การประเมินชีวมวลและการกักเก็บคาร์บอนของมันสำปะหลังในระดับแปลง
Assessment of Biomass and Carbon Storage of Cassava at Field Scale Level

นุชนาฏ ตันวรรณ *สายน้ำ อุดพ้วย* *ปรีชา กาเพ็ชร*[1] *วลัยพร ศะศิประภา*[2]
อานนท์ มลิพันธ์[3] *ธนพันธ์ พงษ์ไทย*[4]
Nutchanart Tanwan *Sainam Udpuay* *Preecha Kapetch*[1] *Walaiporn Sasiprapa*[2]
Anon Malipan[3] *Tanapan Pongthai*[4]

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Increasing carbon dioxide absorption in plant is the most common practiced to mitigate a global warming. The objective of this study was to investigate an effect of nutrient management on biomass and carbon storage of casava. The experiment was conducted in loamy sand soil in the field condition within the Nakhon Sawan Agricultural Research and Development Center, Nakhon Sawan Province from 2020 to 2021. The experimental design was a split plot with four replications. Main plots comprised of CMR-57-83-180, CMR-57-83-69 and Rayong 72 casava varieties. Subplots were fertilizers application levels, i.e. 16-8-8, 16-8-12 and 16-8-16 kg N-P_2O_5-K_2O/rai. The results showed that loamy sand soil as Chan tuk soil series was low to moderate soil fertility level. At 4 months after planting, the net photosynthesis rate of cassava leaves CO_2 fixation at a maximum time of 9:00 a.m. - 12:00 a.m., and the net CO_2 assimilation rate had a high maximum efficiency, average 23.076 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Among the three varieties, an average carbon storage in one crop yield of Rayong 72 cassava variety was able to store the most carbon, average 1,514 kg C/rai, followed by CMR 57-83-69 and CMR 57-83-180 which were about 1,441 and 1,380 kg C/rai. According to the rates of fertilizer application, it can be concluded that cassava cultivation on loamy sand soil at Nakhon Sawan provided maximum carbon storage when planting CMR 57-83-180 variety and applying fertilizer at the rate of 16-8-12 kg. N-P_2O_5-K_2O/rai. Therefore, the right nutrient management and a selection of proper varieties are a key management practice for improving a biomass and carbon storage of casava.

Keywords : Carbon storage, Casava, Nutrient management, Loamy sand

---

[1]ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่
[1]Chiang Mai field crops research center
[2]ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
[2]Information technology center
[3]ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก
[3]Phitsanulok seed research and development center
[4]ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชสุราษฎร์ธานี
[4]Suratthani seed research and development center

บทคัดย่อ

การเพิ่มศักยภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการกักเก็บคาร์บอนในพืช เป็นแนวทางปฏิบัติอย่างหนึ่งที่ช่วยบรรเทาภาวะโลกร้อน จึงได้ทำการศึกษาถึงผลการจัดการธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมต่อมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของมันสำปะหลัง ในพื้นที่ดินทรายร่วน ดำเนินการที่แปลงทดลอง ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ระหว่างปี พ.ศ. 2563-2564 วางแผนการทดลองแบบ Split plot มี 4 ซ้ำ ปัจจัยหลักประกอบด้วย 1) สายพันธุ์ CMR-57-83-180 2) สายพันธุ์ CMR-57-83-69 และ 3) พันธุ์ระยอง 72 และปัจจัยรอง คือ อัตราปุ๋ย ได้แก่ 16-8-8 16-8-12 และ 16-8-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ผลการทดลองพบว่า ดินทรายร่วน ชุดดินจันทึกมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ-ปานกลาง ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบมันสำปะหลังตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุด ช่วงเวลา 09.00-12.00 น. ประสิทธิภาพสูงสุด เฉลี่ย 23.076 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} เมื่อมีการปลูกมันสำปะหลัง 1 ฤดูปลูก มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 สามารถกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด เฉลี่ย 1,514 กิโลกรัม C/ไร่ รองลงเป็นกว่าสายพันธุ์ CMR 57-83-69 และ CMR 57-83-180 เฉลี่ย 1,441 และ 1,380 กิโลกรัม C/ไร่ ตามลำดับ จากการใส่ปุ๋ยอัตราต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่า การปลูกมันสำปะหลังในดินทรายร่วน จังหวัดนครสวรรค์ ให้การกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด เมื่อปลูกมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-180 และใส่ปุ๋ย อัตรา 16-8-12 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยและเลือกใช้พันธุ์ที่เหมาะสม จึงเป็นแนวทางปฏิบัติที่สำคัญในการเพิ่มชีวมวลและศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของมันสำปะหลัง

คำหลัก : การกักเก็บคาร์บอน มันสำปะหลัง การจัดการธาตุอาหาร ดินทรายร่วน

คำนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่มีความสำคัญมากของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูก 9.4 ล้านไร่ ให้ผลผลิต 30 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 3.2 ตันต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) ภายใต้สภาวะโลกร้อนที่เข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพิ่มขึ้นต่อเนื่องทุกปี มันสำปะหลังเป็นพืชที่เด่นในเรื่องการเจริญเติบโตของต้นและการสร้างรากสะสมอาหารที่เร็ว (พรชัย และสุนทรี, 2563) ทำให้พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังน่าจะมีศักยภาพเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนโดยการสะสมในมวลชีวภาพ จึงทำการประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนและสะสมชีวมวลในมันสำปะหลัง บทบาทของปุ๋ย และพันธุ์ที่ช่วยส่งเสริมการกักเก็บ CO_2

มันสำปะหลังพืชที่มีการสะสมแป้ง ต้องการธาตุอาหารโพแทสเซียมในปริมาณสูง (Kasele *et al.,* 1983) โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรทจากส่วนใบและต้นไปยังราก และช่วยเพิ่มปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลัง ชาญ และโชติ (2537) รายว่า มันสำปะหลังเมื่อขาดธาตุโพแทสเซียมจะทำให้ผลผลิตหัวสดลดลง สุกัญญา และคณะ (2563) ได้ทดลองปลูกมันสำปะหลังโดยไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า ส่งผลให้น้ำหนักแห้งหัวมันสำปะหลังลดลง 33.35 % และต้นมันสำปะหลังมีการดูดดึงโพแทสเซียม แคลเซียม และกำมะถันลดลง สอดคล้องกับ Blin (1905) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยโพแทชไม่ได้ทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่ยังทำให้ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นด้วย การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมและไนโตรเจนในอัตราส่วนที่เหมาะสมช่วยลดการสร้างสารประกอบไซยาไนส์ในหัวมันสำปะหลัง รวมทั้งทำให้อายุใบมันสำปะหลังสั้นลง ส่งผลต่อกระบวนการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลัง (Howeler, 2014) ทั้งนี้มันสำปะหลัง เช่น พันธุ์ระยอง 9 ระยอง 11 และสายพันธุ์ CMR 46-47-137 มีการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมรวมทุกส่วนสูงกว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ดังนั้นการใช้ปุ๋ยเคมีจึงมีความสำคัญในการเพิ่มผลผลิตหัวสดและผลผลิตแป้ง เมื่อปลูกมันสำปะหลัง 1 ไร่ (ผลผลิต เฉลี่ย 6 ตัน/ไร่) มีการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมติดไปกับผลผลิตเท่ากับ 4.47, 5.56 และ 17.07 กิโลกรัม N-P-K ต่อไร่ เทียบเท่ากับปุ๋ยเคมี 4.47-12.73-20.48 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ (วัลลีย์ และคณะ, 2560) ปริมาณชีวมวลส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทช การใส่ปุ๋ยโพแทชที่ 1.25 เท่าของอัตราแนะนำ (20 กิโลกรัม K_2O/ไร่) ส่งผลให้ได้ชีวมวลส่วนเหนือดินสูงสุด (1.66 ตัน/ไร่) (Johnston and Milford, 2012) การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการสะสมมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ที่มี

