# ผลการตอบสนองทางชีวเคมี และฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลัง ภายใต้สภาพความแห้งแล้ง

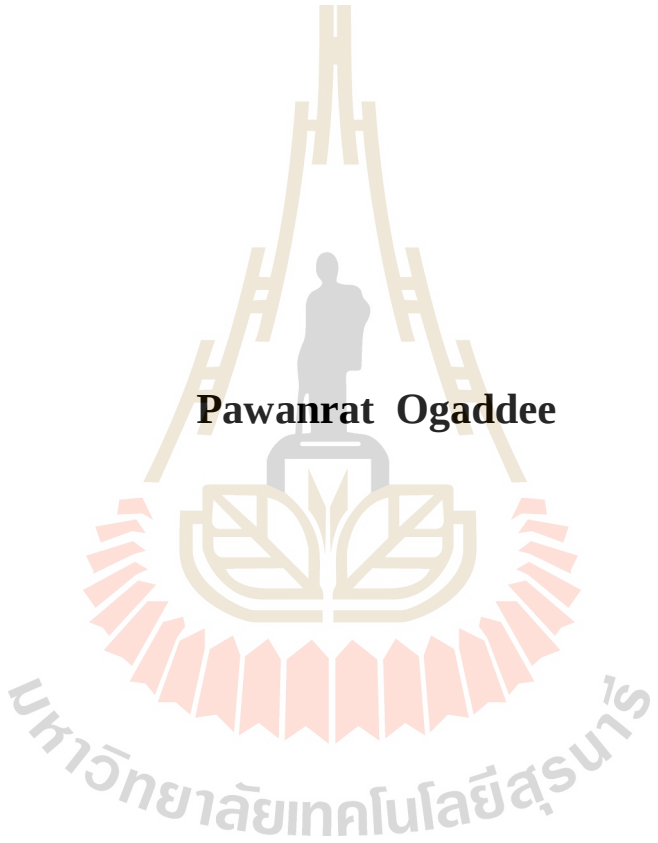
นางสาวปวันรัตน์ โอกาสดี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

# BIOCHEMICAL RESPONSES AND PHYTOHORMONE OF CASSAVA UNDER DROUGHT STRESS

**Pawanrat Ogaddee**




**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the**

**Degree of Master of Science Program in Crop Science**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2018**

**ผลการตอบสนองทางชีวเคมี และฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลัง**
**ภายใต้สภาพความแห้งแล้ง**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ศ. ดร.ปิยะดา อลิฌาณ์ ตันตสวัสดิ์)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. ธีรุยุทธ เกิดไทย)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร. ฐิติพร มะชิโกวา)
กรรมการ

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(ศ. ดร.หนึ่ง เตียอำรุง)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปวันรัตน์ โอกาสดี : ผลการตอบสนองทางชีวเคมี และฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังภายใต้สภาพความแห้งแล้ง (BIOCHEMICAL RESPONSES AND PHYTOHORMONE OF CASSAVA UNDER DROUGHT STRESS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยุทธ เกิดไทย, 65 หน้า.

ความแห้งแล้งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญของการปลูกมันสำปะหลังทั่วโลก ส่งผลกระทบต่อผลผลิต การเจริญเติบโต กระบวนการทางสรีรวิทยา และสารชีวเคมีของมันสำปะหลัง รายงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากลไกการตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมี และฮอร์โมนพืชของมันสำปะหลังภายใต้สภาพแห้งแล้ง วางแผนการทดลองแบบ 3x5 factorial in RCB จำนวน 4 ซ้ำ โดยปลูกมันสำปะหลังในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร ภายใต้สภาพโรงเรือน กำหนดให้ปัจจัย A คือ มันสำปะหลังจำนวน 5 พันธุ์ คือ ระยอง 9 ระยอง 90 เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 80 และห้านาที กำหนดให้ปัจจัย B คือ ระดับการให้น้ำ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ การให้น้ำที่ระดับความจุสนาม (field capacity; FC) 2/3 และ 1/3 ของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน (avialable water; AW) ทำการเก็บข้อมูล การผลิตกรดแอบไซซิก การผลิตฮอร์โมนเอทิลีน และจำนวนใบร่วงเมื่อ 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำเมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 เดือนหลังปลูก ทำการเก็บข้อมูล สถานะของน้ำในใบพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์ ความเข้มสีของใบด้วย SCMR ความสูงต้น และปริมาณสารโพรลีน เมื่อมันสำปะหลังอายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก จากการศึกษาพบว่ามันสำปะหลังมีการตอบสนองต่อระดับการให้น้ำที่แตกต่างกัน ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW มีสถานะของน้ำในใบพืชลดลงน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการได้รับน้ำในระดับ 2/3 AW และ FC ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นดินที่ลดลง พันธุ์ที่มีสถานะของน้ำในใบพืชมากที่สุด คือ ระยอง 9 เนื่องจากมีลักษณะใบหนา สีเข้ม และมีแว็กซ์เคลือบ มีการผลิตกรดแอบไซซิกในมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำที่ระดับ 2/3 AW และ FC พันธุ์ที่มีมากที่สุดช่วง 2 สัปดาห์หลังงดน้ำ คือ ห้วยบง 80 และเกษตรศาสตร์ 50 จากการศึกษาปริมาณฮอร์โมนที่ทำให้เกิดการร่วงของใบคือ ฮอร์โมนเอทิลีน พบว่า มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW มีการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำในระดับ 2/3 AW และ FC พันธุ์ที่มีแนวโน้มการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนมากที่สุดช่วง 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ คือ เกษตรศาสตร์ 50 ห้านาที และระยอง 90 สอดคล้องกับจำนวนใบร่วงของมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW มีจำนวนใบร่วงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำในระดับ 2/3 AW และ FC พันธุ์ที่มีจำนวนใบร่วงมากที่สุด ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก คือ พันธุ์ระยอง 90 และห้านาที ปริมาณคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงน้อยที่สุดในมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW เมื่อเทียบกับการให้น้ำในระดับ 2/3 AW และ FC พันธุ์ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม

มากที่สุด ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก คือพันธุ์ห้วยบง 80 และระยอง 9 ส่งผลให้พันธุ์ที่มีค่าความเข้มสีใบมากที่สุด คือ ห้วยบง 80 และระยอง 9 เมื่อพืชเกิดสภาวะเครียดจากน้ำ ทำให้มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW มีการผลิตปริมาณสารโพรลีนมากกว่ามันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3 AW และ FC โดยพันธุ์ที่มีการผลิตปริมาณสารโพรลีนมากที่สุด ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก คือพันธุ์ระยอง 90 และระยอง 9 ค่าเฉลี่ยความสูงต้นของมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำในระดับ 2/3 AW และ FC โดยพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นน้อยที่สุด ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก คือพันธุ์ระยอง 90 และห้านาที จากการศึกษาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ พบว่า ลักษณะที่ตรวจวัดมีสหสัมพันธ์กันโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาพความแห้งแล้งที่รุนแรง แต่ระดับความสัมพันธ์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่มีระดับความต้านทานความแห้งแล้งที่แตกต่างกัน ดังนั้นลักษณะดังกล่าวเหล่านี้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังทนแล้งได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ลายมือชื่อนักศึกษา ปวันรัตน์ โอกาสดี

ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

PAWANRAT OGADDEE : BIOCHEMICAL RESPONSES AND PHYTOHORMONE OF CASSAVA UNDER DROUGHT STRESS.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TEERAYOOT GIRDTHAI, Ph.D., 66 PP.

CASSAVA/BIOCHEMICAL RESPONSES/PHYTOHORMONE/
DROUGHT STRESS

Drought is a major production constraint of cassava worldwide, affecting tuber yield, growth, physiological and biochemical changes. The objective of this study was to evaluate the chemo-physiological responses of cassava under water stress conditions. The experiment was arranged in 3x5 factorial in RCBD with 4 replications in 200-liter plastic pots under greenhouse conditions. Five cassava varieties including Rayong 9, Rayong 90, Kasetsart 50, Huay Bong 80 and Hanatee were assigned as factor A. Three different water levels [field capacity (FC), 2/3 available water (AW) and 1/3 AW] were arranged as factor B. The physiological biochemical and phytohormones responses to drought were monitored. Relative water content, chlorophyll density, SPAD chlorophyll meter reading, plant height and proline content were determined at 3, 4 and 5 months after planting. Abscisic acid synthesis, ethylene synthesis and leaf retention, were determined at 1, 2 and 3 weeks after withholding water. The result revealed that RWC decreased significantly under water deficit at 5 months after planting, RWC under 1/3 AW conditions had the lowest followed by 2/3 AW and FC conditions related to the decreased soil moisture content. Rayong 9 had the highest in RWC with thicker leaves, darker color with wax coating. ABA synthesis increased significantly under water deficit. ABA under 1/3 AW conditions had the highest followed by 2/3 AW and FC, Huay Bong 80 and Kasetsart 50 was the highest

at 2 weeks after withholding water. Ethylene synthesis increased significantly difference under water deficit. Ethylene synthesis under 1/3 AW conditions had the highest followed by 2/3 AW and FC conditions, Kasetsart 50, Hanatee and Rayong 9 had the hightest at 3 weeks after withholding water. Related to the leaf retention increased significantly under water deficit, 1/3 AW conditions had the highest followed by 2/3 AW and FC conditions, Rayong 90 and Hanatee had the highest leaf retention at 5 months after planting. Chlorophyll is vital for photosynthesis, the result revealed that chlorophyll density had the lowest under 1/3 AW conditions followed by 2/3 AW and FC conditions, Hanatee and Rayong 9 had the highest chlorophyll density at 5 months after planting, lead to the highest SCMR. When under water stress, proline content had increased followed by 2/3 AW and FC conditions, Rayong 90 and Rayong 9 had the highest proline content at 5 months after planting. Plant height under 1/3 AW conditions had the lowest followed by 2/3 AW and FC conditions, Rayong 90 and Hanatee had the lowest in plant height at 5 months after planting. Correlations between the studied traits were found, especially under severe drought conditions depending on the drought resistant level of each variety revealed that all measured traits could be used as criteria in breeding programs to improve drought tolerance in cassava.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Crop Production Technology Student's Signature Pawanrat Ogaddee

Academic Year 2018 Advisor's Signature Teerayoot Girdthai

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือ แนะนำ ส่งเสริมและสนับสนุนเป็นอย่างดี ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยุทธ เกิดไทย อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสได้มาศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ชี้แนะแนวทาง แนะนำช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ มากมาย ช่วยเหลือเอาใจใส่อย่างดียิ่ง และช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร มะชิโกวา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ความรู้ความเมตตามาโดยตลอดระยะเวลาที่ศึกษาที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา ตันตสวัสดิ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาด้านการทำวิจัยและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณขนิษฐา กู่โบราณ คุณอุทัย ยศจังหรีด เจ้าหน้าที่ฟาร์มที่คอยอำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือ ที่คอยอำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์วิทยาศาสตร์และสอนการใช้เครื่องมือให้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณอภิญญา ไขรัมย์ คุณสุกัลยา สารพัฒน์ คุณปราณีต วังไธสง คุณดาราวรรณ ร่วมกุศล ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางด้านงานวิจัย และคอยช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและบุคคลในครอบครัวทุกท่าน ที่ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจทำให้วิทยานิพนธ์สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปวันรัตน์ โอกาศดี

# สารบัญ

**หน้า**

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฏ
**บทที่**
**1. บทนำ** ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย ..... 2
1.3 สมมติฐานการวิจัย ..... 2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย ..... 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3
**2. ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** ..... 4
2.1 ข้อมูลพื้นฐานของมันสำปะหลัง ..... 4
2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง ..... 4
2.3 ความสัมพันธ์ของน้ำต่อพืช ..... 8
2.4 การวัดความชื้นของดิน ..... 9
2.5 ความเครียดจากน้ำ ..... 10
2.6 การตอบสนองความเครียดน้ำในพืช ..... 11
2.7 การตรวจวัดความเครียดน้ำในพืช ..... 13
**3. วิธีดำเนินงานวิจัย** ..... 15
3.1 บันทึกผลการทดลอง ..... 15

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1 1 ข้อมูลฟ้าอากาศและความชื้น ..... 15

# สารบัญ (ต่อ)

**หน้า**


3.1.2 สถานะของน้ำในใบพืช (relative water content; RWC) 16
3.1.3 การผลิตกรดแอบไซซิก (abscisic acid synthesis) 16
3.1.4 การผลิตฮอร์โมนเอทิลีน (ethylene synthesis) 18
3.1.5 จำนวนใบร่วง (leaf retention) 19
3.1.6 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll density) 19
3.1.7 ความข้มสีใบด้วย SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) 19
3.1.8 ปริมาณสารโพรลีน (proline content) 19
3.1.9 ความสูงต้น (plant height) 20
3.1.10 วิเคราะห์ค่าทางสถิติ 20

**4. ผลการทดลองและอภิปรายผล** 21

4.1 คุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลองและค่าเฉลี่ยความชื้นดิน ในกระถางปลูก 21
4.2 สถานะของน้ำในใบพืช 23
4.3 การผลิตกรดแอบไซซิก 24
4.4 การผลิตฮอร์โมนเอทิลีน 25
4.5 จำนวนใบร่วง 26
4.6 ปริมาณคลอโรฟิลล์ 27
4.7 ค่าความเข้มสีใบด้วย SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) 30
4.8 ปริมาณสารโพรลีน 33
4.9 ความสูงต้น 34
4.10 สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมี และฮอร์โมนพืช 35

**5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง** 40

รายการอ้างอิง 45

ภาคผนวก 54

ประวัติผู้เขียน 66

# สารบัญตาราง

หน้า


1 พันธุ์มันสำปะหลังในประเทศไทย ..... 7
2 กำหนดการให้น้ำแก่มันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ..... 16
3 ขั้นตอนการตั้งค่าเครื่อง คอลัมป์ และ mode ที่ใช้ในเครื่อง LC-MS ..... 17
4 ค่าการ optimizer ..... 17
5 the gradient elution profile ..... 18
6 run condition โดยเครื่อง gas chromatography ..... 18
7 คุณสมบัติดินที่บรรจุในกระถางปลูก ..... 22
8 ค่าเฉลี่ยความชื้นดิน (%) ในกระถางปลูก ..... 22
9 สถานะของน้ำในใบพืช (RWC) (%) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก ..... 24
10 ปริมาณกรดแอบไซซิก (pmol $cm^2$) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ ..... 25
11 การผลิตฮอร์โมนเอทิลีน (µmol $g^{-1}$FW) $h^{-1}$ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ ..... 26
12 จำนวนใบร่วง (ใบ) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ ..... 27
13 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/$cm^2$) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก ..... 29
14 ค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก ..... 31
15 ปริมาณสารโพรลีน (µmol $g^{-1}$FW) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก ..... 33
16 ความสูงต้น (เซนติเมตร) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก ..... 34

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**หน้า**

17 สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชใน มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในระดับการให้น้ำ 1/3 AW ..... 35
18 สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชใน มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 90 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในระดับการให้น้ำ 1/3 AW ..... 36
19 สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชใน มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในระดับการให้น้ำ 1/3 AW ..... 37
20 สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชใน มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในระดับการให้น้ำ 1/3 AW ..... 38
21 สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชใน มันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในระดับการให้น้ำ 1/3 AW ..... 39

**ตารางภาคผนวกที่**

1 สถานะของน้ำในใบพืช (RWC) (%) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก ..... 60
2 ปริมาณกรดแอบไซซิก (pmol $cm^{2}$) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ ..... 61
3 การผลิตฮอร์โมนเอทิลีน (µmol $g^{-1}$FW) $h^{-1}$ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ ..... 62
4 จำนวนใบร่วง (ใบ) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ ..... 63
5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/$cm^{2}$) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก ..... 64
6 ปริมาณสารโพรลีน (µmol $g^{-1}$FW) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก ..... 65
7 ความสูงต้นของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก ..... 66

# สารบัญภาพ

หน้า


1 ลักษณะทางสัญฐานวิทยาของมันสำปะหลัง ..... 6
2 กำหนดการให้น้ำมันสำปะหลังในสภาพโรงเรือนโดยความชื้นดิน ..... 22
3 ปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างระดับการให้น้ำที่แตกต่างกันกับมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่อายุ 5 เดือน ..... 29
4 ปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างระดับการให้น้ำที่แตกต่างกันกับมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บีที่อายุ 5 เดือน ..... 29
5 ปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างระดับการให้น้ำที่แตกต่างกันกับมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอายุ 5 เดือน ..... 30
6 ปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างระดับการให้น้ำที่แตกต่างกันกับมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ กันต่อค่าความเข้มสีใบ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก ..... 32
7 ตัวอย่างใบมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ..... 32


**ภาพภาคผนวกที่**


1 ลักษณะการจัดวางถังพลาสติก 200 ลิตรและระบบน้ำทั้ง 3 ระบบ ..... 55
2 กราฟมาตรฐาน (standard curve) ของปริมาณสารโพรลีน ..... 56
3 กราฟมาตรฐาน (standard curve) ของกรดแอบไซซิก ..... 57
4 ข้อมูลน้ำระเหยในช่วงทำการศึกษา ..... 65
5 ข้อมูลอุณหภูมิต่ำที่สุด และสูงที่สุดในช่วงทำการศึกษา ..... 66

# คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

| | | |
|---|---|---|
| Ab | = | ค่าดูดกลืนแสง |
| ABA | = | กรดแอบไซซิก (abscisic acid ) |
| AW | = | น้ำที่ใช้ประโยชน์ได้ |
| AWC | = | ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ |
| DMF | = | ไดเม็ทธิลฟอร์มาร์ไมด์ |
| Epan | = | ค่าการระเหยของน้ำที่อ่านได้ในถาดระเหย |
| ETo | = | ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง |
| Etc | = | สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช |
| FC | = | ความจุความชื้นชลประทาน |
| GC | = | แก๊สโครมาโตรกราฟ |
| Hanatee | = | พันธุ์ห้านาที |
| HB80 | = | พันธุ์ห้วยบง 80 |
| Kc | = | ค่าสัมประสิทธิ์พืช |
| Kp | = | ค่าสัมประสิทธิ์คงที่ |
| KU50 | = | พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 |
| PWP | = | จุดเหี่ยวถาวรของพืช |
| R9 | = | พันธุ์ระยอง 9 |
| R90 | = | พันธุ์ระยอง 90 |
| RCBD | = | การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในกลุ่ม |
| rpm | = | ความเร็วรอบต่อนาที |
| RWC | = | สถานะของน้ำในใบพืช |
| SCMR | = | ค่าความเข้มสีของใบที่ได้จากเครื่อง SPAD |
| S.E. | = | ค่าคลาดเคลื่อนมาตราฐาน |
| ˚C | = | องศาเซลเซียส |

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาความสำคัญของปัญหา

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญของโลก สามารถนำไปแปรรูปและใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้หลากหลาย ทำให้มันสำปะหลังกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของหลายประเทศ ทั้งในทวีปแอฟริกา เอเชีย และลาตินอเมริกา ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกมันสำปะหลังอันดับหนึ่งของโลก ในปี 2552-2556 มูลค่าการส่งออกมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.84 เนื่องจากประเทศจีนมีความต้องการใช้มันเส้นและแป้งมันสำปะหลังสูง คิดเป็นร้อยละ 51.5 เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) แต่เนื่องจากในปี 2558 สถานการณ์วิกฤตเศรษฐกิจโลกทำให้ประเทศจีนชะลอการนำเข้า ทำให้ราคาในประเทศปรับตัวลดลง (วิชิต พิมพ์สวัสดิ์, 2558) ปัจจุบันมีการขยายพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในประเทศเพิ่มมากขึ้นแต่ยังไม่เพียงพอต่อการใช้ภายในประเทศ และการผลิตมักประสบปัญหาขาดแคลนพันธุ์ที่เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย นอกจากนี้มันสำปะหลังมักประสบปัญหาความแห้งแล้ง เนื่องจากพื้นที่การปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่เป็นการปลูกโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ซึ่งในบางพื้นที่มีช่วงที่ฝนทิ้งช่วงมากกว่า 4 เดือน และมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 1,200 มิลลิเมตรต่อปี ทำให้มีโอกาสประสบความแห้งแล้งเพิ่มมากขึ้น ผนวกกับปัญหาดินมีความสมบูรณ์ต่ำ มีความเหมาะสมกับการปลูกพืชน้อย จึงทำให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตช้า ผลผลิตหัวมันต่ำ คุณภาพผลผลิตต่ำเปอร์เซ็นต์แป้ง และคุณภาพลดลง มันสำปะหลังส่วนใหญ่จะปลูกในช่วงต้นฤดูฝนคือ เดือน พฤษภาคม แต่ก็ยังพบการปลูกในช่วงฤดูแล้งคือ เดือนตุลาคม - พฤศจิกายน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และคณะ, 2542) เนื่องจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติมีความแปรปรวน เช่น การเกิดน้ำท่วม และสภาพแห้งแล้ง ทำให้พืชต้องใช้กลไกต่าง ๆ เช่น กลไกทางสรีรวิทยา และการปรับตัวทางชีวเคมี เพื่อปรับตัวให้ดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป การขาดน้ำ ส่งผลกระทบต่อการแสดงออกของยีน เช่น การสร้างกลุ่มโปรตีนชื่อว่า heat shock proteins (HSPs) ที่มีหน้าที่เป็น molecular chaperones รักษาโครงสร้างของโปรตีนภายในเซลล์ (วารุณี เดชพิทยานันท์ และคณะ, 2556) กระบวนการสังเคราะห์สารชีวเคมี ฮอร์โมนต่าง ๆ ภายในเซลล์ เช่น โพรลีน ซูโครส และกรดแอบไซซิก (abscisic acid) (Ashraf and Foolad, 2007) การสังเคราะห์สารชีวเคมีดังกล่าว อาจใช้เป็นดัชนีบ่งชี้การทนแล้ง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการคัดเลือก

มันสำปะหลังทนแล้งได้ ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกการตอบสนองของมันสำปะหลังจะเป็นประโยชน์ในการนำปประยุกต์ในการคัดเลือกพืช หรือการใช้เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อหาวิธีแก หรือป้องกันไม่ให้พืชเกิดความเสียหายภายใต้สภาวะเครียดจากน้ำ ในอนาคตการปรับปรุงพันธุ์พืช เพื่อให้ทนทานต่อความเครียดจากสิ่งแวดล้อมจะช่วยตอบสนองความต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้นในประเทศที่กำลังพัฒนาหรือด้อยพัฒนา แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทำได้ทั้งโดยการเขตกรรม และการใช้พันธุ์ที่เหมาะสม ซึ่งการแก้ปัญหาโดยการใช้พันธุ์พืชเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ยั่งยืน แต่การปรับปรุงพันธุ์ก็ต้องใช้เวลา และมีการลงทุนมากเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามการจัดการอย่างผสมผสานทั้งด้านการเขตกรรมร่วมกับการใช้พันธุ์จะเป็นวิธีการที่เหมาะสม และได้ผลมากที่สุด พันธุ์มันสำปะหลังที่สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยได้มีการพัฒนาพันธุ์ออกมาอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ ระยอง 1 ระยอง 3 ระยอง 5 ระยอง 60 ระยอง 72 ระยอง 90 ศรีราชา เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 60 และห้วยบง 80 (มูลนิธิสถาบันพัฒนาสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2544) โดยมีระดับความต้านทานต่อความแห้งแล้งที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษากลไกการต้านทานต่อความแห้งแล้งของมันสำปะหลังพันธ์ต่าง ๆ ดังกล่าวซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมี และฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังภายใต้สภาพที่ได้รับน้ำต่างกัน

1.2.2 ศึกษาระดับความต้านทานต่อความแห้งแล้งของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ เมื่อได้รับน้ำต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 1.3 สมมติฐานการวิจัย

การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมี และฮอร์โมนพืช สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้การทนแล้ง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลัง โดยใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงพันธุ์ได้ และช่วยในการกำหนดทิศทางในการจัดการเพื่อลดความเสียหายที่เกิดจากความแห้งแล้ง

