% sand) ทรายแป้ง (% silt) และดินเหนียว (% clay) ซึ่งวัดโดยวิธี hydrometer method และคุณสมบัติทางเคมีของดินซึ่งประกอบด้วย ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter) ซึ่งวัดโดยวิธี Walkley and Black (1947) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) วัดโดยใช้ pH meter ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) วัดโดยวิธี Kjeldahl method (Bremner, 1965) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) วัดโดยวิธี Bray II method (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) วัดด้วยเครื่อง Flame photometer (Jackson, 1973) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity, EC) วัดโดยใช้ Conductivity meter (Rhoades and van Schilfgaarde, 1976) และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cation exchange capacity, CEC) วัดโดยวิธี Ammonium acetate extraction (Chapman, 1965)

ทำการเก็บตัวอย่างมันสำปะหลังจำนวน 4 ต้นต่อแปลงย่อย เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 90, 180 และ 270 วันหลังปลูก โดยนำมันสำปะหลังมาแยกเป็นส่วน ๆ ได้แก่ รากสะสมอาหาร ราก ลำต้น ใบ และก้านใบ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักสด ทำการสุ่มน้ำหนักสดจากแต่ละส่วนประมาณ 10% ของน้ำหนักสดทั้งหมด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่ และจึงนำมาชั่งหาน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน นำค่าน้ำหนักแห้งที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate, CGR), อัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหาร (storage root growth rate, SRCG), อัตราการเจริญเติบโตของลำต้น (stem growth rate, SGR), อัตราการเจริญเติบโตของใบ (left growth rate, LGR) ในช่วง 90-180 และ 180-270 วันหลังปลูก และดัชนีเก็บเกี่ยว (harvest index, HI) สำหรับข้อมูลสภาพฟ้าอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และปริมาณน้ำฝน ได้รับความอนุเคราะห์จากสถานีอุตุนิยมวิทยานครพนม กรมอุตุนิยมวิทยา

**การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ของทุกลักษณะพืช ตามแผนการทดลอง RCBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD) (Gomez and Gomez, 1984) โดยใช้โปรแกรม Statistix 10 (Analytical Software, 2013)

**ผลการศึกษา**

**ข้อมูลดินและสภาพฟ้าอากาศ**

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินของพื้นที่ทำการทดลอง พบว่า ดินที่ความลึกระหว่าง 0-30 ซม. อนุภาคขนาดทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) เท่ากับ 73.42, 15.96 และ 10.62% ตามลำดับ ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินร่วนทราย (sandy loam) และดินที่ความลึกระหว่าง 30-60 ซม. มีค่าเท่ากับ 69.71, 19.07 และ 11.22% ตามลำดับ และมีเนื้อดินเป็นดินร่วนทรายเช่นเดียวกัน สำหรับคุณสมบัติทางเคมีของดินที่ความลึกระหว่าง 0-30 ซม. มีค่า pH, total nitrogen, available phosphorus, exchangeable potassium, EC และ CEC เท่ากับ 4.81, 8.23 ก./กก., 0.02, ก./กก. 99.17 มก./กก., 75.00 มก./กก., 0.07 เดซิซีเมน/ม. และ 8.70 เซนติโมล/กก. ตามลำดับ และสำหรับดินที่ความลึกระหว่าง 30-60 ซม. มีค่าเท่ากับ 4.97, 5.97 ก./กก., 0.01 ก./กก., 69.58 มก./กก., 41.19 มก./กก., 0.03 เดซิซีเมน/ม. และ 6.30 เซนติโมล/กก. ตามลำดับ **(Table 1)** จากข้อมูลสภาพฟ้าอากาศของสถานีอุตุนิยมวิยานครพนม พบว่า ระหว่างวันที่ 1 ธันวาคม 2561 ถึง 30 กันยายน 2562 ค่าอุณหภูมิสูงรายวัน (maximum temperature) ระหว่าง 25.0-40.0 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิต่ำรายวัน (minimum temperature) ระหว่าง 12.9-29.9 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิเฉลี่ย (average temperature) 28.4 องศาเซลเซียส โดยวันที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดคือวันที่ 20 และ 25 เมษายน 2562 และวันที่ 1 มกราคม 2562 เป็นวันที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุด และมีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดฤดูการปลูก ทั้งหมด 2,147.6 มม. ซึ่งวันที่ 2 กรกฎาคม 2562 เป็นวันที่มีปริมาณน้ำฝนสูงที่สุด (102.0 มม.) **(Figure 2)**

