

# การตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของมันสำปะหลังต่อสภาพแห้งแล้ง Physiological Responses of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to Drought Stress

วัลย์พร ศะศิประภา<sup>1/</sup> วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน<sup>2/</sup> รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์<sup>3/</sup> กุสุมา รอดแพ้วพาล<sup>4/</sup>  
Walaiporn Sasiprapa<sup>1/</sup> Vichanee Aomsupsin<sup>2/</sup> Rawewan Chuekitisak<sup>3/</sup> Kusuma Rodpaewpan<sup>4/</sup>

Received 19 Nov 2018/Revised 25 Dec 2018/Accepted 15 Jan 2019

## ABSTRACT

Cassava is the drought tolerant crop, however the heat and drought stresses in Thailand during 2013-2015 had caused the delay of crop calendar, replanting, shortening of growing period, and eventual yield variation among cultivars. To understand the responses of cassava varieties under water stress conditions basic information is needed. Three cassava varieties: Rayong 11, Rayong 86-13 and CMR43-08-89 were used in the study of relationship between environmental elements (solar radiation, temperature and relative humidity) and photosynthesis parameters under water stress condition in Kamphaeng Phet Province in 2015. Results showed that, under water stress conditions all varieties had reached maximum net photosynthetic rate ( $P_n$ ) at 8.00-9.00 a.m. with the values of 14.3- 18.7  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . After watering, all had reached maximum  $P_n$  at the same period but values were higher at 20.8- 24.8  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . The period of photosynthesis was limited with water stress as confirmed by 6 MAP data, that photosynthesis period was expanded to 10.00 a.m. during rainy season and all varieties showed higher  $P_n$  22.5-26.1  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Rayong 86-13 with high starch content, showed smallest  $Tr$  during the day and stomatal conductance ( $g_s$ ) highest in early morning and stomata close before the others.  $P_n$  showed positive correlation with transpiration rate( $Tr$ ), whereas  $Tr$  showed negative relation with relative humidity (RH), Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) showed positive relation with air temperature and  $Tr$  but negative relation with RH, significantly. Photosynthesis occurred during PPFD 150 – 2,300  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Under water stress condition, photosynthesis occurred during low PPFD and high RH, but would occur for longer period in non-water stress condition, although low RH 32-40%.

**Key words** : cassava; physiology, water stress, climate change, photosynthesis

<sup>1/</sup> ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900  
Information Technology and Communication Center, Department of Agriculture, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900.

<sup>2/</sup> ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี 84160  
Surattani Oil Palm Research Center, Kanchanadit, Surattani 84160.

<sup>3/</sup> ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัย อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย 64120  
Sukothai Agricultural Research and Development Center, Srisomrong, Sukothai 64120

<sup>4/</sup> ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง อ.เมือง จ.ระยอง 21000  
Rayong Field Crop Research Center, Muang, Rayong 21000.

Corresponding author: swalaiporn@hotmail.com

## บทคัดย่อ

ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการตอบสนองของ พันธุ์มันสำปะหลังในสภาพแวดล้อมที่ขาดน้ำของ ประเทศไทยมีน้อย จึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ ของปัจจัยสภาพแวดล้อม ได้แก่ แสง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ต่อการสังเคราะห์แสงของมัน สำปะหลัง 3 พันธุ์ ที่มีความแตกต่างกัน คือ ระยะเวลา 11 ระยะเวลา 86-13 และ CMR43-8-89 ในสภาพที่ขาดน้ำและไม่ขาดน้ำ ทำการทดลองที่ จ.กำแพงเพชร พบว่า ในสภาพขาดน้ำ ทั้ง 3 พันธุ์ มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบสูงสุด (Net Photosynthesis ; P<sub>n</sub>) ที่เวลา 8.00-9.00 น มีค่า ระหว่าง 14.3- 18.7  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  แต่หลัง การให้น้ำ P<sub>n</sub> สูงสุดที่เวลาเดิม มีค่าสูงขึ้นระหว่าง 20.8- 24.8  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ช่วงที่สังเคราะห์ แสงได้จำกัดในสภาพที่ขาดน้ำ แต่ในช่วงฤดูฝนซึ่ง มันสำปะหลังอายุ 6 เดือน มีช่วงการสังเคราะห์ แสงได้ยาวนานขึ้นอยู่ในช่วง 8.00-10.00 น. P<sub>n</sub> มีค่าระหว่าง 22.5-26.1  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ทุกพันธุ์ให้ P<sub>n</sub> สูงกว่าในสภาพขาดน้ำ พันธุ์ระยะของ 86-13 ที่ให้เปอร์เซ็นต์แป้งสูงในสภาพขาดน้ำ มีอัตราคายน้ำน้อยกว่าพันธุ์อื่น ๆ ตลอดทั้งวัน ปากใบเปิดกว้างช่วงเช้า และปิดปากใบเร็วกว่า พันธุ์ระยะของ 11 และ CMR43-8-89 สำหรับ P<sub>n</sub> มีความสัมพันธ์ทางบวกกับการคายน้ำ (Transpiration; Tr) แต่ Tr มีความสัมพันธ์ทาง ลบกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเข้มแสง มีความสัมพันธ์ทางบวกกับอุณหภูมิของอากาศ และ Tr แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับความชื้น สัมพัทธ์ การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในช่วงที่มีแสง ตั้งแต่ 150 – 2,300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ในสภาพที่ขาดน้ำการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในช่วงที่มี แสงต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูง แต่ในสภาพแปลง ที่มีความชื้นสูงการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในช่วง เวลาที่ยาวกว่า แม้สภาพอากาศจะมีความชื้น สัมพัทธ์ต่ำ 32-40%