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมี และฮอร์โมนพืช ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยปลูกมันสำปะหลังในกระถางภายใต้สภาพโรงเรือน ที่ฟาร์มมหาวิทยาลัย-เทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้มันสำปะหลัง 5 พันธุ์คือ ระยอง 9 ระยอง 90 เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 80 และห้านาที

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบกลไกการตอบสนองของมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ภายใต้สภาพความแห้งแล้งที่ต่างกัน

1.5.2 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับกลไกการปรับตัวและระดับความต้านทานความแห้งแล้งของมันสำปะหลัง เพื่อไปสู่การศึกษาในขั้นสูง ที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# บทที่ 2
# ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ข้อมูลพื้นฐานของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมมันเส้น มันอัดเม็ดและผลิตเป็นเอทานอล พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในทวีปแอฟริกา ร้อยละ 54.3 ทวีปเอเชียร้อยละ 33.8 และลาตินอเมริการ้อยละ 11.9 โดยเป็นพืชอาหารหลักในทวีปแอฟริกา และเอเชีย ส่วนใหญ่จะใช้บริโภคภายในประเทศประมาณร้อยละ 90 ของผลผลิตทั้งหมด ยกเว้นประเทศไทยและเวียดนามที่มีปริมาณการใช้ภายในประเทศเพียงร้อยละ 25 ของผลผลิตทั้งหมด โดยประเทศผู้ผลิตรายใหญ่คือ ไนจีเรีย ไทย อินโดเนียเซีย บราซิล และคองโก (Faostat, 2015)

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เก็บสะสมอาหารในรูปแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตและเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญแก่คนและสัตว์ มันสำปะหลังในประเทศไทยส่วนใหญ่จะใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมมันเส้น มันอัดเม็ดและอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง (มนสิชา แดงรัศมีโสภณ, 2546) ในปี 2552-2556 มูลค่าการส่งออกมันสำปะหลังโลกเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.84 เนื่องจากประเทศจีนมีความต้องการใช้มันเส้นและแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในประเทศไทย มันสำปะหลังนิยมปลูกเป็นอันดับที่ 3 รองจาก ข้าว และอ้อย ประเทศไทยมีความต้องการมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากยังมีความต้องการเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557)

## 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังถูกค้นพบเมื่อ 2,500 ปีมาแล้ว จากการพบหลักฐานทางโบราณคดีเป็นเครื่องปั้นดินเผาในประเทศเปรู ส่วนการเพาะปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทย ยังไม่พบหลักฐานที่ชัดเจนว่านำเข้ามาปลูกตั้งแต่เมื่อไร (ณิชชาภัฏ บรรพสุวรรณ, 2553) มันสำปะหลังมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz.เป็นพืชในวงศ์เดียวกันกับละหุ่ง และยางพารา(Euphorbiaceae) ชื่อสามัญ คือ Cassava หรือ Tapioca และในทวีปอเมริกา นิยมเรียกว่า Yuca สามารถจำแนกมันสำปะหลังตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ดังนี้

**Kingdom** Plantae

**Class** Dicotyledonae

**Order** Geraniales

**Family** Euphorbiaceae

**Genus** *Manihot*

**Species** *esculenta*

(กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ, 2554)

สามารถแบ่งมันสำปะหลังตามปริมาณกรดไซยาไนด์ (HCN) ในรากได้ 2 ชนิดคือ มันสำปะหลังชนิดหวาน (sweet cassava) กลุ่มที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ สามารถนำไปแปรรูปเป็นอาหารได้โดยตรง ในประเทศไทยไม่นิยมปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ เนื่องจากมีความต้องการอย่างจำกัด มันสำปะหลังชนิดหวาน ได้แก่ พันธุ์ห้านาทีและระยอง 2 มันสำปะหลังชนิดขม (bitter cassava) เป็นกลุ่มที่มีปริมาณไซยาไนด์สูง มีหัวสีเหลือง ให้ปริมาณแป้งสูง ไม่นิยมบริโภคหรือนำไปเป็นอาหารสัตว์โดยตรง นิยมใช้แปรรูปในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น แป้งมัน มันเส้น และมันอัดเม็ด เป็นต้น (มนสิชา แดงรัสมีโสภน, 2546; กลุ่มสารสนเทศอิเล็กทรอนิกส์ สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561) มันสำปะหลังไม่ชอบร่มเงา ต้องการแดดจัด 10-12 ชั่วโมงต่อวัน จัดเป็นพืชกลุ่ม C3 สามารถทนแล้งได้ดี ไม่ทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง ต้องการดินที่มีการระบายน้ำดี (คณะทรัพยากรธรรมชาติ ม.สงขลานครินทร์, 2545) อุณหภูมิที่เหมาะแก่การปลูกมันสำปะหลังคือ 18-35°C ปริมาณน้ำฝนที่ต้องการ คือ 1200-1500 มิลลิเมตร ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50-60 ดินที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตควรเป็นดินร่วนปนทราย เป็นดินที่มีการระบายน้ำดี ไม่ควรปลูกในดินเหนียวจัด แมลงศัตรูพืช คือ ไรแดง ปลวก เพลี้ย และด้วงหนวดยาว โรคที่เข้าทำลาย คือ ใบจุดสีน้ำตาล ใบไหม้และหัวเน่า (กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ, 2554)

**เมล็ด** ใน 1 ฝัก จะมีประมาณ 5 เมล็ดแล้วแต่พันธุ์ เมื่อเมล็ดแก่เต็มที่จะมีสีน้ำตาลลายดำ ฝักจะแตก และเมล็ดจะร่วง การขยายพันธุ์ส่วนใหญ่จะใช้ท่อนพันธุ์เนื่องจากเมล็ดมีระยะการพักตัวนานถึง 2 เดือน มักเกิด inbreeding และเมล็ดจะสูญเสียความงอกประมาณร้อยละ 50 ต้องเพาะต้นกล้าก่อนย้ายปลูกนาน 1 เดือน

**ดอก** มันสำปะหลังมีทั้งดอกตัวเมีย และตัวผู้ในต้นเดียวกัน แต่อยู่แยกดอกกัน จัดเป็นพืชผสมข้าม (monoecious) เนื่องจากดอกตัวเมียจะบาน และพร้อมผสมก่อนดอกตัวผู้ การผสมตามธรรมชาติของมันสำปะหลังจะอาศัยลม และแมลงเป็นสิ่งนำพาละอองเกสรไปตกลงบน stigma ของดอกตัวเมีย

**ใบ** ลักษณะใบ รูปร่าง แฉกใบ และสีใบจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ จำนวนแฉกใบมีประมาณ 3-12 แฉก ช่วง 10-12 วันหลังปลูกจะมีใบแรกเกิดขึ้น จากนั้น 30 วันหลังปลูกใบจะขยายเต็มที่และเริ่มกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

**ลำต้น** ความสูงต้น การแตกกิ่ง แตกต่างกันตามพันธุ์และสภาพแวดล้อม อาจสูง 1-5 เมตร แตกกิ่งประมาณ 2-4 กิ่ง มันสำปะหลังเป็นไม้เนื้ออ่อน ต้นเปราะหักง่าย ส่วนของลำต้นที่มีอายุตั้งแต่ 6 เดือนขึ้นไปนิยมเอาไปปลูกเพื่อขยายพันธุ์

**ราก** มันสำปะหลังจะมีระบบรากแบบ adventitious root จะเกิด 5-7 วันหลังปลูก และเมื่ออายุ 2-3 เดือน รากจะเริ่มขยายและจะเจริญไปทางลึกมากกว่าด้านข้างเพื่อหาอาหารให้แก่ลำต้น จำนวนหัว รูปร่าง ขนาด สี น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์แป้ง แตกต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์ อายุ และสภาพแวดล้อม (กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ, 2554) รากมันสำปะหลังประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตในปริมาณสูง เฉลี่ยร้อยละ 30-35 มีโปรตีน เส้นใย เฉลี่ยร้อยละ 1-2 น้ำ เฉลี่ยร้อยละ 60-65 มีแร่ธาตุและวิตามินในปริมาณต่ำ (สุรีลักษณ์ รอดทอง และคณะ, 2541)

**ภาพที่ 1** ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของมันสำปะหลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## ตารางที่ 1 พันธุ์มันสำปะหลังในประเทศไทย

| พันธุ์ | ลักษณะพันธุ์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | สียอด | สีลำต้น | เปอร์เซ็นต์แป้ง (%) | ผลผลิต (ตัน/ไร่) | ข้อจำกัด | พ่อแม่พันธุ์ |
| ระยอง 1 | ม่วง | เขียวม่วง | 18-19 | 3.2 | เปอร์เซ็นต์แป้งต่ำ และไม่ทนต่อสภาพแห้งแล้ง | รวบรวมและคัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมือง |
| ระยอง 5 | ม่วงอมน้ำตาล | เขียวน้ำตาล | 25-27 | 4.4 | อ่อนแอต่อโรคใบไหม้ | 27-77-10 และระยอง 3 |
| ระยอง 9 | เขียวอ่อน | เหลืองน้ำตาล | 28-31 | 4.9 | ไม่ต้านทานไรแดง ไม่เหมาะที่จะปลูกในดินเหนียว และดินร่วน | CMR31-19-23 และ OMR29-20-118 |
| ระยอง 72 | ม่วง | เขียวเงิน | 20-24 | 5.1 | อ่อนแอนต่อโรคใบไหม้ | ระยอง 1 และระยอง 5 |
| ระยอง 90 | เขียวอ่อน | น้ำตาลส้ม | 27-29 | 3.8 | ลำต้นโค้ง และท่อนพันธุ์เสื่อมคุณภาพเร็ว | CMC 76 และV 43 |
| เกษตรศาสตร์ 50 | ม่วงเข้ม | เขียวเงิน | 23-28 | 4.4 | ลำต้นโค้ง และแตกกิ่งก้าน ทำให้ไม่สะดวกในการจัดการ | ระยอง 1 และระยอง 90 |
| ห้วยบง 60 | ม่วง | เขียวเงิน | 25-16 | 5.8 | ต้านทานต่อโรคใบจุดปานกลาง | ระยอง 5 และเกษตรศาสตร์50 |
| ห้วยบง 80 | เขียว | เขียวเงิน | 27-28 | 4.9 | ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุไม่น้อยกว่า 10 เดือน | ระยอง 5 และเกษตรศาสตร์ 50 |
| ศรีราชา 1 | ม่วง | เขียวม่วง | 22-23 | 3.2 | เปอร์เซ็นต์แป้งต่ำ | MKU 2-162 และระยอง 1 |
| ห้านาที | เขียว | น้ำตาลเข้ม | 14-15 | 2.3 | ผลผลิตต่ำ | ไม่ทราบแน่นอน คาดนำเข้ามาจากประเทศมาเลเซีย |

(ที่มา: กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ, 2554; กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ และคณะ, 2554)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 2.3 ความสัมพันธ์ของน้ำต่อพืช

น้ำเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ที่อยู่ในพืช มันสำปะหลังมีน้ำรวมเฉลี่ยร้อยละ 60-65 (สุรีลักษณ์ รอดทอง และคณะ, 2541) น้ำมีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของพืช โดยน้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์ เป็นตัวทำละลายสารละลายต่าง ๆ ช่วยในการลำเลียงสาร ช่วยให้เซลล์คงรูปและสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (พรรณธิภา ณ เชียงใหม่ และภัทราพร ภุมรินทร์, 2550) นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการลดอุณหภูมิภายในต้นพืชและรักษาอุณหภูมิภายในไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงที่เร็วเกินไป การเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ อาศัยน้ำเป็นปัจจัยสำคัญ รวมทั้งเปลี่ยนโมเลกุลน้ำตาลให้เป็นแป้ง โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ต่าง ๆ และเป็นแหล่งผลิต ATP ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (พงศ์ศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์ และคณะ, 2555) หากพืชขาดน้ำจะมีผลกระทบต่อกระบวนการดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตลดลง พืชแต่ละชนิด มีความต้องการน้ำแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างประกอบกัน เช่น สภาพภูมิอากาศบริเวณรอบ ๆ การระเหยของน้ำจากดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความชื้นภายในดิน ช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช ความสามารถในการทนแล้งของพืชและอัตราการคายน้ำของพืช (จันทร์จิรา สมจันทร์, 2552)

### 2.3.1 ชนิดของน้ำในดิน และระดับความชื้นในดิน

การเรียงตัวของเม็ดดินทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดแตกต่างกันไป ทำให้น้ำ และอากาศสามารถแทรกตัวอยู่ตามช่องว่างเหล่านั้นด้วย ถ้าปริมาณน้ำมากกว่าอากาศ สามารถกล่าวได้ว่าดินนั้นอิ่มไปด้วยน้ำ (saturated) แต่เนื่องจากมีแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้น้ำบางส่วนไหลลงด้านล่าง เรียกน้ำชนิดนี้ว่า น้ำอิสระ (free water) ความชื้นในดินจะลดลงจนน้ำในช่องว่างขนาดใหญ่หมดไป เหลือเฉพาะน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดเล็ก ซึ่งน้ำในดินค่อนข้างคงที่ เรียกว่า ความจุความชื้นสนาม (field capacity) จากนั้นเมื่อน้ำในดินลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดที่พืชไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ได้ และแสดงอาการเหี่ยว เรียกว่า จุดเหี่ยว (wilting point) (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน, 2554) กล่าวคือ พืชจะดูดน้ำได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในดิน ถ้าน้ำเคลื่อนที่ในดินได้น้อย จะทำให้พืชตกอยู่ในสภาวะเครียดจากน้ำ หน่วยความเครียดน้ำ เช่น บาร์ ปอนด์/นิ้ว กรัม/เซนติเมตร กิโลกรัม/เซนติเมตร เป็นต้น แต่หน่วยที่นิยมใช้วัดความเครียดน้ำทั่วไป คือ บาร์ (ความเครียด 1 บาร์ เท่ากับความสูงของน้ำ 1,000 เซนติเมตร หรือ 1 บรรยากาศ) (สมบูรณ์ มั่นความดี และคณะ, 2551) ความชื้นในดินสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

#### 2.3.1.1 ระดับความชื้นของดิน (soil water content)

ประกอบไปด้วย จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ จุดความชื้นชลประทาน จุดเหี่ยวถาวรและจุดอบแห้งด้วยเตาอบ โดยช่วงที่สำคัญต่อการชลประทานคือ ช่วงระหว่างจุดความชื้นชลประทานกับจุดเหี่ยวถาวร ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

มีค่าประมาณร้อยละ 70 อยู่ระหว่างจุดความชื้นชลประทาน ถึง 5 บรรยากาศ พืชจะแสดงอาการเหี่ยว และส่งผลให้พืชเกิดความเครียดน้ำถ้าในดินมีความชื้นต่ำกว่า 5 บรรยากาศ (พรรณธิภา ณ เชียงใหม่ และภัทราพร ภุมรินทร์, 2550)

**2.3.1.2 ความจุความชื้นชลประทาน (field capacity, FC)**

เป็นความชื้นที่เหลืออยู่ในดินเมื่อแรงดึงความชื้นภายในมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.3 บรรยากาศ (0.1 บรรยากาศสำหรับดินทราย และ 0.3 บรรยากาศสำหรับดินเหนียว) ความชื้นในระดับนี้เหมาะสมกับพืช พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ พืชสามารถอุ้มน้ำหรือดูดยึดน้ำได้มากที่สุด ในทางปฏิบัติค่าความจุความชื้นชลประทานไม่สามารถคำนวณเป็นค่าที่แน่นอนได้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในช่องขนาดเล็กหรือน้ำซับ (capillary water) ไม่คงที่ ดังนั้นในทางทฤษฎีถือว่าความชื้นในดินที่มีการระบายน้ำที่ดีหลังจากการให้น้ำหรือหลังฝนตกหนักแล้ว 2 - 3 วัน เป็นความชื้นที่ความจุความชื้นชลประทาน

**2.3.1.3 จุดเหี่ยวถาวรของพืช (permanent wilting point, PWP)**

เป็นความชื้นที่เหลืออยู่ในดิน เมื่อมีแรงดันความชื้น 15 บรรยากาศ หรือ น้ำในช่องว่างของดินมีปริมาณอยู่น้อย เป็นความชื้นที่พืชไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ให้เพียงพอต่อการคายน้ำในช่วงกลางวันที่มีอากาศร้อนมาก ทำให้พืชจะแสดงอาการเหี่ยวเฉาแบบชั่วคราวหรือถาวรขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ ในทางปฏิบัติจะไม่ให้พืชอยู่ที่จุดเหี่ยวถาวรเนื่องจากพืชจะชะงักการเจริญเติบโต

**2.3.1.4 ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available water capacity, AWC)**

เป็นความจุความชื้นในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต เป็นผลต่างระหว่างความชื้นชลประทานกับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร วัดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง หมายความว่า ถ้าดินในเขตรากยังมีความชื้นอยู่เหนือระดับจุดเหี่ยวถาวร พืชส่วนใหญ่จะไม่แสดงอาการเหี่ยว แต่พืชบางชนิดที่ต้องการน้ำมากหรือมีความไวต่อการขาดน้ำ จะแสดงอาการเหี่ยว (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน, 2554)

## 2.4 การวัดความชื้นของดิน

การคำนวณหาปริมาณน้ำในดิน สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำในช่องว่างกับน้ำหนักของดินแห้ง สามารถวัดได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ได้แก่ การวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช (lysimeter tank) โดยการชั่งน้ำหนัก (weighting) เป็นวิธีที่ความแม่นยำสูง โดยการชั่งน้ำหนักรวมกระถาง และต้นพืชสามารถเก็บข้อมูลได้หลายครั้งต่อวัน ข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้วิธีนี้กับพืชที่ลำต้นใหญ่หรือต้นที่มีการขยายของกิ่งก้านมาก และระบบรากถูกจำกัดเนื่องจากต้องปลูกพืชลงในกระถาง และมีการวัดแรงดึงน้ำของดินโดยใช้เครื่องมือ Tensiometer และการวัดโดยน้ำหนัก

(gravimetric method) เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงการวัดโดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย และนิยมทั่วไป โดยเก็บดินตัวอย่างที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร ใช้ที่เก็บดินทรงกระบอก (soil core sample) จากนั้นนำดินใส่ในภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (moisture can) ที่บันทึกน้ำหนักกระป๋องไว้แล้ว บันทึกดินเปียกและนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 36 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักของดินคงที่ นำกระป๋องเก็บตัวอย่างไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้กระป๋องอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วจึงน้ำมาบันทึกน้ำหนัก (เกียรติคุณ ชินประสาทศักดิ์และคณะ, 2551; สภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา, 2555)

**การหาปริมาณความต้องการน้ำของพืช**

การคำนวณความต้องการน้ำของพืชจากการใช้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืช (crop coefficient; Kc)

ข้อมูลการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration; ETo) คำนวณได้จากสูตร

$$ETc = Kc * ETo$$

Etc คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop evapotranspiration หน่วย มม./วัน)

Kc คือ ค่าสัมประสิทธิ์พืช (มันสำปะหลัง ค่า Kc = 0.30 หน่วย มม./วัน)

ETo คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (หน่วย มม./วัน )

ETo คำนวณได้จากสูตร $ETo = Kp \times Epan$

Kp คือ ค่าสัมประสิทธิ์คงที่ (ค่าเฉลี่ย = 0.7)

Epan คือ ค่าการระเหยของน้ำที่อ่านได้ในถาดระเหย (มม.) (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน, 2554)

## 2.5 ความเครียดจากน้ำ

หมายถึง สภาวะที่พืชไม่สามารถดูดน้ำได้ทันการคายน้ำ ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตผิดปกติไปจากเดิม หากขาดน้ำเป็นระยะเวลานานจะมีผลกระทบต่อผลผลิตได้ พืชจึงมีการตอบสนองในหลายรูปแบบเพื่อให้สามารถกลับมาเจริญเติบโตได้อย่างปกติ (ภาวินี คามวุฒิ และคณะ, 2553) ความเครียดจากน้ำเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรทั่วโลก (Leng and Hall, 2019) Cramer *et al*. (2011) ได้กล่าวว่า ร้อยละ 64 ของพื้นที่ทั่วโลกได้รับผลกระทบจากความเครียดจากน้ำ มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไนจีเรีย มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 730 มิลลิเมตรต่อปี พบว่าการปลูกมันสำปะหลังโดยไม่มีการจัดการเรื่องน้ำให้ผลผลิตเฉลี่ย 5 ตันต่อเฮกตาร์ แต่หากมีการจัดการเรื่องน้ำ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 28 ตันต่อเฮกตาร์ (Agricdemy, 2018) ซึ่งเห็นได้ว่าข้อจำกัดของน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อการให้ผลผลิต ถึงแม้มันสำปะหลังจะเป็นพืชที่สามารถทนทานต่อสภาพแห้งแล้งได้ (พัชราพร หนูวิสัย และคณะ, ม.ป.ป.) การตอบสนองต่อความเครียดจากน้ำขึ้นอยู่กับความรุนแรงของช่วงเวลาการขาดน้ำ ความสามารถในการปรับตัวทางสรีรวิทยา การสะสมสารชีวเคมี และแสดงออกของยีน (ตุลาพร แก้วแก่น และวัฒนา พัฒนากูล, 2549; รังสิมา วิเศษศรี และวัฒนา พัฒนากูล, 2555)

เมื่อพืชอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตหรือสภาวะเครียดจากน้ำ พืชจะมีกลไกการต้านทานความแห้งแล้ง สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

**2.5.1 desiccation postponement**

คือ การเลื่อนระยะเวลาการขาดน้ำ เพื่อชะลอการเหี่ยวของใบ โดยจะมีการสะสมสารออส-โมโพรเทคแทนต์เมื่อพืชเกิดความเครียดน้ำ มีการปรับค่า osmotic adjustment ทำให้สามารถควบคุมการปิด เปิดของปากใบ การลดการสะท้อนของใบ การม้วน และการลดพื้นที่ใบเพื่อลดการคายน้ำ เช่น ถั่วสไตโล เมื่อเกิดความเครียดจากน้ำ จะลดการสะท้อนแสงของใบโดยการปรับเปลี่ยนมุมใบ แต่เมื่อมีน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ก็จะปรับมุมใบให้ตั้งฉากเพื่อรับการสังเคราะห์แสงได้อย่างเต็มที่ (พรรณธิภา ณ เชียงใหม่ และภัทราพร ภุมรินทร์, 2550) ฮอร์โมนที่มีความสำคัญในการควบคุมการปิด เปิดของใบ และลดการเสื่อมสภาพของพืชคือ กรดแอบไซซิก และฮอร์โมนเอทิลีน ตามลำดับ

**2.5.2 desiccation tolerance**

คือ การทนทานต่อการไม่มีน้ำ โดยการรักษาสภาพโปรตีน DNA และmembrane จากการเสียหายจากความเครียดน้ำ ทำให้พืชสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ได้ (Tuteja *et al*., 2012)

**2.5.3 drought escape**

คือ การหลีกหนีความแห้งแล้ง เป็นความสามารถของพืชที่จะพัฒนาการเจริญเติบโตให้เป็นไปตามปกติจนครบวงจร ก่อนที่สภาพแห้งแล้งจะเกิดขึ้น เช่นการออกดอก และผลิตเมล็ดเพื่อขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว โดยพืชล้มลุกหรือพืชที่มีอายุสั้นจะมีความสามารถหลีกหนีความแห้งแล้งได้ดี (รัชดาภรณ์ พิทักษ์ธรรม, 2554)

## 2.6 การตอบสนองความเครียดน้ำในพืช

**2.6.1 ผลของสภาพเครียดน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา**

เมื่อพืชขาดน้ำส่งผลให้พืชเจริญเติบโตผิดปกติไปจากเดิม หากขาดน้ำเป็นระยะเวลานานจะมีผลกระทบต่อผลผลิตได้ พืชจึงมีการตอบสนองในหลายรูปแบบเพื่อให้สามารถกลับมาเจริญเติบโตได้อย่างปกติ (ภาวินี คามวุฒิ และคณะ, 2553) โดยทั่วไปความเครียดจากน้ำจะส่งผลให้