**Table 1** Soil physical and chemical properties at a depth of 0-30 and 30-60 cm

| Soil characteristics | Depth (cm) | |
|---|---|---|
| | **0-30** | **30-60** |
| **Physical property** | | |
| Sand (%) | 73.42 | 69.71 |
| Silt (%) | 15.96 | 19.07 |
| Clay (%) | 10.62 | 11.22 |
| **Chemical property** | | |
| pH | 4.81 | 4.97 |
| Organic matter (g/kg) | 8.23 | 5.97 |
| Total nitrogen (g/kg) | 0.02 | 0.01 |
| Available phosphorus (mg/kg) | 99.17 | 69.58 |
| Exchangeable potassium (mg/kg) | 75.00 | 41.19 |
| Electrical conductivity (dS/m) | 0.07 | 0.03 |
| Cation exchange capacity (c mol/kg) | 8.70 | 6.30 |

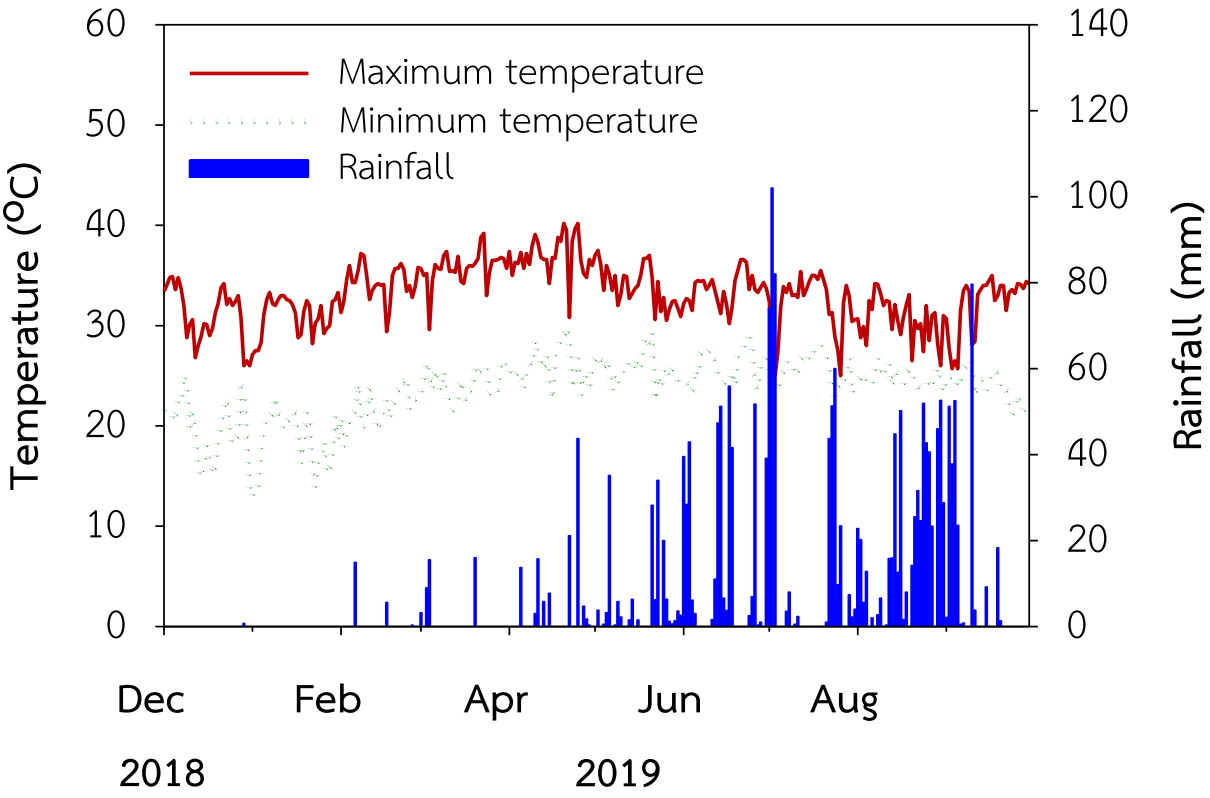


**Figure 2** Daily maximum and minimum temperatures and rainfall during 1 December 2018 - 30 September 2019 at Meteorological Station, Nakhon Phanom, Thailand

**ข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9**

จากการศึกษาผลของการใช้สาร NAA ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 4 อัตรา ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 พบว่า น้ำหนักแห้งรวม น้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งใบ ที่อายุ 90, 180 และ 270 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($P<0.01$) **(Figure 3)** โดยที่อายุ 90 วันหลังปลูก พบว่าการใช้สาร NAA ความเข้มข้น 1,000 และ 2,000 มก./ล. ส่งผลให้น้ำหนักแห้งรวม (616.25 และ 725.75 ก./ต้น ตามลำดับ) น้ำหนักแห้งต้น (88.75 และ 117.75 ก./ต้น ตามลำดับ) และน้ำหนักแห้งใบสูงที่สุด (209.75 และ 225.25 ก./ต้น ตามลำดับ) **(Figure 3a,c,d)** ในขณะที่ การใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ทำให้น้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารสูงที่สุด (351.75 ก./ต้น) **(Figure 3b)** และการไม่ใช้สาร NAA ทำให้มีน้ำหนักแห้งใบมีค่าต่ำที่สุด (89.50 ก./ต้น) **(Figure 3d)**

สำหรับอัตราการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่อายุระหว่าง 90-180 วันหลังปลูก พบว่า อัตราการเจริญเติบโต ($P<0.01$) อัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหาร ($P<0.01$) อัตราการเจริญเติบโตของใบ ($P<0.05$) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น อัตราการเจริญเติบโตของลำต้น **(Table 2)** โดยการใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหารมีค่าสูงที่สุด (12.71 และ 6.53 ก./ตร.ม./วัน ตามลำดับ) การไม่ใช้สาร NAA (control) และการใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 และ 4,000 มก./ล. ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของใบสูงกว่าการใช้ NAA ที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. (2.87, 3.46 และ 2.99 ก./ตร.ม./วัน ตามลำดับ)

สำหรับการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ที่อายุ 180 วันหลังปลูก พบว่า การใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งรวม (1,760.00 ก./ต้น) น้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร (882.75 ก./ต้น) และน้ำหนักแห้งใบ (521.00 ก./ต้น) สูงกว่า

การใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้นอัตราอื่น ๆ **(Figure 3a,b,d)** ในขณะที่ การไม่ใช้สาร NAA และการใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 และ 2,000 มก./ล. ส่งผลให้น้ำหนักแห้งต้นสูงกว่า (272.25, 296.25 และ 278.75 ก./ต้น ตามลำดับ) การใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล. (204.00 ก./ต้น) **(Figure 3c)**

การใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 4 อัตรา ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตที่อายุระหว่าง 180-270 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเกือบทุกลักษณะ ยกเว้น อัตราการเจริญเติบโตของลำต้น ($P>0.05$) โดยอัตราการเจริญเติบโต ($P<0.05$) อัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหาร ($P<0.01$) อัตราการเจริญเติบโตของใบ ($P<0.01$) ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าการใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหารสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.25 และ 8.53 ก./ตร.ม./วัน ตามลำดับ และสำหรับอัตราการเจริญเติบโตของใบพบว่า การไม่ใช้สาร NAA (control) และการใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล. ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตของใบสูงที่สุด (-3.12 และ -3.50 ก./ตร.ม./วัน ตามลำดับ)

การใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. ส่งผลให้มันสำปะหลังที่อายุ 270 วันหลังปลูก มีน้ำหนักแห้งรวม น้ำหนักรากสะสมอาหาร และน้ำหนักแห้งใบสูงที่สุด (2,412.00, 1,650.50 และ 135.25 ก./ต้น ตามลำดับ) **(Figure 3a,b,d)** และการใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 และ 2,000 มก./ล. ทำให้มันสำปะหลังมีน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุด (595.00 และ 511.75 ก./ต้น) **(Figure 3c)** และการไม่ใช้สาร NAA ส่งผลให้น้ำหนักแห้งรวม น้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร และน้ำหนักแห้งใบต่ำกว่าการใช้สารที่ความเข้มข้นอัตราต่าง ๆ (1,536.30, 990.30 และ 67.75 ก./ต้น ตามลำดับ) **(Figure 3a,b)**

นอกจากนี้ ยังพบว่าการใช้ NAA ที่ความเข้มข้นที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลให้ดัชนีการเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดย NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 และ 4,000 มก./ล. ทำให้มันสำปะหลังมีดัชนีการเก็บเกี่ยว (0.68 และ 0.70) สูงกว่าการไม่ใช้สาร NAA (0.63) **(Table 2)**