**คำสำคัญ :** มันสำปะหลัง สรีรวิทยา การขาดน้ำ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การสังเคราะห์แสง

## บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผล กระทบในวงกว้างต่อภาคเศรษฐกิจ สังคมและ สิ่งแวดล้อม ประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้จุดศูนย์กลาง ความแปรปรวนของระบบภูมิอากาศโลกที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์เอลนีโญและลมมรสุมโซนร้อนที่เกิด จากปฏิสัมพันธ์ระหว่างมหาสมุทร บรรยากาศ และพื้นดิน บริเวณเส้นศูนย์สูตรระหว่างมหาสมุทร อินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิก อันเป็นองค์ ประกอบสำคัญของระบบภูมิอากาศโลก ที่มีแนว โนน้จะทวีความรุนแรง และความถี่ของการเกิด เพิ่มขึ้น (นิรนาม, 2560) มันสำปะหลังเป็นพืชที่ ค่อนข้างทนแล้ง ปรับตัวกับสภาพพื้นที่ได้กว้าง การปลูกและดูแลรักษาไม่ยุ่งยาก ช่วงปลูกและ อายุการเก็บเกี่ยวมีความยืดหยุ่น ต้องการอุณหภูมิ สูงกว่า 25°C. แสงแดด ความชื้นในอากาศสูง และมีปริมาณน้ำฝนเพียงพอตลอดช่วงปลูก (El-Sharkawy, 2012) สภาพภูมิอากาศที่ร้อนและ แห้งแล้งในช่วงปี พ.ศ. 2556-2558 (นิรนาม, 2560) ทำให้ฤดูปลูกมันสำปะหลังล่าช้าออกไป มีการปลูกช้า ช่วงเวลาในการเจริญเติบโตสั้นลง กระทบแล้ง ส่งผลต่อผลผลิต โดยทั่วไปเกษตรกร จะเลือกใช้พันธุ์มันสำปะหลังจากพันธุ์เดิมเป็นหลัก แต่ก็มีการใช้พันธุ์ใหม่ ๆ มากขึ้น เนื่องจากการ ขาดแคลนท่อนพันธุ์ (วัลย์พร และเถลิงศักดิ์, 2554) และต้องการพันธุ์ที่มีแป้งสูงเป็นที่ต้องการของ ภาคอุตสาหกรรม เช่น พันธุ์ระยะของ 11 ที่ให้ เปอร์เซ็นต์แป้งสูง ทนแล้ง แต่สะสมน้ำหนักช้า พันธุ์ระยะของ 86-13 มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง (นิรนาม, มปป.) แต่ยังมีพันธุ์ที่ให้ผลผลิตหัวสดสูง เปอร์เซ็นต์ แป้งค่อนข้างต่ำ CMR43-8-89 ที่มีการเจริญ

เติบโตเร็วในช่วงแรก ทำให้ได้รับความนิยมน้อยอย่างรวดเร็ว (วัลย์พรและคณะ, 2561) มีรายงานว่า มันสำปะหลังพันธุ์มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงมีความสัมพันธ์กับระบบรากที่แผ่กว้าง และการปรับตัวของปากใบต่อสภาพความชื้นของอากาศและการขาดน้ำในดิน (El-Sharkawy, 2012) ความเข้มข้นของ CO<sub>2</sub> ในเซลล์มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสามารถคาดการณ์ผลผลิตพืชได้ (Paul and Foyer, 2001) และไม่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งใบมันสำปะหลังที่อยู่ด้านบนของทรงพุ่ม (พูนพิภพและคณะ, 2537) อายุของใบมันสำปะหลังมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ และอัตราการคายน้ำ แต่อายุพืชไม่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ ที่อายุ 14 สัปดาห์ มีอัตราการคายระเหยของใบสูงสุดแตกต่างจากอายุ 7 สัปดาห์ ซึ่งแตกต่างกันตามลักษณะพันธุ์ (Aslam, et al, 1977) คณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเพื่อสร้างข้อมูลพื้นฐาน การตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังต่อสภาพแห้งแล้งจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นและสภาพดินขาดน้ำที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและผลผลิตในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ในสภาพแวดล้อมของ จ.กำแพงเพชรที่มีการปลูกมันสำปะหลังมาก และมีต้นทุนน้ำจำกัด

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การเตรียมแปลงต้นมันสำปะหลัง

คัดเลือกต้นมันสำปะหลัง จากที่มีความสมบูรณ์เจริญเติบโตสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน ในแปลงปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกร ต.วังชะพลู อ.ขาณุวรลักษณบุรี จ.กำแพงเพชร จำนวน 3 พันธุ์ คือ ระยอง 11 ระยอง 86-13 และ CMR43-8-89 ปลูกที่ระยะ 1.2 X 1 เมตร ปลูกวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2558 ซึ่งผ่านช่วงอุณหภูมิสูงในระหว่างวันและ

สภาพแล้งเป็นเวลานาน ผ่านสภาพแห้งแล้ง คือ ก่อนการวัด 1 เดือน ในช่วง 4 เดือนหลังปลูก แปลงมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 37.8°C. และจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงกว่า 38°C. มี 12 วัน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 66.4% เก็บผลผลิตในเดือน กุมภาพันธ์ 2559

### 2. ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพแวดล้อม

ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพแวดล้อม ได้แก่ แสง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ค่าพารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (Net Photosynthesis; P<sub>n</sub>) ค่านำไหลปากใบ (Stomatal conductance; g<sub>s</sub>) อัตราการคายน้ำ (Transpiration rate, Tr) ของใบมันสำปะหลังที่ตำแหน่งแฉกกลางใบ ในตำแหน่งใบที่อายุน้อยและชยายมากที่สุด (young expanding leaves) ด้วยเครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง รุ่น LI-6400XT Portable Photosynthesis System (Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA) ติดตั้งอุปกรณ์วัดแสงแบบใช้แสงจากดวงอาทิตย์ (sun sky) ที่อายุมันสำปะหลังประมาณ 4 เดือน ทำการบันทึกข้อมูล 5 ค่า/ใบ ทำ 4 ซ้ำในแต่ละพันธุ์ บันทึกค่าทุกชั่วโมง ตั้งแต่ช่วงเวลา 07.00 ถึง 18.00 น. ในสภาพขาดน้ำ ส่วนสภาพที่ไม่ขาดน้ำ ดำเนินการในต้นเดิมหลังการให้น้ำในช่วงเช้าก่อนทำการวัด และเมื่อ 6 เดือนหลังปลูก บันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศ บริเวณทรงพุ่มในรอบวันที่ทำการทดลอง วัดพื้นที่ใบด้วยวิธีประมวลผลภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีของ Moran (1982) และปริมาณการให้น้ำแล้วเลือกข้อมูลที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (C<sub>i</sub>) ที่เป็นบวกนำมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์