พืชปิดปากใบอย่างรวดเร็วและลดขนาดของปากใบ เพื่อชะลอความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับพืช (เอ็จ สโรบล, 2554; Odubanjo *et al*., 2011; Phookaew *et al*., 2014) การปิดของปากใบส่งผลให้อุณหภูมิภายในใบสูงขึ้น คลอโรพลาสต์ และการขนส่งอิเล็กตรอนในวัฏจักรคาร์บอนจึงถูกจำกัด (Anjum *et al*., 2011; ปรียาภรณ์ ต่อวงศ์, 2550) ผลที่ตามมาคือปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง และเนื่องจากคลอโรฟิลล์ทำหน้าสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้น เมื่ออยู่ในสภาวะเครียดจากน้ำ ทำให้พืชลดการสังเคราะห์ด้วยแสงตามไปด้วย (เนตรชนก เวียนเสี้ยว และคณะ, 2556) การแบ่งเซลล์และการเจริญเติบโตทางลำต้นของพืชลดลง เนื่องจากแรงดันเต่งในเซลล์ลดลง ส่งผลให้เซลล์มีขนาดเล็กลง และหากมีน้ำในดินไม่มากพอ จะทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตทางลำต้น (Chaves *et al*., 2009; ธนากร วิมลศิลป์ และภูมิศักดิ์ แพทยานนท์, 2536)

**2.6.2 ผลของสภาพเครียดน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และฮอร์โมนพืช**

เมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากน้ำ พืชจะมีการสังเคราะห์ และสะสมสารออสโมโพรเทค-แทนต์ (osmoprotectant) เพื่อควบคุมค่า osmotic potential ในรากให้มีค่าสูงกว่าในดิน ทำให้พืชสามารถรักษาศักดิ์ของน้ำภายในเซลล์ให้ต่ำกว่าระดับน้ำภายนอกเซลล์ น้ำจึงเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ได้อย่างต่อเนื่อง (สุมาลี คงสอดทรัพย์ และวัฒนา พัฒนากูล, 2555) และช่วยรักษาสภาพของเอนไซม์ รวมไปถึงช่วยเยื่อหุ้มเซลล์และส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ภายใต้สภาวะเครียดจากน้ำ (Pareek *et al*., 2010) สารป้องกันแรงดันออสโมติกมีหลายประเภท ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล และอนุพันธ์ของน้ำตาล เช่น ซูโครส โพลิออล ทรีฮาโลส โพรลีน (ธนากร แสงสง่า, 2557)

โพรลีน จัดอยู่ในกลุ่มอะมิโน โดยปกติพืชจะมีการสะสมหรือสังเคราะห์อยู่ในระดับต่ำ แต่เมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากน้ำจะมีการสะสมเพิ่มมากขึ้น เพื่อลดแรงดันออสโมติก (เจนนี่ เจา และคณะ, 2553; Pareek *et al*., 2010) สุกัญญา ใจโพธิ์ และสุรินทร์ นิลสำราญจิต (2545) ได้ศึกษาผลของสภาวะเครียดจากน้ำต่อปริมาณโพรลีนในระยะออกดอก และติดผลในสตรอเบอรี่ พบว่าเมื่องดน้ำทันที ปริมาณสารโพรลีนเพิ่มขึ้นร้อยละ 57.76 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับน้ำปกติ Carvalho *et al*. (2016) ศึกษาผลของ ปริมาณสารโพรลีน และลักษณะทางสรีรวิทยาในมันสำปะหลัง 10 พันธุ์ ภายใต้สภาวะเครียดจากน้ำ พบว่า มีการสะสมปริมาณสารโพรลีนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการลดลงของลักษณะทางสรีรวิทยาคือ ความสูงต้น จำนวนกิ่ง ใบ และพื้นที่ทรงพุ่ม สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารโพรลีนเป็นดัชนีชี้วัดการต้านทานความเครียดน้ำได้

พืชเมื่ออยู่ในสภาพแห้งแล้ง จะมีการสร้างกลุ่ม phytohormones ที่ชื่อว่า stress hormones ได้แก่ กรดแอบไซซิก เอทิลีน และไซโตไคนิน ส่วนใหญ่เป็น secondary products ที่สะสมในพืช มีบทบาทน้อยในกระบวนการเมตาบอลิซึมตามปกติ (Pessarakli, 2010; ปรารถนา จันทรทา และคณะ, 2547)

กรดแอบไซซิก (abscisic acid) หรือ ABA เป็นฮอร์โมนสำคัญเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากน้ำ กรดแอบไซซิก จะกระตุ้นให้พืชปิดปากใบ เพื่อลดอัตราการคายน้ำและรักษาความสมดุลของน้ำภายในเซลล์ (Pessarakli, 2010; Hsiao, 1973; นพดล จรัสสัมฤทธิ์, 2537) และมีส่วนในการกระตุ้นให้พืชสร้างฮอร์โมนเอทิลีนเพื่อเร่งการหลุดร่วงของใบ ลดการสังเคราะห์ และเพิ่มการสะสมของสารออสโมโพรเทคแทนต์ (Ashraf, 2010; Pareek, 2010) ลดการสูญเสียน้ำจากกระบวนการหายใจ ลดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในระยะเวลาสั้น ๆ ให้แก่พืช (Waseem *et al*., 2011) ทำให้พืชสามารถอยู่รอดได้จากสภาวะเครียดจากน้ำ Alves and Setter (2004) ศึกษาการสะสมของ กรดแอบไซซิก เปรียบเทียบกันระหว่างใบอ่อนและใบแก่ของมันสำปะหลังอายุ 3 และ6 เดือน ภายใต้สภาวะเครียดจากน้ำ พบว่า เมื่อมันสำปะหลังขาดน้ำ ความเข้มข้นของกรดแอบไซซิก เพิ่มขึ้นมากกว่า 4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับน้ำปกติ และสะสมมากในในอ่อนมากกว่าใบแก่ Luis and Tim (2013) ศึกษามันสำปะหลังอายุ 60 วันหลังปลูกภายใต้สภาวะเครียดจากน้ำ พบว่าความเครียดน้ำมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโต การเพิ่มคายน้ำ การหลุดร่วงของใบ การลดลงของผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการสะสมกรดแอบไซซิก โดยช่วงวันที่ 0-10 วันหลังงดน้ำ มีกรดแอบไซซิกมากเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำปกติ

เอทิลีน เป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะเป็นแก๊ส ในช่วงการเจริญเติบโตของพืชจะมีการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนที่แตกต่างกัน หน้าที่ที่สำคัญคือ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อ การพัฒนาตาข้าง การหลุดร่วงของใบ ดอก และการสุกของผล เมื่อมีฮอร์โมนเอทิลีนสูงจะเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช (ธนากร แสงสง่า, 2557) เมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากน้ำ พืชจะมีการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนเพื่อตอบสนองต่อความเครียด (ปรารถนา จันทร์ทา และคณะ, 2547.) ทำให้เกิดการกระตุ้นกระบวนการต่าง ๆ เช่น การหลุดร่วงของดอกและใบบริเวณ absission zone เพื่อลดการคายน้ำ (กนกวรรณ เสรีภาพ, 2555) Apelbaum and Yang (1981) ศึกษาผลของสภาวะเครียดจากน้ำต่อข้าวสาลี พบว่า ข้าวสาลีที่ได้รับน้ำที่จัดอยู่ในกลุ่มเครียดจากน้ำ มีการผลิตฮอร์โมนเอทิลีน 30 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มให้น้ำปกติ Sadeghi and Ghanaatiyan (2017) ศึกษาผลของสภาวะเครียดจากน้ำต่อ ชิโครี่ (*Cichorium intybus* L.*)* พบว่า เมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากน้ำจะทำให้ความสูงต้นและพื้นที่ใบลดลง แต่ปริมาณฮอร์โมนเอทิลีนเพิ่มขึ้น คาดว่า พันธุ์ที่สามารถผลิตฮอร์โมนเอทิลีนได้มากเมื่ออยู่ในสภาวะเครียดจากน้ำ พันธุ์นั้นสามารถต้านทานต่อความแห้งแล้งได้

## 2.7 การตรวจวัดความเครียดน้ำในพืช

การตรวจวัดสถานะของน้ำที่อยู่ด้านในใบพืชต่อการตอบสนองต่อสภาวะเครียดจากน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น สถานะของน้ำในใบพืช (relative water content ; RWC) โดยการเปรียบเทียบค่ากับใบที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และการวัดพลังงานศักย์ของน้ำในใบ (leaf water potential)

โดยใช้ pressure bomb (Jones, 2004) การวัดโดยการใช้ pressure bomb มีค่าใช้จ่ายสูง และอาจเป็นเครื่องมือที่ต้องใช้แรงดัน อาจมีอันตรายต่อผู้ใช้ได้ สถานะของน้ำในใบพืชเป็นตัวบ่งชี้สำคัญของปริมาณน้ำในใบพืชหรือการขาดน้ำในใบพืชได้ (Roth *et al*., 2012; Soltys-Kalina *et al*., 2016) การวัดค่าสถานะของน้ำในใบพืชมีความแม่นยำสูง ค่าที่ได้เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ มักเปรียบเทียบกับสภาพเมื่อมีน้ำเต็มที่ หากมีค่าน้อยแสดงถึงระดับการสูญเสียน้ำของพืช (สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ และคณะ, ม.ป.ป.) สามารถใช้เป็นลักษณะบ่งชี้การทนแล้งในพืชหลายชนิด (Tanentzap *et al*., 2015) เช่น ยางพารา (Ranjan *et al*., 2017) งา (Hassanzadeh *et al*., 2009) และอ้อย (Dapanage and Bhat, 2018)

**2.7.1 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา**

กลไกการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชที่เกิดจากสภาวะเครียดจากน้ำ สามารถเกิดได้ทุกระยะการเจริญเติบโตของพืช ส่งผลกระทบต่อกระบวนการต่าง ๆ เช่น การลดอัตราการเจริญเติบโต กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลถึงการลดลงของผลผลิต หรือ การตายของเซลล์พืช (ตุลาพร แก้วแก่น และวัฒนา พัฒนากูล, 2549) โดยทั่วไป เมื่อเกิดสภาวะเครียดจากน้ำ พืชจะสร้างสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) ทำปฏิกิริยากับไขมันที่ผนังเซลล์ จึงเกิดการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง และส่งผลกระทบถึงการรักษาระดับคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ (ศิริพร ศรีภิญโญวณิชย์ และรัฐธิภา ธนารักษ์, 2560) สารเคมีที่นิยมใช้เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ ได้แก่ acetone, methanol และN,N-dimethylformamide (DMF) เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์คือ spectrophotometer อีกหนึ่งวิธีที่สามารถวัดความเข้มสีของใบ และไม่ทำลายพืชคือ ใช้ SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) (ชุติมา ยานสาร และคณะ, 2557; Jangpromma *et al*., 2010)

**2.7.2 การสะสมสารออสโมโพรเทคแทนต์และฮอร์โมน**

พืชจะมีการตอบสนองความเครียดน้ำด้วยการสะสมสารออสโมโพรเทคแทนต์ เพื่อปรับแรงดันออสโมติกภายในเซลล์ให้ต่ำ การวัดแรงดันออสโมติก ทำได้โดยการวัดค่า ออสโมแลลิติ (osmolality) เป็นการวัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในเซลล์ (Alves, 2002) การสะสมสารโพรลีนเพิ่มขึ้น เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่พืชสร้างขึ้นมาเพื่อปรับแรงดันออสโมติกเมื่อพืชอยู่ภายใต้สภาวะเครียดจากน้ำ การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารโพรลีนสามารถใช้เป็นลักษณะบ่งชี้การทนแล้งในพืชหลายชนิด (Kadam *et al*., 2017; Nazar *et al*., 2015) เช่น ข้าว (Zu *et al*., 2017) สน (Corcuera *et al*., 2012) และมันสำปะหลัง (Sundaresan and Sudhakaran, 1995) เนื่องจากฮอร์โมนที่เกิดขึ้นการตอบสนองของพืชมักมีความเข้มข้นต่ำ ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจหาจึงต้องมีความไว และมีความจำเพาะเจาะจง เครื่องมือที่นิยมใช้วัดฮอร์โมนที่สำคัญ ได้แก่ gas chromatography (GC) (Fiserova *et al*., 2008) และ liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MC) (Arango *et al*., 2010)

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินงานวิจัย

**การตอบสนองทางสรีรวิทยา ชีวเคมี และฮอร์โมนของสำปะหลัง ภายใต้สภาพความแห้งแล้งในโรงเรือน**

วางแผนการทดลองแบบ 3x5 factorial in randomized complet block (RCB) จำนวน 4 ซ้ำ กำหนดให้ปัจจัยที่ 1 เป็นระดับการให้น้ำมี 3 ระดับ คือ การให้น้ำที่ความชื้นระดับความจุสนาม (field capacity) การให้น้ำที่ระดับ 2/3 และ1/3 ของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน (available water) โดยระบบน้ำหยด กำหนดให้ปัจจัยที่ 2 เป็นมันสำปะหลังจำนวน 5 พันธุ์ คือ พันธุ์ ระยอง 9 ระยอง 90 และห้านาที (กลุ่มมันสำปะหลังไม่ทนแล้ง) ห้วยบง 80 และเกษตรศาสตร์ 50 (กลุ่มพันธุ์มันสำปะหลังทนแล้ง) โดยปลูกมันสำปะหลังกระถางละ 1 ต้น ในถังพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ความสูง 70 เซนติเมตร บรรจุดินน้ำหนัก 200 กิโลกรัม ปลูกภายในโรงเรือนฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หลังปลูกกำจัดวัชพืชด้วยมือ ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ที่อายุ 30 วันหลังปลูก คำนวณการให้น้ำได้จากสูตร ET crop = ETo x Kc ร่วมกับการวัดความชื้นดินด้วยวิธี gravimetric โดยเก็บความชื้นดินทุกสัปดาห์ เริ่มงดน้ำมันสำปะหลังที่อายุ 2 เดือนให้ได้ระดับความชื้นดินที่ 2/3 AW และ 1/3 AW ตามลำดับ จากนั้นให้น้ำตามระดับที่กำหนดไว้ตลอดช่วงที่ทำการทดลอง

## 3.1 บันทึกผลการทดลอง

### 3.1 1 ข้อมูลฟ้าอากาศและความชื้น

เก็บข้อมูลปริมาณน้ำระเหย และน้ำฝนของสถานีอากาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อคำนวณหาความต้องการน้ำของพืช และเก็บข้อมูลความชื้นดินทุก ๆ 10 วันที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร โดยใช้ที่เก็บดินทรงกระบอก (soil core sample) หลังจากเก็บตัวอย่างดินใส่กระป๋องอะลูมิเนียม นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105˚C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นเอากระป๋องออกจากตู้อบ ชั่งน้ำหนักหลังอบ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน โดยคำนวณตามวิธีของ ศุภชาติ วรรณวงษ์ (2545) แสดงสูตรดังนี้

$$\text{ความชื้นดิน (\%)} = \frac{\text{(น้ำหนักดินก่อนอบ (กรัม) – น้ำหนักดินหลังอบ (กรัม))}}{\text{น้ำหนักดินก่อนอบ (กรัม)}} \times 100$$

**ตารางที่ 2** กำหนดการให้น้ำแก่มันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ

| ระดับน้ำ | ความชื้น (%vol) | ปริมาณน้ำ (L) |
|---|---|---|
| FC | 28.06 | 5.48 |
| 2/3 AW | 22.45 | 3.43 |
| 1/3 AW | 16.84 | 2.25 |

**3.1.2 สถานะของน้ำในใบพืช (relative water content; RWC)**

วัดสถานะของน้ำในใบพืชโดยเก็บตัวอย่างใบที่ 3 นับจากยอด (ใบที่แผ่ขยายเต็มที่) ในช่วงเวลา 10.00–12.00 นาฬิกา นำใบมาชั่งน้ำหนักสด (fresh weight) จากนั้นนำไปแช่ในน้ำปราศจากไอออน (DI water) นาน 4 ชั่วโมงเพื่อให้ใบได้รับน้ำเต็มที่ จากนั้นชั่งน้ำหนักใบเต่ง (turgid weight) แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 65°C นาน 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง (dry weight) บันทึกข้อมูลเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 3, 4 และ5 เดือนหลังปลูก โดยคำนวณตามวิธีของปรียานุช ลาขุนทด และคณะ (2558) แสดงสูตรดังนี้

$$RWC = \frac{\text{น้ำหนักสด - น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักเต่ง -น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

**3.1.3 ปริมาณกรดแอบไซซิก (abscisic acid synthesis)**

เก็บตัวอย่างใบที่ 4-5 นับจากยอด ชั่งน้ำหนัก 0.3 g. บดด้วย liquid nitrogen ให้ละเอียด เติม 80% ethanol และ1% acetic acid 550 µl.บ่มที่ 4°C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไป centrifuge 12,000 rpm นาน 5 นาที ทำให้สารมีความเข้มข้นมากขึ้นโดยการใช้เครื่อง vacuum-dried ที่อุณหภูมิ 35°C นาน 10 นาที เติม 20% methanol, 1% acetic acid 100 µl จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณกรดแอบไซซิก บันทึกผลที่ 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 2 เดือนหลังปลูก โดยใช้เครื่องแยกสารอย่างรวดเร็ว (liquid chromatography–mass spectrometry) (บริษัท Agilent technologies รุ่น 6490 Triple Quad LC/MS) คอลัมน์ที่ใช้ในการทำให้สารบริสุทธิ์ คือ C18 (บริษัท Agilent technologies) ขั้นตอนการตั้งค่าเครื่องตามวิธีของ Xu *et al*. (n.d.) ดังนี้

**ตารางที่ 3** ขั้นตอนการตั้งค่าเครื่อง คอลัมป์ และ mode ที่ใช้ในเครื่อง LC-MS

| | |
|---|---|
| **LC configuration และ condition** | |
| column | Agilent C18 4.6 x 100 mm., 5.0 µm |
| injection volume | 5 µl. |
| mobile phase | A) 0.05% formic acid |
| | B) 100% acetonitrile |
| gradien | 0.2 ml/min |
| **MS cofiguration และ conditions** | |
| ionization mode | negative ionization |
| scaning mode | multiple reaction monitoring (MRM) |
| dry gas temperature | 200˚C |
| dry gas flow rate | 14 L/min |
| sheat gas flow rate | 11 L/min |

**ตารางที่ 4** ค่าการ optimizer

| **precursor (m/z)** | **fragmentor (V)** | **product Ion (m/z)** | **CE (V)** | **abundance** |
|---|---|---|---|---|
| 263.31 | 380 | 153 | 10 | 63500 |
| 263.31 | 380 | 204.1 | 10 | 32778 |
| 263.31 | 380 | 219.1 | 10 | 78604 |
| 263.31 | 380 | 219.1 | 10 | 79919 |

โหมด SCAN

hip sample 5 µl., wash vial : 50:50 methanol:acetonitrile (v/v), start mass : 100-700 cell voltage : 5, post time 3 นาที, stop time 25 นาที

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ตารางที่ 5** the gradient elution profile

| เวลา (min) | สารละลาย A (%) | สารละลาย B (%) | flow rate (ml./min) |
|---|---|---|---|
| 0 | 95 | 5 | 0.2 |
| 2 | 95 | 5 | 0.2 |
| 12 | 20 | 80 | 0.2 |
| 18 | 20 | 80 | 0.2 |
| 18.1 | 95 | 5 | 0.2 |
| 24 | 95 | 5 | 0.2 |

**3.1.4 การผลิตฮอร์โมนเอทิลีน (ethylene synthesis)**

เก็บตัวอย่างใบที่แผ่ขยายเต็มที่ ชั่งน้ำหนักสด แล้วใส่ในหลอดทดลองที่มีจุกยางปิดสนิทที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นดูดก๊าซภายในด้วยกระบอกฉีดยาที่เป็นสูญญากาศปริมาตร 1 ml. แล้วฉีดเข้าเครื่อง gas chromatography โดย คอลัมน์ ที่ใช้และ run conditions ดังแสดงในตารางที่ 3.4 บันทึกผลที่ 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 เดือนหลังปลูก

**ตารางที่ 6** run condition โดยเครื่อง gas chromatography

| **run conditions** | |
|---|---|
| column | 5' x 1/8" ss packed with hayesept |
| column temp | 80-90°c |
| sample | 1 ml. |
| detector | att x 216, 180°c |
| carrier | Helium, 30 cc/min |

ที่มา: Valco Instruments Company Inc. (n.d.)

คำนวณการผลิตฮอร์โมนเอทิลีน โดยเปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของเอทิลีนมาตรฐานตามวิธีของ Hardy *et al*. (1973) แสดงสูตรดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$\text{อัตราการผลิตฮอร์โมนเอทิลีน} = \frac{10^3 \text{ X B X V}}{2000 \text{ X Std. X A X } 22.4}$$

เมื่อ B = พื้นที่ใต้กราฟของพืชตัวอย่าง

V = ปริมาตรของภาชนะที่ใช้เก็บตัวอย่าง (ml.)