การจัดการปุ๋ยแตกต่างกันในสภาพแปลงทดลองมันสำปะหลัง เพื่อให้มีการเลือกพันธุ์และวิธีการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม สามารถช่วยเพิ่มชีวมวลและการกักเก็บปริมาณคาร์บอนในพืชได้ สำหรับรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และอาจเป็นประโยชน์ต่อศักยภาพการผลิตคาร์บอนเครดิตของประเทศไทยในอนาคต

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

ท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง ได้แก่ สายพันธุ์ CMR 57-83-180 CMR 57-83-69 และพันธุ์ระยอง 72 ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ยูเรีย (46-0-0) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินและพืช วัสดุวิทยาศาสตร์และสารเคมีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ดินและพืช

วิธีการ

ดำเนินการทดลองในแปลงทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครสวรรค์ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน ชุดดินจันทึก (sandy, siliceous, isohyperthemic, typic *Ustipsamments*) ความสูงจากระดับน้ำทะเล 97 เมตร วางแผนการทดลองแบบ Split plot จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย ปัจจัยหลัก (Main-plot) คือ พันธุ์มันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ได้แก่ 1) สายพันธุ์ CMR 57-83-180 2) สายพันธุ์ CMR 57-83-69 และ 3) พันธุ์ระยอง 72 ปัจจัยรอง (Sub-plot) คือ อัตราปุ๋ย มี 3 ระดับ ได้แก่ 1) ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 16-8-8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ 2) ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 16-8-12 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ และ 3) ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 16-8-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ขนาดของแปลงย่อย 9.1 x 6.4 เมตร เว้นระยะระหว่างแปลงย่อย 2 เมตร ปลูกหลุมละ 1 ต้น ระยะปลูก 1.3 x 0.8 เมตร เมื่อวันที่ 8 มิถุนายน 2563 ใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่กำหนด เมื่อดินมีความชื้นเหมาะสม วันที่ 21 สิงหาคม 2563 ทำการเก็บเกี่ยววันที่ 25 มิถุนายน 2564 ขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยว 25 ตารางเมตรต่อแปลงย่อย

การบันทึกข้อมูล

1. ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด
2. ข้อมูลสมบัติดินในพื้นที่ทำการศึกษา
3. ข้อมูลมวลชีวภาพของน้ำหนักแห้งส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง ได้แก่ ใบ ก้านใบ ลำต้น เหง้า และหัว
4. ประเมินการกักเก็บคาร์บอน จากการวิเคราะห์อินทรียคาร์บอนในพืช โดยวิธี Walkley and Black (Nelson and Sommers, 1982) การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ โดยมีสมการ ดังนี้

$$\text{การกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอน/ไร่)} = \frac{\text{มวลชีวภาพ (ตัน/ไร่)} \times \text{ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (\%)}}{100}$$

4. ประเมินการการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีสมการ ดังนี้

$$\text{การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์} = \frac{\text{การกักเก็บคาร์บอน} \times 44}{12}$$

5. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม IRRISTAT วิเคราะห์ข้อมูล เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลต่าง ๆ ในแต่ละพันธุ์และการจัดการปุ๋ย โดยวิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยใช้ Duncan's New Multiple Range Test

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2562 - สิ้นสุด กันยายน 2564

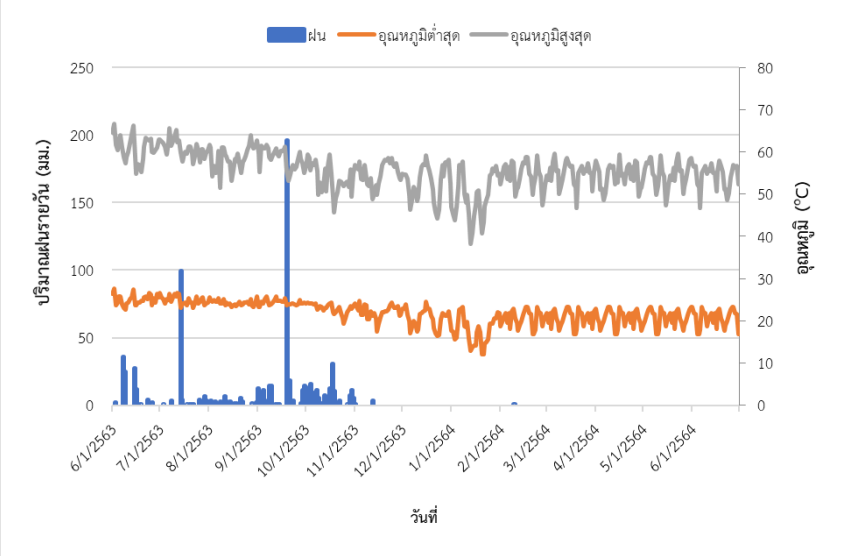
สถานที่ทำการทดลอง

- ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์
- กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สภาพภูมิอากาศฤดูปลูกมันสำปะหลัง

ช่วงปลูกที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง ต้องพิจารณาทั้งปริมาณน้ำฝน และลักษณะของดิน ดังนั้นควรอยู่ในช่วงมีนาคมถึงพฤษภาคม แต่ในปี 2563 ฝนมาช้ากว่าที่กำหนด จึงได้ปลูกมันสำปะหลัง เมื่อวันที่ 8 มิถุนายน 2563 จากข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่วัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยาตากฟ้า อ.ตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ พบว่า ตลอดฤดูปลูกปี 2563-2564 การปลูกมันสำปะหลังภายใต้สภาวะอาศัยน้ำฝน ได้รับน้ำไม่เพียงพอ มีปริมาณน้ำฝนรวม 738 มิลลิเมตร ซึ่งต่ำกว่าปริมาณความต้องการน้ำของมันสำปะหลัง รวม 796 มิลลิเมตร ตลอดอายุฤดูปลูก (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563) ประกอบกับดินเป็นดินทรายจัด เมื่อฝนตกน้ำจะไหลผ่านดินได้อย่างรวดเร็ว มีการระบายน้ำดีเกินไป ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และดูดซับธาตุอาหารต่ำ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 33.64 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 21.90 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิต่ำสุด และสูงสุด แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ ระหว่างเดือนมิถุนายน 2563 – มิถุนายน 2564