สหสัมพันธ์ การกระจายตัวบนพื้นที่ คำนวณการสังเคราะห์แสงในรอบวันจากพื้นที่ใต้กราฟ  $P_n$  และคำนวณประสิทธิภาพการใช้น้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสงของในสำปะหลัง จากสูตร

$$WUE = P_n/Tr$$

โดยที่ WUE คือ ประสิทธิภาพการใช้น้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสง

$$(\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O})$$

$P_n$  คือ อัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ

$$(\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})$$

Tr คือ อัตราคายน้ำ

$$(\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$$

ช่วงที่พืชมีอัตราการสังเคราะห์แสง และอัตราการหายใจสูงสุดเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในมันสำปะหลังอยู่ระหว่าง 3-6 เดือนหลังปลูก ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม จึงนำข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่างการตรวจวัดในช่วงอายุ 4 เดือนหลังปลูก มาพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ ในสภาพแวดล้อมที่ขาดน้ำแตกต่างกัน

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. สภาพแวดล้อมของแปลงมันสำปะหลังอายุ 4 เดือน

สภาพอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณทรงพุ่ม ขณะที่ทำการตรวจวัดของมันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ในช่วงอายุ 4 เดือนหลังปลูกไม่แตกต่างกัน โดยมีอุณหภูมิในรอบวันระหว่าง 27-44 °ซ. ต่ำสุดในช่วงเช้า และสูงสุดในช่วงใกล้เที่ยงวัน แต่อุณหภูมิในช่วง 18.00 น. ยังคงสูงประมาณ 32°ซ. ความชื้นสัมพัทธ์สูงในช่วงเช้า 78% แล้วลดลงเรื่อย ๆ ในช่วงเช้า ต่ำสุดในช่วงใกล้เที่ยงวัน และค่อย ๆ สูงขึ้นหลัง 15.00 น. ส่วนปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ขณะทำการตรวจวัดสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. ขนาด 2,522  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ส่วนใบมันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์พบจำนวนปากใบด้านบนบนน้อยมาก เมื่อเทียบกับด้านล่าง พันธุ์ระยอง 11 มีสัดส่วนของปากใบด้านบนต่อด้านล่างต่ำที่สุด 0.05 ส่วนพันธุ์ระยอง 86-13 มีสัดส่วนสูงที่สุด 0.08 พื้นที่ใบเฉลี่ย 109.2 101.5 และ 118.9 ตร.ซม. ในพันธุ์ระยอง 11 ระยอง 86-13 และ CMR43-8-89 ตามลำดับ โดยพันธุ์ระยอง 11 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมสูงสุด 0.60 และระยอง 86-13 ต่ำสุด 0.38 กรัม/ตร.ม. (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับความเขียวของใบที่สังเกตได้

**Table 1** Stomata ratio, leaf area of the youngest-expanded leaf, chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b) and total chlorophyll (Chl t) content of 3 cassava varieties measured at 4 MAP, Kamphaeng Phet Province

Varaity	Stomata ratio (adaxial: abaxial)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Chl a ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )	Chl b ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )	Chl t ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )
Rayong 11	0.05	109.2	0.46±0.06	0.14±0.03	0.60±0.09
Rayong 86-13	0.08	101.5	0.29±0.03	0.09±0.01	0.38±0.04
CMR43-8-89	0.06	118.9	0.40±0.08	0.10±0.02	0.50±0.10

## 2. อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (Net Photosynthesis; $P_n$ )

มันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน ตั้งแต่ช่วงเช้าที่มีแสงแดด โดยสภาพที่ขาดน้ำ พันธุ์ระยอง 11 และระยอง 86-13 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเพิ่มขึ้นในช่วงเช้าโดยมีค่า  $P_n$  สูงสุดที่ 8.00 น เฉลี่ย 18.7 และ 14.3  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ หลังจากนั้นค่า  $P_n$  ลดลง โดยพันธุ์ระยอง 86-13 ลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องระหว่างเซลล์ ( $\text{CO}_2$  in intercellular;  $C_i$ ) ตีติลบตั้งแต่เวลา 10.00 น. ส่วนพันธุ์ระยอง 11 ตีติลบในการวัดที่ 13.00 น. ส่วนพันธุ์ CMR43-8-89 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดที่ 9.00 น มีขนาดเฉลี่ย 18.0  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  แล้วค่อย ๆ ลดลง จนค่าตีติลบในการวัดที่ 13.00 น. เช่นกัน ขณะที่พันธุ์ CMR43-8-89 ยังสามารถรักษาระดับการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าพันธุ์อื่น ๆ ในช่วงที่มีแสงแดดมากขึ้นของช่วงเช้า (Figure 1a) แต่หลังการให้น้ำทุกพันธุ์มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงขึ้นทั้งปริมาณ และช่วงระยะเวลายาวขึ้น 3-5 ชม. (Figure 1b) ค่า  $P_n$  เพิ่มขึ้นในช่วงเช้า สูงสุดที่เวลา 8.00 น. ในพันธุ์ระยอง 11 และระยอง 86-13 และที่เวลา 9.00 น. ในพันธุ์ CMR43-8-89 มีค่าเฉลี่ย 22.8 20.8 และ 24.8  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ สอดคล้องกับการเจริญเติบโตที่ CMR43-8-89 จะเจริญเติบโตเร็วในช่วงแรก คลุมพื้นที่ได้ดี (นิรนาม, 2558) Calatayud, *et al.* (2000) รายงานว่าความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  ในช่องว่างระหว่างเซลล์มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง อัตราหายใจ แต่ในสภาพที่ขาดน้ำ  $P_n$  ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ใบอ่อน แต่ไม่พบในใบที่เจริญเต็มที่แล้ว สอดคล้องกับ Aslam, *et al.* (1977) ที่กล่าวว่า  $P_n$  แตกต่างตามอายุใบ โดยการศึกษานี้ใช้ใบที่อายุน้อยที่สุด ที่ขยายมากที่สุด ซึ่ง

เป็นตำแหน่งใบด้านบน ๆ ของทรงพุ่ม ซึ่งน่าจะลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตำแหน่งใบที่เลือกใช้ได้ ตามข้อสนับสนุนของ พูนพิภพ และคณะ (2537)