Std. = พื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยของฮอร์โมนเอทิลีนมาตรฐาน

A = เวลาที่ใช้ในการรีดิวซ์แก๊สอะเซทิลีน (ชั่วโมง)

**3.1.5 จำนวนใบร่วง (leaf retention)**

เก็บข้อมูลจำนวนใบร่วงในกระถาง โดยนับจำนวนใบร่วงหลังงดน้ำ 1, 2 และ 3 สัปดาห์ เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 2 เดือนหลังปลูก

**3.1.6 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll density)**

วัดปริมาณคลอโรฟิลล์โดยเก็บตัวอย่างใบตำแหน่งที่ 4-5 (ใบที่แผ่ขยายเต็มที่) เจาะใบให้เป็นวงกลมให้มีพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ด้วย cork borer จากนั้นใส่ลงในหลอดทดลอง เติม N,N dimethylformamide (DMF) 3000 µl. ปิดปากทดลองด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปเก็บที่ตู้แช่ 4°C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้วัดค่าดูดกลืนแสง (absorbance, A) ความยาวคลื่น 647 และ664 ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยใช้สารละลาย DMF เป็น blank บันทึกข้อมูลเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก โดยคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ ตามวิธีของ ชุติมา ยานสาร และคณะ (2557) โดยแสดงสูตรดังนี้

$$\text{chlorophyll a} = 12\ A_{664} - 3.11\ A_{647}$$

$$\text{chlorophyll b} = 20.78\ A_{647} - 4.88\ A_{664}$$

$$\text{total chl} = \text{chl a} + \text{chl b}$$

**3.1.7 ความเข้มสีใบด้วย SPAD chlorophyll meter reading (SCMR)**

บันทึกค่า SCMR ในช่วงเวลา 10.00-12.00 นาฬิกา โดยใช้ chlorophyll meter SPAD-502 plus สุ่มวัดใบตำแหน่งที่ 4-5 นับจากยอด 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย บันทึกข้อมูลเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก

**3.1.8 ปริมาณสารโพรลีน (proline content)**

วัดปริมาณโพรลีนโดยนำตัวอย่างใบที่ 4-5 นับจากยอด (Turyagyenda *et al*., 2013) วัดปริมาณสารโพรลีน ตามวิธีการของ Bates *et al*., 1973 โดยบดตัวอย่างใบ 0.5 กรัม ด้วย liquid nitrogen เติม 3% (W/V) sulfosalicylic acid 5 ml. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ปิเปตสารละลายที่ได้ 1 ml. เติม extraction buffer 2 ml. (ninhydrin 1.25 g, acetic acid 30 ml. และ 6M phosphoric acid 20 ml. ละลายที่อุณหภูมิ 80°C จนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันเก็บรักษาไว้ที่ 4°C และต้องใช้ภายใน 24 ชั่วโมง) นำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 100°C นาน 1 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาในกระบะน้ำเย็น เติม toluene 2 ml. เขย่านาน 15-20 วินาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ดูดสารละลายบริเวณด้านบนเหนือผิวของ toluene วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer ใช้ toluene เป็น blank (Riahi and Ehsanpour, 2013; นภวรรณ มัณยานนท์, 2558) บันทึกข้อมูลเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก

คำนวณหาปริมาณโพรลีน โดยนำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานโพรลีน

$$y = 0.0577x - 0.0017$$

โดยกำหนดให้ x คือ ค่าการดูดกลืนแสง (μM) และ y คือ ปริมาณโพรลีน (μg)

**3.1.9 ความสูงต้น (plant height)**

เก็บข้อมูลความสูงต้นจากระดับผิวดินจนถึงยอด โดยบันทึกข้อมูลเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก

**3.1.10 วิเคราะห์ค่าทางสถิติ**

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's HSD (honestly significant difference) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistic 8

# บทที่ 4
# ผลการทดลองและอภิปรายผล

## 4.1 คุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลองและค่าเฉลี่ยความชื้นดินในกระถางปลูก

จากการศึกษาผลของการให้น้ำในระดับต่าง ๆ พบว่า ดินที่ใช้ทำการศึกษาคือดินร่วนปนทรายความสามารถในการเก็บความชื้นที่ระดับความจุสนาม (FC) ความสามารถในการอุ้มน้ำที่เป็นประโยชน์กับพืช (AWC) และความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (PWP) มีค่าเท่ากับ 28.06, 16.84 และ 11.22% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7 จากการเก็บข้อมูลความชื้นดินที่ระดับการให้น้ำ FC ช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ มีค่าเฉลี่ย คือ 25.54, 24.65 และ 25.69% ความชื้นดินที่ระดับการให้น้ำ 2/3 AW ช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ มีค่าเฉลี่ย คือ 22.03, 20.65 และ 24.43% ตามลำดับ และความชื้นดินที่ระดับการให้น้ำ 1/3 AW ช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ มีค่าเฉลี่ย คือ 18.73, 18.88 และ 15.00% ตามลำดับ จากการเก็บข้อมูลความชื้นดินที่ระดับการให้น้ำ FC ตลอด 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก มีค่าเฉลี่ย คือ 23.87, 27.58 และ 26.10% ความชื้นดินที่ระดับการให้น้ำ 2/3 AW ตลอด 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก มีค่าเฉลี่ย คือ 24.43, 24.19 และ 24.52% ตามลำดับ และความชื้นดินที่ระดับการให้น้ำ 1/3 AW ตลอด 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก มีค่าเฉลี่ย คือ 21.57, 18.65 และ 15.92% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 2

**ตารางที่ 7** คุณสมบัติดินที่บรรจุในกระถางปลูก

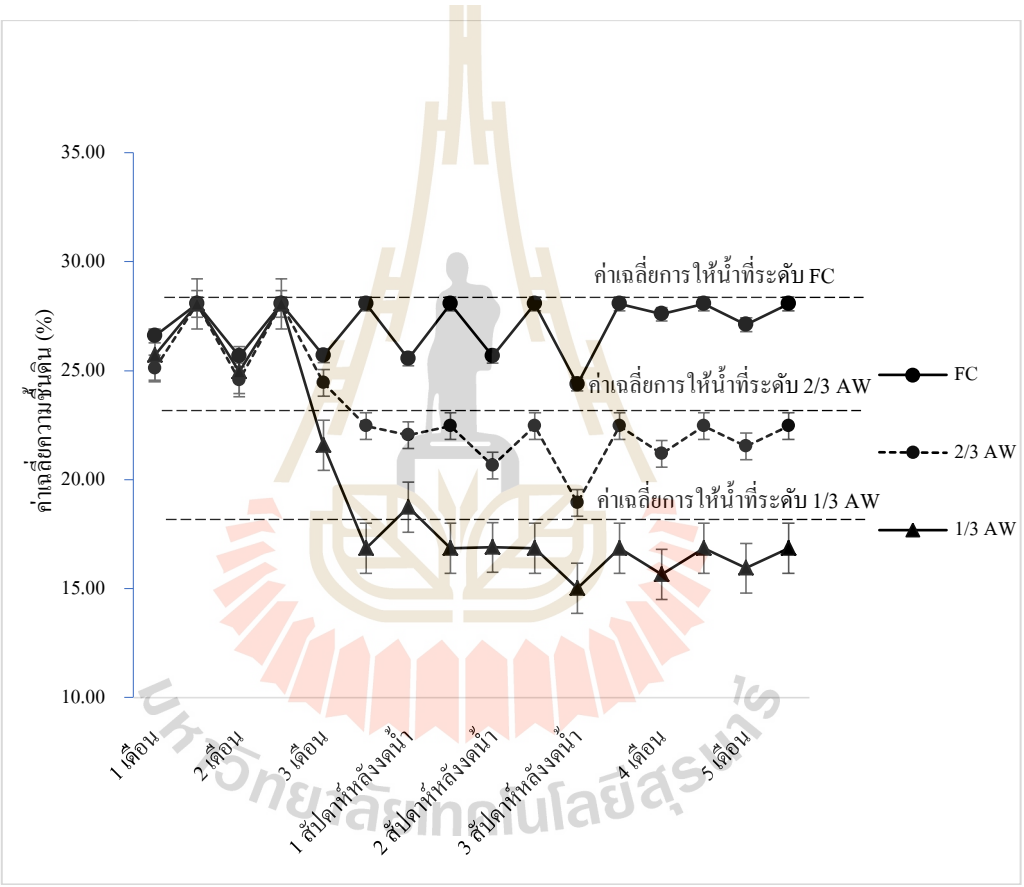
| ธาตุอาหารในดิน | | | คุณสมบัติทางกายภาพ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| OM (%) | Exch.P (ppm) | Exch.K (ppm) | textures | FC (% vol.) | AWC (% vol.) | PWP (% vol.) |
| 1.20 | 30 | 106 | ร่วนปนทราย | 28.06 | 16.84 | 11.22 |

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ตารางที่ 8** ค่าเฉลี่ยความชื้นดิน (%) ในกระถางปลูก

| ค่าเฉลี่ยความชื้นดิน (%) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ระดับน้ำ | 11 เดือน | 2 เดือน | 3 เดือน | 1 สัปดาห์ หลังงดน้ำ | 2 สัปดาห์ หลังงดน้ำ | 3 สัปดาห์ หลังงดน้ำ | 4 เดือน | 5 เดือน |
| FC[1/] | 26.59 | 25.45 | 23.69 | 25.54 | 24.65 | 25.69 | 27.58 | 26.10 |
| 2/3 AW | 25.09 | 24.55 | 24.43 | 22.03 | 20.65 | 24.43 | 24.19 | 24.52 |
| 1/3 AW | 25.70 | 24.96 | 21.57 | 18 73 | 18.88 | 15.00 | 21.57 | 15.92 |

[1/]FC, 2/3 AW และ 1/3 AW คือ field capacity, 2/3 available water และ 1/3 available water ตามลำดับ




**ภาพที่ 2** กำหนดการให้น้ำมันสำปะหลังในสภาพโรงเรือนโดยความชื้นดิน

## 4.2 สถานะของน้ำในใบพืช (relative water content; RWC)

จากการศึกษาพบว่าระดับการให้น้ำที่แตกต่างกันมีผลต่อสถานะของน้ำในใบพืชอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดย 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก พบว่ามันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ FC มีสถานะของน้ำในใบพืชมากที่สุด คือ 87.81, 87.04 และ 85.64% ตามลำดับ และมันสำปะหลังที่ได้ระดับน้ำ 1/3 AW มีสถานะของน้ำในใบพืชน้อยที่สุด คือ 84.25, 79.70 และ 80.75% ตามลำดับ โดยพันธุ์มันสำปะหลังที่มีสถานะของน้ำในใบพืชมากที่สุดที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก คือ ระยอง 9 (87.42, 86.18 และ 87.26% ตามลำดับ ) พันธุ์ที่มีสถานะของน้ำในใบพืชน้อยที่สุด คือ ห้วยบง 80 (85.26, 82.10 และ 80.46% ตามลำดับ) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 9

**ตารางที่ 9** สถานะของน้ำในใบพืช (RWC) (%) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก

| | RWC (%) | | |
|---|---|---|---|
| | **3 เดือน** | **4 เดือน** | **5 เดือน** |
| | **ระดับน้ำ (A)** | | |
| field capacity | 87.81±0.53[a1/] | 87.04±0.76[a] | 85.64±1.11[a] |
| 2/3 available water | 86.58±0.55[a] | 83.55±0.52[b] | 84.00±1.04[a] |
| 1/3 available water | 84.25±0.95[b] | 79.70±0.87[c] | 80.75±0.96[b] |
| F-test | **[2/] | ** | ** |
| | **พันธุ์มันสำปะหลัง (B)** | | |
| ระยอง 9 | 87.42±1.07 | 86.18±1.27[a] | 87.26±1.43[a] |
| ระยอง 90 | 86.45±0.83 | 83.93±0.83[ab] | 84.91±1.36[ab] |
| เกษตรศาสตร์ 50 | 84.94±1.32 | 83.05±1.05[ab] | 83.49±1.13[bc] |
| ห้วยบง 80 | 85.26± 0.75 | 82.10±1.53[b] | 80.46±1.42[b] |
| ห้านาที | 86.99±0.85 | 81.87±1.18[b] | 81.19±1.07[b] |
| F-test | ns | ** | ** |
| A*B | ns | ns | ns |
| CV% | 6.32 | 3.43 | 5.04 |

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

[2/] ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

### 4.3 การผลิตกรดแอบไซซิก (abscisic acid synthesis)

มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณกรดแอบไซซิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ FC ในช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ มีปริมาณกรดแอบไซซิกน้อยที่สุด (2.77, 13.02 และ 11.92 pmol $cm^2$ ตามลำดับ) และระดับน้ำที่มีปริมาณกรดแอบไซซิกมากที่สุดคือ 1/3 AW ( 3.73, 43.76 และ 37.46 pmol $cm^2$ ตามลำดับ ) มันสำปะหลังทุกพันธุ์มีแนวโน้มการผลิตกรดแอบไซซิก เพิ่มขึ้นมากที่สุดช่วง 2 สัปดาห์หลังงดน้ำ และจะลดลงเมื่อ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ ซึ่งพันธุ์ห้วยบง 80 และเกษตรศาสตร์ 50 มีปริมาณกรดแอบไซซิกมากที่สุด (38.66 และ 37.28 pmol $cm^2$ตามลำดับ) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 10

**ตารางที่ 10** ปริมาณกรดแอบไซซิก (pmol $cm^2$) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำที่อายุ 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ

| | กรดแอบไซซิก (pmol $cm^2$) | | |
|---|---|---|---|
| | **1 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **2 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **3 สัปดาห์หลังงดน้ำ** |
| | **ระดับน้ำ (A)** | | |
| field capacity | 2.77±0.42[1/] | 13.02±1.65[b] | 11.92±1.62[b] |
| 2/3 available water | 3.37±0.40 | 35.61±4.60[a] | 33.17±3.81[a] |
| 1/3 available water | 3.73±0.43 | 43.76±5.49[a] | 37.46±4.57[a] |
| F-test | ns[2/] | ** | ** |
| | **พันธุ์มันสำปะหลัง (B)** | | |
| ระยอง 9 | 2.36±0.60[b] | 30.18±8.49 | 23.30±2.65[bc] |
| ระยอง 90 | 2.39±0.47[b] | 24.00±4.25 | 23.66±3.35[bc] |
| เกษตรศาสตร์ 50 | 3.12±0.43[ab] | 37.28±8.52 | 37.62±8.00[a] |
| ห้วยบง 80 | 4.44±0.50[a] | 38.66±8.30 | 33.25±8.03[ab] |
| ห้านาที | 4.13±0.40[a] | 23.86±2.56 | 19.76±3.68[c] |
| F-test | ** | ns | ** |
| A*B | ns | ns | ns |
| CV% | 48.06 | 49.22 | 46.19 |

[1/]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

[2/]ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### 4.4 การผลิตฮอร์โมนเอทิลีน (ethylene synthesis)

มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลต่อการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่ามันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW มีการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระดับน้ำ 2/3 AW และ FC ช่วง 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ มีการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนมากที่สุด (4.56, 2.41 และ 1.28 µmol $g^{-1}$FW) $h^{-1}$ตามลำดับ) ซึ่งพันธุ์ที่มีแนวโน้มการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนมากที่สุด คือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ห้านาที และระยอง 90 ตามลำดับ (3.62, 3.08 และ 2.79 µmol $g^{-1}$FW) $h^{-1}$ตามลำดับ) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 11

**ตารางที่ 11** การผลิตฮอร์โมนเอทิลีน (µmol $g^{-1}$FW) $h^{-1}$ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ

| | ฮอร์โมนเอทิลีน (µmol $g^{-1}$FW) $h^{-1}$ | | |
|---|---|---|---|
| | **1 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **2 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **3 สัปดาห์หลังงดน้ำ** |
| | **ระดับน้ำ (A)** | | |
| field capacity | 0.75±0.78[b1/] | 1.30±0.50[b] | 1.28±0.41[b] |
| 2/3 available water | 1.92±0.94[a] | 1.64±0.58[ab] | 2.41±1.36[b] |
| 1/3 available water | 2.78±0.57[a] | 2.66±1.17[a] | 4.56±1.41[a] |
| F-test | **[2/] | * | * |
| | **พันธุ์มันสำปะหลัง (B)** | | |
| ระยอง 9 | 1.84±1.34 | 2.19±0.45 | 2.53±0.84 |
| ระยอง 90 | 1.04±0.73 | 1.50±1.01 | 2.79±1.63 |
| เกษตรศาสตร์ 50 | 2.67±0.82 | 2.05±1.97 | 3.62±2.51 |
| ห้วยบง 80 | 1.64±1.12 | 1.55±0.41 | 1.73±0.38 |
| ห้านาที | 1.90±1.06 | 2.05±0.30 | 3.08±0.671 |
| F-test | ns | ns | ns |
| A*B | ns | ns | ns |
| CV% | 75.52 | 60.35 | 77.54 |

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

[2/] ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### 4.5 จำนวนใบร่วง (leaf retention)

มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำใน 3 ระดับ ในช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ มีจำนวนใบร่วงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ FC มีจำนวนใบร่วงน้อยที่สุด ( 2, 2 และ 3 ใบ ตามลำดับ) รองลงมาคือระดับน้ำ 2/3 AW (4, 5 และ 6 ใบ ตามลำดับ) และระดับน้ำ 1/3 AW (4, 5 และ 7 ใบ ตามลำดับ ) พันธุ์มันสำปะหลังที่มีจำนวนใบร่วงมากที่สุดในช่วง 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ คือ ระยอง 90 และห้านาที (6 และ 6 ใบ ตามลำดับ) พันธุ์ที่มีจำนวนใบร่วงน้อยที่สุดคือ ระยอง 9 ห้วยบง 80 และเกษตรศาสตร์ 50 (5, 5 และ 5 ใบ ตามลำดับ) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 12

**ตารางที่ 12** จำนวนใบร่วง (ใบ) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ

| | จำนวนใบร่วง (ใบ) | | |
|---|---|---|---|
| | **1 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **2 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **3 สัปดาห์หลังงดน้ำ** |
| | **ระดับน้ำ (A)** | | |
| field capacity | 2±0.56[b1/] | 2±0.16[b] | 3±0.28[c] |
| 2/3 available water | 4±0.33[a] | 5±0.29[a] | 6±0.43[b] |
| 1/3 available water | 4±0.39[a] | 5±0.44[a] | 7±0.42[a] |
| F-test | **[2/] | * | ** |
| | **พันธุ์มันสำปะหลัง (B)** | | |
| ระยอง 9 | 3±0.43[b] | 4±0.60[b] | 5±0.61[b] |
| ระยอง 90 | 4±0.75[a] | 5±0.72[a] | 6±0.80[a] |
| เกษตรศาสตร์ 50 | 3±0.51[b] | 3±0.50[b] | 5±0.58[b] |
| ห้วยบง 80 | 3±0.55[b] | 4±0.61[b] | 5±0.59[b] |
| ห้านาที | 3±0.43[b] | 4±0.40[b] | 6±0.61[a] |
| F-test | ** | * | ** |
| A*B | ns | ns | ns |
| CV% | 24.90 | 15.19 | 12.68 |

[1/]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

[2/]ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**4.6 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll density)**

จากการศึกษา พบว่าปริมาณคอลโรฟิลล์ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูกในระดับการให้น้ำที่แตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ FC มีแนวโน้มการผลิตปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด (3.60 $mg/cm^2$ ) และพันธุ์ระยอง 9 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด รองลงมาคือ ระยอง 9 ห้วยบง 80 และระยอง 90 (5.04, 4.98 และ 4.78 $mg/cm^2$ ตามลำดับ)

ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก พบว่า ระดับการให้น้ำที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณคอลโรฟิลล์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการให้น้ำในระดับ 1/3 AW มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมน้อยที่สุด รองลงมาคือ 2/3 AW และ FC (4.88, 6.13 และ 6.20 $mg/cm^2$ ตามลำดับ) พันธุ์มันสำปะหลังที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด คือ ระยอง 90 รองลงมาคือ ห้วยบง 80 และเกษตรศาสตร์ 50 (6.65, 6.28 และ 6.07 $mg/cm^2$ ตามลำดับ) พันธุ์ห้านาที และระยอง 9 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมน้อยที่สุด (4.25 และ 5.51 $mg/cm^2$ ตามลำดับ)

ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก พบมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ FC มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด รองลงมาคือ 2/3 AW และ 1/3 AW (10.12, 9.87 และ 6.51 $mg/cm^2$ ตามลำดับ) พันธุ์มันสำปะหลังที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด คือ พันธุ์ห้วยบง 80 รองลงมาคือ ระยอง 9 (10.97 และ 10.78 $mg/cm^2$ ตามลำดับ) พันธุ์ห้านาที และระยอง 90 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมน้อยที่สุด (6.38 และ 7.39 $mg/cm^2$ ตามลำดับ) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 13

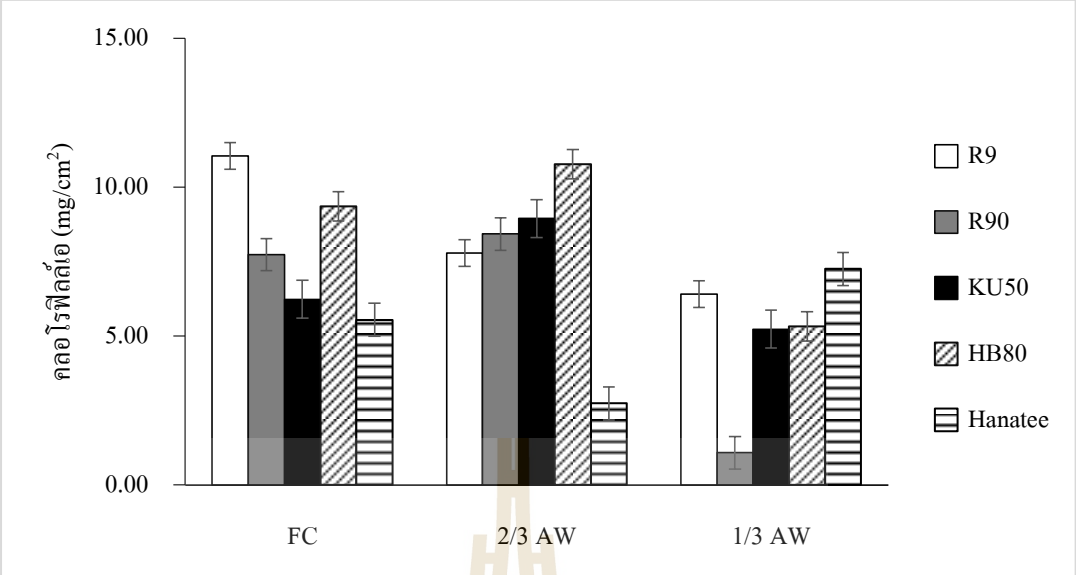
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ตารางที่ 13** ปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/cm$^2$) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ5 เดือนหลังปลูก

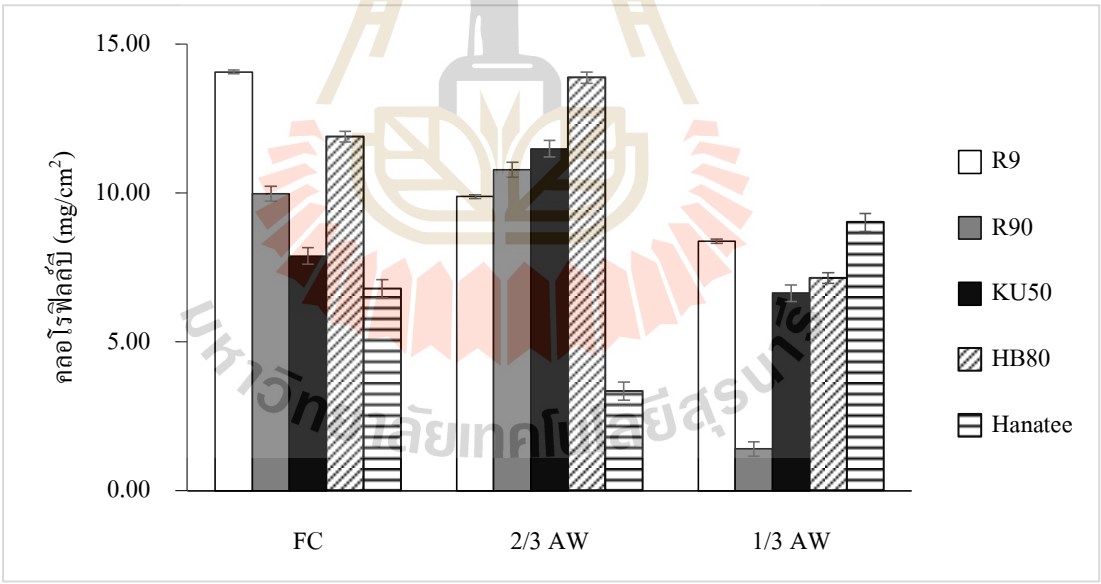
| | ปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/cm$^2$) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 เดือน | | | 4 เดือน | | | 5 เดือน | | |
| | คลอโรฟิลล์เอ | คลอโรฟิลล์บี | คลอโรฟิลล์รวม | คลอโรฟิลล์เอ | คลอโรฟิลล์บี | คลอโรฟิลล์รวม | คลอโรฟิลล์เอ | คลอโรฟิลล์บี | คลอโรฟิลล์รวม |
| **ระดับน้ำ (A)** | | | | | | | | | |
| field capacity | 3.60±0.17[1/] | 0.82±0.06[b] | 4.42±0.23 | 4.95±0.31[a] | 1.40±0.10[a] | 6.20±0.40[a] | 7.98±0.55[a] | 2.14±0.16[a] | 10.12±0.71[a] |
| 2/3 available water | 3.52±0.05 | 1.00±0.05[a] | 4.52±0.19 | 4.74±0.18[a] | 1.25±0.09[a] | 6.13±0.26[a] | 7.73±0.70[a] | 2.14±0.20[a] | 9.87±0.90[a] |
| 1/3 available water | 3.48±0.06 | 1.02±0.06[a] | 4.50±0.21 | 3.66±0.39[b] | 1.21±0.13[a] | 4.88±0.52[b] | 5.06±0.76[b] | 1.45±0.23[b] | 6.51±0.99[b] |
| F-test | ns[2/] | * | ns | ** | * | * | ** | * | ** |
| **พันธุ์มันสำปะหลัง (B)** | | | | | | | | | |
| ระยอง 9 | 3.92±0.21[a] | 1.11±0.06[a] | 5.04± 0.26[a] | 4.23±0.60[ab] | 1.27±0.19[ab] | 5.51±0.78[ab] | 8.41±0.85[a] | 2.36±0.23[a] | 10.78±1.07[a] |
| ระยอง 90 | 3.78±0.22[a] | 1.00±0.05[ab] | 4.78± 0.27[a] | 5.05±0.55[a] | 1.52±0.16[a] | 6.56±0.70[a] | 5.75±1.12[ab] | 1.64±0.32[ab] | 7.39±1.44[ab] |
| เกษตรศาสตร์ 50 | 3.40±0.13[a] | 0.87± 0.07[b] | 4.28± 0.17[a] | 4.76±0.18[a] | 1.31±0.08[ab] | 6.07±0.23[a] | 6.80±0.76[ab] | 1.86±0.20[ab] | 8.67±0.96[ab] |
| ห้วยบง 80 | 3.83±0.13[a] | 1.15±0.06[a] | 4.98±0.18[a] | 4.84±0.21[a] | 1.44±0.08[a] | 6.28±0.25[a] | 8.48±0.91[a] | 2.49±0.25[a] | 10.97±1.16[a] |
| ห้านาที | 2.70±0.08[b] | 0.61± 0.04[c] | 3.32±0.12[b] | 3.36±0.17[b] | 0.89±0.07[b] | 4.25±0.24[b] | 5.18±0.72[b] | 1.20±0.22[b] | 6.38±0.96[b] |
| F-test | ** | ** | ** | ** | * | ** | * | * | * |
| A*B | ns | ns | ns | ns | ns | ns | * | * | * |
| CV% | 17.31 | 18.10 | 17.07 | 25.96 | 32.07 | 27.09 | 36.01 | 37.17 | 36.11 |