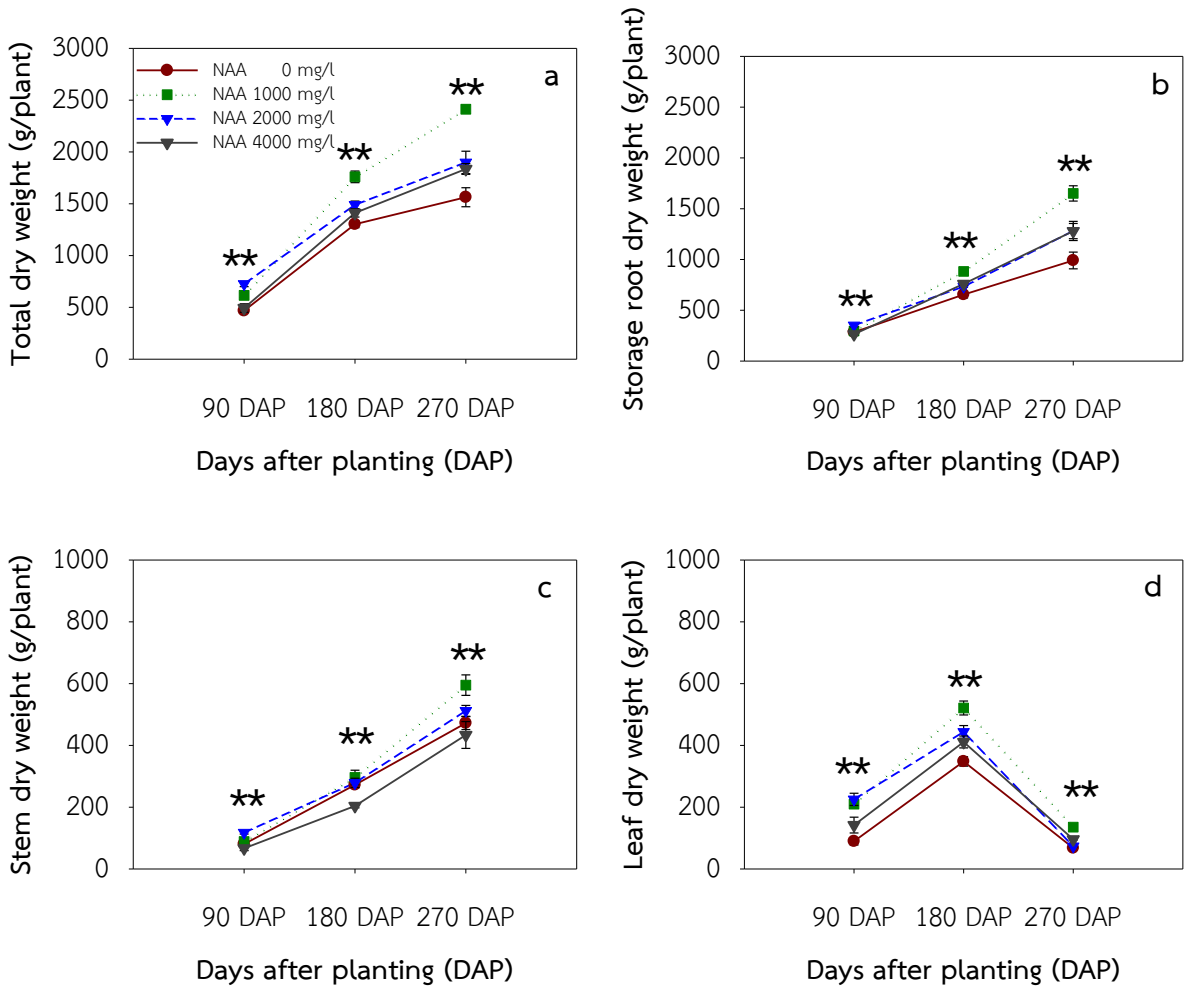


**Figure 3** Total (a), storage root (b), stem (c), and leaf (d) dry weights for the different levels of NAA at 90, 180, and 270 days after planting (DAP). ** = significance at P<0.01

**Table 2** Crop growth rate (CGR), storage root growth rate (SRGR), stem growth rate (SGR), and leaf growth rate (LGR) during 90-180 and 180-270 days after planting (DAP) and harvest index (HI) at 270 DAP

| NAA Concentration | CGR ($g/m^2/d$) | | SRGR ($g/m^2/d$) | | SGR ($g/m^2/d$) | | LGR ($g/m^2/d$) | | HI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 90-180 DAP | 180-270 DAP | 90-180 DAP | 180-270 DAP | 90-180 DAP | 180-270 DAP | 90-180 DAP | 180-270 DAP | |
| 0 mg/l | 9.28 b | 2.90 b | 4.12 b | 3.73 c | 2.55 | 2.22 | 2.87 ab | -3.12 a | 0.63 b |
| 1,000 mg/l | 12.71 a | 7.25 a | 6.53 a | 8.53 a | 3.02 | 3.32 | 3.46 a | -4.29 b | 0.68 a |
| 2,000 mg/l | 8.48 b | 4.56 b | 4.23 b | 6.10 b | 2.23 | 2.59 | 2.43 b | -4.11 b | 0.67 ab |
| 4,000 mg/l | 10.20 b | 4.72 b | 5.52 a | 5.77 bc | 2.25 | 2.55 | 2.99 ab | -3.50 ab | 0.70 a |
| F-test | ** | * | ** | ** | ns | ns | * | ** | ** |
| CV% | 8.41 | 29.91 | 10.38 | 18.64 | 18.47 | 21.44 | 13.15 | -10.03 | 2.77 |