2. ผลวิเคราะห์สมบัติดินในพื้นที่ทำการศึกษา

วิเคราะห์สมบัติดินแบบสุ่มรวม (composited sample) ที่ระดับความลึก 0-20 และ 20-50 เซนติเมตร พบว่ามีความหนาแน่นรวม อยู่ในช่วง 1.55-1.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) เป็นกรดรุนแรงมาก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน เช่น ฟอสฟอรัสถูกตรึง ทำให้พืชดูดไปใช้ไม่ได้ และมีธาตุเสริม เช่นเหล็กและแมงกานีสละลายออกมามากจนเป็นพิษต่อพืชได้ ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง ควรมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในช่วง 5.0-6.5 (กรมวิชาการเกษตร, 2564) สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ไม่เพียงพอต่อความต้องการมันสำปะหลัง ซึ่งต้องการดินที่มีอินทรียวัตถุ 0.65-2.0 % และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลาง ดังนั้นเมื่อประเมินการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับมันสำปะหลัง อัตราที่แนะนำ คือ 16-8-8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์สมบัติดินแปลงทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครสวรรค์ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์

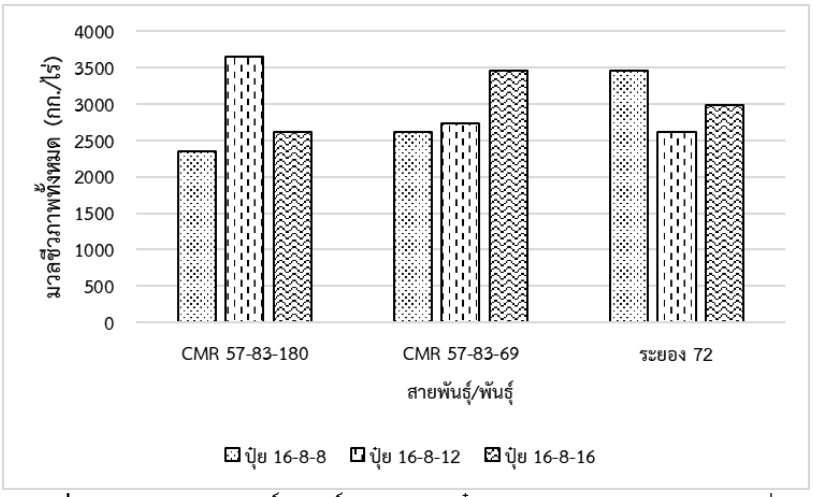
Soil properties	Top soil (0-20 cm)	Subsoil (20-50 cm)	Optimal value of cassava
pH (1:1)	4.4	4.5	5.0 – 6.5
EC (1:5) (dS/m)	0.01	0.01	-
OM (%)	0.6	0.3	0.65 – 2.0
OC (%)	0.3	0.2	-
Available P (Bray-II) (mg/kg)	4	2	> 7
Exchangeable K (mg/kg)	65	43	> 30
Exchangeable Ca (mg/kg)	182	117	> 50
Exchangeable Mg (mg/kg)	16	17	> 24
% Sand	79.3	77.6	-
% Silt	12.1	7.8	-
% Clay	8.6	14.6	-
Texture	Loamy sand	Sandy loam	Sand, loam or sandy loam
Bulk Density (g/cm^3)	1.6	1.55	-

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2564)

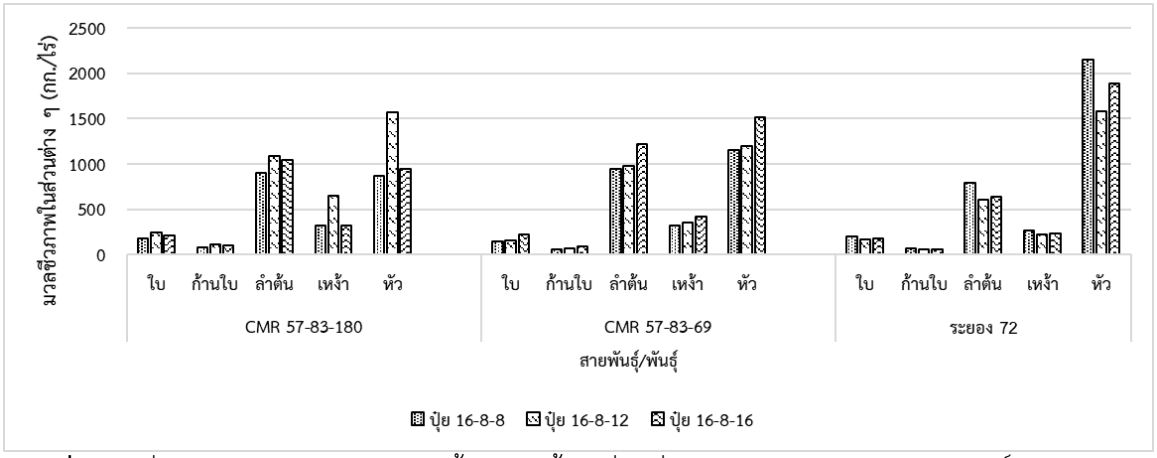
3. ปริมาณมวลชีวภาพของมันสำปะหลัง

เมื่อเก็บเกี่ยว ปริมาณมวลชีวภาพรวมสูงสุด เฉลี่ย 2,946 กิโลกรัม/ไร่ มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 มีปริมาณมวลชีวภาพสูงสุด เมื่อใส่ปุ๋ยอัตรา 16-8-8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ เฉลี่ย 3,467 กิโลกรัม/ไร่ ในขณะที่สายพันธุ์ CMR57-83-180 มีปริมาณมวลชีวภาพสูงสุด ที่อัตราปุ๋ย 16-8-12 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ เฉลี่ย 3,656 กิโลกรัม/ไร่ และให้ปริมาณมวลชีวภาพต่ำสุดที่อัตรา 16-8-8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ (2,345 กิโลกรัม/ไร่) สำหรับสายพันธุ์ CMR57-83-69 ให้ปริมาณมวลชีวภาพสูงสุดเมื่อมีการใช้ปุ๋ย 16-8-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ (ภาพที่ 2)