## 3. ค่าการนำที่เปิดปากใบ (Stomatal conductance)

ค่า stomatal conductance ( $g_s$ ) บ่งบอกถึงระดับการเปิดกว้างของปากใบ ค่าที่สูงแสดงว่าปากใบเปิดกว้างได้มาก ในสภาพขาดน้ำ พันธุ์ CMR43-8-89 และระยอง 11 มีค่า  $g_s$  สูงในช่วงเวลา 8.00 น. และลดลงต่ำในช่วงเวลา 9.00-17.00 น. โดยพันธุ์ CMR43-8-89 ลดลงช้ากว่า ระยอง 11 ขณะที่ ระยอง 86-13 มีค่า  $g_s$  สูงสุดในช่วงเช้า 7.00 น. ต่ำกว่าพันธุ์อื่น ๆ และลดลงเร็วกว่าพันธุ์อื่น ๆ ส่วนในสภาพที่ไม่ขาดน้ำ การให้น้ำทำให้ค่า  $g_s$  ของทุกพันธุ์และทุกช่วงเวลาสูงขึ้น (Figure 1) ปากใบเปิดได้นานขึ้นและกว้างขึ้นอย่างไรก็ตาม พันธุ์ระยอง 86-13 เปิดปากใบสูงสุดในช่วงเช้า ซึ่งมีแนวโน้มจะเปิดได้กว้างก่อน 6.00 น. ขณะที่มันสำปะหลังอีก 2 พันธุ์ ปากใบจะเปิดกว้างขึ้นในช่วงสายแล้วจึงลดลง ดังนั้นในสภาพที่ดินชื้นปากใบเปิดได้กว้างและยาวนานกว่า ซึ่งสามารถช่วยให้มันสำปะหลังมีเวลาในการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น ขณะที่สภาพดินแห้ง การปิดปากใบจะเป็นกลไกสำคัญในการลดการสูญเสียน้ำของมันสำปะหลัง ซึ่งสังเกตได้จากใบที่แสดงอาการเหี่ยว และเริ่มสดขึ้นในช่วงใกล้เย็น

## 4. อัตราการคายน้ำ

ในสภาพขาดน้ำ อัตราคายน้ำ ( $T_r$ ) ของพันธุ์ระยอง 86-13 มีค่าน้อยตลอดทั้งวัน และน้อยกว่าพันธุ์ CMR43-8-89 และระยอง 11 อัตราคายน้ำเกิดขึ้นสูงในช่วงแรก โดยเป็นไปในการทำนองเดียวกันกับอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงขึ้น

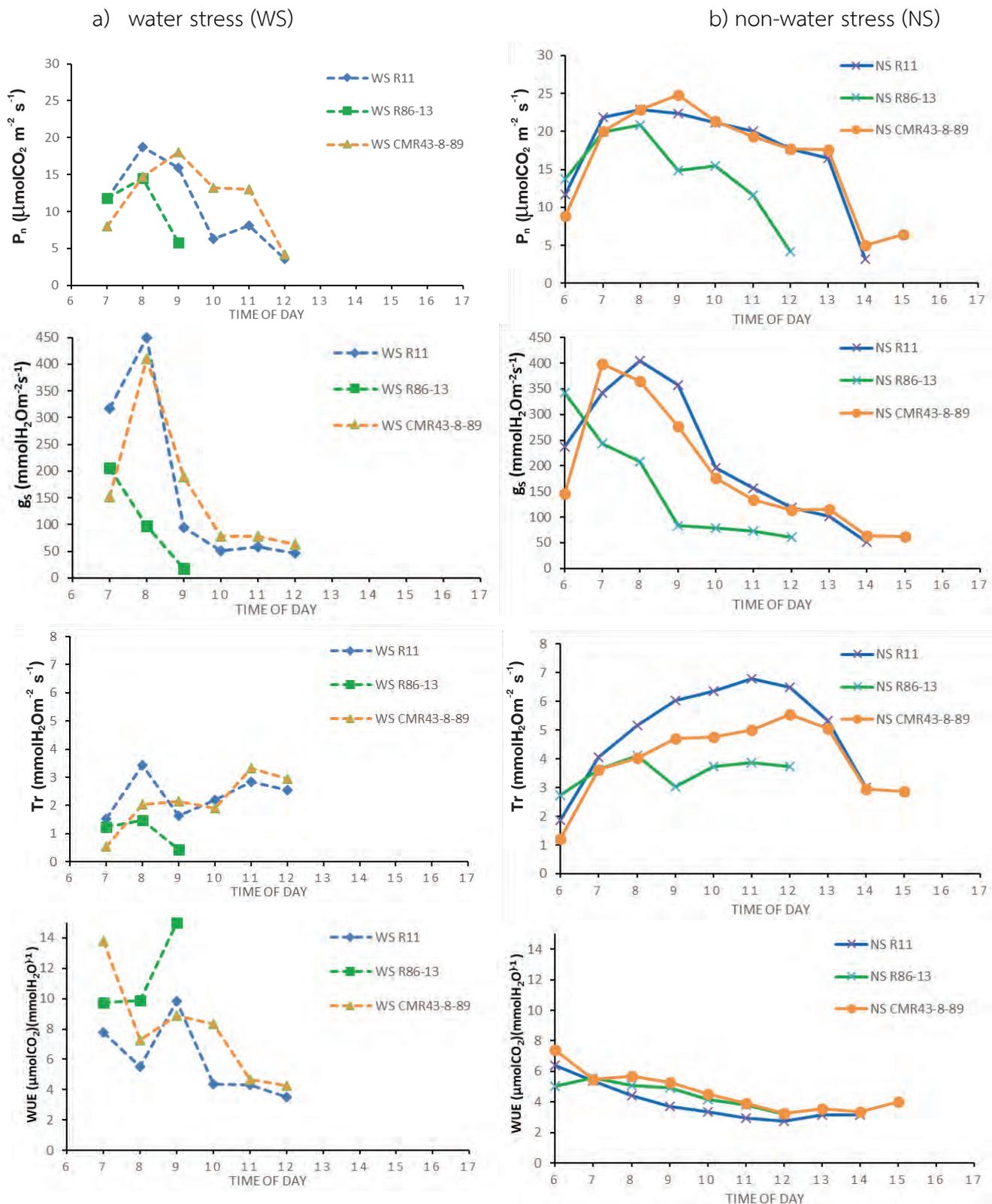
เฉลี่ย 3.4 1.5 และ 2.1  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ใน พันธุ์ระยอง 11 ระยอง 86-13 และ CMR43-8-89 ตามลำดับ แต่ในพันธุ์ CMR43-8-89 และ ระยอง 11 ยังมีอัตราการคายน้ำสูงและสูงสุดอีกครั้ง ในช่วง 11.00 น. (Figure 1a) ซึ่งเป็นช่วงที่มี ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สูง การคายน้ำส่วนนี้น่าจะ เกิดเพื่อลดอุณหภูมิใบ จึงสังเกตเห็นใบมัน สำปะหลังเหี่ยวในแปลง เนื่องจากอุณหภูมิในตอน กลางวันค่อนข้างสูง ทำให้ใบพืชต้องระบายความ ร้อนที่ใบได้รับ โดยแฝงไปกับน้ำที่ระเหยออกจาก ใบด้วยกระบวนการคายน้ำ เพื่อลดความเสียหาย ที่จะเกิดขึ้นกับใบ (พูนพิภพ, 2554) ต่างจากพันธุ์ ระยอง 86-13 ที่ปากใบเริ่มปิดตั้งแต่ 9.00 น และ อัตราคายน้ำต่ำเช่นเดียวกัน มันสำปะหลัง พันธุ์นี้น่าจะใช้การปิดปากใบในการป้องกันตัวเอง เนื่องจากมีอัตราสังเคราะห์แสงต่ำกว่าพันธุ์อื่น ๆ ส่วนในสภาพที่ไม่ขาดน้ำดินมีความชื้นสูง ทุกพันธุ์ มีอัตราการคายน้ำสูง พันธุ์ระยอง 11 มีอัตราการคายน้ำ สูงสุดที่ 11.00 น. เฉลี่ย  $6.8 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ขณะที่ระยอง 86-13 ยังมีอัตราการคายน้ำต่ำกว่า พันธุ์อื่น ๆ ตลอดวัน แต่อัตราการคายน้ำสูงกว่า ในสภาพขาดน้ำ 2-6 เท่า (Figure 1b)