*, ** = significance at P<0.05 and 0.01, respectively. ns = non-significance

**วิจารณ์**

จากการศึกษาการใช้สาร NAA ที่มีความเข้มที่แตกต่างกัน 4 อัตรา ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ชี้ให้เห็นว่า ที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Javier and Mamicpic (1978) ที่รายงานว่าการแช่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ Golden, Balinghoy และ Java Brown ใน NAA ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. ส่งผลให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและผลผลิตสูงที่สุดทุกพันธุ์ และการแช่สาร NAA ส่งผลทำให้มีจำนวนรากมากกว่าการไม่แช่สาร โดย NAA ช่วยส่งเสริมให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตที่ดีในช่วงต้น Demeke et al. (2014) รายงานว่า NAA จะกระตุ้นการเกิดรากและมีความยาวมากขึ้น โดย NAA จะเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase และ polyphenol oxidase ซึ่งเป็นเอนไซน์ที่มีส่วนสำคัญในการสร้างราก (Yan et al., 2014) ทำให้รากมันสำปะหลังเกิดได้เร็วขึ้นและช่วยส่งเสริมให้มันสำปะหลังสามารถสร้างทรงพุ่มได้ดี โดย NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. ส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งใบสูงทุกช่วงอายุ (90, 180 และ 270 วันหลังปลูก) ซึ่งปริมาณใบที่มากส่งผลให้มันสำปะหลังมีดัชนีพื้นที่ใบและพื้นที่การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น และทำให้มันสำปะหลังมีการสะสมน้ำหนักที่มากขึ้น (El-Sharkawy, 2006; Mahakosee et al., 2019) การเจริญเติบโตทางใบที่สูงในช่วงต้นช่วยส่งเสริมทำให้น้ำหนักแห้งรวมและผลผลิตสูง ซึ่งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของใบที่อายุระหว่าง 90-180 วันหลังปลูก มีค่าสูงที่สุด Phoncharoen et al. (2019a) รายงานว่า อัตราการเจริญเติบโตของใบที่อายุระหว่าง 60-120 วันหลังปลูก เป็นลักษณะทางสรีรวิทยาหนึ่งที่กำหนดน้ำหนักแห้งรวมและน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารที่อายุ 360 วันหลังปลูก นอกจากนี้ การพัฒนาทรงพุ่มของมันสำปะหลังในช่วงต้นการเจริญเติบโตมีผลต่อการปกคลุมดิน ทำให้ช่วยลดการเจริญเติบโตและการรบกวนของของวัชพืช ซึ่งอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตให้กับมันสำปะหลังในช่วงต้นด้วย (Abah et al., 2017) โดยการใช้ NAA ทุกความเข้มข้นส่งผลให้มันสำปะหลังมีน้ำหนักแห้งใบที่อายุ 90 และ 180 วันหลังปลูก และน้ำหนักแห้งรวมผลผลิตสุดท้าย และดัชนีการเก็บเกี่ยว สูงกว่าการไม่ใช้สาร NAA (ยกเว้น การใช้ NAA ที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ที่ดัชนีการเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างทางสถิติกับการไม่ใส่สาร NAA)

นอกจากนี้ ผลการทดลองพบว่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีค่าค่อนข้างสูงแม้ไม่ใส่สาร NAA ซึ่งสอดคล้องกับ Phoncharoen et al. (2019b) และ Phosaengsri et al. (2019) ที่รายงานว่า มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวที่สูงกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 11 และ สายพันธุ์ CMR38-125-77 เนื่องจากพันธุ์ระยอง 9 มีความสามารถในการแบ่งสรรปันส่วนอาหาร (partitioning) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงไปสู่รากสะสมอาหารได้สูง และมีรายงานว่าพันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่สูง (Vongcharoen et al., 2018, 2019; Mahakosee et al., 2019; Santanoo et al., 2019, 2022; Wongnoi et al., 2020) รวมถึงมีผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งสูง (Prammanee et al., 2010; Mahakosee et al., 2019; Phoncharoen et al., 2019a, 2019b; Janket et al., 2020a, 2020b)

การใช้ NAA ที่ความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 มก./ล. ส่งผลให้มันสำปะหลังมีน้ำหนักแห้งในแต่ละส่วน และอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่า การใช้ NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. ชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้น 2 อัตรานี้เป็นความเข้มข้นที่สูงเกินไปสำหรับมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่ปลูกในสภาพไร่ โดยมีรายงานว่าการใช้ NAA ที่ความเข้มข้นมากเกินไปจะทำให้จำนวนการเกิดรากลดลง (Fan et al., 2011; Khan and Bi, 2012; Mapayi et al., 2013) ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาทรงพุ่มและการสะสมน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังในช่วงต้นของการเจริญเติบโต การไม่แช่สาร NAA และการใช้ NAA ที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล. ทำให้มันสำปะหลังมีอัตราการเจริญเติบโตของใบที่สูงทั้ง 2 ช่วงอายุ (90-180 และ 180-270 วันหลังปลูก) แต่เนื่องจากมีน้ำหนักแห้งใบน้อยกว่าที่อายุ 90 และ 180 วันหลังปลูก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. จึงทำให้มีแหล่งในการสร้างอาหารน้อยและส่งผลให้มีผลผลิตที่น้อยกว่า

การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงการตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ต่อการแช่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังในสาร NAA ที่ความเข้มข้นในอัตราที่แตกต่างกัน โดย NAA ที่ใช้เป็นเกรดการค้าที่สามารถหาซื้อได้ที่ร้านอุปกรณ์และเคมีภัณฑ์เกษตรทั่วไป และมีราคาไม่เกิน 1,000 บาท ต่อ 1 แกลลอน (4 ลิตร) ซึ่งจากผลการศึกษา พบว่าการใช้ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. จะได้น้ำหนักรากสะสมอาหาร

สดสูงกว่าการไม่ใส่สาร NAA ประมาณ 2.73 ตันต่อไร่ ซึ่งข้อมูลนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแนะนำแผนการจัดการการผลิตมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มผลผลิตในสภาพไร่ให้กับเกษตรได้

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นการศึกษาแนวโน้มการเจริญเติบโตและผลผลิตจากการใช้ NAA ใน 1 ฤดูกาล เพื่อเป็นข้อมูลในเบื้องต้นในการทำงานทดลองเชิงลึกต่อไป จึงไม่ได้บันทึกข้อมูลการตอบสนองและการเจริญเติบโตของราก ซึ่งจะได้รับผลจากการแช่สาร NAA จึงจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมให้ละเอียดขึ้นในอนาคต เช่น ข้อมูลเชิงสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของการเจริญเติบโตของรากในช่วงต้น สภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของ NAA และเพิ่มการทดลองในหลายฤดูกาลและหลายพันธุ์ เป็นต้น เพื่อนำมาอธิบายถึงความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น และอาจจำเป็นต้องมีการศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ต่อการใช้สาร NAA ร่วมกันการจัดการอื่น ๆ เช่น การให้น้ำและการใส่ปุ๋ย เป็นต้น นอกจากนี้อาจมีการทดสอบในพื้นที่อื่นที่ไม่ใช่สภาพไร่ อาทิ การปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่นาหลังการเก็บเกี่ยวข้าว เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์ต่อไปในอนาคต (Sawatraksa et al., 2018, 2019)

## สรุป

การแช่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 โดยใช้ NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. ก่อนการปลูก เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ส่งผลให้มีน้ำหนักแห้งรวม น้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร น้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักใบสูงที่สุดเกือบทุกอายุ (90, 180 และ 270 วันหลังปลูก) และเป็นความเข้มข้นที่ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหารสูงที่สุด ที่ช่วงอายุ 90-180 และ 180-270 วันหลังปลูก นอกจากนี้ การใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 1,000 และ 4,000 มก./ล. ทำให้มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงกว่าการไม่ใช้สาร NAA

## คำขอบคุณ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนครพนม ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยเพื่อพัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ที่ตอบสนองความต้องการของชุมชนและสังคมสำหรับบุคลากรสายวิชาการ ประจำปีงบประมาณ 2561 และสาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ได้สนับสนุนการทำการวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2653. เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลัง. สถาบันวิจัยพืชพลังงานทดแทน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. ม.ป.ป. พันธุ์มันสำปะหลังกรมวิชาการเกษตร. แหล่งข้อมูล: https://at.doa.go.th/cassvar/varR9.html. ค้นเมื่อ 21 เมษายน 2566.

จิราภรณ์ หาญสุริย์ และบุญมี ศิริ. 2561. ผลของการเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับฮอร์โมนพืชผสมเพื่อยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์แตงกวาลูกผสม. แก่นเกษตร. 46(3): 507-516.

ปิยะณัฏฐ์ ผกามาศ และอนงค์ภัทร เหมลา. 2558. ผลของ NAA IBA และชนิดของกิ่งต่อการออกรากของกิ่งปักชำสบู่ดำ. วารสารเกษตร. 31(3): 251-258.

เพ็ญแข รุ่งเรือง, อนุกาญจน์ ชิณวงศ์, กาญจนา เหลืองสุวาลัย, กิริยา สังข์ทองวิเศษ และสุนทรียา กาละวงศ์. 2561. การขยายพันธุ์และการใช้แพกโคลบิวทราซอลเพื่อการผลิตม่วงไตรบุญเป็นไม้กระถาง. แก่นเกษตร. 46(4): 699-708.