[1/]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

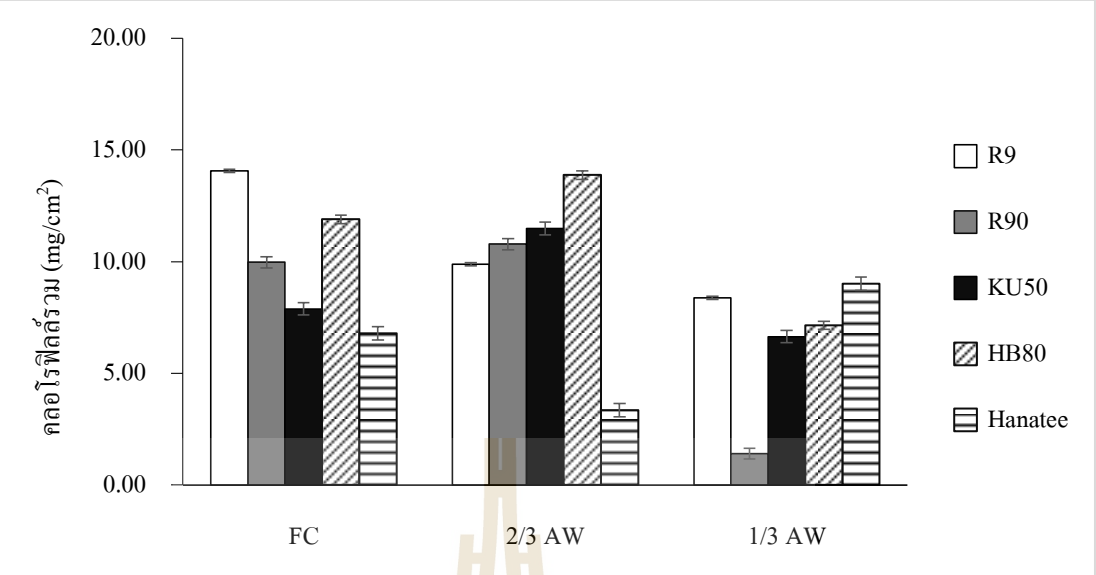
[2/]ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01




**ภาพที่ 3** ปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างระดับการให้น้ำที่แตกต่างกันกับมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่อายุ 5 เดือน




**ภาพที่ 4** ปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างระดับการให้น้ำที่แตกต่างกันกับมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บีที่อายุ 5 เดือน




**ภาพที่ 5** ปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างระดับการให้น้ำที่แตกต่างกันกับมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอายุ 5 เดือน

### 4.7 ค่าความเข้มสีใบด้วย SPAD chlorophyll meter reading (SCMR)

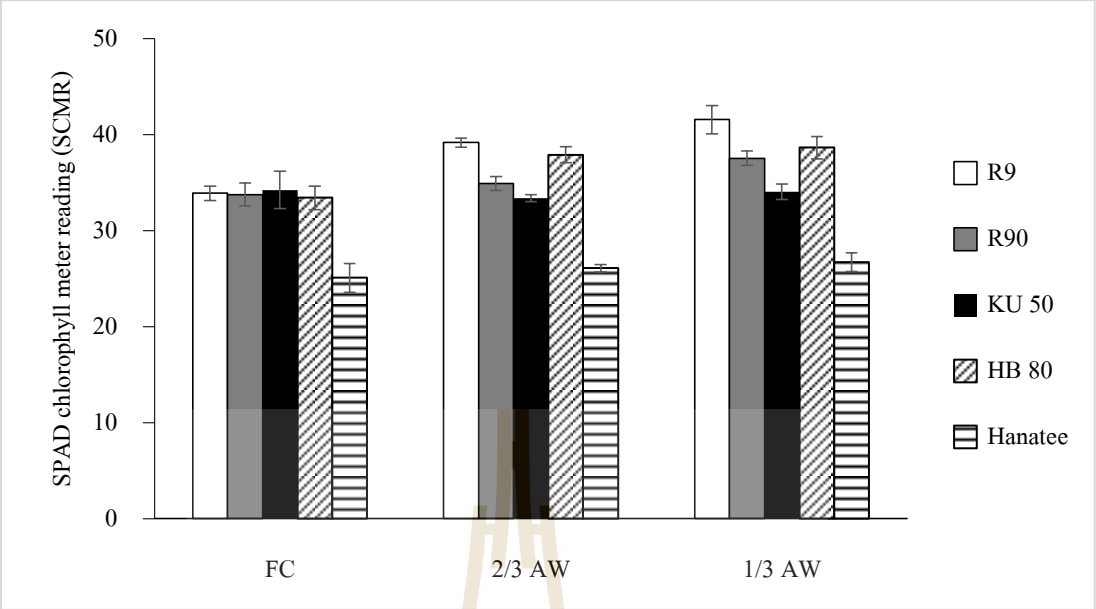
พันธุ์มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำทั้ง 3 ระดับจะมีความเข้มสีใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่อายุ3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูกที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW จะมีค่าความเข้มสีใบมากที่สุด (35.71, 44.31 และ 47.58 ตามลำดับ) ที่อายุ 3 และ4 เดือนหลังปลูกพันธุ์ระยอง 9 มีค่าความเข้มสีใบมากที่สุด (38.23 และ 46.10 ตามลำดับ) และ 5 เดือนหลังปลูกพันธุ์ห้วยบง 80 มีค่าความเข้มสีใบมากที่สุด (46.50) และพันธุ์มันสำปะหลังที่มีความเข้มสีใบน้อยที่สุดที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก คือ พันธุ์ห้านาที (25.98, 30.46 และ 30.75 ตามลำดับ) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 14

**ตารางที่ 14** ค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก

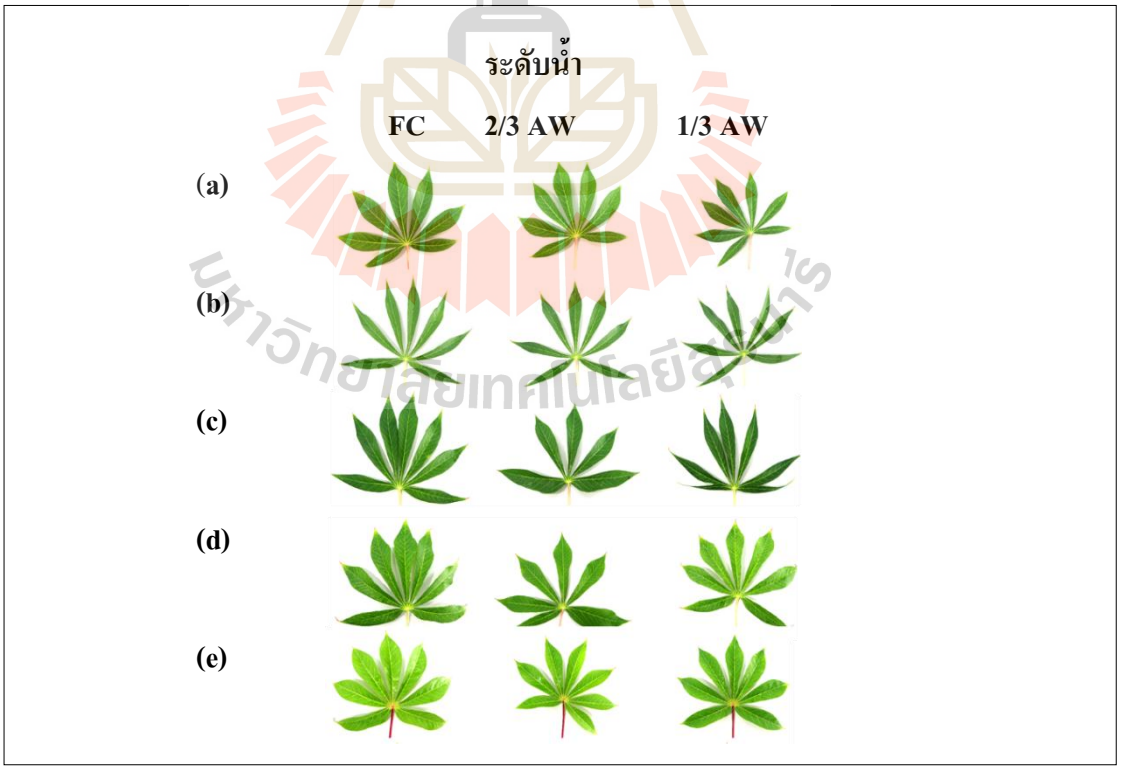
| | SCMR | | |
|---|---|---|---|
| | **3 เดือน** | **4 เดือน** | **5 เดือน** |
| | **ระดับน้ำ (A)** | | |
| field capacity | 32.10±1.75[b1/] | 39.13±3.52[b] | 36.95±3.81[b] |
| 2/3 available water | 34.31±2.30[a] | 39.61±3.83[b] | 38.18±3.88[b] |
| 1/3 available water | 35.71±2.55[a] | 44.31±3.52[a] | 47.58±3.36[a] |
| F-test | **[2/] | ** | ** |
| | **พันธุ์มันสำปะหลัง (B)** | | |
| ระยอง 9 | 38.23±2.27[a] | 46.01±1.87[a] | 44.98±3.34[ab] |
| ระยอง 90 | 35.42±1.12[bc] | 43.57±1.72[ab] | 42.58±2.75[bc] |
| เกษตรศาสตร์ 50 | 33.90±0.26[c] | 40.76±1.79[b] | 39.71±3.41[c] |
| ห้วยบง 80 | 36.67± 1.63[ab] | 44.28± 1.67[a] | 46.50±3.71[a] |
| ห้านาที | 25.98±0.47[d] | 30.46±1.82[c] | 30.75±4.27[d] |
| F-test | ** | ** | ** |
| A*B | * | ns | ns |
| CV% | 6.01 | 6.10 | 7.86 |

[1/]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

[2/]ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01




**ภาพที่ 6** ปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างระดับการให้น้ำที่แตกต่างกันกับมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ กันต่อค่าความเข้มสีใบ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก




**ภาพที่ 7** ตัวอย่างใบมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ (a) ระยอง 9, (b) ระยอง 90, (c) ห้วยบง 80, (d) เกษตรศาสตร์ 50 และ (e) ห้านาที

## 4.8 ปริมาณสารโพรลีน (proline content)

จากการศึกษา พบว่า มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณสารโพรลีนอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ พบว่า มันสำปะหลังอายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูกที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW มีปริมาณสารโพรลีนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระดับน้ำ 2/3 AW และ FC (4.35, 4.66 และ 5.82 µmol $g^{-1}$FW ตามลำดับ) ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก พันธุ์ที่มีปริมาณสารโพรลีนมากที่สุด คือ ระยอง 90 ระยอง 9 เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 80 (4.64, 4.43, 4.18 และ 4.17 µmol $g^{-1}$FW) พันธุ์ที่มีปริมาณสารโพรลีนน้อยที่สุด คือ ห้านาที (3.80 µmol $g^{-1}$FW) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 15

**ตารางที่ 15** ปริมาณสารโพรลีน (µmol $g^{-1}$FW) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก

| | ปริมาณสารโพรลีน (µmol $g^{-1}$FW) | | |
|---|---|---|---|
| | **3 เดือน** | **4 เดือน** | **5 เดือน** |
| | **ระดับน้ำ (A)** | | |
| field capacity | 3.63±0.15[b1/] | 3.71±0.08[b] | 3.67±0.13[c] |
| 2/3 available water | 3.76±0.18[ab] | 4.17±0.08[ab] | 4.24±0.16[b] |
| 1/3 available water | 4.35±0.35[a] | 4.66±0.01[a] | 5.82±0.17[a] |
| F-test | *[2/] | ** | ** |
| | **พันธุ์มันสำปะหลัง (B)** | | |
| ระยอง 9 | 4.32±0.05 | 4.07±0.23 | 4.43±0.95[ab] |
| ระยอง 90 | 3.8±0.21 | 4.18±0.24 | 4.64±0.94[a] |
| เกษตรศาสตร์ 50 | 3.8±0.13 | 4.20±0.17 | 4.18±1.03[ab] |
| ห้วยบง 80 | 4.14±0.23 | 4.27±0.32 | 4.17±0.76[ab] |
| ห้านาที | 3.5±0.17 | 4.17±0.28 | 3.80±0.88[b] |
| F-test | ns | ns | ** |
| A*B | ns | ns | ns |
| CV% | 22.85 | 19.24 | 12.97 |

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

[2/] ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### 4.9 ความสูงต้น (plant height)

จากการศึกษาพบว่า ความสูงต้นมีความแตกต่างทางสถิติที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ FC มีค่าความสูงต้นเฉลี่ยมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำใน 2/3 AW และ 1/3 AW (95.13, 81.95 และ 65.98 เซนติเมตร ตามลำดับ) ความสูงต้นในแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความสูงต้นที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุด (46.75, 72.88 และ 92.33 เซนติเมตร ตามลำดับ) รองลงมาคือพันธุ์ห้วยบง 80 (44.75, 71.29 และ 91.17 เซนติเมตร ตามลำดับ) พันธุ์ที่มีค่าความสูงต้นน้อยที่สุดคือ พันธุ์ระยอง 90 (32.00, 54.23 และ 63.63 เซนติเมตร ตามลำดับ) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 16

**ตารางที่ 16** ความสูงต้น (เซนติเมตร) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก

| | ความสูงต้น (เซนติเมตร) | | |
|---|---|---|---|
| | **3 เดือน** | **4 เดือน** | **5 เดือน** |
| | **ระดับน้ำ (A)** | | |
| field capacity | 37.58±2.04[1/] | 66.35±2.73 | 95.13±3.85[a] |
| 2/3 available water | 39.55±2.11 | 62.57±3.19 | 81.95±5.07[b] |
| 1/3 available water | 41.6±2.26 | 61.64±1.94 | 65.98±4.72[c] |
| F-test | ns[2/] | ns | ** |
| | **พันธุ์มันสำปะหลัง (B)** | | |
| ระยอง 9 | 41.54±1.56[ab] | 66.13±1.78[ab] | 84.04±4.12[a] |
| ระยอง 90 | 32.01±3.13[b] | 54.23±3.29[c] | 63.63±7.84[b] |
| เกษตรศาสตร์ 50 | 46.75±1.99[a] | 72.88±4.02[a] | 92.33±7.92[a] |
| ห้วยบง 80 | 44.75±1.49[a] | 71.29±2.89[a] | 91.17±4.39[a] |
| ห้านาที | 32.83±2.53[b] | 66.71±2.58[bc] | 83.92±5.57[ab] |
| F-test | ** | ** | ** |
| A*B | ns | ns | ns |
| CV% | 20.81 | 12.60 | 21.49 |

[1/]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

[2/]ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 4.10 สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมี และฮอร์โมนพืช

จากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของของการตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังพันธ์ต่างๆ ไม่พบความมีสหสัมพันธ์กันในช่วงอายุ 3 และ 4 เดือนหลังปลูกในทุกระดับน้ำ แต่พบว่ามีสหสัมพันธ์กันในช่วงอายุ 5 เดือนหลังปลูกที่ระดับการให้น้ำ 1/3 AW จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของการตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมี และฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ภายใต้ระดับการให้น้ำ 1/3 AW พบว่า การผลิตกรดแอบไซซิกมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนใบร่วง (r= 0.74**) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ (r = -0.70*) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโพรลีน (r = 0.84**) ความสูงต้นมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณสารโพรลีน (r = -0.67*) จำนวนใบร่วงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโพรลีน (r= 0.67*) และความเข้มสีใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโพรลีน (r= 0.89**) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 17

**ตารางที่ 17** สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในระดับการให้น้ำ 1/3 AW

| ลักษณะที่ตรวจวัด | กรดแอบไซซิก[2/] | ฮอร์โมนเอทิลีน | ความสูงต้น | จำนวนใบร่วง | สถานะของน้ำในใบพืช | ความเข้มสีใบ | คลอโรฟิลล์รวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ฮอร์โมนเอทิลีน[2/] | 0.51 | | | | | | |
| ความสูงต้น | -0.60 | -0.58 | | | | | |
| จำนวนใบร่วง[2/] | 0.74**[1/] | 0.34 | -0.35 | | | | |
| สถานะของน้ำในใบพืช | -0.38 | -0.27 | 0.27 | -0.24 | | | |
| ความเข้มสีใบ | 0.64 | 0.01 | -0.40 | 0.64 | -0.40 | | |
| คลอโรฟิลล์รวม | -0.70* | -0.58 | 0.53 | -0.55 | 0.62 | -0.64 | |
| สารโพรลีน | 0.84** | 0.18 | -0.67* | 0.67 | -0.31 | 0.89** | -0.63 |

[1/] * = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

[2/] ตรวจวัดหลังงดน้ำ 3 สัปดาห์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของการตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมี และฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 90 ภายใต้ระดับการให้น้ำ 1/3 AW พบว่า การผลิตกรดแอบไซซิกมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับสถานะของน้ำในใบพืช (r= -0.65*) และมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับสารโพรลีน(r=0.70*) ความสูงต้นมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มสีใบ (r=-0.73*) จำนวนใบร่วงมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มสีใบ (r= 0.85**) มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับคลอโรฟิลล์รวม (r=-0.71*) มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโพรลีน (r=0.92**) สถานะของน้ำในใบพืชมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโพรลีน (r=-0.71*) ความเข้มสีใบมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับคลอโรฟิลล์รวม (r=-0.87**) และมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโพรลีน (r=0.88**) คลอโรฟิลล์รวม มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณสารโพรลีน (r=--0.74*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้อมูลแสดงในตารางที่ 18

**ตารางที่ 18** สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมี และฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 90 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในระดับการให้น้ำ 1/3 AW

| ลักษณะที่ตรวจวัด | กรดแอบไซซิก[2/] | ฮอร์โมนเอทิลีน | ความสูงต้น | จำนวนใบร่วง | สถานะของน้ำในใบพืช | ความเข้มสีใบ | คลอโรฟิลล์รวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ฮอร์โมนเอทิลีน[2/] | 0.17 | | | | | | |
| ความสูงต้น | -0.30 | -0.06 | | | | | |
| จำนวนใบร่วง[2/] | 0.66 | 0.25 | -0.60 | | | | |
| สถานะของน้ำในใบพืช | -0.65*[1/] | 0.24 | 0.27 | -0.56 | | | |
| ความเข้มสีใบ | 0.41 | 0.19 | -0.73* | 0.85** | -0.46 | | |
| คลอโรฟิลล์รวม | -0.43 | 0.12 | 0.66 | -0.71* | 0.40 | -0.87** | |
| สารโพรลีน | 0.70* | 0.24 | -0.56 | 0.92** | -0.71* | 0.88** | -0.74* |

[1/]* = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

[2/] ตรวจวัดหลังงดน้ำ 3 สัปดาห์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของการตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ภายใต้ระดับการให้น้ำ 1/3 AW พบว่า ความสูงต้นมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มสีใบ (r=--0.72*) จำนวนใบร่วงมีความสัมพันธ์เชิงลบกับสถานะของน้ำในใบ (r=-0.67*) และสถานะของน้ำในใบมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณสารโพรลีน (r=-0.80**) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้อมูลแสดงในตารางที่ 19

**ตารางที่ 19** สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในระดับการให้น้ำ 1/3 AW

| ลักษณะที่ตรวจวัด | กรดแอบไซซิก[2/] | ฮอร์โมนเอทิลีน | ความสูงต้น | จำนวนใบร่วง | สถานะของน้ำในใบพืช | ความเข้มสีใบ | คลอโรฟิลล์รวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ฮอร์โมนเอทิลีน[2/] | -0.02 | | | | | | |
| ความสูงต้น | -0.50 | -0.01 | | | | | |
| จำนวนใบร่วง[2/] | 0.05 | 0.49 | 0.14 | | | | |
| สถานะของน้ำในใบพืช | -0.34 | -0.39 | -0.03 | -0.67* | | | |
| ความเข้มสีใบ | 0.20 | 0.14 | -0.72*[1/] | -0.22 | -0.05 | | |
| คลอโรฟิลล์รวม | 0.24 | -0.25 | 0.03 | 0.06 | 0.06 | -0.06 | |
| สารโพรลีน | 0.60 | 0.54 | -0.34 | 0.63 | -0.80** | 0.24 | -0.02 |

[1/] * = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

[2/] ตรวจวัดหลังงดน้ำ 3 สัปดาห์

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของการตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ภายใต้ระดับการให้น้ำ 1/3 AW พบว่า ฮอร์โมนเอทิลีนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (r=-0.79*) ความสูงต้นมีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนใบร่วง (r=-0.68*) จำนวนใบร่วงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโพรลีน (r=0.85**) สถานะของน้ำในใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโพรลีน (r= 0.63*) ความเข้มสีใบความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโพรลีน (r= 0.80**) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้อมูลแสดงในตารางที่ 20

**ตารางที่ 20** สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในระดับการให้น้ำ 1/3 AW

| ลักษณะที่ตรวจวัด | กรดแอบไซซิก[2/] | ฮอร์โมนเอทิลีน | ความสูงต้น | จำนวนใบร่วง | สถานะของน้ำในใบพืช | ความเข้มสีใบ | คลอโรฟิลล์รวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ฮอร์โมนเอทิลีน[2/] | 0.01 | | | | | | |
| ความสูงต้น | -0.51 | -0.03 | | | | | |
| จำนวนใบร่วง[2/] | 0.42 | 0.48 | -0.68* | | | | |
| สถานะของน้ำในใบพืช | -0.34 | -0.34 | 0.29 | -0.37 | | | |
| ความเข้มสีใบ | 0.55 | 0.36 | -0.37 | 0.52 | -0.55 | | |
| คลอโรฟิลล์รวม | 0.01 | -0.79*[1/] | -0.07 | -0.20 | 0.14 | -0.34 | |
| สารโพรลีน | 0.53 | 0.62 | -0.57 | 0.85** | 0.63* | 0.80** | -0.39 |

[1/]* = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

[2/]ตรวจวัดหลังงดน้ำ 3 สัปดาห์

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของการตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที ภายใต้ระดับการให้น้ำ 1/3 AW พบว่า การผลิตกรดแอบไซซิกมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความสูงต้น (r= -0.69*) และความเข้มสีใบ (r=0.65*) ฮอร์โมนเอทิลีนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความเข้มสีใบ (r=0.89*) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณคลอโรฟิลล์ (r= 0.73*) และปริมาณสารโพรลีน (r= 0.71*) ความสูงต้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับสถานะของน้ำในใบ (r= 0.78*) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณสารโพรลีน (r=-0.69*) สถานะของน้ำในใบมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณสารโพรลีน (r=-0.76*) และค่าความเข้มสีใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโพรลีน (r = 0.74*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้อมูลแสดงในตารางที่ 21