เมื่อพิจารณาถึงอัตราปุ๋ยระดับต่าง ๆ พบว่า การให้ปุ๋ยอัตรา 16-8-8 และ 16-8-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ส่งผลให้มวลชีวภาพส่วนหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-180 ต่ำสุด เฉลี่ย 868 และ 941 กิโลกรัม/ไร่ (ภาพที่ 3) นอกจากนี้การให้ปุ๋ยในอัตราต่าง ๆ และการเลือกใช้มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-69 และพันธุ์ระยอง 72 ไม่ส่งผลให้ปริมาณมวลชีวภาพในส่วนของหัวแตกต่างกัน โดยการใส่ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสม ส่งผลให้ผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้น (Chua *et al.,* 2020) ทั้งนี้ความแตกต่างของผลผลิตยังขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่ปลูกด้วย (Sriroth *et al.,* 2001)



ภาพที่ 2 ผลของสายพันธุ์/พันธุ์และอัตราปุ๋ย (กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่) ในดินทรายปนร่วนต่อปริมาณมวลชีวภาพของน้ำหนักแห้งมันสำปะหลัง



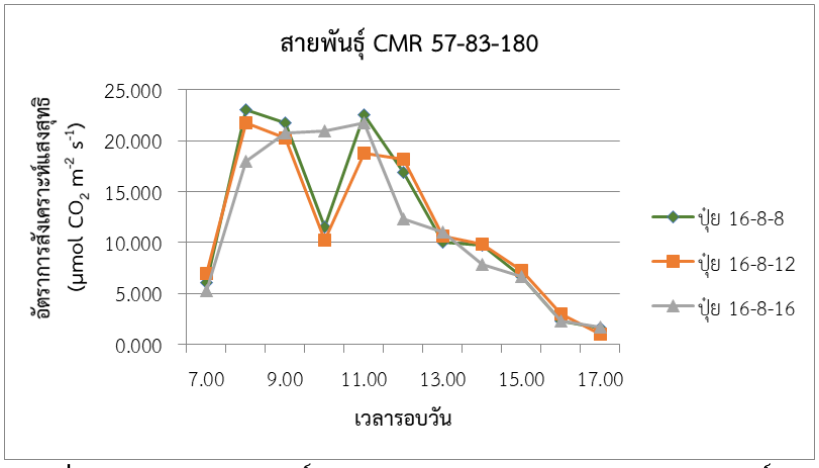
ภาพที่ 3 สัดส่วนปริมาณมวลชีวภาพของน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-180 CMR 57-83-69 และพันธุ์ระยอง 72 ในดินทรายปนร่วน ที่อายุเก็บเกี่ยว

4. อัตราการสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลัง

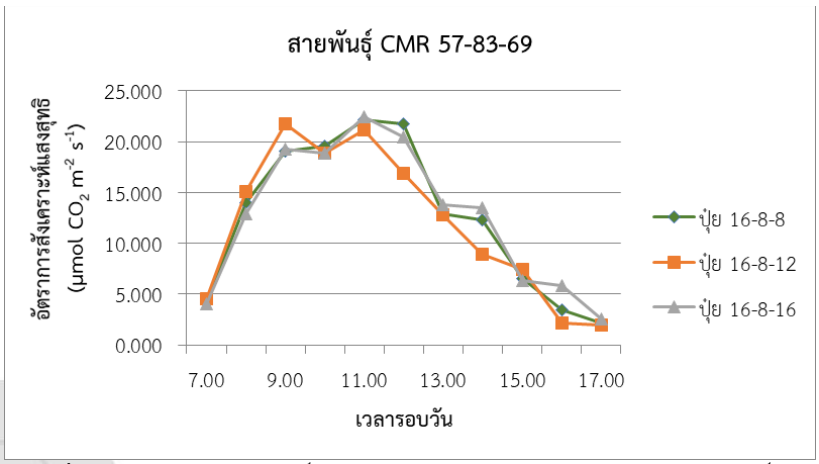
การตอบสนองต่อแสงของมันสำปะหลังทั้ง 3 สายพันธุ์/พันธุ์ และปุ๋ยอัตราต่าง ๆ จากการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวัน ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก พบว่า สายพันธุ์ CMR 57-83-180 อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นจาก 7.00 น. จนถึง 9.00 น. เฉลี่ย 20.943 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 10.00 น. ที่อัตราปุ๋ย 16-8-8 และ 16-8-12 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ แต่อัตราปุ๋ย 16-8-16 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ อัตราการสังเคราะห์แสงที่เวลา 10.00 น. ยังคงที่ ไม่ได้ลดลง เฉลี่ย 20.973 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} แสดงว่า การให้ปุ๋ยอัตราดังกล่าว (16-8-16 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่) ช่วยรักษาอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงนี้ได้ดี จากนั้นมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-180 อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มอีกขึ้นสูงสุด เฉลี่ย 21.032 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} ที่เวลา 11.00 น. และจะค่อย ๆ ลดอัตราการแลกเปลี่ยน CO_2 ลง ตั้งแต่ 12.00 จนถึง 17.00 น. เฉลี่ย 15.797 เป็น 1.403 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} แสดงดังภาพที่ 4 เมื่อพิจารณาปุ๋ย อัตรา 16-8-8 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-180 เป็นพันธุ์ที่มีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในช่วงเวลา 8.00 น. เฉลี่ย 23.076 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} สำหรับอัตราการสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-69 พบว่า การให้ปุ๋ยทั้ง 3 อัตรา มีรูปแบบอัตราการสังเคราะห์แสงใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 5) โดยอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 เพิ่มขึ้นจากเวลา 7.00 น. จนถึงจุดสูงสุดที่เวลา 11.00 น. เฉลี่ย 21.905 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง และการให้ปุ๋ย อัตรา 16-8-16 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ ให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ

สูงสุด เฉลี่ย 22.431 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} เนื่องจากปุ๋ยอัตราดังกล่าวได้รับธาตุโพแทสเซียมสูงนั้น ย่อมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมทาบอลิซึมและการเปิดปากใบ โดยช่วยกระตุ้นกิจกรรมการสังเคราะห์แสง (Cardoso *et al.*, 2005; Anschütz *et al.*, 2014)