## 5. ประสิทธิภาพการใช้น้ำในการสังเคราะห์แสง

ประสิทธิภาพการใช้น้ำในการสังเคราะห์แสง (Water Use Efficiency, WUE) ของพืช หากมี ค่าสูงแสดงว่าพืชมีการสูญเสียน้ำในปริมาณน้อย เพื่อใช้ในการตรึง  $\text{CO}_2$  (พูนพิภพ, 2554) มันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ ในสภาพที่ขาดน้ำมี WUE สูงกว่าในสภาพที่ดินชื้น พันธุ์ระยอง 11 ระยอง 86-13 และ CMR43-8-89 มีค่าเฉลี่ย 5.9 11.5 และ 7.9  $\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$  ตามลำดับ และในสภาพที่ดินชื้นมีค่าเฉลี่ย 3.8 4.5 และ 4.7  $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmolH}_2\text{O})^{-1}$  ตามลำดับ โดยพันธุ์ที่มี ค่า WUE มีแนวโน้มสูง คือ CMR43-8-89

## 6. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของมัน สำปะหลังอายุ 6 เดือน

สภาพแวดล้อมของแปลง 1 เดือน ก่อนทำ การวัดค่าต่าง ๆ มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 84.7% อุณหภูมิเฉลี่ย  $28.3^\circ\text{C}$ . ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนมีฝนตก ลมมาเสมอ และฝนตก 2 วัน ก่อนหน้าที่ทำการวัด มีปริมาณ 22 และ 6 ม.ม. ทำให้ดินชื้น และขณะ ทำการวัดมีอุณหภูมิในรอบวันระหว่าง  $24-35^\circ\text{C}$ . ต่ำสุดในช่วงเช้า และสูงสุดในช่วงเย็นความชื้น สัมพัทธ์สูงในช่วงเช้า 100% แล้วลดลงเรื่อย ๆ ต่ำสุดที่ 17.00 น. 51% ส่วนปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ขณะทำการตรวจวัดสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. ขนาด  $2,466 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  พบว่า มันสำปะหลังสามารถสังเคราะห์แสงได้ตลอดวัน ตั้งแต่ 6.00- 18.00 น. ยกเว้นพันธุ์ระยอง 86-13 ที่มีค่า  $C_i$  ติดลบในช่วงกลางของวันเป็นช่วงสั้น ๆ มี  $P_n$  สูงสุดที่ 9.00 น. ในพันธุ์ระยอง 86-13 และ CMR43-8-89 เฉลี่ยที่ 19.6 และ 23.7  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ระยอง 11 มี  $P_n$  สูงที่ 10.00 น. เฉลี่ยที่ 23.2  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$  และค่า  $P_n$  ได้สูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ (Figure 2) ทุกพันธุ์มี  $P_n$  สูงและช่วงเวลาที่สังเคราะห์แสงได้ ยาวกว่าเมื่อเทียบกับทุกพันธุ์ ในช่วงอายุ 4 เดือน ค่า  $g_s$  สูงในช่วง 8.00 น. และลดลงต่ำในช่วง 9.00-12.00 น. จะสูงขึ้นเล็กน้อยในช่วงบ่าย พันธุ์ CMR43-8-89 ปากใบเปิดกว้างที่สุด รองลงมา คือ ระยอง 11 และ ระยอง 86-13 ตามลำดับ โดย พันธุ์ CMR43-8-89 ลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ ระยอง 86-13 มีค่า  $g_s$  ต่ำกว่าพันธุ์อื่น ๆ ในทุก ๆ ช่วงของวัน (Figure 2) อัตราคายน้ำสูงในช่วง 8.00-10.00 น. เป็นช่วงเดียวกับที่แต่ละพันธุ์มี อัตราสังเคราะห์แสงสูง เฉลี่ย 7.2 3.8 และ 7.5  $\mu\text{molH}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ในพันธุ์ระยอง 11 ระยอง 86-13 และ CMR43-8-89 ตามลำดับ และเกิดขึ้นสูงอีกครั้งในช่วง 15.00-16.00 น. (Figure 2)



**Figure 1** Change in Net Photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $g_s$ ), Transpiration rate ( $Tr$ ) and Water use efficiency ( $WUE$ ) of 3 cassava varieties (Rayong 11: R11, Rayong 86-13 : R86-13 and CMR43-8-89) during water stress (WS) and non-water stress (NS) condition in Kamphaeng Phet Province, 13-14 June 2015.