วราภรณ์ หีดฉิม, สมปอง เตชะโต และสุรีรัตน์ เย็นช้อน. 2563. ผลของออกซินต่อการชักนำให้เกิดโซมาติคเอ็มบริโอและการพัฒนาเป็นพืชต้นใหม่ของปาล์มน้ำมันลูกผสมพันธุ์ทรัพย์ ม.อ. แก่นเกษตร. 48(1): 67-78.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2564. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร.

โสภณ บุญธรรม, ธีรยุทธ ตู้จินดา, ณัฐา โพธาภรณ์ และประสาทพร สิมตะมาน. 2558. การชักนำให้เกิดต้นแฮพลอยด์ โดยการเพาะเลี้ยงรังไข่ของข้าวสายพันธุ์ลูกผสมกลับ Rathu Heenati/KDML105//Chai Nat 1. วารสารเกษตร. 31(2): 145-153.

Abah, S.P., U.E. Okoroafor, G.C. Nsofor, E. Uba, J.O. Mbe, S.C. Njoku, and C.N. Egesi. 2017. Auxins and cytokinin as a biostimulant for cassava root initiation and tuberization. Nigeria Agricultural Journal. 48(2): 165-170.

Alves, A.A.C. 2002. Cassava Botany and Physiology. p. 67-89. In: R.J. Hillocks, J.M. Thresh, and A.C. Bellotti. Cassava: Biology, Production and Utilization. CABI Publishing, New York.

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

Bray, R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science. 59: 39-45.

Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. p. 1149-1178. In: A.G. Norman. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Bull, S.E., J. Ndunguru, W. Gruissem, J.R. Beeching, and H. Vanderschuren. 2011. Cassava: Constraints to production and the transfer of biotechnology to African laboratories. Plant Cell Reports. 30(5): 779-87.

Chanu, K.D., and G. Singh. 2020. Effects of 1-Naphthaleneacetic acid, a plant hormone, on invertebrates and Saccharomyces Cerevisiae. European Journal of Molecular & Clinical Medicine. 7(7): 4239-4244.

Chapman, H.D. 1965. Cation-exchange capacity. p. 891-901. In: A.G. Norman. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Demeke, Y., W. Tefera, N. Dechassa, and B. Abebie. 2014. Effects of plant growth regulators on in vitro cultured nodal explants of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) clones. African Journal of Biotechnology. 13(28): 2830-2839.

El-Sharkawy, M.A. 2006. International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, and responses to environmental stresses in the tropics. Photosynthetica. 44: 481-512.

Fan, M., Z. Liu, L. Zhou, T. Lin, Y. Liu, and L. Luo. 2011. Effects of plant growth regulators and saccharide on in vitro plant and tuberous root regeneration of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Journal of Plant Growth Regulation. 30: 11-19.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. Food Outlook-Biannual Report on Global Food Markets-November 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

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

Hossain, M., and Z. Urbi. 2016. Effect of naphthalene acetic acid on the adventitious rooting in shoot cuttings of *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Wall. ex Nees: an important therapeutical herb. International Journal of Agronomy. 2016.

Howeler, R.H. 2013. Save and Grow: Cassava, A guide to sustainable production intensification. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Jackson, M.L. 1973. Soil chemical analysis. Pentice hall of India Pvt. Ltd., New Delhi, India.

Janket, A., N. Vorasoot, B. Toomsan, W. Kaewpradit, P. Theerakulpisut, C.C. Holbrook, C.K. Kvien, S. Jogloy, and P. Banterng. 2020a. Accumulation dynamics of starch and its granule size distribution of cassava genotypes at different growing seasons. Agriculture. 10(9): 380.

Janket, A., N. Vorasoot, B. Toomsan, W. Kaewpradit, S. Jogloy, P. Theerakulpisut, C.C. Holbrook, C.K. Kvien, and P. Banterng. 2020b. Starch accumulation and granule size distribution of cassava cv. Rayong 9 grown under irrigated and rainfed conditions using different growing seasons. Agronomy. 10(3): 412.

Javier, R.R., and N.G. Mamicpic. 1978. The effect of growth regulators on root and shoot production and on yield of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz). Philippine Journal of Crop Science. 3(2): 90-102.

Kamau, J., R. Melis, M. Laing, J. Derera, P. Shanahan, and E. Ngugi. 2011. Farmers' participatory selection for early bulking cassava genotypes in semi-arid Eastern Kenya. Journal of Plant Breeding and Crop Science. 3(3): 44-52.

Khan, S., and T.B. Bi. 2012. Direct shoot regeneration system for date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Dhakki as a means of micropropagation. Pakistan Journal of Botany. 44: 1965-1971.