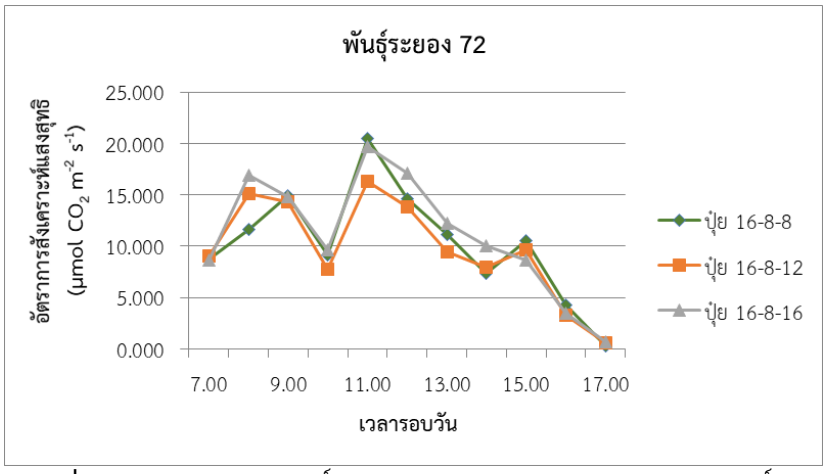
อัตราการสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 พบว่า อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 เพิ่มขึ้น ตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึง 9.00 น. ให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ เฉลี่ย 8.36 ถึง 13.26 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 10.00 น. เฉลี่ย 9.13 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} จากนั้นเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่เวลา 11.00 น. เฉลี่ย 16.85 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} และค่อย ๆ ลดลงจนถึงเวลา 17.00 น. โดยจะเห็นว่า การให้ปุ๋ย 16-8-8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ มีอัตราการแลกเปลี่ยน CO_2 สูงสุด เมื่อเทียบกับอัตราการให้ปุ๋ยระดับอื่น ๆ อัตราการสังเคราะห์แสงของใบมันสำปะหลังจะเริ่มตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เวลา 7.00 น. โดยสัมพันธ์กับความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 09.00-12.00 น. หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง ดังนั้นพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในกลุ่มนี้ คือ สายพันธุ์ CMR 57-83-180 โดยมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบสูงสุดเฉลี่ย 23.076 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} รองลงมาเป็น CMR 57-83-69 และระยอง 72 เฉลี่ย 22.431 และ 20.441 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} ตามลำดับ ช่วงเวลาที่ต้นมันสำปะหลังตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุด คือ เวลา 09.00-12.00 น. ในสายพันธุ์ CMR 54-83-69 ส่วนสายพันธุ์ CMR 57-83-180 คือ เวลา 08.00 – 09.00 น. และ 11.00-12.00 น. ในขณะที่พันธุ์ระยอง 72 ช่วงเวลา 11.00 น. แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 4 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในรอบวันของมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-180 และอัตราปุ๋ย (กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่) ในดินทรายปนร่วน ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก



ภาพที่ 5 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในรอบวันของมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-69 และอัตราปุ๋ย (กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่) ในดินทรายปนร่วน ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก



ภาพที่ 6 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในรอบวันของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 และอัตราปุ๋ย (กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่) ในดินทรายปนร่วน ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก

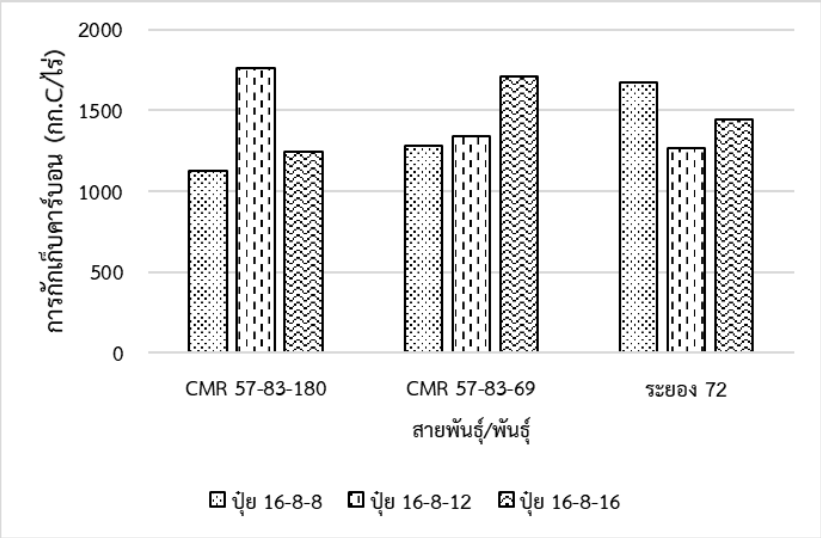
5. การกักเก็บคาร์บอนของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังทั้ง 3 สายพันธุ์/พันธุ์ สามารถกักเก็บคาร์บอนทั้งหมด เฉลี่ย 1,427 กิโลกรัม C/ไร่ แสดงดังตารางที่ 3 พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์/พันธุ์และการใช้ปุ๋ยต่อการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่มีการใช้สายพันธุ์ CMR57-83-180 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยอัตรา 16-8-12 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดสูงสุดเฉลี่ย 1,764 กิโลกรัม C/ไร่ แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีการใช้สายพันธุ์ CMR57-83-69 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยอัตรา 16-8-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ เฉลี่ย 1,707 กิโลกรัม C/ไร่ และกรรมวิธีการใช้พันธุ์ระยอง 72 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยอัตรา 16-8-8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ เฉลี่ย 1,671 กิโลกรัม C/ไร่ สำหรับกรรมวิธีที่มีการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดต่ำที่สุด คือ การใช้สายพันธุ์ CMR57-83-180 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยอัตรา 16-8-8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ให้ปริมาณกักเก็บคาร์บอนเพียง 1,127 กิโลกรัม C/ไร่ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยลักษณะเฉพาะของพันธุ์มันสำปะหลังต่อการกักเก็บคาร์บอน พบว่า พันธุ์ระยอง 72 มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดสูงสุดเฉลี่ย 1,460 กิโลกรัม C/ไร่ รองลงมาคือ สายพันธุ์ CMR57-83-69 เฉลี่ย 1,441 กิโลกรัม C/ไร่ และสายพันธุ์ CMR57-83-180 มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนต่ำสุดเฉลี่ย 1,380 กิโลกรัม C/ไร่ (ภาพที่ 7)

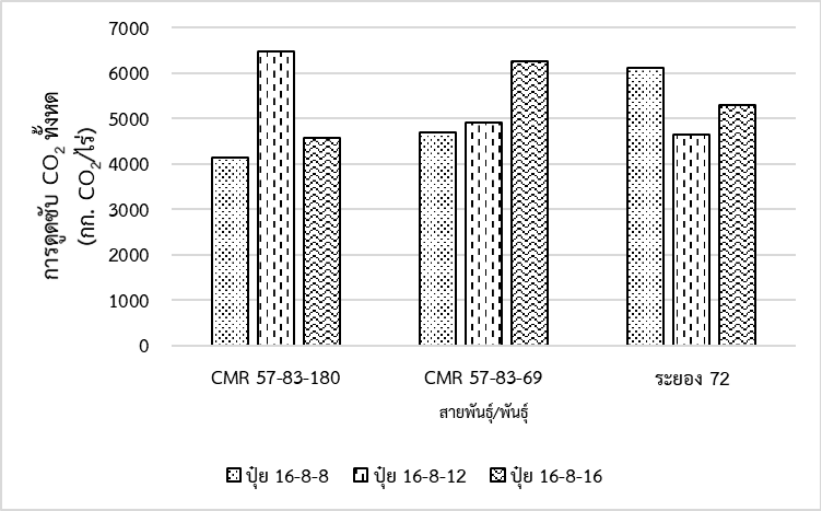
สำหรับการดูดซับ CO_2 ของมันสำปะหลังทั้ง 3 สายพันธุ์/พันธุ์ ซึ่งให้ค่าการดูดซับ CO_2 ในทำนองเดียวกันกับการกักเก็บคาร์บอน พบว่า มันสำปะหลังจะค่อย ๆ เพิ่มการดูดซับ CO_2 ตามการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้มันสำปะหลัง 1 ฤดูปลูกมีศักยภาพในการดูดซับ CO_2 เฉลี่ย 5,232 กิโลกรัม CO_2/ไร่ ซึ่งกรรมวิธีการใช้สายพันธุ์ CMR57-83-180 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยอัตรา 16-8-12 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ สามารถดูดซับ CO_2 ได้สูงสุดเฉลี่ย 6,468 กิโลกรัม CO_2/ไร่ สอดคล้องกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนต้นมันสำปะหลัง (ภาพที่ 8)