ประสิทธิภาพการใช้น้ำในการสังเคราะห์แสงของพันธุ์ระยอง 11 ต่ำกว่าพันธุ์อื่น ๆ ในเกือบทั้งวัน ยกเว้น ช่วง 11.00-16.00 น. ที่พันธุ์ระยอง 86-13 มีค่าต่ำที่สุดและเป็นช่วงเดียวกับที่อัตราสังเคราะห์แสงสุทธิลดลง (Figure 2) อย่างไรก็ตามพันธุ์ที่ WUE มีแนวโน้มสูงสุด คือ CMR43-8-89 เช่นเดียวกับช่วง 4 เดือนหลังปลูก

### 7. ผลผลิตของมันสำปะหลัง

ผลผลิตมันสำปะหลังที่ 12 เดือน พบว่าพันธุ์ CMR43-8-89 มีน้ำหนักหัวสดสูงสุด 2,912 กรัม/ตัน รองลงมา คือ ระยอง 86-13 และระยอง 11 2,773 และ 1,859 กรัม/ตัน ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์แป้ง 15.4 27.6 และ 21.3 ตามลำดับ ดัชนีเก็บเกี่ยว 0.54 0.59 และ 0.41 ตามลำดับ พันธุ์ที่มี  $P_n$  สูงไม่ได้เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเสมอไป และพันธุ์ที่  $P_n$  ต่ำกว่า อาจเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงกว่าได้ เนื่องจากผลผลิตเป็นส่วนหนึ่งของมวลชีวภาพที่พืชสร้างขึ้น รวมทั้งคุณภาพของผลผลิต เช่น เปอร์เซ็นต์แป้ง และการแบ่งสัดส่วนเป็นผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ ซึ่งพันธุ์

ระยอง 86-13 เป็นพันธุ์ที่ให้เปอร์เซ็นต์แป้งสูง มีค่า  $P_n$  และ ค่า Tr ต่ำ แต่ค่า WUE ค่อนข้างสูงเกือบทุกสภาพแวดล้อม มีแนวโน้มปรับตัวได้ดีในสภาพขาดน้ำ โดยช่วงกลางวันที่อุณหภูมิสูงจะค่อย ๆ ปิดปากใบ เพื่อลดอัตราการคายน้ำ ส่วนพันธุ์ CMR43-8-89 เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตเร็วในช่วงแรกเห็นได้ชัดว่า การสังเคราะห์แสงของใบในรอบวันที่คำนวณได้ (Leaf area under curve; AUC) สูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ในช่วง 4 เดือน แต่ลดลงเมื่ออายุ 6 เดือน (Table 2) พันธุ์นี้สะสมน้ำหนักเร็วเหมาะกับการเก็บเกี่ยวอายุสั้น ต่างจากพันธุ์อื่นที่สะสมน้ำหนักช้า ต้องมีอายุเก็บเกี่ยวไม่น้อยกว่า 10-12 เดือน นอกจากนี้ พันธุ์ระยอง 11 สามารถรักษาความเขียวและจำนวนใบที่ค้างต้นได้ยาวนานกว่าพันธุ์อื่น ๆ ที่มักทิ้งใบไปก่อนเมื่อผ่านช่วงแล้ง แต่ข้อมูลที่ได้นี้ให้ผลผลิตหัวสดต่ำ ทั้งนี้การให้ผลผลิตหัวสดของพันธุ์นี้มีความผันแปรมากและการศึกษาไม่ได้ครอบคลุมถึง เช่น การใช้ปุ๋ย ช่วงปลูก เป็นต้น นอกจากนี้ อาจเกี่ยวข้องกับสมดุลของคาร์บอน และไนโตรเจน (Paul and Foyer, 2001)

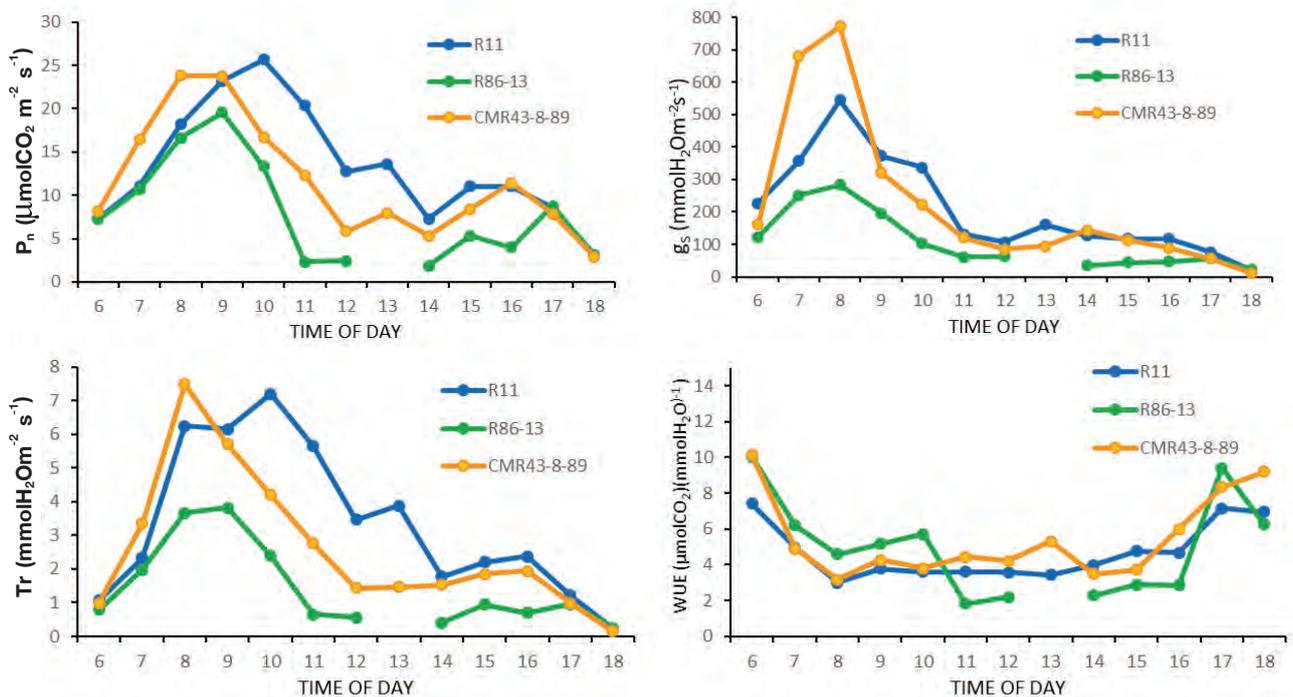


Figure 2 Net Photosynthetic rate, and Water use efficiency (WUE) of 3 cassava varieties (Rayong 11: R11, Rayong 86-13: R86-13 and CMR43-8-89) during rainy season at Kamphaeng Phet Province.