Latif, S., and J. Müller. 2014. Cassava - How to explore the 'all-sufficient'. Rural. 21(48): 30-31.

Lynch, J. 1995. Root architecture and plant productivity. Plant Physiology. 109(1): 7-13.

Mahakosee, S., S. Jogloy, N. Vorasoot, P. Theerakulpisut, P. Banterng, T. Kesmala, C. Holbrook, and C. Kvien. 2019. Seasonal variations in canopy size and yield of Rayong 9 cassava genotype under rainfed and irrigated conditions. Agronomy. 9: 362.

Mapayi, E.F., D.K. Ojo, O.A. Oduwaye, and J.B. Porbeni. 2013. Optimization of in-vitro propagation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) genotypes. Journal of Agricultural Science. 5(3): 261.

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

Phoncharoen, P., P. Banterng, N. Vorasoot, S. Jogloy, P. Theerakulpisut, and G. Hoogenboom. 2019b. The impact of seasonal environments in a tropical savanna climate on forking, leaf area index, and biomass of cassava genotypes. Agronomy. 9(1): 19.

Phosaengsri, W., P. Banterng, N. Vorasoot, S. Jogloy, S., and P. Theerakulpisut. 2019. Leaf performances of cassava genotypes in different seasons and its relationship with biomass. Turkish Journal of Field Crops. 24(1): 54-64.

Phuntupan, K., and P. Banterng. 2017. Physiological determinants of storage root yield in three cassava genotypes under different nitrogen supply. The Journal of Agricultural Science, Cambridge. 155(6): 978-992.

Prammanee, S., K. Kamprerasart, S. Salakan, and K. Sriroth. 2010. Growth and starch content evaluation on newly released cassava cultivars, Rayong 9, Rayong 7 and Rayong 80 at different harvest times. Agriculture and Natural Resources. 44(4): 558-563.

Rhoades, J.D., and J. van Schilfgaarde. 1976. An electrical conductivity probe for determining soil salinity. Soil Science Society of America Journal. 40(5): 647-651.

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.

Santanoo, S., K. Vongcharoen, P. Banterng, N. Vorasoot, S. Jogloy, S. Roytrakul, and P. Theerakulpisut. 2022. Physiological and proteomic responses of cassava to short-term extreme cool and hot temperature. Plants. 11(17): 2307.

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

Sharma, M.K., and K.I. Joshi. 2015. Effect of foliar spray of GA3 and NAA on growth flowering and yield of China aster (*Callistephus chinensis* Nees) cultivars. International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR). 5(4): 105-110.

Srivastava, L.M. 2002. Plant growth and development: hormones and environment. Elsevier, San Diego.

Taiz, L., and E. Zeiger. 2003. Plant physiology. 3rd Edition. Sinauer Associates, Sunderland.

Tomlin, C.D.S. 2006. The Pesticide Manual. 14th ed. British Crop Protection Council, Hampshire, UK.

Ullah, M.J., Q.A. Fattah, and F. Hossain. 2007. Response of growth, yield attributes and yield to the application of KNap and NAA in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Bangladesh Journal of Botany. 36(2): 127-132.

Vongcharoen, K., S. Santanoo, P. Banterng, S. Jogloy, N. Vorasoot, and P. Theerakulpisut. 2018. Seasonal variation in photosynthesis performance of cassava at two different growth stages under irrigated and rain-fed conditions in a tropical savanna climate. Photosynthetica. 56(4): 1398-1413.

Vongcharoen, K., S. Santanoo, P. Banterng, S. Jogloy, N. Vorasoot, and P. Theerakulpisut. 2019. Diurnal and seasonal variations in the photosynthetic performance and chlorophyll fluorescence of cassava ‘Rayong 9’under irrigated and rainfed conditions. Photosynthetica. 57(1): 268-285.

Walkley, A., and I.A. Black. 1947. Determination of organic matter in the soil by chromic acid digestion. Soil Science. 63: 251-264.

Wongnoi, S., P. Banterng, N. Vorasoot, S. Jogloy, and P. Theerakulpisut. 2020. Physiology, growth and yield of different cassava genotypes planted in upland with dry environment during high storage root accumulation stage. Agronomy. 10(4): 576.

Yan, Y.H., J.L. Li, X.Q. Zhang, W.Y. Yang, Y. Wan, Y.M. Ma, Y.Q. Zhu, Y. Peng, and L.K. Huang. 2014. Effect of naphthalene acetic acid on adventitious root development and associated physiological changes in stem cutting of *Hemarthria compressa*. PLoS One. 9(3): e90700.

Yuan, R., and D.H. Carbaugh. 2007. Effects of NAA, AVG, and 1-MCP on ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of ‘Golden Supreme’ and ‘Golden Delicious’ apples. HortScience. 42(1): 101-105.