มันสำปะหลัง 1 ฤดูปลูกมีศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 5,232 กิโลกรัม CO_2/ไร่ ซึ่งกรรมวิธีการใช้สายพันธุ์ CMR 57-83-180 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยอัตรา 16-8-12 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากที่สุด เฉลี่ย 6,468 กิโลกรัม CO_2/ไร่ สอดคล้องกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมันสำปะหลังแสดงดังภาพที่ 8 ทั้งนี้ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของต้นมันสำปะหลังในพื้นที่ 1 ไร่ ในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ แสดงดังตารางที่ 2 สายพันธุ์ CMR 57-83-180 สามารถกักเก็บคาร์บอนในส่วนของหัว ลำต้น เหง้า ใบ และก้านใบ เฉลี่ย 557 479 207 95 และ 42 กิโลกรัม C/ไร่ และปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด 5,060 กิโลกรัม CO_2/ไร่ คิดเป็นส่วนของหัว ลำต้น เหง้า ใบ และก้านใบ เป็น 2,042 1,756 759 348 และ 154 กิโลกรัม CO_2/ไร่ สายพันธุ์ CMR 57-83-69 สามารถกักเก็บคาร์บอนในส่วนของหัว ลำต้น เหง้า ใบ และก้านใบ เฉลี่ย 644 514 175 80 และ 31 กิโลกรัม C/ไร่ และปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด 5,284 กิโลกรัม CO_2/ไร่ คิดเป็นส่วนของหัว ลำต้น เหง้า ใบ และก้านใบ เป็น 2,361 1,885 631 293 และ 114 กิโลกรัม CO_2/ไร่ ส่วนพันธุ์ระยอง 72 สามารถกักเก็บ

คาร์บอนในส่วนของหัว ลำต้น เหง้า ใบ และก้านใบ เฉลี่ย 928 315 163 83 และ 25 กิโลกรัม C/ไร่ และปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด 5,551 กิโลกรัม CO_2/ไร่ คิดเป็นส่วนของหัว ลำต้น เหง้า ใบ และก้านใบ เป็น 3,403 1,155 598 304 และ 92 กิโลกรัม CO_2/ไร่



ภาพที่ 7 ผลของสายพันธุ์/พันธุ์และอัตราปุ๋ย (กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่) ในดินทรายปนร่วนต่อการกักเก็บคาร์บอนของมันสำปะหลัง ที่อายุเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 8 ผลของสายพันธุ์/พันธุ์และอัตราปุ๋ย (กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่) ในดินทรายปนร่วนต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของมันสำปะหลัง ที่อายุเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 2 ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง ในพื้นที่ 1 ไร่

Part of cassava CMR 57-83-180	Biomass (kg/rai)	Organic carbon content (%)	Carbon Storage (kg C/rai)	CO_2 absorption (kg CO_2/rai)
Leaf	212	44.66	95	348
Petiole	97	42.97	42	154
Stem	1,008	47.39	479	1,756
Rhizome	432	47.51	207	759
Tuber	1,126	49.29	557	2,042
Total	2,875	48.00	1,380	5,060
Part of cassava CMR 57-83-69	**Biomass (kg/rai)**	**Organic carbon content (%)**	**Carbon Storage (kg C/rai)**	**CO_2 absorption (kg CO_2/rai)**
Leaf	173	46.00	80	293
Petiole	70	44.72	31	114
Stem	1,045	49.20	514	1,885
Rhizome	362	47.60	172	631
Tuber	1,287	49.91	644	2361
Total	2,938	49.05	1,441	5,284
Part of cassava Rayong 72	**Biomass (kg/rai)**	**Organic carbon content (%)**	**Carbon Storage (kg C/rai)**	**CO_2 absorption (kg CO_2/rai)**
Leaf	183	45.25	83	304
Petiole	59	42.22	25	92
Stem	677	46.43	315	1,155
Rhizome	239	46.28	163	598
Tuber	1,869	49.73	928	3,403
Total	3,026	50.03	1,514	5,551

Note: 1/ การกักเก็บคาร์บอน = น้ำหนักแห้ง x ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน/100

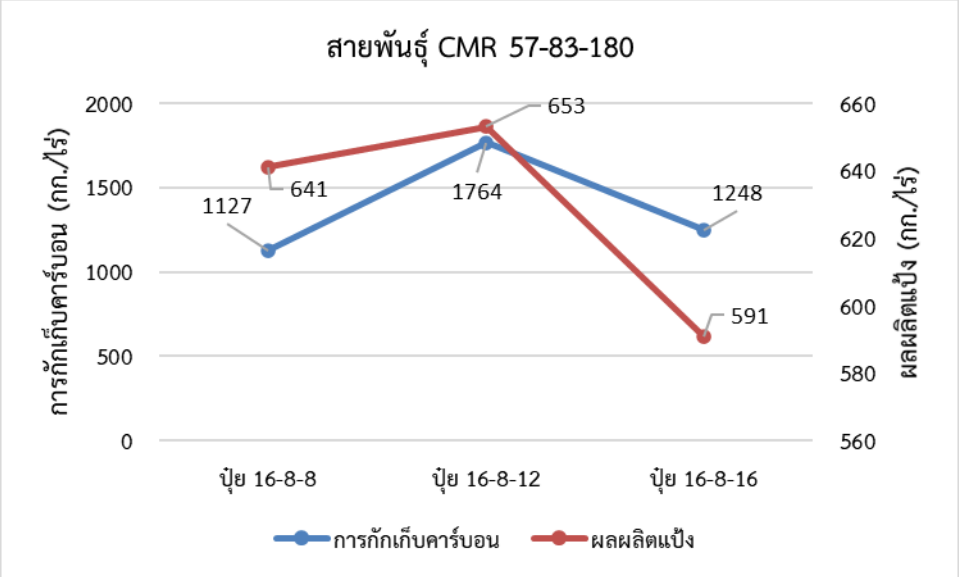
2/ การกักเก็บ CO_2 = การกักเก็บคาร์บอน x 44/12 (1 ตันของคาร์บอน = 44/12 หรือ 3.67 ตันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์)