**ตารางที่ 21** สหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในระดับการให้น้ำ 1/3 AW

| ลักษณะที่ตรวจวัด | กรดแอบไซซิก[2/] | ฮอร์โมนเอทิลีน | ความสูงต้น | จำนวนใบร่วง | สถานะของน้ำในใบพืช | ความเข้มสีใบ | คลอโรฟิลล์รวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ฮอร์โมนเอทิลีน[2/] | 0.51 | | | | | | |
| ความสูงต้น | -0.69*[1/] | -0.35 | | | | | |
| จำนวนใบร่วง[2/] | 0.56 | 0.27 | -0.49 | | | | |
| สถานะของน้ำในใบพืช | -0.58 | -0.51 | 0.78* | -0.50 | | | |
| ความเข้มสีใบ | 0.65 | 0.89** | -0.43 | 0.62 | -0.52 | | |
| คลอโรฟิลล์รวม | 0.05 | 0.73* | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.55 | |
| สารโพรลีน | 0.42 | 0.71* | -0.69* | 0.47 | -0.76* | 0.74* | 0.34 |

[1/] * = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

[2/] ตรวจวัดหลังงดน้ำ 3 สัปดาห์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# บทที่ 5
# สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษามันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยา ทางชีวเคมี และฮอร์โมนภายใต้การให้น้ำ 3 ระดับคือ FC, 2/3 AW และ 1/3 AW ทำการวิจัย ณ ฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สามารถสรุปผลได้ดังนี้

## 5.1 การตอบสนองของมันสำปะหลังภายใต้สภาพความแห้งแล้ง

จากการศึกษาพบว่า ระดับการให้น้ำมีผลต่อสถานะของน้ำในใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก มีสถานะของน้ำในใบน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการให้น้ำที่ระดับ FC และ 2/3 AW เนื่องจากปริมาณน้ำในดินมีน้อย ทำให้สามารถดูดน้ำมาใช้ได้น้อย หรือเกิดจากพืชมีการคายน้ำสูง ส่งผลให้มีปริมาณน้ำในใบน้อย การให้น้ำในระดับ 1/3 AW ในช่วง 5 เดือนหลังปลูก พันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีปริมาณน้ำในใบมากที่สุด พันธุ์ห้วยบง 80 และห้านาที มีปริมาณน้ำในใบน้อยที่สุด สอดคล้องกับ ปรียานุช ลาขุนทด และคณะ (2558) ที่กล่าวว่าสถานะของน้ำในใบ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะการขาดน้ำ

เมื่อมันสำปะหลังอยู่ในสภาพแห้งแล้ง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อพืชได้โดยการปิดปากใบ สามารถถูกกระตุ้นในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการสร้างกรดแอบไซซิก จากการศึกษาพบว่า ระดับการให้น้ำมีผลต่อการผลิตกรดแอบไซซิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์มันสำปะหลังทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มการผลิตกรดแอบไซซิกมากขึ้นเมื่อได้รับน้ำที่รับ 1/3 AW เมื่อเทียบกับการให้น้ำที่ระดับ FC และ 2/3 AW การให้น้ำที่ระดับ 1/3 AW ช่วง 2 สัปดาห์หลังงดน้ำมีการผลิตกรดแอบไซซิกมากที่สุด พบได้ในพันธุ์ห้วยบง 80 และเกษตรศาสตร์ 50 พันธุ์ที่มีการผลิตกรดแอบไซซิกน้อยที่สุด คือ พันธุ์ห้านาที และระยอง 9 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Luis and Tim (2013) พบว่า การผลิตกรดแอบไซซิกจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่องดน้ำ และจะมากที่สุดเมื่อ 9 วันหลังงดน้ำ จากนั้นจะลดลงและคงที่

จากการศึกษาพบว่า ระดับการให้น้ำมีผลต่อการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้น้ำที่ระดับ 1/3 AW ช่วง 3 สัปดาห์หลังงดน้ำมีแนวโน้มผลิตฮอร์โมนเอทิลีนมากที่สุด พบได้ในพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ห้านาที และระยอง 90 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sadeghi and Ghanaatiyan (2017) กล่าวว่า มีการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนสูงขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากน้ำ และพันธุ์ที่ต้านทานจะมีการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนมากขึ้นเมื่อเทียบกับพันธุ์ไม่ต้านทาน

และงานวิจัยของ Apelbaum and Yang (1981) พบว่า เมื่อข้าวสาลีอยู่ในสภาพแห้งแล้ง จะมีการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนมากกว่าปกติเมื่อเปรียบเทียบกับการได้รับน้ำปกติ

การร่วงของใบเป็นการตอบสนองต่อสภาพแห้งแล้งของพืช จากการศึกษาพบว่า ระดับการให้น้ำมีผลต่อจำนวนใบร่วงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้น้ำที่ระดับ 1/3 AW ช่วง 3 สัปดาห์หลังงดน้ำมีจำนวนใบร่วงมากที่สุด พบได้ในพันธุ์ระยอง 90 และห้านาที พันธุ์ที่มีจำนวนใบร่วงน้อยที่สุดคือ เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 80 และระยอง 9 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Luis (2012) กล่าวว่า พันธุ์ที่มีลักษณะทนต่อความแห้งแล้งจะมีจำนวนใบร่วงน้อยกว่าพันธุ์ที่มีความต้านทานต่ำหรืออ่อนแอ

การขาดน้ำส่งผลกระทบโดยตรงกับการสร้างคลอโรฟิลล์ จากการศึกษาพบว่า ระดับการให้น้ำมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้น้ำในระดับ 1/3 AW ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการให้น้ำในระดับ 2/3 AW และ FC พันธุ์มันสำปะหลังที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมากสุดเมื่อได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกคือ ห้วยบง 80 และระยอง 9 ซึ่งสอดคล้องกับ ศิริพร ศรีภิญโญวณิชย์ และรัฐธิภา ธนารักษ์ (2560) กล่าวว่า พืชที่ทนต่อสภาวะเครียดจากน้ำได้นั้น ต้องสามารถรักษาระดับคลอโรฟิลล์ ที่เป็นส่วนประกอบของกระบวนการ การสังเคราะห์ด้วยแสงได้ รวมทั้งงานวิจัยของ Arunyanark *et al*. (2008) และCarvalho *et al*. (2016) กล่าวว่า เมื่อเกิดสภาวะเครียดจากน้ำในพืช จะมีการลดการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่หากพืชใดสามารถผลิตคลอโรฟิลล์ได้ ถือว่าเป็นพันธุ์ต้านทานต่อความแห้งแล้ง จากการศึกษาพบว่า ระดับการให้น้ำมีผลต่อค่าความเข้มสีใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้น้ำที่ระดับ 1/3 AW ช่วง 5 เดือนหลังปลูก มีค่าความเข้มสีใบมากที่สุด เมื่อเทียบกับการให้น้ำที่ระดับ FC และ 2/3 AW พันธุ์มันสำปะหลังที่มีค่าความเข้มสีใบมากที่สุดเมื่อได้รับน้ำที่ระดับ 1/3 AW ช่วง 5 เดือนหลังปลูกคือ ห้วยบง 80 รองลงมาคือ ระยอง 9 ระยอง 90 เกษตรศาสตร์ 50 และห้านาที ตามลำดับ

ผลของสภาพแห้งแล้งต่อปริมาณสารโพรลีน ที่มีหน้าที่ในการปรับแรงดันออสโมติกภายในเซลล์ให้ต่ำภายนอกเซลล์ ดังนั้นพืชจึงสามารถนำน้ำเข้าสู่เซลล์ได้ จากการศึกษาพบว่า ระดับการให้น้ำมีผลต่อปริมาณสารโพรลีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้น้ำในระดับ 1/3 AW อายุ 5 เดือนหลังปลูก มีปริมาณสารโพรลีนมากที่สุดเมื่อเทียบกับการให้น้ำในระดับ 2/3 AW และ FC เนื่องจากการให้น้ำที่ระดับ 1/3 AW เป็นระดับการให้น้ำที่ใกล้ระดับ PWP ดังนั้นพืชจึงมีการผลิตปริมาณสารโพรลีนขึ้นมามากกว่าระดับน้ำอื่น ๆ เมื่อได้รับความรุนแรงจากการขาดน้ำ พันธุ์มันสำปะหลังที่มีปริมาณสารโพรลีนมากที่สุดเมื่อได้รับน้ำที่ระดับ 1/3 AW คือ ระยอง 90 ระยอง 9 รองลงมาคือ เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 80 ตามลำดับ และพันธุ์ห้านาที มีปริมาณสารโพรลีนน้อยที่สุด สอดคล้องกับ ศาตนันทน์ สุจิตโต และคณะ (2560) กล่าวว่า ในสภาวะปกติ จะมีปริมาณสารโพรลีน

ในระดับต่ำ แต่จะเริ่มผลิตมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sundaresan และ Sudhakaran (1995) กล่าวว่า พันธุ์มันสำปะหลังที่มีความอ่อนแอต่อความแห้งแล้ง จะมีการสะสมปริมาณสารโพรลีนมากกว่าพันธุ์ต้านทาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศศิธร พานเหล็ก (2548) กล่าวว่า พันธุ์ที่มีลักษณะทนแล้งจะมีการปริมาณสารโพรลีนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับพันธุ์ต้านทาน เนื่องจากกลไกการต้านทานในพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน ทำให้ระยะการพัฒนาของพืชแต่ละพันธุ์มีผลต่อปริมาณสารโพรลีนต่างกัน และศาตนันทน์ สุจิตโต (2559)ได้กล่าวถึง Andrade *et al.* (1995) ว่า ถั่วแขก พันธุ์ที่ไม่ทนแล้งมีปริมาณสารโพรลีนมากกว่าเมื่อเทียบกับพันธุ์ทนแล้ง

จากการศึกษาพบว่า ระดับการให้น้ำมีผลต่อความสูงต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 อายุ 5 เดือนหลังปลูก มีค่าความสูงต้นน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการให้น้ำที่ระดับ FC และ 2/3 AW การให้น้ำในระดับ 1/3 AW ในช่วง 5 เดือนหลังปลูก พันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ค่าความสูงต้นมากที่สุดคือ เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 80 ระยอง 9 ห้านาที และระยอง 90 ตามลำดับ ความสูงต้นลดลง เนื่องจากพืชต้องปรับตัวเพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้สภาพแห้งแล้งด้วยการลดการแบ่งเซลล์ เนตรชนก เวียนเสี้ยว และคณะ (2556) กล่าวว่า เมื่องดการให้น้ำแก่พืช จะทำให้พืชลำเลียงน้ำ และแร่ธาตุที่ละลายในน้ำ เช่น เหล็ก แมกนีเซียม และไนโตรเจนเข้าสู่พืชได้ยากขึ้น จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช Sadeghi and Ghanaatiyan (2017) กล่าวว่า การลดการเจริญเติบโตด้านความสูงต้น เป็นผลมาจากการได้รับน้ำไม่เต็มที่ ทำให้พืชลดพื้นที่ใบ ลดการแบ่งเซลล์ และลดการสังเคราะห์แสง สอดคล้องกับ ปรียาภรณ์ ต่อวงค์ (2549) กล่าวว่า เมื่อพืชอยู่ในสภาพขาดน้ำ จะส่งผลต่อระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและลักษณะทางสันฐานวิทยาของพืช สอดคล้องกับ กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ (2554) กล่าวว่า ความสูงต้นเป็นลักษณะประจำพันธุ์ ทำให้พันธุ์ระยอง 90 ซึ่งมีการแตกกิ่งมากกว่าพันธุ์อื่น โดยมีความสูงต้นเฉลี่ย 200 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 200-300 เซนติเมตร

## 5.2 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง การตอบสนองทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีและฮอร์โมนพืชในมันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW

การตอบสนองต่อสภาพแห้งแล้ งของพันธุ์ระยอง 9 อายุ 5 เดือนหลังปลูกที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW พบว่าการผลิตกรดแอบไซซิกมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนใบร่วงและปริมาณสารโพรลีน แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม อธิบายได้ว่า เมื่อพืชอยู่ในสภาพแห้งแล้ง พืชจะปรับตัวด้วยการปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ เนื่องจากฮอร์โมนเอทิลีนมีส่วนในการเร่งการเสื่อมสภาพของใบ (Iqbal *et al*., 2017) และเพิ่มการสะสมสารโพรลีนเพื่อรักษาแรงดันออสโมติกภายในเซลล์ (ปาริชาติ ศิลาเลิศ และวัฒนา พัฒนากูล , 2559) และกรดแอบไซซิกมีความสัมพันท์เชิงลบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ อธิบายได้ว่าการปิดปากใบพืชไม่สามารถนำ

คาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง จากการศึกษา กล่าวได้ว่า การวัดปริมาณสารโพรลีนในพันธุ์ระยอง 9 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก เมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำ สามารถนำมาเป็นตัวบ่งชี้การต้านทานความแห้งแล้งได้

การตอบสนองต่อสภาพแห้งแล้งของพันธุ์ระยอง 90 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW พบว่าการผลิตกรดแอบไซซิกมีความสัมพันธ์เชิงลบกับสถานะของน้ำในใบพืชและมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารโพรลีน อธิบายได้ว่า เมื่อพืชอยู่ในสภาพแห้งแล้ง พืชจะกระตุ้นให้มีการปิดปากใบ แต่ในทางตรงกันข้าม หากมีสถานะของน้ำในใบสูงพืชจะไม่มีการถูกกระตุ้นดังกล่าว และการปิดปากใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการสร้างปริมาณสารโพรลีน ซึ่งเป็นกลไกการปรับตัวเมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำ นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารโพรลีนยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนใบร่วงและค่าความเข้มสีใบ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับสถานะของน้ำในใบพืช และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม กล่าวได้ว่า การวัดปริมาณสารโพรลีนในพันธุ์ระยอง 90 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก เมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำ สามารถนำมาเป็นตัวบ่งชี้การต้านทานความแห้งแล้งร่วมกับการนับจำนวนใบร่วงและสถานะของน้ำในใบได้พืช เนื่องจากค่าความเข้มสีใบและปริมาณคลอโรฟิลล์รวมไม่สอดคล้องกันอาจเนื่องมาจากปัญหาของอุปกรณ์และเทคนิคในการเก็บผล เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นควรศึกษาพื้นที่ใบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วย (ชุติมา ยานสาร และคณะ, 2557.)

การตอบสนองต่อสภาพแห้งแล้งของพันธุ์ห้านาที อายุ 5 เดือนหลังปลูกที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW พบว่าการผลิตกรดแอบไซซิกมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความสูงต้น อธิบายได้ว่า เมื่อพืชอยู่ในสภาพขาดน้ำ มีการผลิตกรดแอบไซซิกเพิ่มขึ้นเพื่อปิดปากใบ ส่งผลให้พืชสามารถลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณสารโพรลีนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับฮอร์โมนเอทิลีน และค่าความเข้มสีใบ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความสูงต้นและสถานะของน้ำในใบพืช กล่าวได้ว่า การวัดปริมาณสารโพรลีนในพันธุ์ห้านาที ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก เมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำ สามารถนำมาเป็นตัวบ่งชี้การต้านทานความแห้งแล้งร่วมกับการเพิ่มขึ้นของฮอร์โมนเอทิลีน ความสูงต้น และสถานะของน้ำในใบพืช

การตอบสนองต่อสภาพแห้งแล้งของพันธุ์ห้วยบง 80 อายุ 5 เดือนหลังปลูกที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW พบว่าฮอร์โมนเอทิลีนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Koukounaras *et al*. (2006) กล่าวว่าผักร็อคเก็ต (*Eruca sativa* Mill.) ที่ได้รับฮอร์โมน-เอทิลีน ความเข้มข้น 1 µl $l^{-1}$ นาน 4 ชั่วโมง มีผลทำให้ใบเหลือง และตายภายใน 2 วัน อธิบายได้ว่าการเพิ่มขึ้นของฮอร์โมนเอทิลีนสอดคล้องต่อการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ นอกจากนี้ ยังพบว่า ปริมาณสารโพรลีนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนใบร่วง สถานะของน้ำในใบ ความเข้มสีใบ กล่าวได้ว่า การวัดปริมาณสารโพรลีนในพันธุ์ห้วยบง 80 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก

เมื่ออยู่ในสภาพ-ขาดน้ำ สามารถนำมาเป็นตัวบ่งชี้การต้านทานความแห้งแล้งร่วมกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบร่วง สถานะของน้ำในใบ และความเข้มสีใบ

การตอบสนองต่อสภาพแห้งแล้งของพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 อายุ 5 เดือนหลังปลูกที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW พบว่าสถานะของน้ำในใบมีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนใบร่วง และปริมาณสารโพรลีน อธิบายได้ว่าเมื่อพืชอยู่ในสภาพแห้งแล้ง แต่มีปริมาณสารโพรลีนลดลง และการหลุดร่วงใบต่ำ เป็นผลเนื่องมาจากมีปริมาณน้ำในใบสูง ซึ่งเป็นกลไกของการทนแล้ง (drought tolerance) (มัทนภรณ์ ใหม่คามิ, 2554) ทำให้ทราบว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีประสิทธิภาพในการรักษาสถานะน้ำในใบพืชสูง ถึงแม้จะอยู่ในสภาพที่มีปริมาณน้ำในดินน้อย กล่าวได้ว่า การวัดปริมาณสารโพรลีนและจำนวนใบร่วงในพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก เมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำ สามารถนำมาเป็นตัวบ่งชี้การต้านทานความแห้งแล้งร่วมกับสถานะของน้ำในใบได้ เนื่องจากการทดลองนี้ได้ศึกษาสถานะของน้ำในใบพืชในสภาพโรงเรือน และควบคุมพื้นที่ความชื้นและการให้น้ำด้วยการปลูกในกระถาง จึงสามารถวัดสถานะของน้ำในใบพืชได้อย่างเที่ยงตรง แต่หากปลูกในสภาพแปลงปลูกจริง ค่าสถานะของน้ำในใบพืชอาจมีความคลาดเคลื่อน

จากผลการวิจัยข้างต้น แสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3 AW จะมีการปรับตัว เพื่อให้สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ ซึ่งแตกต่างกับมันสำปะหลังที่ได้น้ำที่ระดับ FC และเพื่อให้ทราบกระบวนการต่าง ๆ ให้แน่ชัดมากขึ้น ควรมีการศึกษาต่อยอดในระดับชีวโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวกับกระบวนการทนแล้ง เช่น การปิดเปิดปากใบ การหลุดร่วงของใบ หรือการศึกษาการสังเคราะห์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับ SOD ซึ่งลักษณะดังกล่าว คาดว่าจะสามารถนำไปใช้เป็นลักษณะในการคัดเลือกเบื้องต้นสำหรับมันสำปะหลังหรือพืชใกล้เคียงได้

**ข้อเสนอแนะ**

ปริมาณคลอโรฟิลล์และค่าความเข้มสีใบมีผลตรงกับข้าม ทั้งนี้อาจเกิดจากความผิดพลาดของเครื่องมือ และค่าความเข้มของใบยังขึ้นอยู่กับปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่ด้วย ดังนั้นการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์หรือความเข้มสีใบควรศึกษาควบคู่ไปกับการวัดพื้นที่ใบ

อย่างไรก็ตาม กลไกการตอบสนองของมันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำนี้ยังขาดการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบต่อผลผลิต เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดจึงจำเป็นที่ต้องศึกษาในขั้นต่อไป

# รายการอ้างอิง


กนกวรรณ เสรีภาพ. (2555). เอทิลีน. **คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย.** สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 22 หน้า.

กล้าณรงค์ ศรีรอด, โอภาษ บุญเส็ง, กาญจนา กู้โรจนวงศ์ และวิไล สันติโสภาศรี. (2542). สภาวะแล้งน้ำในระหว่างการเจริญ เติบโตที่มีต่อคุณภาพและสมบัติทาง เคมี ฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลัง. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37:** 154-161.

กลุ่มสารสนเทศอิเล็กทรอนิกส์ สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). **ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ เรื่อง มันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์.** [ออนไลน์]. ได้จาก : http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR44.pdf.

กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ. (2554). **มันสำปะหลัง.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical06013.pdf.

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, วลัยพร ศะศิประภา, นาวี จิระชีวี, ก้อนทอง พัวประโคน, โสภิตา สมคิด, นาฏญา โสภา, รังษี เจริญสถาพร, เบญจมาศ คำสืบ, นรีลักษณ์ วรรณสาย และอนุชิต ฉ่ำสิงห์. (2554). **ดิน น้ำและการจัดการปลูกมันสำปะหลัง**. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร 49 หน้า.

เกียรติคุณ ชินประสาทศักดิ์, อนุกูล กล่ำกล่อมจิตร และเอกรินทร์ ยอดคงดี. (2551). การศึกษาแบบจำลองสมดุลน้ำในดิน WaSim ในแปลงข้าวโพด ภายใต้สภาวะการขาดน้ำชลประทาน. **โครงงานวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.**

จันทร์จิรา สมจันทร์. (2552). ผลของการให้น้ำต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและผลผลิตน้ำยางของยางพารา (Hevea brasiliensis) ในช่วงรอบปี. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.** 69 หน้า.

เจนนี่ เจา, สายสุณีย์ ลิ้มชูวงศ์, สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ และสุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. (2553). ผลของความเครียดจากเกลือต่อปริมาณโพรลีนในแคลลัสสละ. **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 1.** ฉบับที่ 2. 103-107.

ชุติมา ยานสาร, ภัศจี คงศีล, สิรินทร์ ชุ่มอินทรจักร, ขวัญชนก คลายจากทุกข์, วิมลศิริ สีหะวงษ์ และปิยะ กิตติภาดากุล. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และพื้นที่ใบ

มันสำปะหลัง กับผลผลิตหัวสดมันสำปะหลัง. **การประชุมทางวิชาการของหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53**: 516-522.

ณิชชาภัฏ บรรพสุวรรณ. (2553). ผลของหินฝุ่นต่อผลผลิต ลักษณะทางกายภาพ เคมี และการเสื่อมสภาพทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของหัวมันสำปะหลัง. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.** 83 หน้า.

ตุลาพร แก้วแก่น และวัฒนา พัฒนากูล. (2549). ผลของสภาวะขาดน้ำจากความแห้งแล้งและความเครียดเกลือต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและเมแทบอลึซึมของคาร์โบไฮเดรตในข้าวระยะต้นกล้า. **วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.** ฉบับที่ 11: 260-268.

ธนากร วิมลศิลป์ และภมิศักดิ์ แพทยานนท์. (2536). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับความดันใบของพืช. **โครงงานวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. 52 หน้า

ธนากร แสงสง่า. (2557). พีจีพีอาร์: บทบาทในการส่งเสริมและป้องกันพืชภายใต้สภาวะเครียด. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** ฉบับที่ 22: 552-570.

นพดล จรัสสัมฤทธิ์. (2537). **ฮอร์โมนพืชและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช.** สำนักพิมพ์รั้วเขียว. พิมพ์ครั้งที่ 1: 124 หน้า.

นภวรรณ มัณยานนท์. (2558). การเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง ระหว่างพันธุ์นครสวรรค์ 1 กับพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่เจริญเติบโตภายใต้ภาวะเค็ม. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.** 148 หน้า.

เนตรชนก เวียนเสี้ยว, กอบเกียรติ แสงนิล และจารุณี จูงกลาง. (2556).ผลของการขาดน้ำต่อการเติบโตของต้นกล้าถั่วด้า ถั่วเขียว และถั่วแดงหลวง **วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น** ฉบับที่ 41: 149-157.

ปรารถนา จันทร์ทา, พัชราพรรณ คงเพชรศักดิ์ และสุกานดา ดอกสันเทียะ. (2547). **ฮอร์โมนพืช**. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ. 82 หน้า.

ปรียานุช ลาขุนทด, ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธิ์, จิรวัฒน์ สนิทชน และโจนาลิซา แอล เซี่ยงหลิว. (2558). ผลของการขาดน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในใบพืชข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่โครโมโซม 9 บางส่วนถูกแทนที่ด้วยยีนทนแล้ง.**วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.** ฉบับที่ 15: 46-55.

ปรียาภรณ์ ต่อวงศ์, เสาวณี สาธรวิริยะพงศ์ และวิทยา สาธรวิริยะพงศ์. (2549). ผลของสภาวะความ-

เครียดน้ำต่อสัณฐานวิทยาและการออกดอกของสัมเปลือกล่อนพันธุ์ฮันนี่. **ในการประชุมทางวิชาการของหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44.** 66-72.