**Table 2** Leaf area, area under curve (AUC) of 1 youngest-expanded leaf at 4 and 6 month and harvested yield of 3 cassava varieties during water stress condition in Kamphaeng Phet Province during February 2015 - February 2016

varieties	4 MAP			6 MAP		12 MAP (Harvest)			
	LA (cm <sup>2</sup> )	AUC_WS (μmolCO <sub>2</sub> )	AUC_IRR	LA (cm <sup>2</sup> )	AUC (μmolCO <sub>2</sub> )	yield (gm/plant)	biomass	HI	starch (%)
R11	109	38.3	99.3	247	251.2	1,859	4,559	0.41	21.3
R86-13	101	15.9	57.1	294	161.6	2,773	4,732	0.59	27.6
CMR43-8-89	118	47.9	113.9	226	199.2	2,912	5,357	0.54	15.4

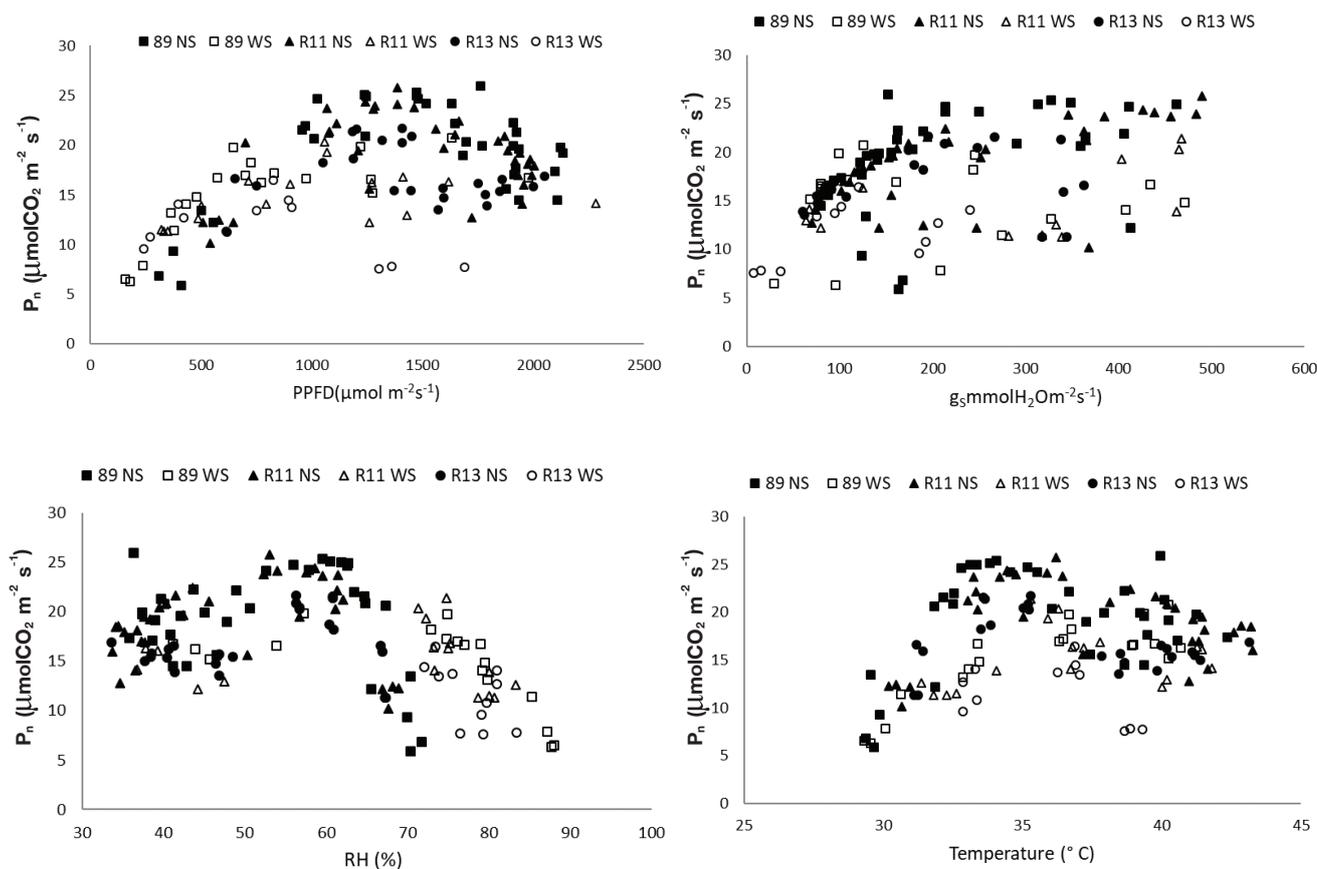
**Note** : LA = leaf area, HI = Harvesting Index, WS = water stress, IRR = Irrigation

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า  $P_n$  มีความสัมพันธ์ทางบวกกับ Tr ( $r=0.74$ ) และ Tr มีความสัมพันธ์ทางลบกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ( $r=-0.79$ ) ความเข้มแสง (Photosynthetic Photon Flux Density; PPFD) มีความสัมพันธ์ทางบวกกับอุณหภูมิของอากาศ ( $r=0.82$ ) และ Tr ( $r=0.76$ ) แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับความชื้นสัมพัทธ์ ( $r=-0.87$ ) อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการกระจายตัวบนพื้นที่ของ 3 พันธุ์และ 2 สภาพแวดล้อม (Figure 3) พบว่า การสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลังเกิดขึ้นในช่วงที่มีปริมาณแสงตั้งแต่ 150–2,300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ในสภาพที่ขาดน้ำ การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในช่วงที่มีแสงต่ำกว่ามันสำปะหลังที่อยู่ในสภาพความชื้นสูง และในสภาพที่ขาดน้ำการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศสูง แต่ความชื้นในดินช่วยให้การสังเคราะห์แสงดำเนินต่อไปได้ในสภาพที่ความชื้นต่ำประมาณ 32-40% อุณหภูมิอากาศที่สูงกว่า 40°C. ในดินที่ชื้นช่วยให้การสังเคราะห์แสงดำเนินต่อไป แต่อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงกว่าในสภาพขาดน้ำทุก ๆ ช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้น การเปิดปิดปากใบมันสำปะหลังที่อยู่ในสภาพความชื้นสูงจะเปิดกว้างกว่า และให้  $P_n$  สูงกว่า มันสำปะหลังมีการปรับตัวซึ่งในสภาพ

ที่ขาดน้ำ มันสำปะหลังจะลดขนาดของทรงพุ่มลงด้วยการทิ้งใบและใบใหม่ ๆ จะมีขนาดเล็กลงเพื่อลดพื้นที่รับแสงซึ่งทำให้ผลผลิตหัวลดลงด้วย (El-Sharkawy, 2007) ซึ่งแต่ละพันธุ์ได้รับผลกระทบแตกต่างกัน ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้นี้ช่วยให้เห็นความสัมพันธ์ของลักษณะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังกับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง ที่อาจนำไปสู่การหาพันธุ์ที่มีการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป และยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับศักยภาพในการสังเคราะห์แสงของพันธุ์และประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของใบมันสำปะหลังที่อายุต่างกันและในช่วงอายุที่แตกต่างกัน ในทรงพุ่ม และการประมาณพื้นที่ใบที่เปลี่ยนแปลงของมันสำปะหลัง