6. ความสัมพันธ์การจัดการปุ๋ย ผลผลิตแป้ง และการกักเก็บคาร์บอนของมันสำปะหลัง

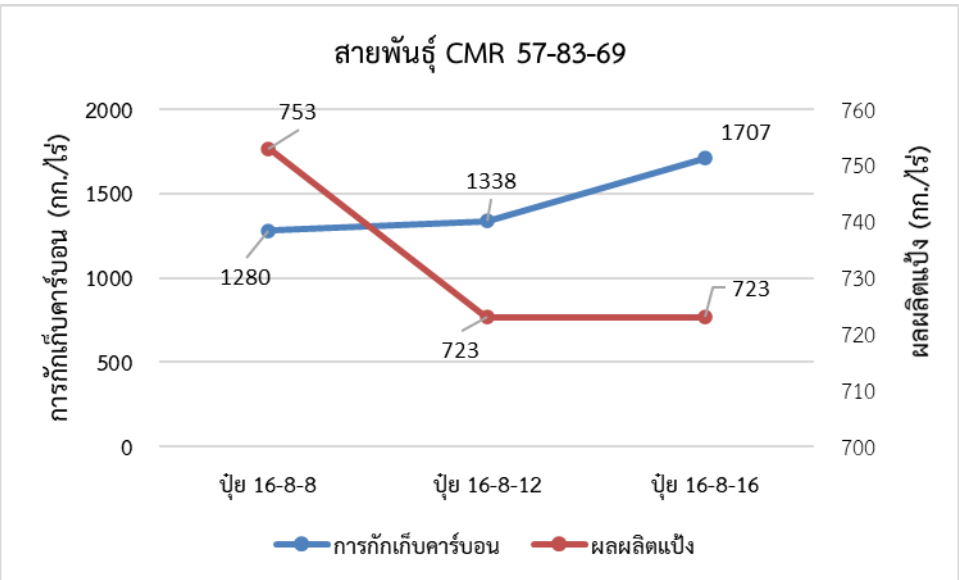
เมื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบอิทธิพลของการจัดการปุ๋ยอัตราต่าง ๆ ต่อการกักเก็บคาร์บอนและผลผลิตในมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-180 พบว่า ลักษณะของกราฟทั้งสองใกล้เคียงกัน โดยการจัดการปุ๋ยอัตรา 16-8-12 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ให้ผลผลิต และการกักเก็บคาร์บอนสูงสุดที่ เฉลี่ย 1,764 กิโลกรัม C/ไร่ และผลผลิตแป้ง เฉลี่ย 653 กิโลกรัม/ไร่ (ภาพที่ 9) จะเห็นว่าการให้ปุ๋ยอัตราต่าง ๆ ต่อการกักเก็บคาร์บอนและผลผลิตแป้ง ในสายพันธุ์ CMR 57-83-180 ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อเปรียบทุกกรรมวิธีการใส่ปุ๋ย ในกรณีความสัมพันธ์ในสายพันธุ์มันสำปะหัง CMR 57-83-69 พบว่าการกักเก็บคาร์บอนเพิ่มขึ้นตามระดับการให้ปุ๋ย จากอัตราปุ๋ย 16-8-8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ เฉลี่ย 1,280 กิโลกรัม C/ไร่ สูงถึง เฉลี่ย 1,707 กิโลกรัม C/ไร่ ที่อัตราปุ๋ย 16-8-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ แสดงว่า การให้ปุ๋ยโพแทชในอัตราที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนในมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-69 แสดงดังภาพที่ 10 แต่เมื่อพิจารณาด้านผลผลิตแป้งกลับให้ผลในทางตรงกันข้ามกับการกักเก็บคาร์บอน คือ เมื่อมีการให้ปุ๋ยในอัตราต่ำ พบว่า มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-69 ให้ผลผลิตแป้งสูงสุด เฉลี่ย 753 กิโลกรัม/ไร่

จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนและผลผลิตแป้งในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 พบว่า ลักษณะความสัมพันธ์มีทิศทางตรงกันข้าม โดยการให้ปุ๋ยอัตรา 16-8-12 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ให้ผลผลิตแป้งสูงสุด เฉลี่ย 535 กิโลกรัม/ไร่ สอดคล้องกับสายพันธุ์ CMR 57-83-180 ที่ให้ผลผลิตแป้งสูง เมื่อให้ปุ๋ยอัตรานี้เช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงการกักเก็บคาร์บอน พบว่า มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนต่ำสุด เฉลี่ย 1,266 กิโลกรัม C/ไร่ (ภาพที่ 11) เมื่อพิจารณาภาพความสัมพันธ์ของมันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ จะเห็นว่าปริมาณผลผลิตแป้งและการกักเก็บคาร์บอนของมัน

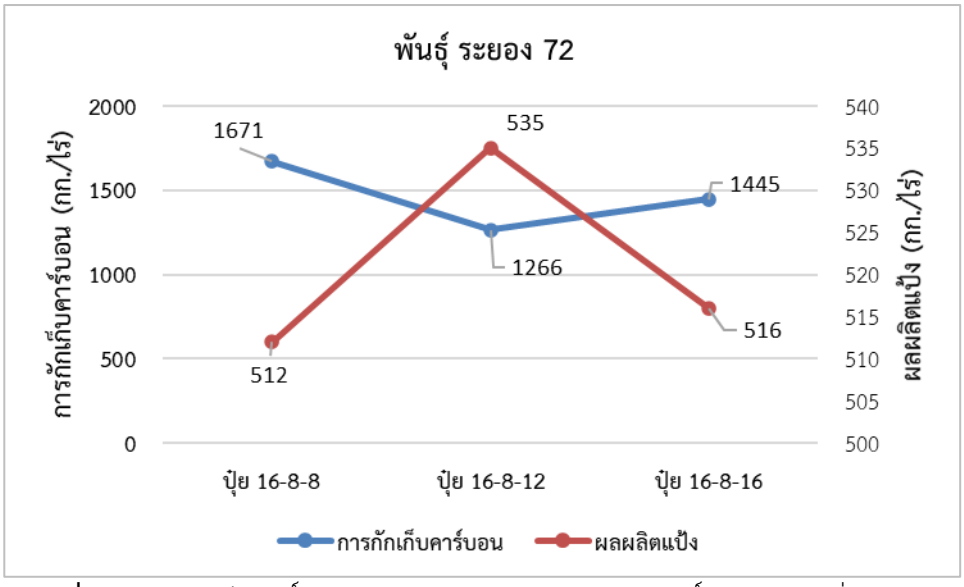
สำปะหลังมีแนวโน้มให้ทิศทางตรงข้ามกัน คือ เมื่อมีการกักเก็บคาร์บอนที่สูงขึ้น ปริมาณผลผลิตแป้งจะลดลง แต่หากมีการกักเก็บคาร์บอนที่ลดลง กลับมีปริมาณผลผลิตแป้งที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยโพแทชมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและการสะสมแป้งในมันสำปะหลัง (Howeler, 2014) ส่งผลให้เกิดกระบวนการหายใจ ทำให้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนลดลง



ภาพที่ 9 การกักเก็บคาร์บอนในชีวมวลของมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-180 ที่ปลูกในดินทรายปนร่วน ภายใต้การจัดการปุ๋ยโพแทชที่แตกต่างกัน 3 ระดับ



ภาพที่ 10 การกักเก็บคาร์บอนในชีวมวลของมันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-69 ที่ปลูกในดินทรายปนร่วน ภายใต้การจัดการปุ๋ยโพแทชที่แตกต่างกัน 3 ระดับ



ภาพที่ 11 การกักเก็บคาร์บอนในชีวมวลของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 ที่ปลูกในดินทรายปนร่วนภายใต้การจัดการปุ๋ยโพแทชที่แตกต่างกัน 3 ระดับ

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ/คำแนะนำ

การศึกษามวลชีวภาพและกักเก็บคาร์บอนของมันสำปะหลังในพื้นที่ดินทรายปนร่วน สามารถสรุปได้ว่า ลักษณะของสายพันธุ์/พันธุ์มันสำปะหลัง ที่อายุ 4 เดือน ใบมันสำปะหลังมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ เริ่มตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดในช่วงเวลา 09.00-12.00 น. มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของใบสูงสุด เฉลี่ย 23.076 $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ สัดส่วนน้ำหนักแห้งที่อายุเก็บเกี่ยวในแต่ละส่วนของต้นมันสำปะหลังทั้ง 3 สายพันธ์/พันธุ์ มวลชีวภาพส่วนของต้นมีปริมาณมากที่สุด เฉลี่ย 67 % เมื่อพิจารณาศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของมันสำปะหลังตลอดฤดูปลูก การใช้มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 57-83-180 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยอัตรา 16-8-12 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ สามารถในการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดสูงที่สุด เฉลี่ย 1,764 กิโลกรัม C/ไร่ คิดเป็นการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เฉลี่ย 6,468 กิโลกรัม CO_2/ไร่ ทั้งนี้ปริมาณกักเก็บคาร์บอนสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลชีวภาพ ดังนั้นการปลูกมันสำปะหลัง 1 ฤดูปลูก มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 สามารถกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด เฉลี่ย 1,514 กิโลกรัม C/ไร่ หรือ 5,551 กิโลกรัม CO_2/ไร่ ของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รองลงมาเป็นสายพันธุ์ CMR 57-83-69 และ CMR 57-83-180 กักเก็บคาร์บอน เฉลี่ย 1,441 และ 1,380 กิโลกรัม C/ไร่ ตามลำดับ คิดเป็นการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เฉลี่ย 5,284 และ 5,060 กิโลกรัม CO_2/ไร่ จะเห็นว่า การจัดการปุ๋ยและการเลือกสายพันธุ์/พันธุ์ที่เหมาะสมจะช่วยยกระดับผลผลิตมันสำปะหลังและการกักเก็บคาร์บอนให้สูงขึ้นได้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่างพื้นที่ เพื่อศึกษาพันธุ์และการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม สำหรับเพิ่มศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่อื่น ๆ ในการเลือกพันธุ์พืชและการจัดการที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. การจัดการปุ๋ยและการเลือกพันธุ์มันสำปะหลังที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
2. การวางแผนจัดการระบบการผลิตพืชที่สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2553. ***คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ***. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร. 2564. ***คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ***. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2563. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.awsobservation.tmd.go.th/web/main/index.asp (6 เมษายน 2564)

ชาญ ถิรพร และโชติ สิทธิบุศย์. 2537. ดินและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพกับมันสำปะหลัง. *ใน* **เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง**. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ระยอง.

พรชัย ไพบูลย์ และสุนทรี ยิ่งชัชวาล. 2563. การตอบสนองต่อแสงของใบมันสำปะหลัง พันธุ์ห้วยบง 60 ภายใต้ความเข้มข้น O_2 ระดับปกติและระดับต่ำ ร่วมกับความเข้มข้น CO_2 3 ระดับ. ***วารสารวิชาการเกษตร.*** 38(3): 267-276.

วัลลีย์ อมรพล กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ ศรีสุดา ทิพยรักษ์ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข ประพิศ วองเทียม และสมพงษ์ ทองช่วย. 2560. การศึกษาอัตราปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมสำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในกลุ่มดินร่วนปนทราย: ชุดดินห้วยโป่ง. **Thai Agric. Res J.** 35(2): 151-163.

สุกัญญา แย้มประชา นุชรีย์ พรำนัก นุกูล ถวิลถึง และวัลลีย์ อมรพล. 2563. ผลของการขาดไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันต่อการเจริญเติบโตและการดูดดึงธาตุอาหารในมันสำปะหลัง. ***วารสารดินและปุ๋ย.*** 40(2): 19-30.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. “ตารางแสดงรายละเอียดมันสำปะหลัง.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดมันสำปะหลัง/TH-TH (7 เมษายน 2564)

Anschütz U, D. Becker, S. Shabala. 2014. Going beyond nutrition: regulation of potassium homoeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. **J Plant Physiol.** 171: 670–687.

Blin, H. 1905. La fumure du manioc (Cassava fertilization). Bulletin Economique de Madagascar. 3: 419-421.

Cardoso, J., D.S. Santos, V. Silveira, E. Anselmo, S.N. Matsumoto, T. Sediyama, and F.M. Carvalho. 2005. Effect of nitrogen in the agronomic characteristics of cassava. **Bragantia.** 64: 651-659.

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

Howeler, R.H. 2014. Sustainable Soil and Crop Management of Cassava in Asia. Centro Internacional de Agricultura TropicalInternational Center. Pp.57-97.

Johnston, A.E. and G.F.J. Milford. 2012. Potassium and nitrogen interaction in crops. Potash development Association.

Kasele, I.N., S.K. Hahn, C.O. Oputa, and P.N. Vine. 1983. Effects of shade, nitrogen, and potassium on cassava. In Proceedings of the Second Triennial Symposium of the International Society for Tropical Root Crop. Pp.55-58.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1983. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic matter. *In* **Method of soil analysis: Part 2 Chemical and Microbiology Properties 9.** Pp.539-579.

Sriroth, K., K. Piyachomkwan, V. Santisopasri and C.G. Oates. (2001). Environment conditions during root development: Drought constraint on casava starch quality. **Euphytica.** 120: 95-101.