ปรียาภรณ์ ต่อวงศ์. (2550). สภาวะเครียดของน้ำที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาและการเกิดตาดอกส้มพันธุ์ฮันนี่เมอร์คอทท์แทนเกอร์และมินเนโอลาแทนเจโล. **วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิชา พฤกษศาสตร์.** 121 หน้า.

ปาริชาติ ศิลาเลิศ และวัฒนา พัฒนากูล (2559).ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อสรีรวิทยา เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและปริมาณแอนโทไซยานินในใบข้าวเหนียวดำภายใต้สภาวะแล้ง. **ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ**. 420-430.

พงศ์ศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์, รัตนา ตั้งวงศ์กิจ, บพิตร ตั้งวงศ์กิจ, ชุติ ม่วงประเสริฐ และสมชาย หล่อมหัทธนกุล. (2555). การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตข้าว.**ในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13**. 696-704.

พรรณธิภา ณ เชียงใหม่ และภัทราพร ภุมรินทร์. (2550). ศึกษาพืชตระกูลถั่ว Vigna ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและทนแล้ง เพื่อใช้เป็นพืชอาหารสัตว์สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง. **รายงานวิจัย คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร.** 148 หน้า.

พัชราพร หนูวิสัย, วิไลวรรณ พรหมคำ, อารดา มาสริ, เชาวนาถ พฤทธิเทพ และวันชัย ถนอมทรัพย์. (ม.ป.ป.). การตอบสนองของพันธุ์มันสำปะหลังต่อความถี่การให้น้ำ. **ในการประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติครั้งที่ 5.** 162-170.

ภาวินี คามวุฒิ, นวรัตน์ อุดมประเสริฐ, ทศพล พรหมทม และพรศิริ หลีวานิช. (2553). ผลของการขาดน้ำต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและปริมาณน้ำมันในเมล็ดทานตะวัน. **วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 28. ฉบับที่ 1**. 75-88.

มนสิชา แดงรัศมีโสภณ. (2546). มันสำปะหลัง: พืชเศรษฐกิจสำคัญของไทย. [ออนไลน์]. ได้จาก : http://utcc2.utcc.ac.th/tradestrategies/web_tradestrategies5/information/tpica16.pdf.

มัทนภรณ์ ใหม่คามิ. (2554). ความสัมพันธ์ของการทนแล้งกับลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของหญ้ารูซี่. **วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาพฤษศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** 118 หน้า.

มูลนิธิสถาบันพัฒนาสำปะหลังแห่งประเทศไทย. (2544). **การเพาะปลูกและดูแลรักษา.** [ออนไลน์]. ได้จาก: https://www.tapiocathai.org/pdf/Tapioca%20Plan/e_tapioca%20varieties.pdf.

รังสิมา วิเศษศรี และวัฒนา พัฒนากูล. (2555). อิทธิพลของกรดซาลิไซลิกต่อการเจริญเติบโตและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตของข้าวโพดข้าวเหนียวในสภาวะขาดน้ำ.**ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ.** 517-527.

รัชดาภรณ์ พิทักษ์ธรรม. (2554). ศึกษาการทนเค็ม ความทนแล้ง และความเป็นพิษของต้นลักคา ต่อหนอนเจาะสมอฝ้ายอเมริกัน ( Heliothis armigera Hubn.). **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**. 142 หน้า.

วารุณี เดชพิทยานันท์, สุไลมาน เจ๊ะอาบู, จรีรัตน์ มงคลศิริวัฒนา, พูนพิภพ เกษมทรัพย์, อภิชาต วรรณวิจิต และชเนษฎ์ ม้าลำพอง. (2556). การแสดงออกของยีน Heat-shock Protein ในสภาพอุณหภูมิสูงของข้าวเจ้าหอมนิลพันธุ์กลาย. **Genomics and Genetics** ฉบับที่ 1. 103-106.

วิชิต พิมพ์สวัสดิ์. (2558). **สถาณการณ์มันสำปะหลังของไทยเดือนธันวาคม 2558**. [ออนไลน์]. ได้จาก : https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/DocLib_Research/ 01-cassava_Condi_Dec2015.pdf

ศศิธร พานเหล็ก. (2548). ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการสะสมโพรลีน และการเจริญเติบโตในอ้อยพันธุ์ลูกผสม. **ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. 28 หน้า.

ศาตนันทน์ สุจิตโต. (2559). การคัดเลือกลักษณะทนแล้งในพันธุ์ปาล์มน้ำมันระยะต้นกล้า. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ หาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.** 77 หน้า.

ศาตนันทน์ สุจิตโต, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และเสาวภา ด้วงปาน. (2560). การเจริญเติบโตและปริมาณโพรลีนของต้นกล้าปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอราในสภาวะขาดน้ำ. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. ปีที่4 ฉบับที่1**. 14-18.

ศิริพร ศรีภิญโญวณิชย์ และรัฐธิภา ธนารักษ์. (2560). ผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่มีต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าวและหญ้าข้าวนก ในระยะต้นกล้า. **วารสารการเกษตรราชภัฏ. ฉบับที่ 15.** 54-66.

ศุภชาติ วรรณวงษ์. (2545). ความผันแปรของความชื้นในดินจากการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่าง ๆ ที่ลุ่มน้ำภูเวียง จังหวัดขอนแก่น. **รายงานการประชุมวิชาการป่าไม้.** 280-287.

สมบูรณ์ มั่นความดี, ผจงจิตต์ ศรีสุข และสุภัทตรา นุชนารถ. (2551). **การพัฒนาเครื่องวัดความชื้นในดินทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศเพื่อจัดการดินและน้ำชลประทานในดินทรายอย่างมีประสิทธิภาพ**. กลุ่มงานดินด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน. 58 หน้า.

สภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา. (2555). การประมาณความต้องการน้ำของไม้ยืนต้นเศรษฐกิจเพื่อการให้น้ำที่เหมาะสม. **แก่นเกษตร. ฉบับที่ 40.** 279-290.

สุกัญญา ใจพิธิ์ และสุรินทร์ นิลสำราญจิต. (2545). ผลของสภาวะเครียดจากน้ำต่อปริมาณโพรลีนและการเติบโตของสตรอเบอรี่. **วารสารเกษตร. ฉบับที่ 18** (3). หน้า 201-209.

สุมาลี คงสอดทรัพย์ และวัฒนา พัฒนากูล. (2555). ผลของการแช่เมล็ดในกรดแอบซิสิกและพาโคล-บิวทราโซลต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของข้าว (Oryza sativa L.) ในสภาวะแล้ง. **วารสาร วิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.** 401-409.

สุรีลักษณ์ รอดทอง, หนึ่ง เตียอำรุง และนันทกร บุญเกิด. (2541). การเปลี่ยนแปลงแป้งมันสำปะหลังให้เป็นแหล่งอาหารสำหรับเลี้ยงไรโซเบียม. **รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.** 208 หน้า.

ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. (2554). **คู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช**. 123 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.(2557). **สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีการเพาะปลูก 2557**. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://oldweb.oae.go.th/download/download_journal/2560/yearbook59.pdf.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, จินตณา บางจั่น, ธาดา ชัยสีหา และภูริพงศ์ ดำรงวุฒิ. (ม.ป.ป.). พลังงานน้ำในรอบวันของใบส้มเขียวหวาน. โครงการ ข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาของส้มเขียวหวาน. 45-61.

เอ็จ สโรบล. (2554). Mechanisms of plant responses to global climate change. **แก่นเกษตร. ฉบับพิเศษ 39.** 22-26.

Afzal, A., Duiker, S.and Watson, J. (2017). Leaf thickness to predict plant water status. **Biosystems Engineering**. 156: 148-156.

Agricdemy (2018) **Cassava yield and productivity**. [on-line]. Available: https://www.agricdemy.com/post/cassava-yield-productivity.

Alves, A.A.C. (2002). Cassava botany and physiology. **Embrapa Cassava and Fruits**. 44(380): 67-89.

Alves, A.A.C. and Setter, T.L. (2004). Abscisic acid accumulation and osmotic adjustment in cassava under water deficit. **Environmental and Experimental Botany.** 51(3): 259-271.

Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C. and Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research.** 6(9): 2026-2032.

Apelbaum, A. and Yang, S.F. (1981). Biosynthesis of stress ethylene induced by water deficit. **Plant Physiology**. 68: 594-596.

Arango, J., Welsch, R., Wu, F. and Beyer, P. (2010). Characterization of phytoene synthases from cassava and their involvement in abiotic stress-mediated responses. **Planta**. 232(5): 1251-1262.

Arunyanark, A., Jogloy, S., Akkasaeng, C.M, Vorasoot, N., Kesmala, T., Nageswara Rao, R.C., Wright, G.C. and Patanothai, A. (2008). Chlorophyll stability is an indicator of drought tolerance in peanut. **Journal of Agronomy and Crop Science**. 194(2): 113–125.

Ashraf, M. (2010) Inducing drought tolerance in plants: Recent advances **Biotechnology Advances.** 28(1): 169–183.

Ashrafand, M. and Foolad, M. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and experimental botany**. 59(2): 206-216.

Bates L., Waldrenand, R. and Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**. 39(1): 205-207.

Carvalho, L.J.C.B., Lippolis, J., Chen, S., Batista de Souza, C.R., Vieira, E.A. and Anderson, J.V. (2012). Characterization of carotenoid-protein complexes and gene expression analysis associated with carotenoid sequestration in pigmented cassava (*Manihot Esculenta Crantz*) storage root. **The Open Biochemistry Journal**. 6: 116-130.

Carvalho, L.M., Carvalho, H.W.L., Oliveira, I.R., Sedrez Rangel, M.A. and Santos, V.S. (2016). Productivity and drought tolerance of cassava cultivars in the Coastal Tablelands of Northeastern Brazil. **Ciência Rural.** 46(5): 796-801.

Chaves, M.M., Flexas, J. and Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany.** 103(4): 551-560.

Corcuera, L. Gill-Pelegrin, E. and Notivol E. (2012). Aridity promotes differences in proline and phytohormone levels in pinus pinaster populations from contrasting environments. **Trees**. 26(3): 799-808.

Cramer, G. R., Urano, K., Delrot, S., Pezzotti, M. and Shinozaki, K. (2011). Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. **BMC Plant Biology**, 11: 163.1-14.

Dapanage, M. and Bhat, S. (2018). Physiological responses of commercial sugarcane (Saccharum spp. hybrids) varieties to moisture deficit stress tolerance. **Indian Journal of Plant Physiology**. 23(1): 40-47.

Faostat. (2015). **Food outlook.** [on-line]. Available: http://www.fao.org/3/a-i5003e.pdf.

Fiserova, H., Mikusova, Z. and Klems, M. (2008). Estimation of ethylene production and 1-aminocyclopropane 1-carboxylic acid content in plants by means of gas chromatography. **Plant, Soil and Environment**. 54(2): 55-60.

Hardy, R.W.F., Burns, R.C. and Holsten, R.D. (1973). Application of the C2H4 assay for measurement of nitrogen fixation. **Soil Biology and Biochemistry**. 5(1): 47-81.

Hassanzadeh, M., Ebadi, A, Panahyan-e-Kivi, M., Eshghi, A.G., Jamaati-e-Somarin, Sh., Saeidi, M. and Zabihi-e-Mahmoodabad, M. (2009). Evaluation of drought stress on relative water content and chlorophyll content of sesame (Sesamum indicum L.) genotypes at early flowering stage. **Environmental Sciences**. 3(3): 345-350.

Hsiao, T.C. (1973). Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**. 24(1): 519-570.

Iqbal, N., Khan, N. A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A., and Khan, M. (2017). Ethylene role in plant growth, development and senescence: interaction with other phytohormones. **Frontiers in Plant Science.** 8: 1-19.

Jangpromma, N., Songsri, P., Thammasirirak, S. and Jaisil, P. (2010). Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a SPAD chlorophyll meter across difference water stress conditions. **Asiam Journal of Plant Science**. 9(6): 1-7.

Jones, H.G. (2004) Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. **Botany.** 55(407). 2427–2436.

Kadam, S., Shukla, Y., Subhash, N., Chandrakant, S. and Suthar P. (2017). Screening of wheat genotypes (Triticum Durum L.) in response to drought stress by some physiological and biochemical indices. **International journal of pure and applied biosciences**. 5(3): 969-977.

Koukounaras, A., Siomos, A. and Sfakiotakis, E. (2006). 1-Methylcyclopropene prevents ethylene induced yellowing of rocket leaves. **Postharvest Biology and Technology** 41(1): 109-111.

Leng, G. and Hall, J. (2019). Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. **Science of The Total Environment.** 654: 811-821.

Luis, O.D. (2012). **Cassava drought tolerance mechanisms revisited: evaluation of drought tolerance in contrasting cassava genotypes under water stressed environments.** Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University. 176.

Luis, O.D.and Tim, L.S. (2013). Cassava response to water deficit in deep pots: root and shoot growth, aba, and carbohydrate reserves in stems, leaves and storage roots. **Tropical Plant Biol**. 6(4): 100-209.

Nazar, R., Umar, S., Khan, N.A. and Sareer, O. (2015). Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth inmustard through changes in proline accumulation and ethyleneformation under drought stress. **South African Journal of Botany**. 98: 84-94.

Odubanjo, O.O., Olufayo, A.A. and Oguntunde, P.G. (2011). Water use, growth, and yield of drip irrigated cassava in a humid tropical environment. **Soil and Water Research.** 6(1): 10-20.

Pareek, A. Sopory, S.K. and Bohnert, H.J. (2010). **Abiotic stress adaptation in plants: physiological, molecular and genomic foundation**. Springer, Dordrecht. 526.

Pessarakli, M. (2010). **Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker. 1245.

Phookaew, P., Netrphan, S., Sojikul, P. and Narangajavana, J. (2014). Involvement of miR164- and miR167-mediated target gene expressions in responses to water deficit in cassava. **Biol Plant** 58(3): 469-478.

Ranjan, A., Archana, K. and Ranjan, S. (2017). Gossypium herbaceum ghcyp1 regulates water use efficiency and drought tolerance by modulating stomatal activity and photosynthesis in transgenic tobacco. **Biosciences Biotechnology Research Asia**. 14(3): 869-880.

Riahi, M. and Ehsanpour, A.A. (2013). Responses of transgenic tobacco (Nicotiana Plambaginifolia) over-expressing p5cs gene underin vitrosalt stress. **Progress in Biological Sciences**. 2(*2*): 76-84.

Roth, G., Goyne, P., Brodrick, R. and Conaty, W. (2012) **Plant water status measurements. water a guide for irrigation management in cotton** [on-line] : Avilable: http://www.moreprofitperdrop.com.au/wp-content/uploads/2013/10/WATERpak-2_04-Plant-water-status.pdf.

Sadeghi, H. and Ghanaatiyan, K. (2017). Probing the responses of four chicory ecotypes by ethylene accumulation and growth characteristics under drought stress. **Italian Journal of Agronomy**. 12(773): 177-182.

Soltys-Kalina, D., Plich, J., Strzelczyk-Zyta, D., Sliwka, J. and Marczewski, W. (2016). The effect of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a half-sib family of 'Katahdin'-derived potato cultivars. **Breeding Science**. 66(2): 328-31.

Sundaresan, S. and Sudhakaran, P.R. (1995) Water stress induced alterations in the proline metabolism of drought susceptible and tolerant cassava. **Physiologia Plantarum**. 94: 635-642.

Tanentzap, F., Stempel, A. and Ryser, P. (2015). Reliability of leaf relative water content (RWC) measurements after storage: consequences for in situ measurements. **Botany**. 93.1-23.

Turyagyenda, L.F., Kizito, E.B., Ferguson, M., Baguma, Y., Agaba, M., Harvey, J.J., Osiru, D.S., (2013). Physiological and molecular characterization of drought responses and identification of candidate tolerance genes in cassava. **AoB Plants**. 5: 1-17.

Tuteja, N., Gill, S.S., Tiburcio, A.F. and Tuteja, R. (2012). **Improving Crop Resistance to Abiotic Stress: Vol. 1.** germany: Wiley VCH Verlag GmbH, Weinheim. 1460.

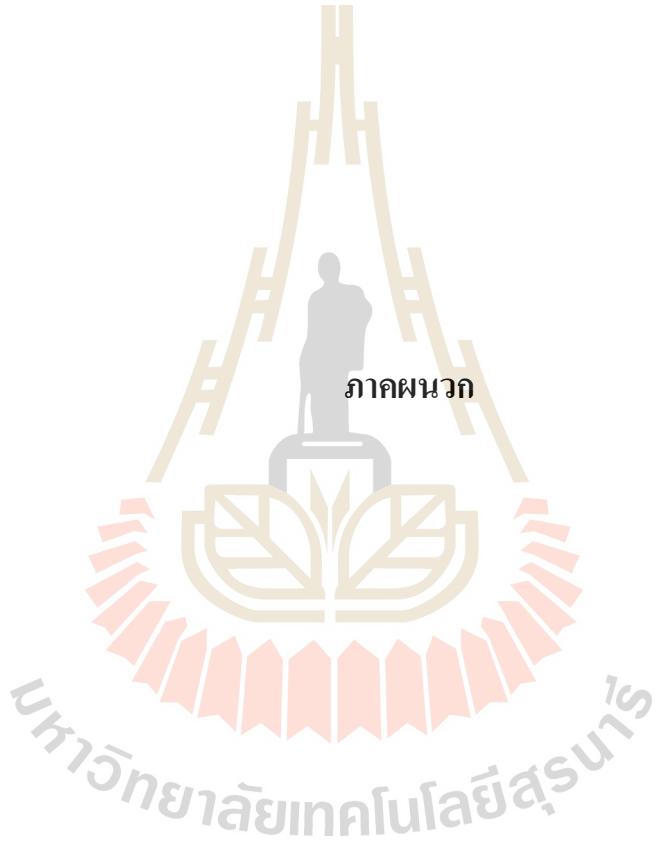
Valco Instruments Company Inc. (n.d.). **Product for gaschromatgrams** [on-line]. Available: https://www.vici.com/hayesep/hst_c1.php.

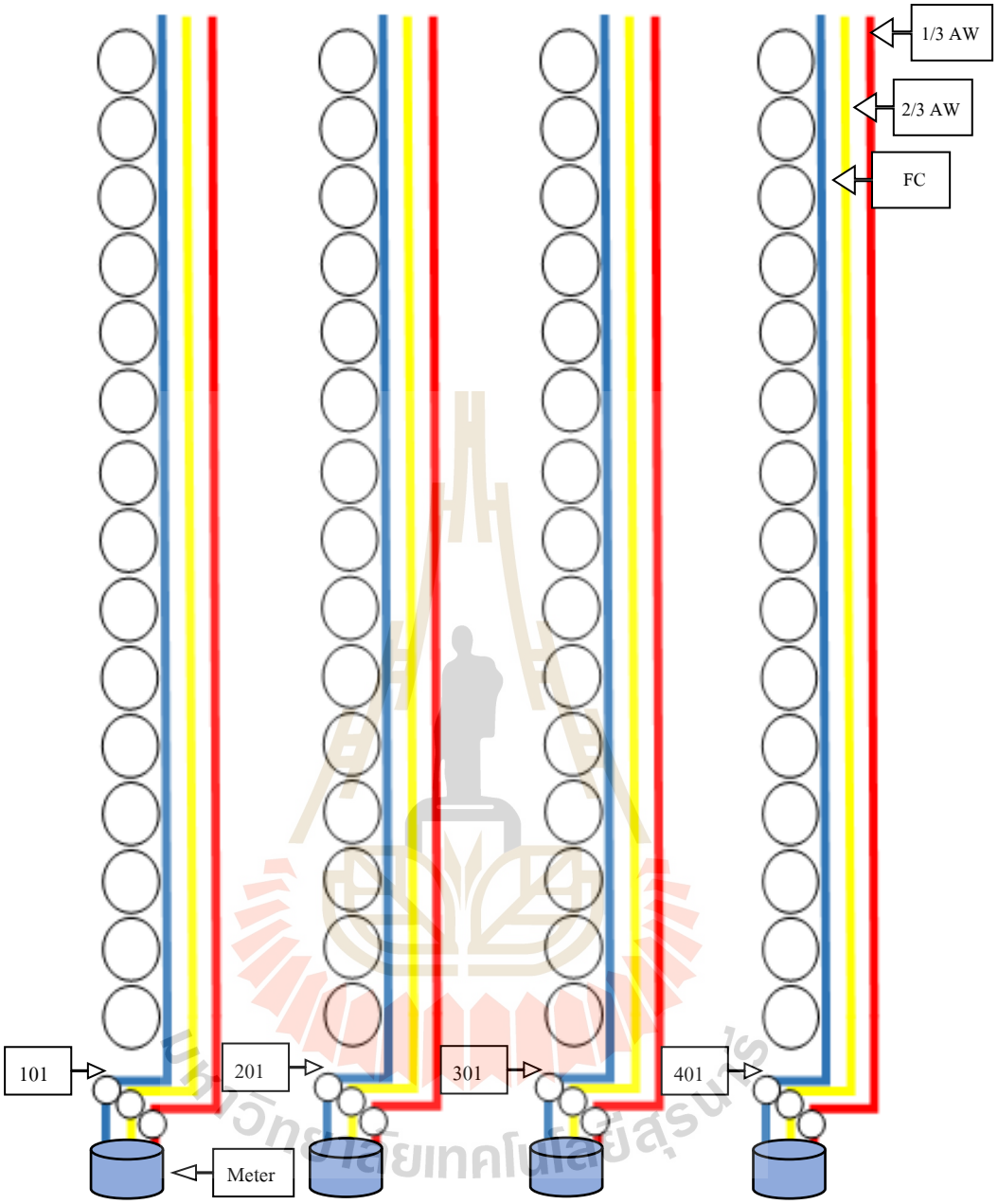
Waseem, M., Ali A., Tahir, M., Nadeem, M.A., Ayub, M., Tanveer, A., Ahmad, R. and Hussain, M. (2011). Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. **Continental Journal of Agricultural Science**. 5(1): 10-25.

Xu, D., Huang, H. and Zhou, Y. (n.d.). Simultaneous determination of 21 plant growth regulators in various fruits using QuEChERS coupled with an HPLC-MS/MS technique. **Food Saf Qual**. 1-7.

Zu, X., Lu, Y., Wang, Q., Chu, P., Miao, W., Wang, H. and La, H. (2017). A new method for evaluating the drought tolerance of upland rice cultivars. **The Crop Journal**. 5 (6): 488-498.