### สรุปผลการทดลอง

มันสำปะหลัง 3 พันธุ์ที่ปลูกในแปลงผ่านสภาพที่ร้อนและแล้งเป็นเวลานาน มีการตอบสนองต่อสภาพการขาดน้ำในช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ประมาณ 4 เดือน โดยในสภาพขาดน้ำ  $P_n$  สูงสุดที่เวลา 8.00-9.00 น. เฉลี่ยระหว่าง 14.3 - 18.7  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  แต่หลังการให้น้ำ  $P_n$  สูงสุดยังเป็นในเวลาเดียวกัน



**Figure 3** Net Photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $g_s$ ), Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD), relative humidity (RH%) and air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) of 3 cassava varieties (Rayong 11: R11, Rayong 86-13 : R13 and CMR43-8-89: 89) during water stress (WS) and non-water stress (NS) condition in Kamphaeng Phet Province, 13-14 June 2015.

แต่ค่าเฉลี่ยสูงขึ้นระหว่าง 20.8- 24.8  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$   $P_n$  ที่สูงขึ้นทำให้ Tr สูงขึ้นด้วย มันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ มีช่วงที่สังเคราะห์แสงได้จำกัดในสภาพที่ขาดน้ำ แต่ในช่วงฤดูฝนซึ่งมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน มีช่วงการสังเคราะห์แสงได้ยาวนานขึ้นและเวลาที่  $P_n$  สูงสุด ชยับยาวขึ้นอยู่ในช่วง 8.00-10.00 น. เฉลี่ยระหว่าง 22.5-26.1  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ช่วง 4 เดือน CMR43-8-89 มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงในรอบวันสูงที่สุด แต่ในช่วง 6 เดือน ระยะเวลา 11 มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงในรอบวันสูงที่สุด พันธุ์

CMR43-8-89 มีแนวโน้ม WUE สูงสุดทั้ง 2 ช่วง สำหรับ  $P_n$  มีความสัมพันธ์ทางบวกกับ Tr แต่ Tr มีความสัมพันธ์ทางลบกับความชื้นสัมพัทธ์ การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในช่วงที่มีแสงตั้งแต่ 150 – 2,300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ในสภาพที่ขาดน้ำ การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในช่วงที่มีแสงต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูง แต่ในสภาพแปลงที่มีความชื้นสูงการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ยาวกว่า แม้สภาพอากาศจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ 32-40% ทุกพันธุ์ให้  $P_n$  สูงกว่าในสภาพขาดน้ำ

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยปาล์ม สุราษฎร์ธานี ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัย สถาบันวิจัยพืชไร่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร และนายศรีโพธิ์ ชัยนการนาวิ สำหรับการสนับสนุน ช่วยเหลือให้ งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

นิรนาม. 2558. รายงานผลการศึกษาคณาจารย์เจริญเติบโตและการให้ผลผลิตมันสำปะหลังแปลงเรียนรู้ จังหวัดกำแพงเพชร ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร. 17 หน้า.

นิรนาม. 2560. ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558. ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอตุณิยมวิทยา กรมอตุณิยมวิทยา. 15 หน้า. แหล่งข้อมูล: <http://climate.tmd.go.th/content/le/129> สืบค้น: 10 พฤษภาคม 2560.

นิรนาม. 2561. ตารางมันสำปะหลังโรงงาน : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ แยกตามชนิดพันธุ์รายจังหวัด. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งข้อมูล: <http://www.oae.go.th/view/1> ตารางแสดงรายละเอียดมันสำปะหลัง/TH-TH สืบค้น: 30 สิงหาคม 2561.

นิรนาม. ไม่ระบุ. พันธุ์และวิธีการปลูกมันสำปะหลัง. เอกสารแนะนำ (แผ่นพับ). ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์ เจษฎา ภัทรเลอพงศ์ เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิพิเชษฐ์ และเพ็ญสายขุนทด. 2537. ความสัมพันธ์ระหว่าง

ตำแหน่งใบ และอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบมันสำปะหลัง 3 พันธุ์. หน้า 105-113. ใน : การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32 สาขาพืช 3-5 กุมภาพันธ์ 2537.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์. 2554. ภาวะโลกร้อนและผลกระทบ. ว. *วิจัยระบบสาธารณสุข*. 3(4):172-187.

วัลย์พร ตะศิประภา จินณจารี หาญเศรษฐสุช กุสุมา รอดแผ้วพาล ปฐมพงษ์ วงศ์สุวรรณ ดรุณี เพ็งฤกษ์ เสาวรี บำรุง วารีย์ เวรรณ สายน้ำ อุดพัวย อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์. 2561. การวิเคราะห์วอเตอร์พุดพรีนซ์ของมันสำปะหลังที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน. ว. *วิชาการเกษตร*. 36(2): 173-185.

วัลย์พร ตะศิประภา และเถลิงศักดิ์ วีระวุฒิ. 2554. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังโดยการกระจายพันธุ์ดีและท่อนพันธุ์สะอาด. สถาบันวิจัยพืชไร่ ศูนย์สารสนเทศ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2-6. 106 หน้า.

Aslam M, S.B. Lowe, L.A. Hunt. 1977. Effect of leaf age on photosynthesis and transpiration of cassava (*Manihot esculenta*). *Can J. Bot.* 55 (17): 2288-2295, 10.1139/b77-260.

Calatayud P.A., E. LLOVERA, J.F BOIS and T. LAMAZE. 2000. Photosynthesis in drought-adapted cassava. *Photosynthetica*. 38 (1): 97-104.

El-Sharkawy M.A. 2007. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics:

- Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. *Braz. J. Plant Physiol.* 19(4):257-286.
- El-Sharkawy M.A. 2012. Stress-Tolerant Cassava: The Role of Integrative Ecophysiology-Breeding Research in Crop Improvement. *Open J. Soil Sci.* 2012 (2): 162-186.
- Moran R., 1982. Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N-dimethylformamide. *J. Plant Physiol.* 69: 1376-1381.
- Paul M.J. and C.H. Foyer. 2001. Sink regulation of photosynthesis. *J. Exp Bot.* 52(360):1383-400.