# ภาคผนวก






**ภาพภาคผนวกที่ 1** ลักษณะการจัดวางถังพลาสติก 200 ลิตรและระบบน้ำทั้ง 3 ระบบ

**สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารโพรลีน**

**1 3% sulfosalicylic acid**

| | | |
|---|---|---|
| sulfosalicylic acid | | 3 g. |
| น้ำปราศจากไอออน | ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ | 100 ml. |

**2 6M phosphoric acid**

| | | |
|---|---|---|
| phosphoric acid | | 40.7 ml. |
| น้ำปราศจากไอออน | ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ | 59.3 ml. |

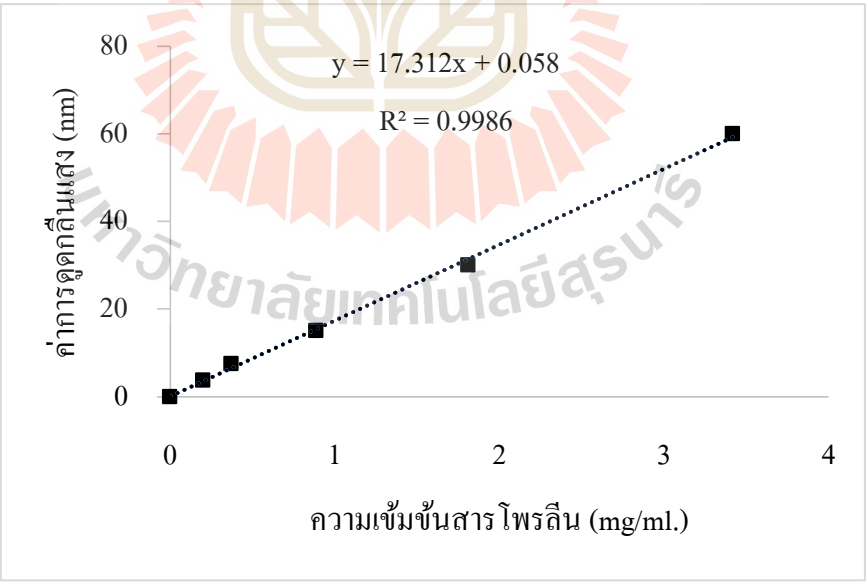
**3 ninhydrin buffer**

| | |
|---|---|
| ninhydrin | 1.25 g. |
| glacial acetic acid | 30 ml. |
| 6M phosphoric acid | 20 ml. |

ผสมสารบน hot plate จนกว่าสารละลาย จากนั้นเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4°C

**การเตรียมกราฟมาตรฐานโพรลีน**

เตรียม stock solution โพรลีน ความเข้มข้น 0, 3.75, 7.5 15, 30 และ 60 ไมโครกรัม โดยวัดความเข้มข้นโพรลีนมาตราฐานที่ความยาวคลื่น 520 nm

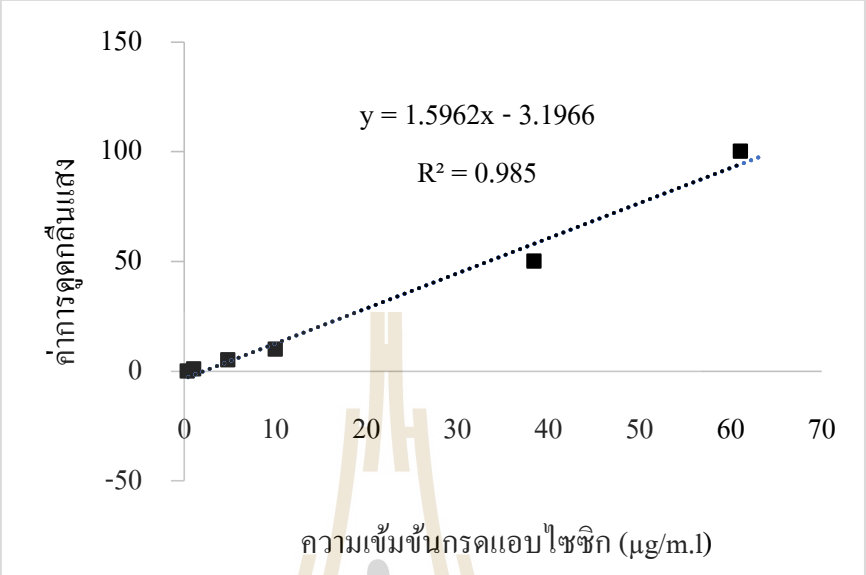



**ภาพภาคผนวกที่ 2** กราฟมาตรฐาน (standard curve) ของปริมาณสารโพรลีน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**เตรียมกราฟมาตรฐานกรดแอบไซซิกมาตราฐาน**

ความเข้มข้น 0, 1, 5.5 10, 50 และ 100 µg/ml โดยวัดความเข้มข้นกรดแอบไซซิก มาตราฐาน




**ภาพภาคผนวกที่ 3** กราฟมาตรฐาน (standard curve) กรดแอบไซซิก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ตารางภาคผนวกที่ 1** สถานะของน้ำในใบพืช (RWC) (%) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก

| | | RWC (%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **3 เดือนหลังปลูก** | **4 เดือนหลังปลูก** | **5 เดือนหลังปลูก** |
| ระยอง 9 | FC | 89.61±0.81$^{a1/}$ | 91.02±0.42$^{a}$ | 88.34±3.38$^{a}$ |
| | 2/3 AW | 88.89±0.47$^{ab}$ | 85.12±1.16$^{abc}$ | 88.12±1.20$^{a}$ |
| | 1/3 AW | 83.74±2.80$^{ab}$ | 82.39±2.33$^{bcde}$ | 85.31±2.79$^{ab}$ |
| ระยอง 90 | FC | 88.43±2.81$^{ab}$ | 85.15±2.21$^{abc}$ | 88.10±2.37$^{a}$ |
| | 2/3 AW | 84.55±1.22$^{ab}$ | 83.83±0.82$^{abcd}$ | 84.57±2.84$^{ab}$ |
| | 1/3 AW | 86.37±1.60$^{ab}$ | 82.80±0.99$^{bcde}$ | 82.05±0.72$^{ab}$ |
| เกษตรศาสตร์ 50 | FC | 87.17±1.97$^{ab}$ | 85.46±1.50$^{abc}$ | 85.75±1.21$^{ab}$ |
| | 2/3 AW | 86.02±4.00$^{ab}$ | 84.37±1.30$^{abcd}$ | 84.08±2.63$^{ab}$ |
| | 1/3 AW | 81.62±2.63$^{b}$ | 79.32±1.02$^{cde}$ | 80.62±1.00$^{ab}$ |
| ห้วยบง 80 | FC | 86.39±0.97$^{ab}$ | 87.46±1.29$^{ab}$ | 81.98±2.82$^{ab}$ |
| | 2/3 AW | 85.55±0.77$^{ab}$ | 82.65±0.79$^{bcde}$ | 82.45±1.95$^{ab}$ |
| | 1/3 AW | 83.83±1.88$^{ab}$ | 76.19±2.077$^{e}$ | 76.94±2.06$^{b}$ |
| ห้านาที | FC | 87.44±0.65$^{ab}$ | 86.08±1.15$^{abc}$ | 84.02±1.51$^{ab}$ |
| | 2/3 AW | 87.86±0.72$^{ab}$ | 81.73±1.16$^{bcde}$ | 80.74±1.88$^{ab}$ |
| | 1/3 AW | 85.67±2.47$^{ab}$ | 77.79±1.09$^{de}$ | 78.81±1.49$^{ab}$ |

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ตารางภาคผนวกที่ 2** ปริมาณกรดแอบไซซิก (pmol $cm^2$) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำที่อายุ 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ

| | | กรดแอบไซซิก (pmol $cm^2$) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **1 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **2 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **3 สัปดาห์หลังงดน้ำ** |
| ระยอง 9 | FC | 1.97±0.84$^{bc1/}$ | 9.77±5.62$^{c}$ | 13.19±1.56$^{ab}$ |
| | 2/3 AW | 2.44±1.03$^{bc}$ | 25.947±12.00$^{bc}$ | 28.31±1.56$^{ab}$ |
| | 1/3 AW | 2.66±1.149$^{abc}$ | 44.29±12.97$^{a}$ | 28.39±1.56$^{ab}$ |
| ระยอง 90 | FC | 1.20±0.077$^{c}$ | 9.269±5.22$^{c}$ | 13.26±6.29$^{ab}$ |
| | 2/3 AW | 2.93±0.75$^{abc}$ | 29.52±4.46$^{abc}$ | 27.60±2.91$^{ab}$ |
| | 1/3 AW | 3.02±0.79$^{abc}$ | 33.19±1.87$^{abc}$ | 30.12±1.93$^{ab}$ |
| เกษตรศาสตร์ 50 | FC | 2.69±0.73$^{abc}$ | 14.81±3.01$^{c}$ | 13.92±1.38$^{ab}$ |
| | 2/3 AW | 3.08±0.79abc | 47.60±14.64ab | 47.53±11.07ab |
| | 1/3 AW | 3.59±0.55abc | 49.42±16.38ab | 51.40±14.78a |
| ห้วยบง 80 | FC | 4.14±0.80ab | 16.93±1.28c | 10.00±3.02b |
| | 2/3 AW | 4.32±0.83ab | 46.33±11.80ab | 41.32±11.53ab |
| | 1/3 AW | 4.84±0.89a | 52.72±17.92ab | 48.43±14.62a |
| ห้านาที | FC | 3.85±0.66ab | 14.33±1.70c | 9.23±5.35b |
| | 2/3 AW | 4.05±0.610ab | 28.61±1.96abc | 21.08±2.01ab |
| | 1/3 AW | 4.49±0.71ab | 28.64±1.98abc | 28.94±5.62ab |

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ตารางภาคผนวกที่ 3** การผลิตฮอร์โมนเอทิลีน (µmol $g^{-1}$FW) $h^{-1}$ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ ช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ

| | | ฮอร์โมนเอทิลีน (µmol $g^{-1}$FW) $h^{-1}$ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **1 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **2 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **3 สัปดาห์หลังงดน้ำ** |
| ระยอง 9 | FC | 1.27±0.30[1/] | 1.14±0.41 | 1.14±0.34 |
| | 2/3 AW | 1.49±0.36 | 4.13±0.86 | 4.13±1.82 |
| | 1/3 AW | 3.23±0.65 | 2.31±0.79 | 2.31±1.10 |
| ระยอง 90 | FC | 0.34±0.29 | 0.97±1.45 | 0.97±0.42 |
| | 2/3 AW | 1.48±0.80 | 2.54±1.75 | 2.54±3.85 |
| | 1/3 AW | 2.71±1.73 | 4.87±1.24 | 4.87±1.64 |
| เกษตรศาสตร์ 50 | FC | 0.57±0.28 | 1.54±0.80 | 1.54±0.69 |
| | 2/3 AW | 2.72±1.50 | 3.11±1.02 | 3.11±3.98 |
| | 1/3 AW | 4.71±0.64 | 6.22±4.69 | 6.22±4.59 |
| ห้วยบง 80 | FC | 0.985±0.01 | 0.44±0.49 | 0.44±0.38 |
| | 2/3 AW | 3.32±1.68 | 1.00±1.11 | 1.00±0.87 |
| | 1/3 AW | 2.43±0.92 | 3.75±0.81 | 3.77±1.91 |
| ห้านาที | FC | 3.22±2.34 | 2.32±0.24 | 2.32±0.11 |
| | 2/3 AW | 2.91±1.49 | 1.24±0.92 | 1.24±0.22 |
| | 1/3 AW | 3.56±1.59 | 5.66±0.53 | 5.66±0.11 |

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ตารางภาคผนวกที่ 4** จำนวนใบร่วง (ใบ) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ช่วง 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังงดน้ำ

| | | จำนวนใบร่วง (ใบ) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **1 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **2 สัปดาห์หลังงดน้ำ** | **3 สัปดาห์หลังงดน้ำ** |
| ระยอง 9 | FC | 1.75±0.47$^{cde}$[1/] | 2.5±0.28$^{cd}$ | 3.75±0.25$^{e}$ |
| | 2/3 AW | 3.75±0.25$^{abc}$ | 4.5±0.28$^{ab}$ | 5.50±0.28$^{bcde}$ |
| | 1/3 AW | 3.75±0.75$^{abc}$ | 4.5±0.64$^{ab}$ | 6.5±0.50$^{ab}$ |
| ระยอง 90 | FC | 3.25±0.629$^{bcde}$ | 3.50±0.50$^{bcd}$ | 4.50±0.28$^{cde}$ |
| | 2/3 AW | 3.75±0.25$^{abc}$ | 5.00±0.01$^{ab}$ | 6.75±0.47$^{ab}$ |
| | 1/3 AW | 5.75±0.25$^{a}$ | 5.75±0.25$^{a}$ | 8.00±0.01$^{a}$ |
| เกษตรศาสตร์ 50 | FC | 1.25±0.25$^{e}$ | 2.00±0.01$^{d}$ | 4.00±0.40$^{de}$ |
| | 2/3 AW | 3.75±0.25$^{abc}$ | 4.50±0.28$^{ab}$ | 5.75±0.25$^{bcd}$ |
| | 1/3 AW | 3.25±0.25$^{bcde}$ | 3.75±0.47$^{bc}$ | 5.50±0.50$^{bcde}$ |
| ห้วยบง 80 | FC | 1.5±0.28$^{de}$ | 2.00±0.01$^{d}$ | 3.75±0.25$^{e}$ |
| | 2/3 AW | 3.5±0.28$^{bcd}$ | 4.50±0.28$^{ab}$ | 6.00±0.40$^{bc}$ |
| | 1/3 AW | 3.75±0.47$^{abc}$ | 4.50±0.28$^{ab}$ | 6.00±0.40$^{bc}$ |
| ห้านาที | FC | 1.50±0.50$^{de}$ | 2.25±0.25$^{cd}$ | 3.75±0.47$^{e}$ |
| | 2/3 AW | 4.00±0.01$^{ab}$ | 5.00±0.05$^{ab}$ | 6.00±0.40$^{bc}$ |
| | 1/3 AW | 3.75±0.47$^{abc}$ | 4.5±0.28$^{ab}$ | 6.75±0.62$^{ab}$ |

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ตารางภาคผนวกที่ 5** ปริมาณคลอโรฟิลล์ ($mg/cm^2$) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ

| | | คลอโรฟิลล์รวม ($mg/cm^2$) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **3 เดือน** | **4 เดือน** | **5 เดือน** |
| ระยอง 9 | FC | 4.94±0.59$^{ab}$[1/] | 6.32±1.72$^{ab}$ | 14.07±1.72$^{a}$ |
| | 2/3 AW | 5.24±0.52$^{ab}$ | 6.62±1.62$^{ab}$ | 9.88±1.62$^{abc}$ |
| | 1/3 AW | 4.70±2.059$^{ab}$ | 3.56±1.59$^{b}$ | 9.01±1.21$^{abc}$ |
| ระยอง 90 | FC | 5.27±0.50$^{a}$ | 8.31±1.16$^{a}$ | 10.78±0.85$^{abc}$ |
| | 2/3 AW | 4.78±0.50$^{ab}$ | 7.03±0.85$^{ab}$ | 9.97±1.16$^{abc}$ |
| | 1/3 AW | 4.27±0.50$^{ab}$ | 4.33±3.62$^{b}$ | 8.38±1.59$^{abc}$ |
| เกษตรศาสตร์ 50 | FC | 4.06±0.50$^{ab}$ | 6.24±1.41$^{ab}$ | 11.48±1.95$^{ab}$ |
| | 2/3 AW | 3.98±0.50$^{ab}$ | 5.56±1.95$^{ab}$ | 7.88±1.41$^{abc}$ |
| | 1/3 AW | 4.77±0.50$^{ab}$ | 6.39±1.46$^{ab}$ | 6.63±1.46$^{abc}$ |
| ห้วยบง 80 | FC | 4.74±0.50$^{ab}$ | 6.62±1.36$^{ab}$ | 13.87±0.92$^{a}$ |
| | 2/3 AW | 5.06±0.50$^{ab}$ | 6.50±0.92$^{ab}$ | 11.89±1.36$^{ab}$ |
| | 1/3 AW | 5.13±0.50$^{ab}$ | 5.71±2.86$^{ab}$ | 7.14±2.86$^{abc}$ |
| ห้านาที | FC | 1.84±0.28$^{c}$ | 3.46±1.16$^{b}$ | 6.78±1.16$^{abc}$ |
| | 2/3 AW | 3.52±0.35$^{abc}$ | 4.89±2.25$^{ab}$ | 4.20±3.62$^{bc}$ |
| | 1/3 AW | 3.34±0.22$^{bc}$ | 4.39±1.21$^{ab}$ | 3.34±2.25$^{c}$ |

ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

**ตารางภาคผนวกที่ 6** ปริมาณสารโพรลีน (µmol $g^{-1}$FW) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ใน 3 ระดับน้ำ

| | | ปริมาณสารโพรลีน (µmol $g^{-1}$FW) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **3 เดือน** | **4 เดือน** | **5 เดือน** |
| ระยอง 9 | FC | 3.63±0.34[1/] | 3.96±0.35 | 2.78±0.14[f] |
| | 2/3 AW | 3.62±0.35 | 3.56±0.08 | 4.42±0.31c[de] |
| | 1/3 AW | 5.70±1.22 | 4.68±0.49 | 6.07±0.22[a] |
| ระยอง 90 | FC | 3.49±0.34 | 3.67±0.29 | 3.05±0.28[ef] |
| | 2/3 AW | 3.57±0.30 | 4.53±0.30 | 4.57±0.08[bcd] |
| | 1/3 AW | 4.35±0.34 | 4.32±0.57 | 6.30±0.16[a] |
| เกษตรศาสตร์ 50 | FC | 3.92±0.35 | 3.81±0.37 | 2.30±0.18[f] |
| | 2/3 AW | 3.54±0.08 | 4.15±0.19 | 4.36±0.37[cde] |
| | 1/3 AW | 3.91±0.11 | 4.62±0.18 | 5.87±0.34[ab] |
| ห้วยบง 80 | FC | 3.67±0.29 | 3.88±0.50 | 2.78±0.25[f] |
| | 2/3 AW | 4.48±0.39 | 4.20±0.27 | 4.31±0.31[cde] |
| | 1/3 AW | 4.25±0.45 | 4.72±0.81 | 5.40±0.11[abc] |
| ห้านาที | FC | 3.43±0.22 | 3.20±0.53 | 2.43±0.25[f] |
| | 2/3 AW | 3.55±0.37 | 4.38±0.28 | 3.51±0.24[def] |
| | 1/3 AW | 3.51±0.33 | 4.91±0.10 | 5.45±0.53[abc] |

ที่อายุ 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก

[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

**ตารางภาคผนวกที่ 7** ความสูงต้น (เซนติเมตร) ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ใน 3 ระดับน้ำ ที่อายุ 3, 4

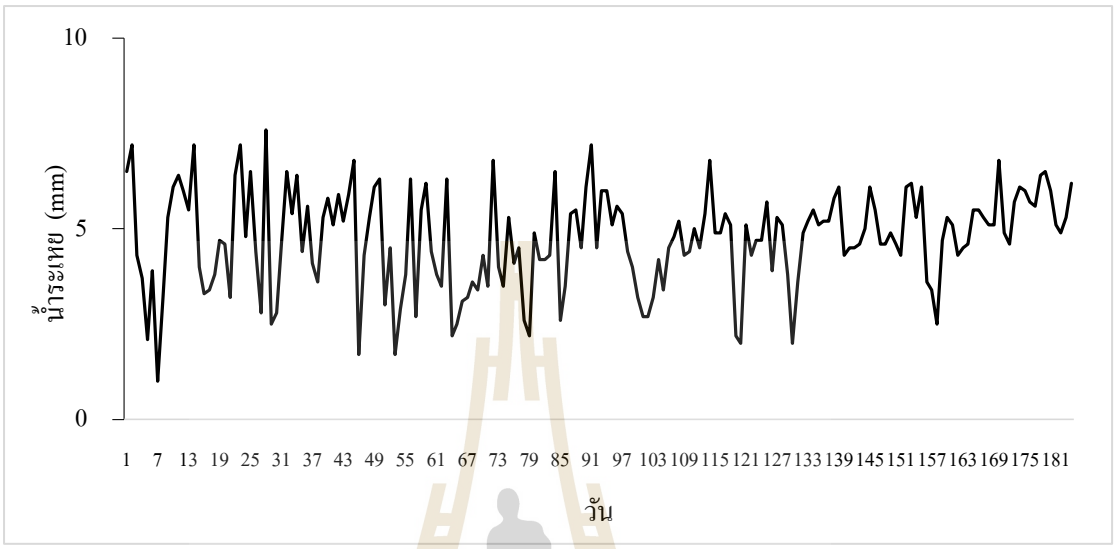
| | | ความสูงต้น (เซนติเมตร) | | |
|---|---|---|---|---|
| | **ระดับน้ำ** | **3 เดือน** | **4 เดือน** | **5 เดือน** |
| ระยอง 9 | FC | 40.75±3.19 | 68.25±1.65abc | 95.75±1.6$^{abc}$ |
| | 2/3 AW | 39.875±2.67 | 63.75±4.85$^{abc}$ | 79.63±10.43$^{abcd}$ |
| | 1/3 AW | 44.00±2.48 | 66.375±2.30$^{abc}$ | 76.75±2.28$^{abcd}$ |
| ระยอง 90 | FC | 27.75±4.57 | 49.62±6.86$^{c}$ | 76.00±4.43$^{abcd}$ |
| | 2/3 AW | 35.75±7.10 | 59.87±5.48$^{abc}$ | 71.50±9.77$^{abcd}$ |
| | 1/3 AW | 32.52±9.12 | 53.21±4.44$^{bc}$ | 56.38±15.83$^{d}$ |
| เกษตรศาสตร์ 50 | FC | 45.62±2.65 | 74.75±3.03$^{ab}$ | 103.87±3.99$^{ab}$ |
| | 2/3 AW | 46.5±3.75 | 80.00±10.87$^{a}$ | 105.50±19.15$^{ab}$ |
| | 1/3 AW | 48.12±4.60 | 63.87±2.24$^{abc}$ | 67.63±1.14$^{abcd}$ |
| ห้วยบง 80 | FC | 41.12±1.91 | 74.75±2.04$^{ab}$ | 108.37±5.68$^{a}$ |
| | 2/3 AW | 45.00±1.30 | 67.87±2.20$^{abc}$ | 82.75±3.21$^{abcd}$ |
| | 1/3 AW | 48.12±3.30 | 71.25±1.03$^{abc}$ | 82.38±4.63$^{abcd}$ |
| ห้านาที | FC | 32.62±4.52 | 64.37±5.44$^{abc}$ | 96.13±7.31$^{abc}$ |
| | 2/3 AW | 30.62±3.14 | 52.25±2.16$^{bc}$ | 65.88±4.75$^{bcd}$ |
| | 1/3 AW | 35.25±6.05 | 53.50±3.00$^{bc}$ | 59.75±3.557$^{cd}$ |

และ 5 เดือนหลังปลูก

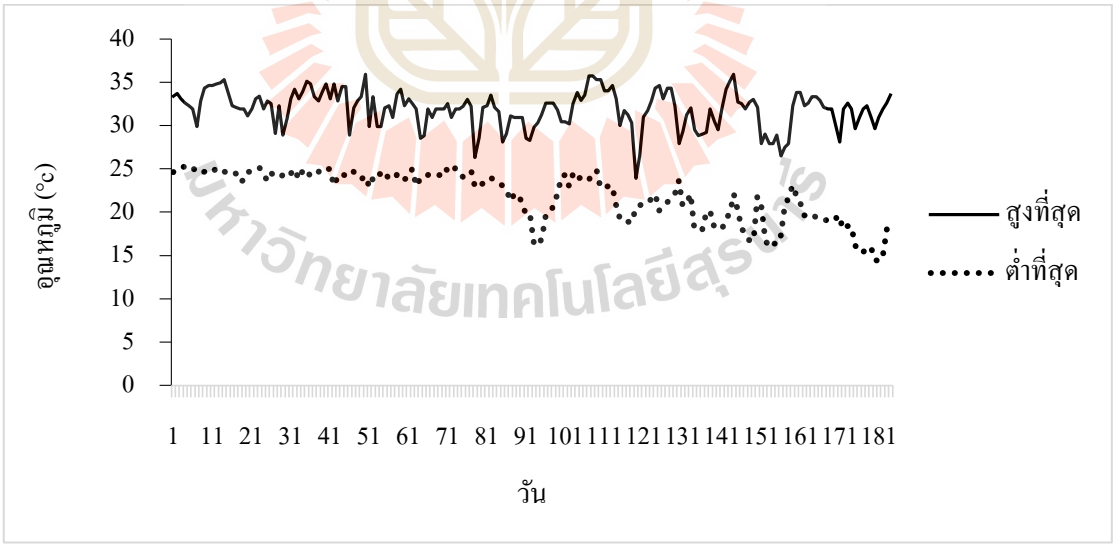
[1/] ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ±S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.05 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's HSD (Honestly Significant Difference)

## ข้อมูลสภาพอากาศช่วงทำการศึกษา

พิกัด : Huybanyang Meteorological Data, Latitute 16o 56' 34", Longitude 102o 00' 09", Altitude 210.00 m




**ภาพที่ 4** ข้อมูลน้ำระเหยในช่วงทำการศึกษา




**ภาพที่ 5** ข้อมูลอุณหภูมิต่ำที่สุด และสูงที่สุดในช่วงทำการศึกษา

# ประวัติผู้เขียน

นางสาวปวันรัตน์ โอกาสดี เกิดเมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม 2533 ณ จังหวัด บุรีรัมย์ เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในระหว่างการศึกษาได้ผ่านสหกิจศึกษา ณ มหาวิทยาลัยกุ้ยโจว เมืองกุ้ยหยาง ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน และจบการศึกษาในปี 2555 ได้เข้าศึกษาต่อในปี พ.ศ.2556 ในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยระหว่างการศึกษาได้รับทุนการศึกษาวิจัยภายใต้โครงการ OROG

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี