ผลของความแห้งแล้งต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต ของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ

นางสาวสุพรรณิกา นพคุณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

EFFECTS OF DROUGHT STRESS ON PHYSIOLOGICAL TRAITS AND YIELD OF DIFFERENT CASSAVA VARIETIES

Supannika Noppakun

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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 2017

ผลของความแห้งแล้งต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต ของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.ฐิติพร มะชิโกวา)
ประธานกรรมการ

(อ. ดร.ธีรยุทธ เกิดไทย)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ศ. ดร.ปิยะดา อลิฌาณ์ ตันตสวัสดิ์)
กรรมการ

(ผศ. ดร.นันทวุฒิ จงรั้งกลาง)
กรรมการ

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(ศ. ดร.หนึ่ง เตียอำรุง)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สุพรรณิกา นพคุณ : ผลของความแห้งแล้งต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ (EFFECTS OF DROUGHT STRESS ON PHYSIOLOGICAL TRAITS AND YIELD OF DIFFERENT CASSAVA VARIETIES) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.ธีรยุทธ เกิดไทย, 109 หน้า.

ความแห้งแล้งเป็นปัญหาที่สำคัญของการปลูกมันสำปะหลังของโลก การวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสนองทางด้านสรีรวิทยา สัณฐานวิทยา ผลผลิต และคุณภาพหัวมัน-สำปะหลังภายใต้สภาพความแห้งแล้ง ทำการศึกษาโดยใช้มันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ห้านาที ระยอง 9 ศรีราชา 1 เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 80 โดยปลูกภายใต้การให้น้ำที่ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ การให้น้ำโดยระบบน้ำหยดที่ระดับความจุสนามตลอดช่วงการทดลอง (field capacity, FC) การให้น้ำที่ระดับ 2/3AW (available water) และ 1/3AW ของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน วางแผนแบบ 3x5 Factorial in RCB จำนวน 4 ซ้ำ ทำการตรวจวัดความสูง ค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) การสังเคราะห์แสง ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (Chlorophyll Fluorescence) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (RWC) ค่าน้ำหนักใบจำเพาะ (SLW) ปริมาณสารแทนนินและไซยาไนด์ในใบ ผลผลิต และเปอร์เซ็นต์แป้ง โดยเก็บเกี่ยวที่อายุ 9 เดือน จากงานทดลองพบว่ามันสำปะหลังที่ได้รับน้ำแตกต่างกัน ทำให้ลักษณะส่วนใหญ่ทางสรีรวิทยา ผลผลิต และคุณภาพเปอร์เซ็นต์แป้งที่ตรวจวัด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีความสูงเฉลี่ยสูงสุด จากการวัดการสังเคราะห์แสงพบว่า มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระดับ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.09-9.91 μ mol. H_2O m^{-2} s^{-1} โดยมันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยการสังเคราะห์แสงของทุกระดับน้ำสูงสุด (6.09 μ mol. H_2O m^{-2} s^{-1}) ค่าเฉลี่ยการนำปากใบมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำทั้ง 3 ระดับอยู่ระหว่าง 0.00-0.12 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ และอัตราการคายน้ำของมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.28-3.82 μ mol. H_2O m^{-2} s^{-1} โดยพันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์มีการนำปากใบ และอัตราการคายน้ำใกล้เคียงกัน จากการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีปริมาณคลอโรฟิลล์อยู่ระหว่าง 48.53-52.51 ค่า Chlorophyll Fluorescence ของมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.44-0.62 การวัดค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 89.62 เปอร์เซ็นต์ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบต่ำสุดเท่ากับ 84.16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพันธุ์ห้านาทีมีแนวโน้มมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบสูงสุดเท่ากับ 89.38 เปอร์เซ็นต์ ค่าศักย์ของน้ำในใบของมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ -0.46 MPa และมันสำปะหลังที่ขาดน้ำมีค่าศักย์ของน้ำสูงสุดเท่ากับ -1.12 MPa ปริมาณแทนนินของมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีปริมาณแทนนินสูงสุด (6.73 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมันสำปะหลังที่

ขาดน้ำมีปริมาณแทนนินต่ำสุด (6.58 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยมันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 มีปริมาณแทนนินสูงสุดเท่ากับ 6.77 มิลลิกรัมต่อลิตร และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีปริมาณแทนนินต่ำสุดเท่ากับ 6.57 มิลลิกรัมต่อลิตร มันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์สูงที่สุดจากค่าเฉลี่ยของทุกระดับน้ำคือ พันธุ์ห้วยบง 80 (103.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) มันสำปะหลังทุกพันธุ์ในทุกระดับน้ำมีปริมาณอะมิโลส และอะมิโลเพคตินเฉลี่ยแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีปริมาณอะมิโลสสูงสุดเท่ากับ 12.09 เปอร์เซ็นต์ การให้น้ำที่แตกต่างกันทำให้ผลผลิตน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งแตกต่างกัน โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงสุด และมันสำปะหลังที่ขาดน้ำมีผลผลิตน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งต่ำสุด ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของสรีรวิทยากับน้ำหนักแห้งหัว พบว่าน้ำหนักแห้งหัวมีสหสัมพันธ์กับความสูง ศักย์ของน้ำในใบ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ อัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการนำปากใบ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ SCMR พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักต้นแห้ง และดัชนีการเก็บเกี่ยว (rp = 0.43, 0.32, 0.73, 0.30, 0.70, 0.67, 0.44, 0.23, 0.75, 0.75, 0.63 และ 0.73) ตามลำดับ การวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเป็นกลไกการปรับตัวที่สำคัญเพื่อการอยู่รอด และลดความเสียหายต่อผลผลิต และคุณภาพของผลผลิตเพื่อใช้เป็นข้อมูลในด้านการปรับปรุงพันธุ์และการจัดการทางด้านเขตกรรมต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ลายมือชื่อนักศึกษา สุพรรณิการ์ นาคคุณ

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

SUPANNIKA NOPPAKUN : EFFECTS OF DROUGHT STRESS ON PHYSIOLOGICAL TRAITS AND YIELD OF DIFFERENT CASSAVA VARIETIES. THESIS ADVISOR : TEERAYOOT GIRDTHAI, Ph.D., 109 PP.

CASSAVA/PHYSIOLOGICAL RESPONSE/DROUGHT STRESS/FRESH TUBER YIELD/STARCH/CYANIDE/TANNIN

Drought is a major problem of cassava production around the world. The aim of this study was to examine the effect of drought stress on physio-morphological characters, yield and yield quality of cassava. Five cassava varieties including Hanatee, Rayong 9, Sriracha 1, Kasetsrat 50 and Huaybong 80 were used in this study. The experiment was arranged in a 3x5 factorial in RCBD with 4 replications. Cassava varieties were assigned as Factor A and 3 different water levels (FC (field capacity), 2/3 and 1/3 AW (available water)) were assigned as Factor B. Plant height, SPAD chlorophyll meter reading (SCMR), photosynthetic rate, chlorophyll fluorescence, relative water content (RWC), leaf water potential (LWP), specific leaf weight (SLW), tannin and cyanide contents, yield and cassava starch were evaluated. Cassava was harvested at 9 months after planting. The experiment found that most physiological characters, yield and starch contents were significantly different under different water levels. Cassava under fully irrigated conditions had the highest average plant height. Photosynthetic rate ranged 0.09-9.91 μ mol. H_2O m^{-2} s^{-1} and Sriracha 1 variety had the highest photosynthetic rate (6.09 μ mol. H_2O m^{-2} s^{-1}). Stomatal conductance ranged 0.00-0.12 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ and transpiration ranged 0.28-3.82 μ mol. H_2O m^{-2} s^{-1}. All five cassava verities were significantly different in both stomatal conductance and

transpiration rate. SCMR of 5 cassava varieties were non-significantly different. SPAD chlorophyll ranged 48.53-52.51 and chlorophyll fluorescence ranged 0.44-0.62. RWC of different cassava varieties under fully irrigated conditions were the highest (89.62%) and the lowest (84.16%) under 1/3AW conditions. Hanatee variety had height RWC (89.38%). LWPs of cassava under FC were the highest at -0.46 MPa while under water stress were the lowest at -1.12 MPa. Tannin in cassava leaves under fully irrigated were the highest (6.73 mg/L) and under water stress the lowest tannin was obtained at 6.58 mg/L. Sriracha 1 variety had highest tannin at 6.77 mg/L. Huaybong 60 had highest level of cyanide content at 103.32 mg/kg. The results also indicated that the amylose and amylopectin contents under 3 different water regimes were significantly different. Rayong 9 variety had the highest amylose content at 12.09% and the lowest was found in Sriracha 1 with an amylose content of 6.81%. The fresh weight and dry weight of cassava were also significantly different under 3 water levels. The relationships between physiological traits and dry weight of cassava roots were also found. Cassava root dry weights were correlated with plant height, LWP, RWC, photosynthetic rate, stomata conductance, chlorophyll fluorescence, SCMR, leaf area index, dry weight and harvest index (r_p = 0.43, 0.32, 0.73, 0.30, 0.70, 0.67, 0.44, 0.23, 0.75, 0.75, 0.63 and 0.73, respectively). This study indicated that physiological responses of cassava were an important adaptation mechanism for survival and reduction of damage to yield quality and might be used as breeding information and management strategies of cassava production.

School of Crop Production Technology Student's Signature

Academic Year 2017 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัยจากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

อาจารย์ ดร.ธีรยุทธ เกิดไทย อาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ทุนสำหรับบัณฑิต ให้คำแนะนำ คำปรึกษาช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา อลิฌาณ์ ตันตสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร มะชิโกวา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธิญา เบือนสันเทียะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารักษ์ ธีรอำพน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรณู ขำเลิศ อาจารย์ ดร.รุจ มรกต ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หัสไชย บุญจูง อาจารย์ ดร.แหวนพลอย จินากูล อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ พร้อมให้คำแนะนำในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณอุทัย ยศจังหรีด และพนักงานฟาร์มทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านการเพาะปลูก และอุปกรณ์ทางการเกษตรในการปฏิบัติงาน ในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูให้การสนับสนุนทางการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา และญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีต และปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

สุพรรณิกา นพคุณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญภาพ ..... ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา 3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ความสำคัญและปัญหาของการปลูกมันสำปะหลัง 4
2.2 ประวัติการปลูกมันสำปะหลัง 7
2.3 อนุกรมวิธาน และลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง 8
2.4 การปลูกมันสำปะหลัง 10
2.5 ลักษณะพันธุ์มันสำปะหลังที่นิยมปลูกในประเทศไทย 11
2.6 ลักษณะและองค์ประกอบมันสำปะหลัง 17
2.7 ไซยาไนด์ (Cyanide) 19
2.8 แทนนิน (Tannin) 21
2.9 การปรับปรุงมันสำปะหลัง 24
2.10 บทบาทและความสำคัญของน้ำต่อพืช 26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.11 สภาวะขาดน้ำของพืช 26
2.12 ความต้องการน้ำของพืช 27
2.13 ปัญหาความแห้งแล้ง 27
2.14 ผลของสภาวะขาดน้ำต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง 28
3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย 30
3.1 การเก็บรวบรวมมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่าง ๆ 30
3.2 การจัดการน้ำ และพืชในสภาพโรงเรือน 30
3.3 ข้อมูลดิน 31
3.4 ข้อมูลพืช 32
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 34
4. ผลการทดลอง และอภิปรายผล 35
4.1 ผลของการจัดการน้ำต่อการเจริญเติบโต สรีรวิทยา ลักษณะทางกายภาพเคมี และผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ 35
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 71
5.1 การเจริญเติบโต น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ของใบ ต้น หัว มันสำปะหลัง 71
5.2 การนำปากใบ การคายน้ำ และการสังเคราะห์ด้วยแสง 72
5.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ และ ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของมันสำปะหลัง 72
5.4 การวัดค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ และ ค่าศักย์ของน้ำในใบ 73
5.5 ดัชนีการเก็บเกี่ยว 74
5.6 ปริมาณอะมิโลสและอะมิโลแพคติน 74
5.7 ปริมาณไซยาไนด์รวม (Total Cyanide: CNT) ในหัวมันสำปะหลัง 74
5.8 ปริมาณแทนนินในใบมันสำปะหลัง 75
5.9 การศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต และลักษณะทางสรีรวิทยา พื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้ง และดัชนีการเก็บเกี่ยว 75
รายการอ้างอิง 76
ภาคผนวก 88
ประวัติผู้เขียน 109

สารบัญตาราง

หน้า

1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ปี 2555-2558 5
2 เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยวและผลผลิตของแหล่งผลิตที่สำคัญ ปี 2557-2558 6
3 ความต้องการใช้มันสำปะหลัง ปี 2554-2558 6
4 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของเชื้อพันธุ์ของมันสำปะหลังบางพันธุ์ในการปรับปรุงพันธุ์ 25
5 ประวัติพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง 30
6 กำหนดการให้น้ำมันสำปะหลังทั้ง 3 ระดับ 32
7 คุณสมบัติของดินที่ใช้บรรจุในกระถาง 35
8 อัตราการสังเคราะห์แสงในใบมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ 39
9 การนำปากใบมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ 41
10 อัตราการคายน้ำในใบมันสำปะหลัง5 พันธุ์ ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ 43
11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 3, 5, 7 และ 9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ 47
12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ฟูลออเรสเซนซ์ในใบมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 2, 4, 8 และ 9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ 50
13 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ที่อายุ 3, 5, 7 และ 9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ 53
14 ค่าศักย์ของน้ำในใบของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ 55
15 ค่าปริมาณแทนนินของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ที่อายุ 2, 3, 5, 7 และ 9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ 58
16 ค่าเฉลี่ยปริมาณอะมิโลส อะมิโลเพคติน และปริมาณไซยาไนด์รวม ในหัวมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ที่อายุ 9 เดือนในระดับน้ำ 3 ระดับ 61

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

17 น้ำหนักหัวสด น้ำหนักใบสด น้ำหนักต้นสด ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ อายุ 9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ 63
18 น้ำหนักหัวแห้ง น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้งของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 9 เดือนในระดับน้ำ 3 ระดับ 65
19 ดัชนีเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ที่อายุ 9 เดือนในระดับน้ำ 3 ระดับ 67
20 สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยาของใบมันสำปะหลังกับน้ำหนักแห้งหัวมันสำปะหลังเมื่ออายุ 9 เดือน 69
21 สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะผลผลิตกับพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักแห้งต้น และดัชนีการเก็บเกี่ยว เมื่ออายุ 9 เดือน 70

ตารางภาคผนวก ค

1 การนำปากใบของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ 99
2 อัตราการคายน้ำของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ 100
3 การสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ 101
4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ 102
5 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ 103
6 ปริมาณน้ำสัมพันธ์ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ 104
7 ศักย์ของน้ำในใบมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ 105
8 ปริมาณอะมิโลส อะมิโลสแพคติน และปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลัง 106
9 น้ำหนักสดใบ ต้น และหัวมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ 107
10 น้ำหนักแห้งใบ ต้น และหัวมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ 108

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

1 องค์ประกอบของต้นมันสำปะหลัง 9
2 ลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 5 11
3 ลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 60 12
4 ลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 72 12
5 ลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 90 13
6 ลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 7 14
7 ลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 9 14
8 ลักษณะประจำพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 15
9 ลักษณะประจำพันธุ์ห้วยบง 60 16
10 ลักษณะประจำพันธุ์ห้วยบง 80 16
11 การไฮโดรไลซ์ลินามารินและโลทรอสตราลินจากเอนไซม์ลินามาเรส 20
12 โมเลกุลแทนนิน 22
13 โมเลกุล Hydrolyzed Tannins 23
14 แผนผังแสดงระบบน้ำทั้ง 3 ระบบ 30
15 ปริมาณการให้น้ำทั้ง 3 ระดับ โดยกำหนดจากความชื้นในดิน 35
16 ความสูงเฉลี่ยมันสำปะหลังที่อายุ 3, 5, 7 และ 9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ 36
17 ความสูงเฉลี่ยพันธุ์มันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 3, 5, 7 และ 9 เดือน 36
18 การนำปากใบมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ภายใต้ระดับน้ำที่แตกต่างกัน 40
19 ศักย์ของน้ำในใบมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ภายใต้ระดับน้ำที่แตกต่างกัน 52
20 น้ำหนักแห้งใบมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ภายใต้ระดับน้ำที่แตกต่างกัน 62

ภาพผนวก ข

1 มันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่ได้รับน้ำทั้ง 3 ระดับ เมื่ออายุ 3 เดือน 90
2 มันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่ได้รับน้ำทั้ง 3 ระดับ เมื่ออายุ 7 เดือน 90
3 ตัวอย่างหัวมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ เมื่ออายุ 8 เดือน 91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4 ตัวอย่างหัวมันสำปะหลังที่ขาดน้ำ เมื่ออายุ 8 เดือน 91
5 กราฟมาตรฐานแทนนิน 92
6 กราฟมาตรฐานอะมิโลส และอะมิโลแพคติน 92
7 กราฟมาตรฐานไซยาไนด์ 93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

PPD	=	การเกิดการเสื่อมสภาพทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว
R 5	=	ระยอง 5
R 9	=	ระยอง 9
KU 50	=	เกษตรศาสตร์ 50
HB 80	=	ห้วยบง 80
FC	=	ความชื้นระดับความจุสนาม
AW	=	ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน
PWP	=	จุดเหี่ยวถาวร
RWC	=	ปริมาณน้ำสัมพัทธ์
LWP	=	ศักย์ของน้ำ
SLW	=	น้ำหนักใบจำเพาะ
Pn	=	การสังเคราะห์ด้วยแสง
CNT	=	ปริมาณไซยาไนด์รวม
HI	=	ดัชนีการเก็บเกี่ยว
°C	=	องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชอาหารประเภทหัวที่มีอายุข้ามปี มีชื่อเรียกตามท้องถิ่น ได้แก่ มันสำปะหลัง cassava yucca mandioa manioc และ tapioca และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งมีการปลูกมากใน 3 ทวีปหลัก ๆ คือ เอเชีย อเมริกาใต้ และอัฟริกา โดยมีการใช้มันสำปะหลังเป็นทั้งอาหารมนุษย์ อาหารสัตว์มันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งวัตถุดิบแป้งที่มีราคาถูกกว่าพืชผลิตแป้งชนิดอื่น ๆ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น จึงมีการนำแป้งมันสำปะหลังไปแปรรูปเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น บรรจุภัณฑ์ สิ่งทอ กระดาษ ไม้อัด และพลังงาน เป็นต้น (ศานิต สวัสดิกาญจน์, 2557) และพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยมีทั้งสิ้นประมาณ 8.91 ล้านไร่ ประเทศไทยมีการผลิตมันสำปะหลังมากถึง 31 ล้านตัน ให้ผลผลิตต่อไร่ 3.48 ตัน เมื่อเทียบกับปี 2559 และส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นอันดับ 1 ได้แก่ มันเส้นอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลัง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) ไทยส่งออกมันอัดเม็ดและมันเส้นส่วนใหญ่ไปยังต่างประเทศในกลุ่มประชาคมยุโรป (เนเธอร์แลนด์ สเปน เยอรมัน โปรตุเกส) จีน เกาหลีใต้ และญี่ปุ่น สำหรับแป้งมันสำปะหลังจะส่งออกไปที่ประเทศญี่ปุ่นรองลงมาคือ ฮ่องกง สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย สิงคโปร์ และไต้หวัน ส่วนมันสำปะหลังในประเทศถูกใช้ทำมันเส้น และมันอัดเม็ดร้อยละ 45-50 ใช้แปรรูปเป็นแป้งร้อยละ 50-55 (จักรพงษ์ ชาตะรักษ์, 2554) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการเพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุด รองลงมาคือ ภาคกลาง และภาคเหนือ จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญของประเทศ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ ยโสธร อำนาจเจริญ และอุบลราชธานี มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 2.67 ล้านไร่คิดเป็น 36.52 เปอร์เซ็นต์ของประเทศโดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีเพียง 1,200 มม. ปัญหาความแห้งแล้งจึงเป็นปัญหาที่สำคัญของการเพาะปลูกมันสำปะหลังในเขตพื้นที่ดังกล่าว มันสำปะหลังมีความสำคัญต่อเกษตรกรมากกว่า 3 ล้านคนทั่วประเทศ รวมทั้งผู้ประกอบธุรกิจอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่ทำรายได้เข้าสู่ประเทศมานานนับสิบปี จนกล่าวได้ว่ามันสำปะหลังเป็นรากฐานหนึ่งของความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) ปัจจุบันมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อย่างอื่นที่มีมูลค่าสูงขึ้น ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีที่สูงขึ้น เช่น ด้านผลิตพลังงานทดแทนบริโภคภายในครัวเรือน และ

ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยจะเห็นได้ว่ามันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความต้องการสูงในปัจจุบัน และในอนาคต (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังนอกจากจะนำไปแปรรูปแล้วยังสามารถนำมาบริโภคได้โดยตรงซึ่งต้องเป็นพันธุ์ที่ใช้บริโภคเท่านั้น โดยต้องมีปริมาณกรดไฮโดรไซยาไนด์ต่ำ ไม่มีรสขม สามารถใช้หัวสดทำอาหารได้โดยตรง เช่น นำไปนึ่ง เชื่อม ทอด ซึ่งได้แก่พันธุ์ 5 นาที ระยอง 2 โกลก และพิรุณ 2

การเพาะปลูกของเกษตรกรมักประสบปัญหาในหลายด้าน ทั้งปัญหาความแห้งแล้ง ดินไม่เหมาะสม และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ รวมถึงปัญหาโรค และแมลง การปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่โดยเฉพาะพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นการปลูกโดยใช้น้ำฝนเป็นหลัก โดยบางพื้นที่มีฝนทิ้งช่วงมากกว่า 4 เดือน และมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 1,200 มิลลิเมตรต่อปี ทำให้มันสำปะหลังมีโอกาสประสบภาวะความแห้งแล้งเพิ่มมากขึ้น เมื่อเกิดสภาวะขาดน้ำการตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของมันสำปะหลังจะมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อการอยู่รอด ซึ่งทำให้มันสำปะหลังลดค่าการนำปากใบ ทำให้การคายน้ำน้อยลง และทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ในขณะที่ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มสูงขึ้นในช่วงปากใบเปิดน้อยลง เนื่องจากอัตราการคายน้ำลดลงเร็วกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง จึงส่งผลให้มีการเจริญเติบโตช้า และคุณภาพผลผลิตต่ำ เช่น เปอร์เซ็นต์แป้งลดลงอย่างมาก (Lenis *et al.*, 2005) รวมถึงมันสำปะหลังมีระดับความทนทาน และกลไกการปรับตัวต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำโดยการสร้างสารพิษไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังรวมถึงสารพิษอื่น ๆ ที่เกิดจากการกระตุ้นของกระบวนการ metabolic pathways เพื่อป้องกันเซลล์ และโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ (Lokko *et al.*, 2007) โดยมีการแสดงออกในรูปของชีวเคมี เช่นการเพิ่มเอนไซม์ และ ทุติยภูมิ เช่น แทนนิน ฟีนอลิก และโพรลีน เป็นผลทำให้มันสำปะหลังหยุดชะงักการเจริญเติบโต แต่จะสามารถฟื้นตัวคืนได้เมื่อได้รับน้ำ (Okogbenin *et al.*, 2010) ซึ่งสารพิษเหล่านี้เป็นพิษต่อการบริโภคทั้งในคน และสัตว์ ดังนั้น การผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทยจึงควรมีการจัดการทั้งด้านการใช้พันธุ์ และการเขตกรรมอย่างผสมผสาน เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นทำได้ทั้งโดยการเขตกรรม และการใช้พันธุ์ที่เหมาะสม ซึ่งแก้ไขปัญหาโดยการใช้พันธุ์พืช เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ยั่งยืน แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาถึงกลไกการตอบสนองต่อความแห้งแล้งของมันสำปะหลังซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในปัจจุบัน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการค้นคว้าวิจัยพื้นฐานเกี่ยวกับการตอบสนองทางด้านสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา การเปลี่ยนแปลงของสารไซยาไนด์ และปริมาณแทนนินของมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นกลไกการปรับตัวที่สำคัญเพื่อการอยู่รอด และลดความเสียหายต่อผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตเพื่อใช้เป็นข้อมูลในด้านการปรับปรุงพันธุ์ และการจัดการทางด้านเขตกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังภายใต้สภาพที่ได้รับน้ำเต็มที่และสภาพขาดน้ำ

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลของระดับการให้น้ำที่ต่างกันต่อผลผลิต ปริมาณสารไซยาไนด์ และสารแทนนินของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ

1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยา และผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ภายใต้สภาพที่ได้รับน้ำเต็มที่และสภาพขาดน้ำ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทยส่วนใหญ่มักประสบปัญหาความแห้งแล้ง ซึ่งเป็นปัญหาที่รุนแรง ส่งผลทำให้ผลผลิต และคุณภาพของมันสำปะหลังลดลงอย่างมาก การเลือกใช้พันธุ์ที่ดีร่วมกับการจัดการน้ำ จึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ได้ผลดี งานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการปรับตัวของมันสำปะหลังเมื่อกระทบแล้ง และผลของความแห้งแล้งต่อผลผลิต และการตอบสนองทางสรีรวิทยา เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงพันธุ์พืช การจัดการทางเขตกรรมที่เหมาะสม รวมถึงช่วยในการกำหนดทิศทางในการลดความเสียหายที่เกิดจากความแห้งแล้งให้มีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยยกระดับผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศต่อไป

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตการศึกษานี้ทำในห้องปฏิบัติการ และในสภาพโรงเรือนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ทำการทดลองโดยปลูกทดสอบมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ภายใต้การจัดการน้ำที่ต่างกันในโรงเรือน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงกลไกเกี่ยวกับการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยา และสัณฐานวิทยา ภายใต้สภาพความแห้งแล้งที่มีผลต่อผลผลิต และคุณภาพหัวมันสำปะหลัง

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญและปัญหาของการปลูกมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Manihot esculenta* Crantz. มีชื่อสามัญเรียกหลายชื่อตามท้องถิ่นต่าง ๆ ได้แก่ cassava yucca manioc tapioca มันสำปะหลังที่ปลูกในปัจจุบันมีบรรพบุรุษมาจากพันธุ์ป่าประมาณ 98 ชนิด มีแหล่งกำเนิดแถบที่ลุ่มเขตร้อน (lowland tropics) เก็บสะสมอาหารในรูปของคาร์โบไฮเดรตหรือแป้งไว้ในราก โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้งถึง 70-80 เปอร์เซ็นต์ มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของหลายประเทศทั้งในทวีปอัฟริกา อเมริกาใต้ และเอเชีย เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวน สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และทนทานต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี พื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังทั่วโลกมีประมาณ 115.25 ล้านไร่ ให้ผลผลิตรวม 224.27 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 1.95 ตันต่อไร่ และมันสำปะหลังยังเป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่มีความสำคัญมากชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยมีปริมาณการผลิตเป็นอันดับ 3 ของโลก รองจากประเทศไนจีเรียและบราซิล ตามลำดับ โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกทั้งหมดประมาณ 8.91 ล้านไร่ มีการผลิตมันสำปะหลังมากถึง 31 ล้านตัน ให้ผลผลิตต่อไร่ 3.48 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560)โดยมีสัดส่วนความต้องการใช้ในประเทศประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิต และแปรรูปเพื่อส่งออก 70-80 เปอร์เซ็นต์ (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2558; FAO, 2015) ประเทศไทยสามารถส่งออกผลิตภัณฑ์มันรวม 11.19 ล้านตัน มูลค่า 111,716 ล้านบาท และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (ตารางที่ 1) (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2558) ไทยส่งออกมันอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลังไปยังประเทศกลุ่มยุโรป (เนเธอร์แลนด์ สเปน เยอรมัน โปรตุเกส) สำหรับแป้งมันสำปะหลังส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่น รองลงมาคือ ฮ่องกง สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย สิงคโปร์ และไต้หวัน ส่วนมันสำปะหลังในประเทศถูกนำมาใช้ทำมันเส้น และใช้แปรรูปเป็นแป้งร้อยละ 50-55 (จักรพงษ์ ชาตะรักษ์, 2554) ประเทศไทยมีส่วนแบ่งการตลาดในการส่งออกร้อยละ 66.27 รองจากเวียดนาม และกัมพูชา ที่มีส่วนแบ่งการตลาดประมาณร้อยละ 25.90 และร้อยละ 1.93 ตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ ยโสธร อำนาจเจริญ และอุบลราชธานี โดยแหล่งผลิตมันสำปะหลังที่สำคัญ 5 อันดับแรก คือ จังหวัดนครราชสีมา กาญจนบุรี สระแก้ว ชลบุรี และลพบุรี ในปี 2558 จังหวัดนครราชสีมา มี

พื้นที่เก็บเกี่ยวทั้งสิ้น 1,549,206 ไร่ ให้ผลผลิต 5,922,085 ตัน (ตารางที่ 2) (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) อุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังที่สำคัญ คือ 1) แป้งมัน เหมาะสำหรับนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจะไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม อีกทั้งสามารถนำแป้งมาย่อยให้เล็กลงเพื่อใช้เป็นสารให้ความหวาน เช่น น้ำตาลกลูโคส ฟรักโทส และซอร์บิทอล เป็นต้น นอกจากนี้ แป้งยังสามารถใช้เป็นตัวประสานในอุตสาหกรรมกระดาษ รวมถึงใช้ผสมกับสารเคมีต่าง ๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัด และกาว 2) มันอัดเม็ด ผลิตเพื่อส่งออกเป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารสัตว์ 3) มันเส้น ใช้เป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ หรือ แปรรูปเป็นวัสดุที่ไม่ใช่อาหาร เช่น สิ่งทอ ไม้อัด กาว พลาสติกย่อยสลายง่าย (biodegradable products) สารโพลิเมอร์ดูดน้ำมาก (high water absorbing polymer) เป็นต้น (เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, 2532; ชาญ ถิรพร, 2537; ศานิต สวัสดิกาญจน์, 2557; ญภิกา เริงจารุพันธ์, 2557; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558)

ตารางที่ 1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ปี 2555-2558

ปี	มันอัดเม็ด		มันเส้น		แป้งมันสำปะหลัง				รวมผลิตภัณฑ์	
					แป้งดิบ		แป้งดัดแปร			
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2555	0.084	577	4.612	33,239	2.236	30,796	0.846	18,930	7.778	83,542
2556	0.059	416	5.755	39,515	2.446	34,880	0.897	20,038	9.157	94,849
2557	0.023	157	6.777	48,873	3.012	41,053	0.947	21,633	10.759	111,716
2558	0.037	280	7.3	52,400	2.91	41,200	0.94	22,200	11.187	116,080
อัตราเพิ่ม (เปอร์เซ็นต์)	-12.15	-12.45	19.09	16.78	12.34	1 .99	4.63	4.49	15.46	11.81

หน่วย: ปริมาณ = ล้านตัน, มูลค่า = ล้านบาท

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2558)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2 เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยวและผลผลิตของแหล่งผลิตที่สำคัญ ปี 2557-2558

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)		เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)		ผลผลิต (ตัน)	
	2557	2558	2557	2558	2557	2558
นครราชสีมา	1,674,339	1,672,896	1,536,026	1,549,206	5,776,880	5,922,085
สระบุรี	33,201	34,476	31,797	34,476	115,314	120,265
ลพบุรี	249,889	260,894	220,847	248,043	767,454	856,450
ชัยนาท	64,434	68,400	63,021	66,859	203,918	212,713
สุพรรณบุรี	37,647	39,949	37,328	39,575	121,200	129,199
ปราจีนบุรี	156,780	154,689	150,038	152,321	498,784	540,881
ฉะเชิงเทรา	294,273	283,848	275,890	281,496	999,880	1,014,003
สระแก้ว	452,652	446,238	366,477	437,586	1,233,331	1,555,773
จันทบุรี	239,688	217,621	228,584	212,794	799,050	730,152
ระยอง	52,869	45,163	44,225	44,175	187,811	194,711
ชลบุรี	279,476	274,826	274,122	267,510	1,158,402	1,140,283
กาญจนบุรี	468,448	470,854	460,146	469,205	1,530,105	1,575,692

ที่มา: ศูนย์สารสนเทศการเกษตรสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559)

ตารางที่ 3 ความต้องการใช้มันสำปะหลัง ปี 2554-2558

รายการ	2554	2555	2556	2557	2558	อัตราเพิ่ม (เปอร์เซ็นต์)
ส่งออก	19.599	23.372	26.945	31.705	32.408	14.01
ใช้ในประเทศ	7.094	6.996	8.234	8.64	9.48	8.23
- อุตสาหกรรมต่อเนื่อง	6.444	6.528	6.634	6.74	7.18	2.51
- เอทานอล	0.65	0.468	1.6	1.9	2.3	48.12
รวมความต้องการใช้	26.693	30.368	35.179	40.345	41.888	12.58

หน่วย: ล้านตันหัวมันสด

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร (2558)

มันสำปะหลังที่นิยมปลูกมีสองชนิด คือ 1) ชนิดหวาน (sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำ ไม่มีรสขม ใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ มีทั้งชนิดเนื้อร่วน นุ่ม และชนิดเนื้อแน่น เหนียว ในประเทศไทยไม่มีการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ๆ เนื่องจากมีตลาดจำกัด ส่วนใหญ่จะปลูกรอบ ๆ บ้าน หรือตามร่องสวน เพื่อบริโภคเองในครัวเรือน ได้แก่ พันธุ์ระยอง 2 และพันธุ์ห้านาที เป็นต้น (ฐิติมา วีระศิลป์, 2542 ว ยุกติ สาริกะภูติ, 2556) 2) ชนิดขม (bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีกรดไฮโดรไซยานิคสูง เป็นพิษ และมีรสขมไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์ หรือใช้หัวสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง แต่จะใช้สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปต่าง ๆ เช่น แป้งมัน มันอัดเม็ด เนื่องจากมีปริมาณแป้งสูง ได้แก่ พันธุ์มันสำปะหลังจากกรมวิชาการเกษตร มีทั้งหมด 9 พันธุ์ คือ ระยอง 1 ระยอง 3 ระยอง 60 ระยอง 90 ระยอง 5 ระยอง 72 ระยอง 7 ระยอง 8 และระยอง 11 จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีก 3 พันธุ์คือ เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 60 และ ห้วยบง 80 ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ใหม่มาหลายสายพันธุ์ เช่น พันธุ์เกล็ดมังกรจัมโบ้ และไจแอนท์พัฒนาพันธุ์

โดยศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง รับรองพันธุ์โดยกรมวิชาการเกษตร (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมัน-สำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553) และพันธุ์พิรุณ 1 พัฒนาโดยกรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยมหิดล ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาการผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทยเปลี่ยนแปลงจากเป็นการปลูกเพื่อเป็นอาหารสัตว์ไปปลูกเพื่อเป็นอุตสาหกรรม (ศานิต สวัสดิกาญจน์, 2557) ทำให้การปลูกมันสำปะหลังมีความต้องการทางการตลาดเพิ่มสูงขึ้น จึงเป็นเหตุให้มีการปลูกติดต่อกันตลอดทั้งปี ส่งผลให้เกษตรกรประสบปัญหาในหลายด้าน ทั้งปัญหาความแห้งแล้ง ดินไม่เหมาะสมและมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลผลิต และคุณภาพหัวมันสำปะหลังลดลงอย่างมาก จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกษตรกรเสียค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการน้ำ และต้องใช้สารเคมีเป็นจำนวนมากในการปรับปรุงบำรุงดิน ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มมากขึ้น รวมถึงทำให้มีสารเคมีตกค้างในสภาพแวดล้อม และยังส่งผลต่อสุขภาพของเกษตรกรโดยตรง

2.2 ประวัติการปลูกมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีต้นกำเนิดในอเมริกาใต้แถบประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา และฮอนดูรัส สันนิษฐานว่ามีการปลูกมันสำปะหลังในเม็กซิโกเมื่อ 2,100 มาแล้วและมีการปลูกในประเทศเปรูเมื่อ 4,000 ปีมาแล้ว จากถิ่นฐานนี้ได้แพร่ขยายไปที่อเมริกาแถบร้อนโดยชาวอินเดีย และขยายไปสู่แหล่งต่าง ๆ ของโลก มันสำปะหลังเข้ามาสู่เอเชียโดยนำเข้ามาในประเทศอินเดีย ศรีลังกา มาเลเซีย ประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 17 และได้มีการค้นพบว่ามีการนำเข้ามาในเอเชีย ในปี พ.ศ. 2383 เริ่มปลูกมันสำปะหลังในประเทศฟิลิปปินส์ ต่อมามีการนำมาใช้ในอุตสากรรมทำแป้งในสิงคโปร์ในปี พ.ศ. 2398 สำหรับประเทศไทย ยังไม่มีหลักฐานที่แน่นอนว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใด คาดว่าเข้ามาในระยะเดียวกับประเทศศรีลังกา ฟิลิปปินส์ คือราว ๆ พ.ศ. 2329-2383 การปลูกมัน-สำปะหลังเป็นการค้า ในประเทศไทยมีการปลูกเพื่อใช้ทำแป้ง และสาคูในภาคใต้โดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดสงขลานิยมปลูกมันสำปะหลังระหว่างแถวของต้นยางพารามากว่า 70 ปีแล้ว จังหวัดสงขลามีอุตสาหรรมทำแป้ง และสาคูเพื่อจำหน่ายไปยังปีนังและสิงคโปร์ แต่การปลูกมันสำปะหลังในภาคใต้ค่อย ๆ หมดไป เพราะมีการขยายการปลูกยางพารา และเมื่อต้นยางพาราสูงคุมพื้นที่ทั้งหมดจึงไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังต่อไปได้ ต่อมาในภาคตะวันออกของประเทศไทย คือ จังหวัดชลบุรี ระยอง และจังหวัดใกล้เคียงได้มีการปลูกมันสำปะหลังกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความต้องการในด้านผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง เพื่อใช้ในอุตสาหกรรม และเลี้ยงสัตว์ เมื่อมีความต้องการทางตลาดสูงการปลูกมันสำปะหลังจึงขยายพื้นที่ปลูกไปยังจังหวัดอื่น ๆ โดยเฉพาะทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือจนในปัจจุบัน (จรุงสิทธิ์ และอัจฉรา, 2537ก.)

2.3 อนุกรมวิธาน และลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

2.3.1 อนุกรมวิธาน

มันสำปะหลัง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. เป็นพืชใบเลี้ยงคู่จัดอยู่ในคลาสไดคอทีลโดเน (Class Dicotyledonea) มีชื่อภาษาอังกฤษว่า cassava จัดอยู่ในวงศ์ (family) Euphorbiaceae หรือวงศ์มะไฟ (ศานิต สวัสดิกาญจน์, 2557; Allem, 2002) วงศ์มะไฟเป็นวงศ์ที่มีลักษณะเด่น คือมียางสีขาวในทุกส่วนของต้น เมื่อเด็ดใบหรือตัดลำต้นทำให้ยางไหลออกมาได้ง่าย นอกจากมันสำปะหลังแล้ว ยังมีพืชอีกหลายชนิดที่จัดอยู่ในวงศ์นี้ เช่น ยางพารา สบู่ดำ และละหุ่ง (ดนัย ศุภาพร, 2537; ศานิต สวัสดิกาญจน์, 2557)

Class Dicotyledonea

Subclass Archichlamydeae

Order Geraniales or Euphorbiales

Family Euphorbiaceae

Genus *Manihot*

Species *esculenta*

(ดนัย ศุภาพร, 2537; ศานิต สวัสดิกาญจน์, 2557; Allem, 2002)

2.3.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มันสำปะหลังประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 5 ส่วน คือ ราก ลำต้น ใบ ช่อดอกและดอก ผลและเมล็ด (จำลอง เจียมจำนรรจา, 2541; ศานิต สวัสดิกาญจน์, 2557) ซึ่งแต่ละส่วนมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

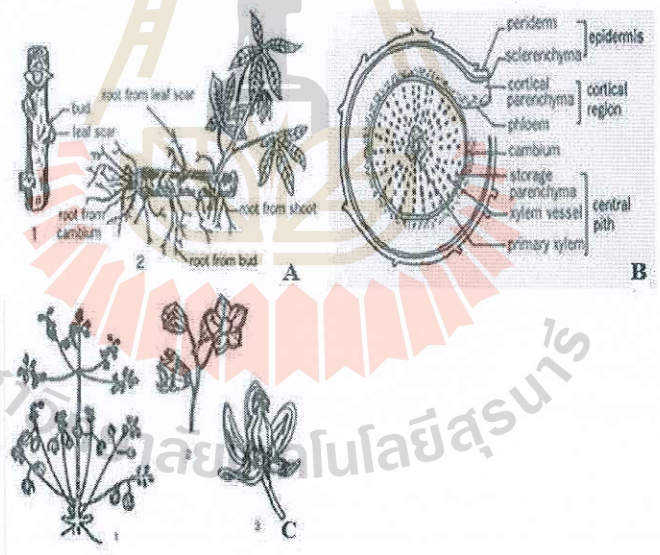
ราก ระบบรากเป็นแบบรากฝอย (fibrous root system) รากเกิดจากข้อของลำต้นที่ใช้ปลูกและขยายใหญ่เป็นหัว (thickened root) หัวมันสำปะหลังเมื่อตัดขวางมีส่วนประกอบตาม ภาพที่ 1 A-C ดังนี้ 1) เปลือกชั้นนอก (periderm) เป็นชั้นของเซลล์ผิวชั้นนอก (epidermal cell) และชั้นของคอร์ก (cork layer) รวมกัน 2) เปลือกชั้นใน (cortical region) เป็นส่วนของคอร์เทกซ์ (cortex) และกลุ่มท่ออาหาร (phloem bundle) เปลือกชั้นนอก และเปลือกชั้นในรวมกันว่า peel 3) ส่วนสะสมแป้งหรือไส้กลาง (starchy flesh หรือ central pith) ประกอบด้วยเซลล์พาเรนไคมา (parenchyma cell) กลุ่มท่อน้ำ (xylem bundle) และท่อน้ำยาง (latex tube) (จำลอง เจียมจำนรรจา, 2541)

ลำต้น ลำต้นตั้งตรง เป็นไม้เนื้อแข็ง สูง 1-5 เมตร มีการแตกกิ่ง กิ่งที่แตกจากลำต้นหลักเรียกว่า กิ่งชุดแรก (primary branch) และกิ่งที่แตกจากกิ่งชุดแรกเรียกว่า กิ่งชุดที่สอง (secondary

branch) มันสำปะหลังจะแตกกิ่งเป็นแบบ 2 กิ่ง (dichotomous branching) หรือ 3 กิ่ง (trichotomous branching) บนลำต้นจะเห็นรอยของก้านใบที่หลุดร่วงไปเรียกว่า รอยแผลใบ (leaf scar) ระหว่างรอยแผลใบเรียกว่า ความยาวของชั้น (storey length) เหนือรอบแผลใบมีตา (bud) (ดนัย ศุภาพร, 2537)

ใบ เป็นใบเดี่ยว (simple leaf) เกิดเวียนสลับรอบลำต้น (spiral) มีการจัดเรียงตัว (phyllotaxy) เท่ากับ 2/5 แผ่นใบเว้าลึกเป็นแฉก (lobe) แบบ palmate ใบมีก้านใบ (petiole) ที่โคนก้านใบติดกับลำต้นมีหูใบ (stipule) (ดนัย ศุภาพร, 2537)

ช่อดอก และดอก มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีช่อดอกตัวผู้ และช่อดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกันแต่อยู่คนละตำแหน่ง เรียกว่า monoecious plant ช่อดอกเป็นแบบ panical ดอกตัวผู้มีก้านดอก (pedical) กลีบเลี้ยง (sepal) ไม่มีกลีบดอก (petal) ภายในดอกมีเกสรตัวผู้ (stamen) ประกอบด้วยก้านเกสรตัวผู้ (filament) อับละอองเกสรตัวผู้ (anther) ดอกตัวเมียมีก้านดอก มีกลีบเลี้ยง ไม่มีกลีบดอก เกสรตัวเมีย (pistil) ประกอบด้วยรังไข่ (ovary) 3 คาร์เพล (carpel) แต่ละคาร์เพลมี 1 ออวุล (ovule) ดังแสดงในภาพ 1C (จำลอง เจียมจำนรรจา, 2541)



ภาพที่ 1 แสดงองค์ประกอบของต้นมันสำปะหลัง (A) ระบบรากเกิดจากข้อของลำต้นที่ใช้ปลูก (B) องค์ประกอบของลำต้นที่ทำการตัดขวาง (C) ลักษณะช่อดอก
(ที่มา: จำลอง เจียมจำนรรจา, 2541)

2.4 การปลูกมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มยืนต้นมีอายุอยู่ได้หลายปี การปลูกจะใช้ส่วนของลำต้นตัดเป็นท่อนปักไปในดิน ตรงบริเวณรอยตัดที่ปักอยู่ในดินจะแตกเป็นรากฝอย หลังจากปลูกได้ประมาณ 2 เดือน รากจะค่อย ๆ สะสมแป้ง และมีขนาดโตขึ้น เรียกว่า หัวมัน และจะสามารถเก็บเกี่ยวหัวมันได้หลังจาก 6 เดือนผ่านไปแล้ว โดยจะยืดอายุการเก็บเกี่ยวไปได้ถึง 16 เดือน โดยส่วนตาที่อยู่ข้างท่อนมันจะเจริญเติบโตออกมาเป็นลำต้นต่อไป (ดนัย ศุภาพร, 2537) โดยแหล่งที่ปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ตลอดปี สามารถปลูกได้ในดินแทบทุกชนิด แต่จะเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนปนทราย ไม่มีน้ำขัง เกษตรกรนิยมปลูกในช่วงต้นฤดูฝน คือประมาณเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม เพิ่มอีก 20 เปอร์เซ็นต์ ปลูกในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนพฤษจิกายนถึงกุมภาพันธ์ ส่วนที่เหลือ 13 เปอร์เซ็นต์ จะปลูกในช่วงเดือนมิถุนายนถึงตุลาคม สำหรับการปลูกในช่วงต้นฤดูฝนนี้ ผลผลิตหัวสดที่ได้จะสูงกว่าการปลูกในช่วงอื่น แต่ในดินที่มีลักษณะเนื้อดินค่อนข้างหยาบ การปลูกในช่วงฤดูแล้งจะให้ผลผลิตสูงที่สุด ดังนั้นในการตัดสินใจเลือกช่วงการปลูกมันสำปะหลังที่เหมาะสม จึงต้องพิจารณาทั้งปริมาณน้ำฝน และลักษณะของดิน (จำลอง เจียมจำนรรจา, 2541) การปลูกมันสำปะหลังมีด้วยกัน 2 วิธี ได้แก่ การปลูกแบบนอนและแบบปัก (โสภณ สินธุประมา, 2526; สมพงษ์ กาทอง, 2537; ศานิต สวัสดิกาญจน์, 2557) 1) การปลูกแบบนอนเป็นวิธีการที่นิยมปลูกกันมากในอดีต แต่ปัจจุบันนิยมปลูกกันน้อยมากเนื่องจากมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ท่อนพันธุ์มีการเจริญเติบโตช้า วัชพืชงอกเร็วกว่าท่อนพันธุ์ ทำให้กำจัดวัชพืชยาก จำนวนต้นรอดตาย และจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวค่อนข้างต่ำ แต่การปลูกแบบวางนอนมีข้อดี คือ ไม่ต้องระวังเรื่องการปลูกสลับขั้ว โดยมีจำนวนต้นรอดตาย 1,461 ต้น/ไร่ และมีจำนวนต้นเก็บเกี่ยว 1,624 ต้น/ไร่ ในขณะที่การปลูกแบบปัก มีจำนวนต้นที่รอดตายอยู่ในช่วง 1,919-2,087 ต้น/ไร่ และมีจำนวนต้นเก็บเกี่ยว 2,092-2,235 ต้น/ไร่ (สมพงษ์ กาทอง, 2537; ศานิต สวัสดิกาญจน์, 2557) 2) การปลูกแบบปัก เป็นวิธีที่นิยมปลูกในปัจจุบัน วิธีการนี้ทำให้ระยะปลูกมีความถูกต้อง แม่นยำ และใกล้เคียงตามคำแนะนำในการปลูกของกรมวิชาการเกษตร การปลูกแบบปักมีข้อดี ได้แก่ ต้นมันสำปะหลังงอกได้เร็ว สะดวกต่อการกำจัดวัชพืชและการปลูกซ่อม และให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกแบบวางนอนถึง 20 เปอร์เซ็นต์ การปลูกแบบปักแบ่งออกเป็น 2 วิธี ตามการเอียงของท่อนพันธุ์ คือ การปักตรง 90 องศา และการปักเอียง 45 องศา อย่างไรก็ตาม การปลูกด้วยการปักทั้งสองวิธีให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน โดยอยู่ในช่วง 2.63-2.84 ตัน/ไร่ ในขณะที่การปลูกแบบวางนอนมีผลผลิตหัวสดเท่ากับ 1.65 ตัน/ไร่ นอกจากนี้ การปลูกแบบปักทั้งสองวิธียังมีเปอร์เซ็นต์แป้ง และเปอร์เซ็นต์มันแห้งสูงกว่าการปลูกแบบนอนด้วย (สมพงษ์ กาทอง, 2537; ศานิต สวัสดิกาญจน์, 2557) โดยใช้ระยะปลูก 1x1 เมตร ปักท่อนพันธุ์ให้ตั้งตรงลึกในดินประมาณ 10 เซนติเมตร ใช้ท่อนพันธุ์มันสดอายุ 10-12 เดือน ตัดทิ้งไว้ไม่เกิน 15 วัน โดยแต่ละท่อนมีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร

(ยุกติ สาริกะภูติ, 2556; ฐิติมา วีระศิลป์, 2542) โดยพันธุ์ที่นิยมปลูกทั้งในปัจจุบันได้แก่ พันธุ์มันสำปะหลังกรมวิชาการเกษตรมีทั้งหมด 9 พันธุ์ คือ พันธุ์ระยอง 1 ระยอง 3 ระยอง 60 ระยอง 90 ระยอง 5 ระยอง 72 ระยอง 7 ระยอง 9 และระยอง 11 มันสำปะหลังของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มี 3 พันธุ์ คือ เกษตรศาสตร์50 ห้วยบง 60 และห้วยบง 80 (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาพันธุ์มันสำปะหลังสายพันธุ์ใหม่ขึ้น มาหลายสายพันธุ์ เช่น พันธุ์เกล็ดมังกรจัมโบ้ และไจแอนท์ พัฒนาพันธุ์โดยศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง รับรองพันธุ์โดยกรมวิชาการเกษตร (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553) เป็นต้น แต่ในสภาพการปลูกทั่วไปในช่วง 3-4 ปี ที่ผ่านมามักประสบปัญหาเกี่ยวกับโรคและแมลงศัตรูพืชเข้าทำลาย โดยแมลงศัตรูที่เข้าทำลายมันสำปะหลังที่สำคัญได้แก่ เพลี้ยแป้ง และไรแดง เป็นต้น ส่วนโรคที่พบได้แก่ โรคใบไหม้ โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคแอนทรคโนส โรคลำต้นเน่า และโรคโคนเน่าหัวเน่า เป็นต้น

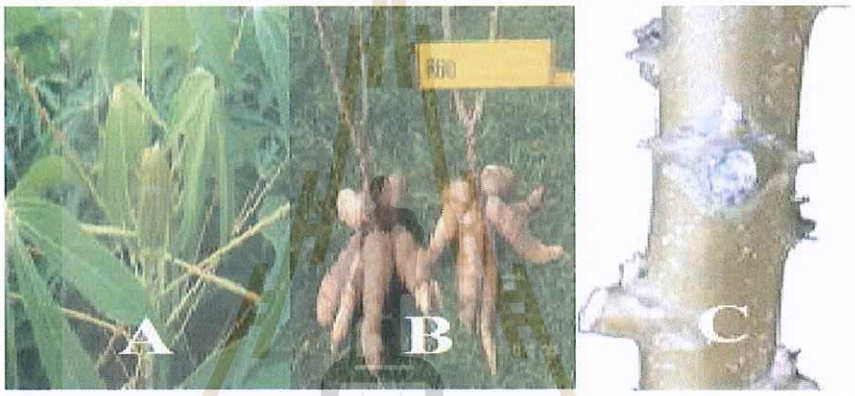
2.5 ลักษณะพันธุ์มันสำปะหลังที่นิยมปลูกในประเทศไทย

2.5.1. พันธุ์ระยอง 5 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ 27-77-10 กับพันธุ์ระยอง 3 มีลักษณะประจำพันธุ์คือ ยอดอ่อนสีม่วง ใบสีเขียวเข้ม ก้านใบสีแดงเข้ม ต้นเขียวอมน้ำตาล มีการแตกกิ่ง 2-3 ระดับที่ความสูง 1.00-1.20 เมตร ความสูงของต้นประมาณ 1.70 เมตร เก็บเกี่ยวได้ เมื่ออายุ 12 เดือน หัวมีลักษณะอ้วน เปลือกหัวสีน้ำตาลอ่อน และมีเนื้อสีขาว ดังแสดงในภาพ 2 ผลผลิตหัวสด 4.42 ตัน/ไร่ มีแป้ง 23 เปอร์เซ็นต์ในฤดูฝน และ 26 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้งมีความต้านทานต่อโรคใบไหม้ปานกลาง ฤดูปลูกที่เหมาะสม ต้นฤดูฝนในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน และปลายฤดูฝนในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม ปลูกได้ดีทั้งในภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 5 (A) ยอดอ่อนสีม่วง ใบสีเขียวเข้มก้านใบสีแดงเข้ม (B) ต้นมีสีเขียวอมน้ำตาล (C) เปลือกหัวมีสีน้ำตาอ่อนและมีเนื้อสีขาว

2.5.2 พันธุ์ระยอง 60 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ MCol 1684 กับพันธุ์ระยอง 1 ลักษณะประจำพันธุ์คือ ยอดอ่อนสีเขียวม่วง ใบสีเขียว ก้านใบสีเขียวปนแดง มีการแตกกิ่ง 2 ระดับ เมื่อสูง 1.70 เมตร ความสูงของต้นประมาณ 2.75 เมตร หัวเป็นกระจุกรวมกันแน่นที่โคนต้น ทำให้ง่ายต่อการขุด เปลือกหัวมีสีน้ำตาลอ่อน และมีเนื้อสีขาวครีม ดังแสดงในภาพที่ 3 ให้ผลผลิตหัวสด 4.42 ตัน/ไร่ มีแป้ง 20 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝน และ 25 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้ง มีความต้านทานต่อโรคใบไหม้ปานกลาง แนะนำให้ปลูกในภาคตะวันออก ฤดูปลูกที่เหมาะสมคือต้นฤดูฝนในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายน และปลายฤดูฝนในช่วงเดือนกันยายน ถึงตุลาคม (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553)



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 60 (A) ยอดอ่อนสีเขียวม่วง ใบสีเขียว ก้านใบสีเขียวปนแดง (B) เปลือกหัวมีสีน้ำตาลอ่อนและมีเนื้อสีขาวครีม(C) สีลำต้น สีน้ำตาลอ่อน

2.5.3 พันธุ์ระยอง 72 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ระยอง 1 กับ ระยอง 5 มีลักษณะพันธุ์คือ ลำต้นสีเขียวเงินสูง 2 เมตร มีระดับการแตกกิ่ง 0.1 ระดับ ความสูงของการแตกกิ่งระดับ 1.30-1.40 เมตร มุมของกิ่ง 60-75 องศา ใบแก่สีเขียวเข้ม ก้านใบสีแดงเข้ม ความยาวก้านใบ 25-30 เซนติเมตร ยอดอ่อนม่วง เปลือกนอกของหัวสีขาวนวล เนื้อสีขาว ผลผลิตหัวสด 5.09 ตัน/ไร่ มีแป้ง 20.9 เปอร์เซ็นต์ มีความต้านทานใบจุด และโรคใบไหม้ปานกลาง ฤดูปลูกที่เหมาะสม คือ ปลูกได้ทั้งต้นฤดูฝนในช่วงเดือนพฤกษภาคม ถึงมิถุนายน และปลายฤดูฝนในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม เหมาะสำหรับปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การใช้พันธุ์นี้ปลูกในภาคตะวันออกไม่ควรเก็บเกี่ยวในฤดูฝนเพราะอาจทำให้มีแป้งต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมัน-สำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553)

ภาพที่ 4 แสดงลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 72 (A) ใบแก่สีเขียวเข้ม ก้านใบสีแดงเข้ม (B) ลักษณะแผ่นใบแบบใบหอก (C) สีลำต้นสีเขียวเงิน

2.5.4 พันธุ์ระยอง 90 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมระหว่าง CMC 76 กับพันธุ์ V 43 มีลักษณะประจำพันธุ์คือ ยอดอ่อนสีเขียวอ่อน ใบสีเขียวเข้ม ก้านใบสีเขียวอ่อน ต้นสีน้ำตาลอ่อน ลำต้นโค้งสูงประมาณ 1.75 เมตร มี 2-3 ลำต่อต้น เก็บเกี่ยวได้ เมื่ออายุ 12 เดือน หัวมีลักษณะเรียวยาว มีหัวต่อกอมากเปลือกหัวสีน้ำตาลเข้ม และมีเนื้อสีขาว ให้ผลผลิตหัวสด 3.96 ตัน/ไร่ มีแป้ง 25 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝน และ 30 เปอร์เซ็นต์ในฤดูแล้ง มีความต้านทานต่อโรคใบไหม้ ฤดูปลูกที่เหมาะสม ฤดูปลูกที่เหมาะสม ต้นฤดูฝนในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายน ถ้าปลูกปลายฤดูฝนในดินที่สูญเสียความชื้นง่าย อาจมีปัญหาจำนวนท่อนพันธุ์หรือต้นต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้ผลผลิตต่ำ ปลูกได้ทั้งภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีดินค่อนข้างดี (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553)

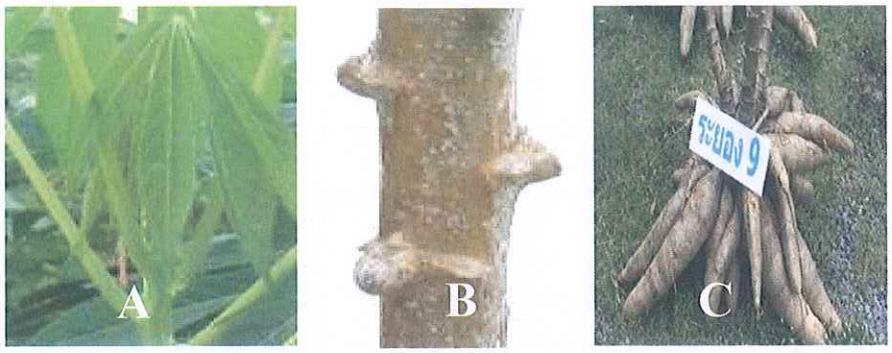
ภาพที่ 5 แสดงลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 90 (A) ใบสีเขียวเข็ม ก้านใบสีเขียวอ่อน (B) ต้นสีน้ำตาลอ่อน ลำต้นโค้งสูง (C) หัวมีลักษณะเรียวยาว เปลือกหัวสีน้ำตาลเข้ม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5.5 พันธุ์ระยอง 7 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ CMR 30-72-25 กับพันธุ์ OMR 29-20-18 มีลักษณะประจำพันธุ์ ยอดอ่อนสีเขียวอ่อน ก้านใบสีเขียวอ่อน ต้นสีน้ำตาลอ่อน มีการแตกกิ่ง 0.1 ระดับ ความสูงต้นประมาณ 1.83 เมตร เก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 10-16 เดือน เปลือกหัวสีครีม และมีเนื้อสีขาว ให้ผลผลิตหัวสด 6.30 ตัน/ไร่ มีแป้ง 27.2 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝน 27.6 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้ง ปลูกได้ดีในทุกแหล่งปลูกมันสำปะหลัง ศักยภาพในการให้ผลผลิตขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และการดูแลรักษา (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553)

ภาพที่ 6 แสดงลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 7 (A) ยอดอ่อนสีเขียวอ่อน (B) แฉกใบกลางเป็นรูปใบหอก (C) เปลือกหัวสีครีมและมีเนื้อสีขาว

2.5.6 พันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ดีที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ CMR 31-19-23 กับพันธุ์ OMR 29-20-118 มีลักษณะประจำพันธุ์คือลำต้นสีน้ำตาลอมเหลือง ไม่ค่อยแตกกิ่ง เมื่ออายุ 1 ปี สูง 2.35 เมตร ก้านใบสีเขียวอ่อน แฉกใบกลางเป็นรูปหอกใย และยอดอ่อนสีเขียวอ่อน หัวสีน้ำตาลอ่อน เนื้อของหัวสีขาว ให้ผลผลิตหัวสด 4.49 ตัน/ไร่ และให้ผลผลิตมันแห้ง 2.11 ตัน/ไร่ การให้เอทานอล 191, 208 ลิตรต่อตันหัวสด เมื่อเก็บเกี่ยวอายุ 8 เดือน และ 12 เดือน ตามลำดับ ปลูกได้ดีในทุกแหล่งปลูกมันสำปะหลัง ศักยภาพในการให้ผลผลิตขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ และการดูแลรักษา มีข้อควรระวังคือควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 1 ปี เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงแต่สะสมน้ำหนักช้า การเก็บเกี่ยวเร็วจะให้ผลผลิตหัวต่ำกว่าพันธุ์มาตรฐานอื่น ๆ (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553)



ภาพที่ 7 แสดงลักษณะประจำพันธุ์ระยอง 9 (A) ก้านใบสีเขียวอ่อน ชมพู แฉกใบกลางเป็นรูปหอก และยอดอ่อนสีเขียวอ่อน (B) ลำต้นสีน้ำตาลอมเหลือง (C) หัวสีน้ำตาลอ่อนเนื้อของหัวสีขาว

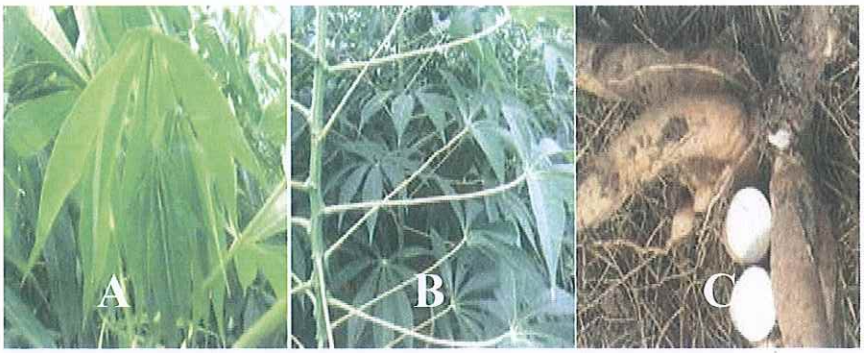
2.5.7 พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ระยอง 1 กับ พันธุ์ระยอง 9 มีลักษณะประจำพันธุ์ คือ ยอดอ่อนม่วง ใบสีเขียวม่วง ต้นสีเทา ลำต้นโค้ง แตกกิ่งน้อย คือ 0.1 ระดับ หากแตกกิ่งกิ่งแรกจะแตกสูงจากพื้นดินประมาณ 1.50 เมตร กิ่งทำมุมกว้าง 75-90 องศา หัวมีขนาดสม่ำเสมอ เปลือกสีน้ำตาล เนื้อสีขาว ให้ผลผลิตหัวสด 3.67 ตัน/ไร่ มีแป้ง 23.3 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝนมีความต้านทานโรคใบไหม้ปานกลาง (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมัน-สำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553)

ภาพที่ 8 แสดงลักษณะประจำพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (A) ยอดอ่อนม่วง ใบสีเขียวม่วง (B) ต้นสีเทา ลำต้นโค้ง (C) หัวมีขนาดสม่ำเสมอ เปลือกสีน้ำตาล เนื้อสีขาว

2.5.8 พันธุ์ห้วยบง 60 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ระยอง 5 กับ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีลักษณะประจำพันธุ์คือ ยอดอ่อนสีม่วง ใบสีเขียวปนม่วง ก้านใบสีเขียวอมม่วง ลำต้นสีเขียวเงิน ความสูงของการแตกกิ่ง 90-140 เซนติเมตร ความสูงต้น 1.80-2.50 เมตร เปลือกนอกของหัวสีน้ำตาลอ่อน เนื้อสีขาว ให้ผลผลิตหัวสด 5.75 ตัน/ไร่ ผลผลิตมันแห้ง 2.14 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 25.4 เปอร์เซ็นต์ (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553)

ภาพที่ 9 แสดงลักษณะประจำพันธุ์ห้วยบง 60 (A) ยอดอ่อนม่วง ใบสีเขียวปนม่วง (B) ลำต้นสีเขียวเงิน (C) เปลือกนอกของหัวสีน้ำตาลอ่อน เนื้อสีขาว

2.5.9 พันธุ์ห้วยบง 80 เป็นพันธุ์ใหม่ที่พัฒนาโดยความร่วมมือระหว่างมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี กับภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลักษณะเด่นคือ มีแป้งเฉลี่ยสูงถึง 27.3 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะทรงต้นสูงแตกกิ่งน้อย สะดวกต่อการเก็บเกี่ยวและเก็บต้นพันธุ์ เพื่อใช้ในการปลูกต่อไป นอกจากนี้ยังเหมาะกับการใช้แปรรูปทำมันเส้น แป้ง และเอทานอล (ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2553)



ภาพที่ 10 แสดงลักษณะประจำพันธุ์ห้วยบง 80 (A) ยอดอ่อนสีเขียวอ่อน (B) สีก้านสีเขียวอมแดง (C) สีเปลือกหัวสีน้ำตาลอ่อน สีเนื้อสีขาว

จะเห็นได้ว่านักปรับปรุงพันธุ์ได้ปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังใหม่ออกมาหลายพันธุ์ซึ่งแต่ละพันธุ์มีคุณสมบัติเด่นแตกต่างกันไป เกษตรกรสามารถเลือกพันธุ์ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ของตนเองได้ เกษตรกรบางรายได้พันธุ์ใหม่ไปขยายปลูกและขายท่อนพันธุ์ให้เกษตรรายอื่นในราคาที่สูงมาก แต่มีปัจจัยเสี่ยงคือ พันธุ์ที่ซื้อมาจะเป็นพันธุ์แท้หรือไม่ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการเลือกท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

2.6 ลักษณะและองค์ประกอบมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังสามารถแบ่งองค์ประกอบทางกายภาพเป็นใบ 6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักลำต้น 44 เปอร์เซ็นต์ รากหรือหัว 50 เปอร์เซ็นต์ หัวมันสำปะหลังสดมีน้ำอยู่ระหว่าง 60-65 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมาณโปรตีน และไขมันน้อยมาก (ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง, 2537) ลักษณะที่สำคัญของการใช้ประโยชน์มันสำปะหลังในระดับอุตสาหกรรมคือ องค์ประกอบที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลัง องค์ประกอบส่วนใหญ่ในหัวมันสำปะหลังนอกจากน้ำแล้วก็คือ คาร์โบไฮเดรต (ปริมาณแป้ง) ปริมาณไซยาไนด์ ปริมาณเปลือก (เยื่อใย) และสารประกอบที่ทำให้เกิดสีในเนื้อแป้ง ปัจจุบันมีความต้องการมันสำปะหลังในการใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อนำมาเป็นพลังงานทดแทนมากขึ้น ซึ่งมีมันสำปะหลังหลายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต และเปอร์เซ็นต์แป้งสูง เช่น พันธุ์ระยอง 5 ระยอง 7 และเกษตรศาสตร์ 50 สามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกแหล่ง สามารถปลูกได้เกือบตลอดปี โดยผลผลิต และเปอร์เซ็นต์แป้งจะแตกต่างกันตามชุดดิน ฤดูปลูก และสภาพอากาศ ในขณะที่พันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมในการใช้ผลิตเอทานอล เนื่องจากให้เปอร์เซ็นต์แป้งสูง ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูง 4.9 ตันต่อไร่ มีเปอร์เซ็นต์แป้ง อยู่ระหว่าง 25-30 เปอร์เซ็นต์ ปลูกได้ดีในทุกแหล่งปลูกมันสำปะหลัง (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2549) กรมวิชาการเกษตร

และหน่วยงานอื่นรับรองพันธุ์ และแนะนำพันธุ์มันสำปะหลังที่ให้ผลผลิตสูง ได้แก่ พันธุ์ระยอง 90 ระยอง 5 ระยอง 9 ระยอง 72 และเกษตรศาสตร์ 50 แต่ละพันธุ์มีลักษณะเด่นที่แตกต่างกันเช่น พันธุ์ระยอง 90 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูง 4 ตันต่อไร่ มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงอยู่ระหว่าง 23-30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 4.4 ตันต่อไร่ มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง อยู่ระหว่าง 23-28 เปอร์เซ็นต์ และต้นพันธุ์เก็บได้นานถึง 30 วัน หลังจากตัดต้น การเจริญเติบโต และผลผลิตมันสำปะหลังเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณน้ำที่ได้รับ จากรูปแบบการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังจะเริ่มพัฒนาเป็นหัวเมื่ออายุ 3 เดือน และจะชุดชงักการเจริญเติบโตในช่วงฤดูแล้งเพื่อลดการคายน้ำออกจากต้น โดยการให้น้ำในช่วงพัฒนาหัว และในฤดูแล้งนั้นจะช่วยให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (โอภาษ และคณะ, 2546)

2.6.1 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

องค์ประกอบของหัวมันสำปะหลัง 3 ใน 4 ส่วนจะเป็นน้ำ ส่วนที่เหลือเป็นของแข็งส่วนใหญ่คือ คาร์โบไฮเดรตซึ่งมีอยู่ทั้งส่วนที่เป็นแป้ง และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งเช่นน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในส่วนของผนังเซลล์ที่มีอยู่ในปริมาณ และอัตราส่วนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ ส่วนของลำต้น และอายุของพืช เมื่อมันสำปะหลังอายุประมาณ 2 เดือน จะเริ่มสะสมอาหารในรูปแป้ง แป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว ลักษณะเด่นของแป้งมันสำปะหลังคือมีความบริสุทธิ์สูง มีสิ่งปนเปื้อนต่ำ โดยจะมีสตาร์ช (starch) อยู่มากกว่าร้อยละ 95 และมีปริมาณโปรตีน และไขมันอยู่ค่อนข้างต่ำ (<1%) มีฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.04 เปอร์เซ็นต์(ลัดดาวัลย์ เนียมฟัก, 2544) องค์ประกอบของเม็ดแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิดคือ อะมิโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น (chain length polymer) ที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glocosidic linkage) และอะมิโลเพคติน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (branched polymer) ของกลูโคส มีส่วนที่เป็นกิ่งสาขาเป็นพอลิเมอร์สายสั้น แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสค่อนข้างต่ำคือ 18-23 เปอร์เซ็นต์ จึงมีกำลังการพองตัวที่ดีเมื่อได้รับความร้อนจะให้ความหนืดสูง เกิดการคืนตัวต่ำ และให้ลักษณะแป้งเปียกที่ใสไม่ทึบแสงเมื่อเทียบกับแป้งชนิดอื่น ๆ เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพด แป้งสาลี จึงจำเป็นต้องดัดแปลงแป้งเพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวของแป้งเปียกเพื่อนำไปใช้เป็นสารให้ความหนืด (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.6.2 อะมิโลส (Amylose)

อะมิโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1, 4 – glycosidic linkage อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะมิโลสได้

บ้างในปริมาณเล็กน้อย (Hizukuri, 1985) โดยทั่วไป แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะมิโลสสูง ประมาณ 22-30% ส่วนแป้งจากราก และหัว เช่น แป้งมัน-สำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคูจะมีปริมาณ อะมิโลสต่ำกว่า คืออยู่ในช่วง18-24% น้ำหนักโมเลกุลอะมิโลส อยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน โดยอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี degree of polymerization (DP) ของอะมิโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลังมี DP ของ อะมิโลส อยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพด และแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะมิโลส ในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะมิโลส ยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง(Hizukuri, 1988)

2.6.3 อะมิโลเพคติน (Amylopectin)

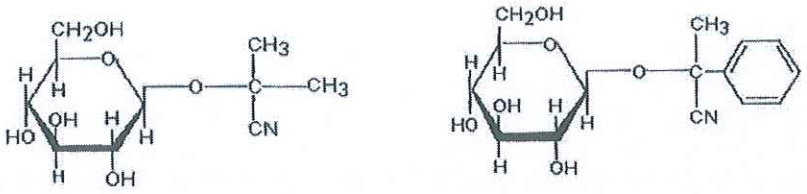
อะมิโลเพคตินเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิติกชนิด α –1,4 และ ส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสลายสั้นเชื่อมต่อด้วยพันธะ α-1,6 หน่วยกลูโคสที่มีพันธะโคซติกชนิด α-1,6 มีประมาณ 5-6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณหน่วยกลูโคสทั้งหมด อะมิโลแพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส และมีอัตราการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะมิโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

ปริมาณของอะมิโลส และอะมิโลเพคตินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลาย แป้งที่มีปริมาณอะมิโลเพคตินสูง แป้งเปียกที่ได้จะไม่มีสีใส และมีความหนืดสูง (กล้าณรงค์ และเกื้อกลู, 2546)

2.7 ไซยาไนด์ (Cyanide)

ไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังส่วนใหญ่ จะพบไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ในมันสำปะหลังมีอยู่ 2 ชนิด คือ ลินามาริน (linamarin) ชนิดนี้มีอยู่ 93 เปอร์เซ็นต์ และโลตอสตราลิน (lotaustralin) ชนิดนี้มีอยู่น้อยเพียงประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ของไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ทั้งหมด ไกลโคไซด์ทั้งสองนี้สามารถถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลัง และปล่อยกรดไฮโดรไซยานิกออกมาดังภาพ 2.11 ซึ่งภายในสภาวะปกติจะไม่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว เนื่องจากสับสเตรทกับเอนไซม์อยู่คนละส่วนกัน โดยไกลโคไซด์อยู่ใน vacuole ส่วนเอนไซม์อยู่ในผนังเซลล์ (White, W.L.B *et al.*, 1998) แต่เมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลายหรือบดขยี้ ไซยาโนกลูโคไซด์จะถูกไฮโดรไลซ์ ปล่อยกรดไฮโดรไซยานิกที่มีความเป็นพิษต่อคนและสัตว์ออกมา แม้ว่าสารนี้ จะสลายไปได้โดยง่ายในระหว่างกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แต่ยังคงมีไกลโคไซด์จำนวนหนึ่งที่ยังไม่ถูกไฮโดรไลซ์เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลัง ไกลโคไซด์ส่วนนี้สามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ในระบบการย่อยอาหารซึ่งเป็นพิษต่อผู้บริโภค เนื่องจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังใช้เวลาสั้นมาก และ

มีการนำน้ำล้างจากขั้นตอนการเหวี่ยงแยกแป้งกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นการประหยัดน้ำ จึงมีไซยาไนด์เหลืออยู่ในแป้งมันสำปะหลังประมาณ 1-10 ppm. (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2542) สารพิษไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนม สารนี้อยู่ในกระเปาะใต้เปลือก เมื่อทำให้ต้นหรือหัวมันสำปะหลังเป็นแผลจะเห็นของเหลวคล้ายน้ำยางสีขาวไหลออกมา สารนั้นคือ ไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ (cyanogenic glucoside) สารนี้มีอยู่ในต้นและในส่วนต่าง ๆ ในปริมาณมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์มันสำปะหลัง ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงไซนาโนจินิคกลูโคไซด์มักจะหมายถึงลินามาริน สารนี้เองเป็นพิษต่อการบริโภคทั้งในคน และแมลง การเด็ด การหัก รวมถึงการเก็บเกี่ยวจะทำให้น้ำยางในหัวมันสำปะหลังไหลออกมา และเป็นการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) แก่สารลินามาริน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีกรดอินทรีย์ (organic acid) หรือเอนไซม์ไลเนส (enzyme linase) เป็นตัวทำปฏิกิริยาดังกล่าว ทำให้เกิดสาร 3 อย่างคือ (1) กรดไฮโดรไซยานิค(hydrocyanic หรือ HCN) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่ากรดปรัสซิค (prussic acid) (2) อะซีโตน (Acetone) และ (3) กลูโคส (glucose) ต่อจากนั้นกรดไฮโดรไซยานิคก็จะสลายตัวเป็นผลให้ความเป็นพิษลดน้อยลงความเป็นพิษในหัวมันสำปะหลังจะมีมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของไซยา-โนจินิคกลูคไซด์ หรือกรดไฮโดรไซยานิค การศึกษาเกี่ยวกับไซยาไนด์ในมันสำปะหลังรวมถึงอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีต่อปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังที่ผ่านมามีศึกษาผลของอายุและพันธุ์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงไซยาไนด์ในเนื้อเยื่อของมันสำปะหลังทั้งต้น ในมันสำปะหลัง 2 พันธุ์คือ CMC-40 และ CMC-81 พบว่าส่วนเปลือกของมันสำปะหลังพันธุ์ CMC-40 อายุ 9 เดือน มีไซยาไนด์มากที่สุด (Gomez, G. and Valdivieso, M., 1984) โดยมันสำปะหลังที่ปลูกมากในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นชนิดที่มีปริมาณไซยาไนด์สูงประมาณ 210 ไมโครกรัมต่อกรัมหัวมันสด (สุนีย์ โชตินีรนาท และคณะ, 2548) ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว สภาพดิน และสภาวะที่ใช้ในการปลูกเป็นต้น (Aalbersberg and Limalevu, 1991) มันสำปะหลังจำแนกตามปริมาณไซยาไนด์ได้กว้าง ๆ แบ่งเป็น 3 กลุ่มตามระดับความเป็นพิษดังนี้ มันสำปะหลังที่ไม่เป็นพิษมีปริมาณไซยาไนด์น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหัวมันสด มันสำปะหลังที่เป็นพิษปานกลาง มีปริมาณไซยาไนด์ ระหว่าง 50-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหัวมันสด และมันสำปะหลังที่เป็นพิษมากมีปริมาณไซยาไนด์มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหัวมันสด (Coursey, 1979; Ameny, 1990) จากการทดลองเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไซยาไนด์ และการเกิดการเสื่อมสภาพทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว (Post-harvest Physiology Deterioration: PPD) พบว่า มันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์สูงมีอัตราการเกิดการเสื่อมสภาพสูงกว่ามันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ (Zidenga., 2006)



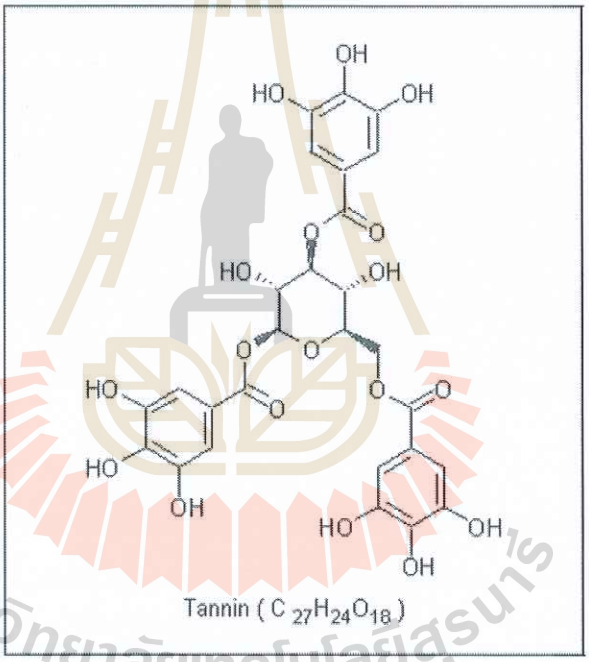
ภาพที่ 11 การไฮโดรไลซ์ลินามารินและโลทรอสตราลินจากเอนไซม์ลินามาเรส

2.8 แทนนิน (Tannin)

แทนนิน (tannin) เป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ และมีโครงสร้างซับซ้อน มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน มีรสฝาด จึงเป็นสารที่ให้ความฝาดในพืช พบได้ในส่วนต่าง ๆ ของพืชหลายชนิด สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ กลุ่มคอนเดนสแทนนิน (condensed tannins) หรือเรียกอีกอย่างว่า โปรแอนโทร-ไซยานิน (proanthrocyanin) พบในส่วนเปลือกต้น เนื้อไม้ และแก่นไม้เป็นส่วนใหญ่ และกลุ่มไฮโดรไลซ์แทนนิน (hydrolysable tannins) ซึ่งเป็นสารแทนนินที่สามารถแตกตัวได้เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก พบมากในส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ใบ ฝัก เปลือก ผล และส่วนที่ปูดออกมาจากลำต้นปกติ เมื่อพืชได้รับอันตราย หรือทำให้เกิดรอยแผล (gall) เป็นต้น แทนนิน มีคุณสมบัติช่วยในการตกตะกอนโปรตีน ทำให้หนังสัตว์ไม่เน่าเปื่อย จึงมีการใช้สารแทนนินในอุตสาหกรรมการฟอกหนังด้วย ในทางการแพทย์ พบว่าสารแทนนินสามารถใช้เป็นยารักษาโรคท้องเสียได้ นอกจากนี้ ยังพบว่าสารแทนนินบางประเภท มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดได้ เช่น theogallin, gallic acid และ ellagic acid เป็นต้น (พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ, 2544)

สารแทนนิน เป็นสารประกอบจำพวกฟีนอลที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ ประกอบด้วย หมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมาก ขนาดของโมเลกุลมีขนาดใหญ่ และเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน น้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 500-3,000 (Hung *et.al.*, 2008) นอกจากนี้ยังสามารถแสดงคุณสมบัติของการเกิดปฏิกริยา ที่เป็นคุณสมบติเฉพาะเจาะจงของฟีนอลได้อาทิ สามารถตกตะกอนกับโปรตีนประเภทต่าง ๆ เช่น โมเลกุลของเจลลาติน โปรตีนจากหนังสัตว์ ไกลโคไซด์ อัลคาลอยด์ รวมทั้งโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เซลล์โลส และเพคติน เป็นต้น นอกจากนี้ สารละลายแทนนินยังมีความสามารถในการตกตะกอนโลหะหนักบางชนิด เช่น เหล็ก ตะกั่ว และสังกะสี ได้ (Amelot *et.al.*, 2007) การเกิดปฏิกริยา พบว่า เมื่อ hydrolysable tannin ทำปฏิกิริยากับเกลือของ ferric เช่น ferric chloride จะให้ตะกอนสีน้ำเงินดำ ส่วน condensed tannin จะตกตะกอนสีน้ำตาลเขียว ในอาณาจักรพืชแทนนินเป็นสาร secondary metabolism กลุ่มสารประกอบ phenolic (Naczyk and Shahidi, 2004) สารแทนนินเป็นสารที่พืชสร้างขึ้นระหว่างที่พืชมีการเจริญเติบโต และเมื่อพืชอยู่ในภาวะเครียด เช่น การขาดน้ำ การติดเชื้อ (infection) การเกิดบาดแผล การได้รับรังสี UV และได้รับ

ฮอร์โมน jasmonic acid เป็นต้น (Arnol *et.al.*, 2008) สารแทนนินเป็นสารในกลุ่ม polyphenol ซึ่งสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสาร macromolecule ชนิดอื่น ๆ สามารถแบ่งสารแทนนินออกเป็น 2 ชนิด ชนิดแรกคือ hydrolysable tannin ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของ gallic (ellagic acid) ที่มีหมู่เอสเทอร์เชื่อมกับ sugar (Muetzel, 2006 and Osmianski *et.al.*, 2007) เป็นสารที่ถูกย่อย (hydrolysis) ออกเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ได้ด้วยกรด หรือ enzyme tannase สารในกลุ่มนี้ มีลักษณะเป็น amorphous มีสีเหลืองน้ำตาลละลายในน้ำร้อนได้เป็น colloidal dispersions ส่วนกลุ่มที่ 2 คือ condensed tannin (proanthrocyanin) เป็นสารที่ไม่สามารถย่อยได้เมื่อได้รับกรดหรือ enzyme tannase จะให้สารสีแดงที่ไม่ละลายน้ำ (phlobaphenes) มีหมู่คาร์บอนเชื่อมต่อกัน (Muetzel, 2006) ซึ่งสาร phlobaphenes เป็นกลุ่มโพลิเมอร์ของ flavonoid (flavan-3-0l)



ภาพที่ 12 โมเลกุลแทนนิน (ที่มา: Organic Chem, 2550)

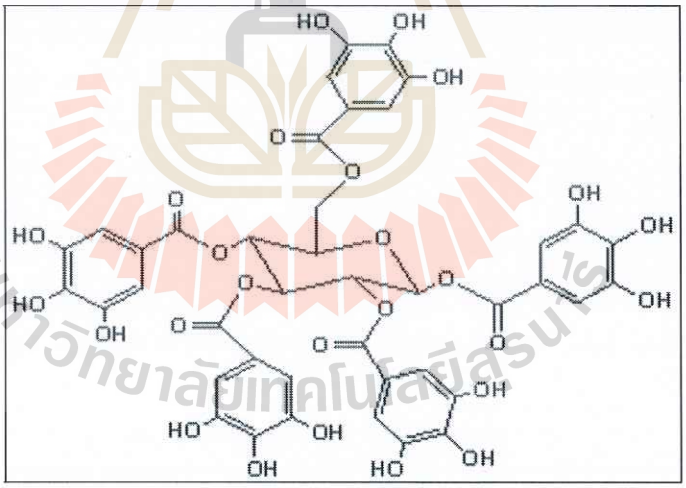
2.8.1 การแบ่งกลุ่มของสารประกอบแทนนิน

สารประกอบแทนนิน มีการกระจายอยู่ทั่วไปในอาณาจักรพืชเป็นองค์ประกอบของพืชชั้นสูง โดยเฉพาะกลุ่มพืชใบเลี้ยงคู่พบว่า เป็นวงศ์พืชที่มีปริมาณสารประกอบแทนนินค่อนข้างสูง เช่น combretaceae, fagaceae, hamamelidaceae, leguminosae, myrtaceae, polygonaceae, rosaceae, rubiaceae, guttiferae และ salicaceae แต่อาจพบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวได้บ้าง โดยเฉพาะตระกูลปาล์ม สารประกอบกลุ่มนี้ พบมากในส่วนของเนื้อไม้ เปลือกไม้ เปลือกผล และส่วนที่เป็นโครงสร้างพิเศษ

เช่น gall นอกจากนี้ อาจพบได้ในส่วนของใบ ผล และ ฝัก ซึ่งสารประกอบแทนนิน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1) True Tannins เป็นกลุ่มที่สามารถทนต่อการสลายตัวต่อ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสแบงออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่

1.1) Hydrolyzable Tannins เป็นสารประกอบที่ประกอบไปด้วยส่วนโครงสร้าง 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของน้ำตาล โดยส่วนมากพบว่า เป็นน้ำตาลกลูโคส หรืออาจเป็นสารประกอบ polyols อื่นๆ และส่วนที่สองเป็น phenolic acid เช่น gallic acid หรือ hexahydroxydiphenic acid (HHDP) หรือสารอนุพันธ์ของ HHDP มักอยู่ในรูปออกซิไดซ์ พบส่วนที่เป็น phenolic acid มากกว่าส่วนของน้ำตาล หรือ polyols เชื่อมโยงกันด้วยพันธะเอสเตอร์ ที่เรียกว่า depside linkage ซึ่งพันธะเอสเตอร์นี้สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ในสภาวะที่มีน้ำ และถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยกรด เบส หรือ เอนไซม์ tannase ให้ phenolic acids และน้ำตาล หรือ polyols เมื่อนำไปกลั่นแบบแห้ง สารประกอบ phenolic acid จะเปลี่ยนเป็น pyrogallol ดังนั้น hydrolyzable tannins จึงเรียกอีกอย่างว่า pyrogallol tannins มี free hydroxy group 3 หมู่ เมื่อเกิดปฏิกิริยากับสารละลาย ferric chloride จะให้สีน้ำเงินสารประกอบกลุ่ม hydrolysable tannins



ที่มา: (Anonymoys, 2007)

ภาพที่ 13 โมเลกุล Hydrolyzed Tannins ที่ชื่อว่า Gallotannin (ที่มา: Anonymoys, 2007)

1.2) Condensed Tannins หรือที่เรียกอีกอย่างว่า Proanthocyanidins เป็นกลุ่มของสารประกอบ polyphenols ที่มีความซับซ้อน และสลายตัวด้วยน้ำยากกว่ากลุ่ม hydrolyzable tannins โครงสร้าง polyphenols ในกลุ่มนี้ เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบในกลุ่ม flavonoids พืชที่เป็นแหล่งของ condensed tannins ได้แก่ เปลือกอบเชย เปลือกชินโคนา เปลือกหลิว เปลือกโอ๊ค เปลือกโกโก้

เปลือก และใบของ hamamelis ราก krameria ราก male fern และใบชา สารประกอบกลุ่มนี้เมื่อนำมาต้มกับกรด หรือทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ จะได้สารประกอบพอร์ลิเมอร์ รูปสัณฐานสีแดง ไม่สามารถละลายน้ำ เรียกว่า phobaphenes หรือ tannin red จึงเรียกสารกลุ่มนี้ว่า phobatannins เมื่อนำสารประกอบกลุ่มนี้มาทำการกลั่นแบบแห้ง จะได้สารประกอบที่เปน catechol tannins สารประกอบกลุ่มนี้ จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า catechol tannins สารในกลุ่ม condensed tannins ประกอบไปด้วย free hydroxy group อยู่ 2 หมู่ เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย ferric chloride จะให้สีเขียว

2) Pseudotannins เป็นสารประกอบที่มีขนาดเล็ก และมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าสารประกอบ 2 กลุ่มแรกที่เป็น true tannins โดยมากมักเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยว สารประกอบเหล่านี้สามารถตกตะกอนกับเจลาตินได้ แต่ไม่มีความเสถียร และไม่สามารถเกิดผลบวกกับ Goldbeater'skin test ตัวอย่างเช่น catechin, chlorogenic acid, gallic acid และ ipecacuanhic acid (ชวลิต สิทธิสมบัติ, 2539)

2.9 การปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง

ในการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังในปัจจุบันนิยมคัดเลือกพันธุ์จากคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์ดีหลาย ๆ คู่นำเมล็ดไปปลูกขยายพันธุ์ และนำไปทดสอบผลผลิตในระดับต่าง ๆ หรืออาจปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธี recurrent selection ซึ่งใช้เวลานานกว่าจะได้พันธุ์ดีที่สามารถปล่อยเป็นพันธุ์แนะนำให้เกษตรกร โดยปกติการปรับปรุงพันธุ์ใช้เวลาประมาณ 8-10 ปี เนื่องจากอัตราการขยายพันธุ์ของมันสำปะหลังทั้งโดยใช้ท่อนพันธุ์ และการสร้างเมล็ดลูกผสมค่อนข้างต่ำ มันสำปะหลังซึ่งเป็นพืชที่มีอัตราส่วนในการผสมข้ามค่อนข้างสูง และมีความเป็น heterozygous สูง การสร้างสายพันธุ์แท้ และลูกผสมเพื่อใช้ประโยชน์จากความดีเด่นเหนือพ่อแม่ (heterosis) ก็ต้องใช้เวลานานเช่นเดียวกัน การใช้เทคโนโลยีด้านพันธุศาสตร์โมเลกุลเพื่อพัฒนาพันธุ์พืชเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มความสำเร็จ และลดระยะเวลาในการปรับปรุงพันธุ์พืชได้ แต่จำเป็นจะต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังในด้านต่าง ๆ เช่น การใช้เทคนิคระบุตำแหน่งยีนเพื่อช่วยในการคัดเลือกพันธุ์ การชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ก็เป็นทางเลือกหนึ่งในการสร้างความแปรปรวนให้กับมัน-สำปะหลัง ซึ่งพบว่าการกลายพันธุ์ จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของก้าน ดอก สีดอก ลักษณะใบ และต้านทานต่อปัจจัย biotic stress และ abiotic stress มากขึ้น จากการทดลองที่ผ่านมา (John *et al.*, 1993; Colombo *et al.*, 2000) พบว่า มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง โดยธรรมชาติแล้วมันสำปะหลังเป็นพืชข้ามปีสามารถปลูกได้ในเขตร้อน และกึ่งร้อน มันสำปะหลังถูกนำมาใช้ประโยชน์หลากหลาย และนำมาใช้ในงานปรับปรุงพันธุ์ที่มีวัตถุประสงค์แตกต่างกันดังตัวอย่างในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของเชื้อพันธุ์ของมันสำปะหลังบางพันธุ์ในการปรับปรุงพันธุ์

species	**ชื่อย่อ**	**การใช้ประโยชน์**
M. aiutacea	alt	ต้านทานต่อโรค
M. angusliloba	ang	มีปริมาณแป้งสูง
M. anisophylla	aph	มีปริมาณแป้งสูง
M. attenuata	att	ต้านทานต่ออุณหภูมิที่หนาวเย็น
M. carthaginensis	cth	ต้านทานต่อความแห้งแล้ง
M. dichoioma	dch	ทนทานต่อดินเค็ม และทนต่อสภาพแห้งแล้ง
M. esculentasubspmelanobasts	esc	มีปริมาณโปรตีนสูง
M. filamentosa	fmt	มีศักยภาพสูงในการเป็นอาหารสัตว์
M. gtaziovii	gla	ต้านทานต่อ African mosaic virus
M. gracillis	gcl	มีต้นเตี้ย
M. grahami	grh	ทนทานในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ
M. guaranitica	gut	ทนทานในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ
M. longepetiolata	lon	มีต้นเตี้ย
M. neusana	neu	ต้านทานต่อเพลี้ยแป้ง
M. orbicularis	orb	ทนทานต่อดินที่มีอลูมินัมที่เป็นพิษ
M. peltata	pel	ต้านทานต่อดินที่เป็นกรด
M. pofilii	poh	ต้านทานต่อเพลี้ยแป้ง
M. pringlei	pri	มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ
M. pseudoglaziovii	pse	ต้านทานต่อโรคใบไหม้และมีกิจกรรม PEP สูง
M. replans	rpt	ต้านทานต่อโรคใบไหม้
M. sagittaio-partita	sag	ต้านทานต่อดินเป็นกรด
M. tripartite	tpa	ทนทานต่อดินที่มีอลูมินัมที่เป็นพิษ
M. tristis	tst	มีปริมาณแป้งและโปรตีนสูง

ที่มา : Gulick *et al.,* (1983)

การปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังในประเทศไทยมีรายงานว่า มีการศึกษามานานกว่า 60 ปี เริ่มตั้งแต่ ทวน คมกฤส ศึกษาการปลูกมันสำปะหลังเพื่อนำมาทำแป้งมันในจังหวัดสงขลา ในวารสารกสิกร เมื่อพ.ศ. 2480 มีการนำพันธุ์มันสำปะหลังมาจากประเทศฟิลิปปินส์ และประเทศมาเลเซีย เพื่อนำเปรียบเทียบกับพันธุ์พื้นเมืองในสถานีกสิกรรมภาคใต้ (ปัจจุบันคือ สถาบันวิจัยยางจังหวัดสงขลา) โดยในประเทศไทยมีหน่วยงานหลักๆ ที่เกี่ยวข้องคือ 1) สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร มีศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง เป็นศูนย์วิจัยหลักในการสร้างพันธุ์มันสำปะหลัง พันธุ์ที่ปรับปรุงขึ้นมาใช้ชื่อนำว่า “ระยอง” หมายเลขต่าง ๆ 2) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ภายใต้การ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประสานงานโดยภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มีพันธุ์ที่แนะนำออกมาคือ พันธุ์ศรีราชา 1 เกษตร-ศาสตร์ 50 ห้วยบง 60 และห้วยบง 80 3) มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาการผลิตการค้ามันสำปะหลัง และสนับสนุนการวิจัยพัฒนาพันธุ์มันสำปะหลัง ตลอดจนขยายแจกจ่ายพันธุ์มันสำปะหลังสู่เกษตรกร

2.10 บทบาทและความสำคัญของน้ำต่อพืช

น้ำมีบทบาทเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพืช พืชส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 90 ของน้ำหนักสด ปริมาณน้ำระหว่างร้อยละ 60-90 นำมาใช้ในการรักษารูปร่างของเซลล์ และร้อยละ 10-40 อยู่ในส่วนของผนังเซลล์เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านสารระหว่างเซลล์ ช่วยรักษาความเต่งของเซลล์ รวมทั้งเป็นตัวทำละลายสารอินนทรีย์ สารอินทรีย์ และแก๊ส ดังนั้น จึงถือว่าน้ำมีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยาเคมีในการสังเคราะห์แสง (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2548) สำหรับการเพาะปลูกพืช น้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสรีรวิทยา และกระบวนการทางชีวเคมีในพืช ในปี 2535 เฉลิมพล รายงานว่า อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นอยู่กับความแตกต่างของศักยภาพของน้ำระหว่างดิน และบรรยากาศ เมื่อใดมีปริมาณน้ำจำกัดหรือรากไม่สามารถดูดน้ำให้ทันกับการคายน้ำพืชจะเกิดอาการเครียดน้ำ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา และการเจริญเติบโตของพืช ต้นมันสำปะหลังก็เช่นกันกับพืชชนิดอื่นที่ต้องการน้ำในการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของมันสำปะหลัง โดยมัน-สำปะหลังสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีปริมาณน้ำที่เพียงพอ

2.11 สภาวะขาดน้ำของพืช

สภาวะขาดน้ำของพืช คือ สภาวะที่เกิดขึ้นเนื่องจาก อัตราการคายน้ำของพืชมากกว่าอัตราการดูดน้ำ เป็นผลให้ปริมาณน้ำในพืชลดลง ส่งผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช ซึ่งมีหลายกระบวนการของการตอบสนองที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการขาดน้ำ และช่วงเวลาของการขาดน้ำ บางกระบวนการสามารถตอบสนองได้เร็วถึงแม้ว่าจะมีการขาดน้ำเพียงเล็กน้อย และเมื่อมีความรุนแรงของการขาดน้ำเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดผลเสียต่อกระบวนการทางสรีรวิทยารุนแรงขึ้นพร้อมกับส่งผลไปยังกระบวนการอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการตอบสนองดังกล่าวจึงพบในสภาวะขาดน้ำที่ถูกขยายเวลาออกไป การตอบสนองดังกล่าวนี้ เป็นกระบวนการที่ช่วยให้พืชสามารถปรับตัว (สายัณห์ สดุดี, 2534) สำหรับในมันสำปะหลังสภาวะขาดน้ำส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการตอบสนองทางสรีรวิทยา

2.12 ความต้องการน้ำของพืช

ความต้องการน้ำของพืชขึ้นอยู่กับการใช้น้ำของพืช ซึ่งปัจจัยที่กำหนดปริมาณการใช้น้ำของพืช เกี่ยวข้องกับปริมาณ และความถี่ในการให้น้ำ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การคายน้ำของพืช และการระเหยน้ำจากผิวดินบริเวณรอบ ๆ ต้นพืชในขณะที่มีการให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่ และจากน้ำที่เกาะอยู่ที่ตามผิวใบ ส่วนการคายน้ำ หมายถึง ปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช ได้แก่ สภาพอากาศบริเวณรอบ ๆ ต้นพืช ชนิด และอายุของพืช ซึ่งมีความต้องการน้ำแตกต่างกัน (ดิเรก และคณะ, 2543)

ปริมาณการใช้น้ำของพืชขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในดินซึ่งมีองค์ประกอบ 2 ส่วนดังกล่าวข้างต้น ปริมาณน้ำในดินจะมีความสัมพันธ์กับความชื้นดิน และการระเหยของน้ำของบรรยากาศ กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณน้ำในดินมากความต้องการระเหยน้ำของบรรยากาศสูง ปริมาณการใช้น้ำของพืชมีค่าสูงตามความเปลี่ยนแปลงของความต้องการระเหยน้ำ แต่ในทางกลับกันในสภาวะขาดน้ำความชื้นของดินต่ำ

2.13 ปัญหาความแห้งแล้ง

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญ และเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช เนื่องจากเซลล์พืชและกระบวนการต่าง ๆ ทางชีวเคมีที่สำคัญในพืช เช่น การสังเคราะห์แสง รวมถึงกระบวนการอื่น ๆ เช่น การดูดธาตุอาหารในดิน การลำเลียงธาตุอาหาร และสารอาหารต่าง ๆ ที่พืชสังเคราะห์ขึ้น จนถึงการคายน้ำที่ปากใบ ล้วนแต่มีน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญแทบทั้งสิ้น ดังนั้นการขาดน้ำของพืชเนื่องจากความแห้งแล้งจึงมีผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการต่าง ๆ ของพืช และทำให้การเจริญเติบโตรวมถึงการให้ผลผลิตลดลงในที่สุด ซึ่งความแห้งแล้ง (drought) เป็นปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิยา และสภาพแวดล้อมที่ไม่มีฝนตกเป็นระยะเวลานาน ทำให้ความชื้นดินลดลงจนเป็นอันตรายต่อพืช ถ้าหากกล่าวถึงความแห้งแล้งทางเกษตร (agricultural drought) จะหมายถึง ระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ (available water) นั้นมีเพียงไม่พอจนทำให้เกิดสภาวะเครียดภายในต้นพืช แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และสัณฐานวิทยาของพืชเพื่อตอบสนองต่อความแห้งแล้งดังกล่าว (Kramer *et al.*, 1980) สภาวะขาดน้ำเป็นสาเหตุสำคัญในระบบการผลิตพืช ทำให้พืชเกิดสภาวะเครียด และส่งผลต่อความสามารถในการให้ผลผลิตของพืชทั่วโลกลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (Mahajan and Tuteja, 2005) การเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืช (Wang *et al.*, 2001) โดยสภาวะขาดน้ำก่อให้เกิดสภาวะความเครียด จากค่าศักย์ออสโมติคภายในพืช (Lutts *et al.*, 2004) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความสัมพันธ์ของน้ำภายในพืช และการรอดชีวิตของพืชที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ เมื่อพืชเกิดความเครียดจากการขาดน้ำจะมีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นอยู่กับ

ชนิดของพืช ระยะการเจริญเติบโต และระดับความรุนแรงที่เกิดจากความเครียดจากการขาดน้ำ พืชแต่ละชนิดจะมีกิจกรรม และกระบวนการต่าง ๆ ของพืชต่างกัน พืชที่ขาดน้ำจะมีแรงดันเต่งภายในเซลล์ลดลงทำให้การแบ่งเซลล์ และการขยายตัวของเซลล์ลดลง ส่งผลให้เซลล์มีขนาดเล็กกว่าปกติ เมื่อเซลล์มีขนาดเล็กลงทำให้รูปแบบการเจริญของพืชทั้งต้นผิดปกติ โดยขึ้นอยู่กับระยะเจริญเติบโตของพืช เช่น ถ้าพืชขาดน้ำช่วงที่มีการแบ่งเซลล์ และขยายตัวของเซลล์จะทำให้พื้นที่ใบลดลง ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเข้ามาน้อยลง เนื่องจากใบมีขนาดเล็ก (อาทิตยา และจักรี, 2553)

2.14 ผลของสภาวะขาดน้ำต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของพืช การตอบสนองของพืชต่อสภาพแวดล้อม และการเจริญเติบโต สภาวะขาดน้ำมีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช โดยพืชมีการปรับตัวเพื่อการอยู่รอด การตอบสนองทางสรีวิทยาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการขาดน้ำ

ความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังทำให้ผลผลิตลดลงมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ และทำให้เปอร์เซ็นต์แป้ง และคุณภาพของแป้งลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ความแห้งแล้งยังมีผลต่อการพัฒนาของหัวมันสำปะหลัง ทำให้หัวเล็กลง และไม่ได้ขนาด ซึ่งการลดลงของผลผลิต และคุณภาพของผลผลิตดังกล่าวทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก (El-Sharkawy, 1993; Santisopasri *et al.*, 2001; Sriroth *et al.*, 2001) แต่อย่างไรก็ตาม หากมันสำปะหลังได้รับน้ำในช่วงที่กระทบแล้งจะทำให้การเจริญเติบโตกลับคืนสู่สภาวะปกติได้ (Burns *et al.*, 2010) มันสำปะหลังมีกลไกการทนแล้งที่หลากหลาย และแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ เช่น ความสามารถในการเปิดปิดปากใบ การปรับเปลี่ยนมุมใบลดพื้นที่รับแสงในช่วงกลางวันที่มีแดดจัด และปรับเปลี่ยนมุมใบให้รับแสงเพิ่มขึ้นในช่วงเช้าหรือเย็น และความสามารถในการเจริญเติบโตของรากภายใต้สภาพที่แห้งแล้ง โดยพบว่ารากของมันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตลึกลงไปในดินได้ถึง 2 เมตรทำให้สามารถดูดน้ำใต้ดินที่อยู่ในระดับดังกล่าวมาใช้ได้ (El-Sharkawy, 1993) ซึ่งกลไกเหล่านี้ ทำให้มันสำปะหลังมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดภายใต้สภาพความแห้งแล้งในระหว่างที่ลดการคลายน้ำลง หรือปิดปากใบน้อยลง (El-Sharkawy, 2003) มันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้สภาพแห้งแล้งยังทำให้ปริมาณสารพิษไซยาไนด์ในหัวเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยปริมาณสารพิษไซยาไนด์อาจสูงขึ้นถึง 3 เท่า เมื่อเทียบกับมันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพปกติหรือไม่ขาดน้ำ และทำให้ปริมาณโปรตีนในหัวมันสำปะหลังลดลง (Ernesto *et al.*, 2002) แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการใช้พันธุ์ที่เหมาะสมเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ยั่งยืนสามารถลดการสูญเสียจากความแห้งแล้งได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการศึกษากลไกการปรับตัวของมันสำปะหลังภายใต้สภาพแห้งแล้งจะทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญ เพื่อใช้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์พืช ซึ่งกลไกดังกล่าว อาจเป็นกลไกที่

เกี่ยวข้องกับการต้านทานโรค และแมลงทำให้การระบาดของโรค และแมลงบางชนิดลดลงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โรค และแมลงที่มักเกิดการระบาดในช่วงฤดูแล้งหรือฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานาน แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาเพื่อยืนยันสมมติฐานดังกล่าว หรือความสัมพันธ์ของลักษณะทนแล้งกับความต้านทานของโรคหรือแมลง

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองทางสรีรวิทยา และสัณฐานวิทยาภายใต้สภาพความแห้งแล้งที่มีผลต่อผลผลิต และคุณภาพหัวมันสำปะหลังของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ โดยทำการศึกษานี้ทำในห้องปฏิบัติการ และในสภาพโรงเรือนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จังหวัดนครราชสีมา ทำการทดลองโดยปลูกทดสอบมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่าง ๆ ภายใต้การจัดการน้ำที่ต่างกันในโรงเรือน โดยมีกระบวนการทดลองดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่าง ๆ

งานวิจัยนี้ เริ่มต้นงานวิจัยจากการนำมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ จากมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย และศูนย์วิจัยพืชไร่ระยองจำนวน 5 พันธุ์ ดังตารางที่ 5 ซึ่งมีความหลากหลายทางพันธุกรรม มาปลูกทดสอบภายใต้การให้น้ำที่ระดับต่างกัน เพื่อศึกษาลักษณะพื้นฐาน ลักษณะทางการเกษตร การให้ผลผลิต เปอร์เซ็นต์แป้ง ปริมาณสารพิษไซยาไนด์ และสารพิษอื่น ๆ รวมทั้งประเมินทางสัณฐาน และสรีรวิทยาของมันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์ที่เกี่ยวข้องกับการทนแล้ง โดยปลูกทดสอบในโรงเรือน ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

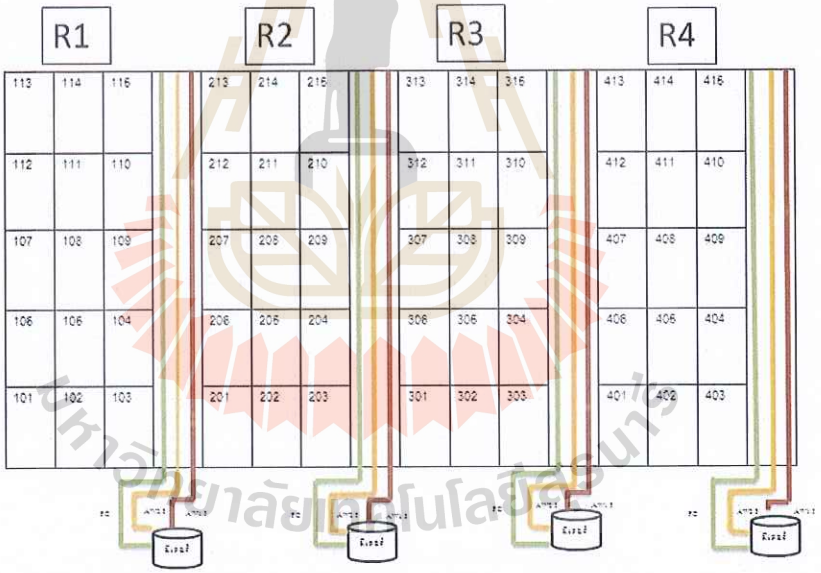
ตารางที่ 5 ประวัติพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	พันธุ์มันสำปะหลัง	พ่อพันธุ์	แม่พันธุ์	ปรับปรุงพันธ์โดย
1	ห้านาที	-	-	-
2	ระยอง 9	OMR29-20-118	CMR31-19-23	ศูนย์วิจัยพืชไร่ ระยอง
3	ศรีราชา 1	R1	MKU2	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4	เกษตรศาสตร์ 50	R90	R1	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
5	ห้วยบง 80	KU50	R5	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 การจัดการน้ำ และพืชในสภาพโรงเรือน

ผลของการจัดการน้ำต่อผลผลิต เปอร์เซ็นต์แป้ง สารพิษไซยาไนด์ ในสภาพโรงเรือนทำการทดลองกับมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ห้านาที ระยอง 9 ศรีราชา 1 เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 80 ภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (อำเภอเมือง จังหวัด

นครราชสีมา) โดยปลูกมันสำปะหลังในถังพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ความสูง 70 เซนติเมตร โดยบรรจุดินให้มีความสูง 60 เซนติเมตร ดินมีความหนาแน่นรวม 1.4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบ 3x5 Factorial in RCB จำนวน 4 ซ้ำ โดยกำหนดให้ปัจจัย a คือ วิธีการการให้น้ำ มี 3 ระดับ ได้แก่ การให้น้ำโดยระบบน้ำหยดที่ระดับความจุสนามตลอดช่วงของการทดลอง (Field capacity, FC) การให้น้ำที่ระดับ (available water, 2/3AW) และ (available water, 1/3AW) ของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินตามลำดับ โดยการให้น้ำที่ระดับ 2/3AW และ1/3AW จะเป็นการให้หลังจากให้น้ำอย่างเต็มที่ในระดับ FC เป็นเวลา 1 เดือนโดยจะให้น้ำในระดับดังกล่าวตลอดช่วงของการทดลองจนถึงอายุเก็บเกี่ยว กำหนดให้ปัจจัย b เป็นมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ จำนวน 5 พันธุ์ โดยแต่ละหน่วยทดลองประกอบด้วยมันสำปะหลังจำนวน 1 ต้น แช่ท่อนพันธุ์เพื่อป้องกันโรค และแมลงก่อนลงปลูก ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 แบ่งใส่ 2 ครั้ง เมื่ออายุ 1 และ 2 เดือน กำจัดวัชพืชทุกเดือน และฉีดสไปโรมีซิเฟน (Spiromesifen) เพื่อป้องกันไรแดงอาทิตย์ละครั้ง



ภาพที่ 14 แผนผังแสดงระบบน้ำทั้ง 3 ระบบ

3.3 ข้อมูลดิน

3.3.1 ค่าความชื้นที่ระดับสนาม (field capacity; FC) มีหน่วยเป็น % Vol.

3.3.2 ค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point; PWP) มีหน่วยเป็น % Vol.

3.3.3 ค่าความชื้นที่เป็นประโยชน์กับพืช (available water; AW) มีหน่วยเป็น % Vol.

คำนวณจากสูตร % Vol. = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก x ความหนาแน่นรวม

หรือ คำนวณจากสูตร เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก = % Vol./ ความหนาแน่นรวม

3.3.4 อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมที่เป็นประโยชน์ของดิน

3.3.5 วัดความชื้นดินด้วยวิธี Gravimetric method และเครื่อง soil moisture meter ที่ความลึก 0-5, และ 25-30 เซนติเมตรทุก 30 วัน

คำนวณจากสูตร ความชื้น = (น้ำหนักก่อนอบ-น้ำหนักหลังอบ/น้ำหนักหลังอบ) x 100

3.3.6 ความหนาแน่นรวม (bulk density) มีหน่วยเป็นกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

คำนวณจากสูตร ความหนาแน่นรวม = น้ำหนักแห้งดิน/ปริมาตรกระป๋องดิน

ตารางที่ 6 กำหนดการให้น้ำมันสำปะหลังทั้ง 3 ระดับ

ทรีตเมนต์	ความชื้น (% Vol.)	ปริมาณน้ำ (L)
FC (field capacity)	34.77	4.30 L
2/3AW (available water 2/3)	28.05	3.47 L
1/3AW (available water 1/3)	21.35	2.64 L

3.4 ข้อมูลพืช

3.4.1 ข้อมูลลักษณะของพืชที่จดบันทึกประกอบด้วยข้อมูลทางสัณฐานวิทยาตามแบบการประเมินมันสำปะหลัง หรือ Cassava descriptor โดยบันทึกการเจริญเติบโตขนาด และความสูงต้น (plant height) โดยวัดความสูงต้นจากระดับผิวดินจนถึงยอด โดยทำการตรวจวัดทุก ๆ 1 เดือน (Fukuda *et al.*, 2010)

3.4.2 วัดค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) โดยใช้เครื่อง SPAD chlorophyll minorta meter รุ่น SPAD 502 plus เก็บข้อมูลในช่วงเวลา 9.00-12.00 น. วัดจากใบที่ 4 นับจากยอดของต้นมันสำปะหลังจำนวน 3 ใบ และหาค่าเฉลี่ย โดยทำการวัดทุก ๆ 1 เดือน

3.4.3 วัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด โดยใช้เครื่อง chlorophyll fluorescence meter รุ่น Handy PEA จากใบที่ 4 นับจากยอดของต้นมันสำปะหลัง เก็บข้อมูลในช่วงเวลา 9.00-14.00 น. โดยทำการวัดทุก ๆ 1 เดือน เครื่องวัดจะให้แสงความเข้มต่ำก่อน ซึ่งเครื่องจะอ่านค่า Fo (minimum, quasi-dark fluorescence yield) หลังจากนั้นเครื่องจะส่องแสงความเข้มข้นส่งมากเพื่อให้มีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนเต็มกำลังรับของระบบ PSII (saturating light pulse) คือให้ reaction centers อยู่ในสภาพปิดหมด เพื่อให้เกิดรังสีฟลูออเรสเซนซ์เต็มที่ ค่าที่เครื่องอ่านได้ในช่วงนี้คือ Fm (maximum total fluorescence yield) ผลต่างของทั้งสองค่าเรียกว่า Fv (variable fluorescence, Fv = Fm-Fo) ค่าที่คำนวณคือค่าสัดส่วนของ Fv/Fm เรียกว่า maximum quantum yield (Φ dark) ซึ่งจะ

แสดงถึงประสิทธิภาพของการจับพลังงานโดย reaction centers หรือเป็นค่าสัดส่วนของพลังงานแสงที่พืชดูดซับทั้งหมดที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง

3.4.4 อัตราการสังเคราะห์แสง การนำปากใบ และการคายน้ำ โดยใช้เครื่อง LCi-SD photosynthesis measurement system โดยวัดใบที่ 4 นับจากยอด วัดซ้ำ 3 ใบ และ หาค่าเฉลี่ย ในช่วงเวลา 9.00-12.00 น. วัดทุก ๆ 1 เดือน

3.4.5 วัดค่าศักย์ของน้ำในใบโดยใช้เครื่อง Pressure Chember รุ่น 3005F01 วัดจากใบที่ 4 นับจากยอดของต้นมันสำปะหลัง เก็บข้อมูลในช่วงเวลา 9.00-14.00 น. โดยทำการวัดทุก ๆ 1 เดือน

3.4.6 วัดค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative water content; RWC) ทำการชั่งน้ำหนักสด (fresh weight; FW) ของชิ้นส่วนใบ ใบเดียวกับที่ใช้วัดค่าศักย์ของน้ำ โดยนำชิ้นส่วนใบทำการชั่งน้ำหนักสดอย่างรวดเร็ว แล้วนำใบไปแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้ใบมันสำปะหลังดูดน้ำเต็มที่ จากนั้นนำใบไปชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักเต่ง (turgid weight; TW) และนำใบมันสำปะหลังไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปชั่งน้ำหนักแห้งคำนวณหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (RWC)

$$\text{จากสูตร RWC} = \frac{\text{FW}-\text{DW}}{\text{TW}-\text{DW}} \times 100$$

3.4.7 ค่า Specific leaf weight (SLW) โดยวัดพื้นที่ใบโดยใช้เครื่อง Automatic Area Meter และนำใบไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเป็นเวลา 48 ชั่งโมง จากนั้นนำมาคำนวณสัดส่วน น้ำหนักแห้งใบต่อพื้นที่ใบ (Fukuda *et al.*, 2010) โดยทำการตรวจวัดเมื่อ อายุ 9 เดือน

3.4.8 ปริมาณสารแทนนินในใบ เตรียมใบมันสำปะหลัง โดยเก็บจากใบที่ 4 นำมาทำความสะอาดแล้วหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศา นำใบมันสำปะหลังมาบด และชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เติม 80% ethyl alcohol นำไปแช่ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปิเปตสารปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวด 100 มิลลิลิตร เติมโฟลิน-เดนนิสรีเอเจนต์ 5 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัว 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 762 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/VIS spectrophometer เทียบหาปริมาณสารแทนนินจากกราฟมาตรฐาน โดยทำการตรวจวัดทุกๆ 1 เดือน

3.4.9 วิเคราะห์ปริมาณสารไซยาไนด์ในหัวด้วยวิธี colorimetic โดยใช้เทคนิคสเปคโทรโฟโตเมตรีในการตรวจวัด โดยทำการตรวจวัดเมื่ออายุ 9 เดือน (O'Brien, 1991)

- ชั่งตัวอย่าง (เนื้อมันสด 50 กรัม หั่นเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋าขนาดไม่เกิน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร) (A) (ร้อยละความชื้น, M) เติมสารที่ใช้สกัด 150 มิลลิลิตร (B) ปั่นด้วยเครื่องปั่นบด (Homogenizer) 1 นาทีแล้วกรองโดยใช้กระดาษเบอร์ 1

- ปิเปตส่วนใสของตัวอย่างที่สกัดได้ 0.1 มิลลิลิตร (สำหรับสารละลายมาตรฐานของโซเดียมไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 0 ถึง 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร)

- เติม 0.1 โมลาร์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.0 ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตรเขย่า จากนั้นเติมเอนไซม์ลินามาเรส 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

- เติม 0.2 โมลาร์โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

- เติม 0.2 โมลาร์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 6.0, 2.8 มิลลิลิตร เขย่าและเติมสารละลายคลอรามีน ที 0.2 มิลลิลิตร เขย่าแล้วบ่มในน้ำเย็น 5 นาที

- เติมสารละลายไพริดีน/ไพราโซโลน 0.8 มิลลิลิตร เขย่า บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 40 นาที แต่ไม่ควรเกิน 180 นาที และ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร (C)

การคำนวน

$$\text{ปริมาณไซยาไนด์} = \frac{B \times C \times \text{อัตราการเจือจางของตัวอย่าง} \times 100}{\text{ค่าความชันของกราฟมาตรฐาน} \times A \times (100-M) \times 10}$$

(มิลลิกรัม HCN ต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่าง

B คือ ปริมาณสารที่ใช้สกัด (มิลลิลิตร)

C คือ ค่าดูดกลืนแสง

M คือ ร้อยละของความชื้นของตัวอย่าง

3.4.10 ดัชนีเก็บเกี่ยว (harvest index) โดยทำการตรวจวัดเมื่อทำการเก็บเกี่ยว โดยคำนวณจากน้ำหนักหัวสดต่อน้ำหนักสดทั้งหมดซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยทำการตรวจวัดเมื่ออายุ 9 เดือน (Fukuda *et al.*, 2010)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS for Windows Version 14.0 และ Statistix 10 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์โดยวิธีการของ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

การศึกษาผลของการให้น้ำในระดับที่ต่างกันต่อผลผลิต ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางเคมี และสรีรวิทยาของหัวมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz.) โดยทำการศึกษาผลการให้น้ำเต็มที่ และการขาดน้ำกับมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของหัวมันสำปะหลัง และการเสื่อมสภาพทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งเป็นกลไกการปรับตัวที่สำคัญเพื่อการอยู่รอด และลดความเสียหายต่อผลผลิต และคุณภาพของผลผลิตเพื่อใช้เป็นข้อมูลในด้านการปรับปรุงพันธุ์ และการจัดการทางด้านเขตกรรมต่อไป

4.1 ผลของการจัดการน้ำต่อการเจริญเติบโต สรีรวิทยา ลักษณะทางกายภาพ เคมี และผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ

ศึกษาการเจริญเติบโตของต้นมันสำปะหลังจำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ห้านาที ระยอง 9 ศรีราชา 1 เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 80 โดยวิธีการให้น้ำที่แตกต่างกันมี 3 ระดับได้แก่ การให้น้ำโดยระบบน้ำหยดที่ระดับความจุสนามตลอดช่วงของการทดลอง การให้น้ำที่ระดับ 2/3AW และ 1/3AW ของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินโดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดินก่อนทำการทดลองเพื่อคำนวณปริมาณน้ำที่ให้ ในแต่ละระดับน้ำ

4.1.1 คุณสมบัติดินก่อนการทำการทดลอง

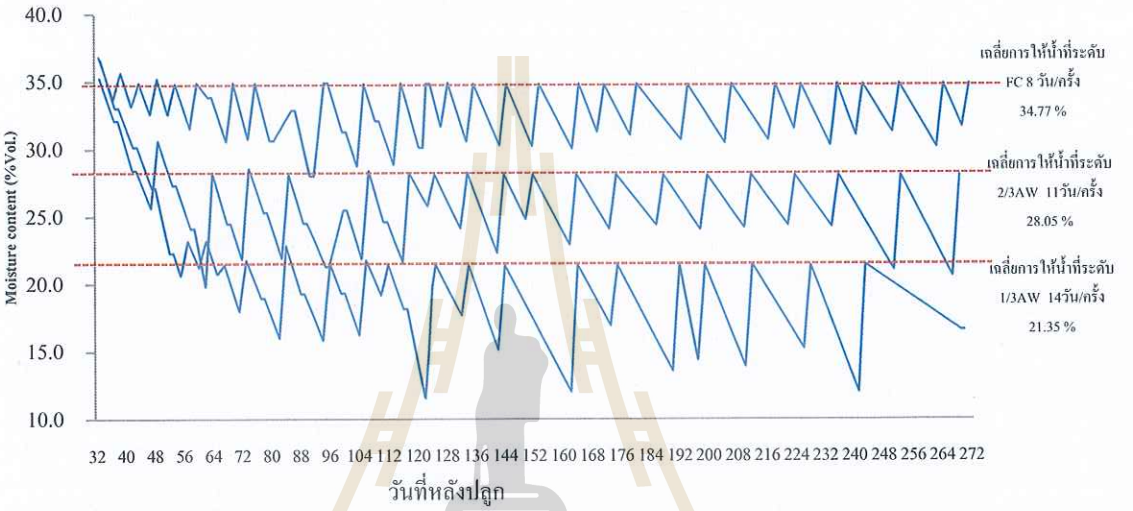
การทดลองในครั้งนี้ได้นำดินมาวิเคราะห์ พบว่าความสามารถของดินในการเก็บความชื้นในดินที่ความชื้นชลประทาน (Field capacity, FC) มีค่า 34.77 เปอร์เซ็นต์ ที่จุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting point, PWP) มีค่า 14.65 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการอุ้มน้ำที่เป็นประโยชน์กับพืชไว้ได้สูงสุด (Avirable water, AW) มีค่าเท่ากับ 20.12 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของดินที่ใช้บรรจุในกระถาง

ธาตุอาหารในดิน						
OM (%)	**Exch.P (ppm.)**	**Exch.K (ppm.)**	**Bulk density (g/cm^3)**	**FC (% Vol.)**	**AW (% Vol.)**	**PWP (% Vol.)**
1.41	54.40	218.30	1.34	34.77	20.12	14.65

4.1.2 การกำหนดความชื้นในดิน และการให้น้ำมันสำปะหลัง

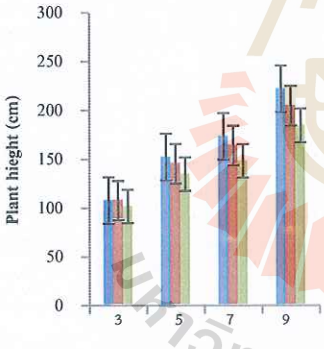
จากการเก็บข้อมูลความชื้นดินจากการให้น้ำตลอดอายุการเจริญเติบโตจนถึงอายุเก็บเกี่ยว เมื่อมันสำปะหลังอายุ 8 เดือน พบว่าการให้น้ำแก่มันสำปะหลังทั้ง 3 ระดับ มีระยะเวลาที่แตกต่างกัน เมื่อให้น้ำที่ระดับความชื้น FC, 2/3AW และ 1/3AW ให้น้ำเฉลี่ยที่ 8, 11 และ 14 วัน/ครั้ง และจำนวนการให้น้ำ 31, 28 และ 25 ครั้ง ตามลำดับ (ภาพที่ 15) ขึ้นอยู่กับ อายุมันสำปะหลัง อุณหภูมิ ปริมาณแสงในวันนั้น ๆ หากมีอุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นในดินลดลงเร็ว และมีการให้น้ำถี่ขึ้น



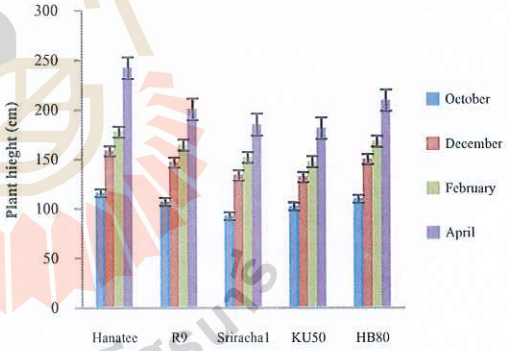
ภาพที่ 15 ปริมาณความชื้นดินทั้ง 3 ระดับ โดยกำหนดจากความชื้นในดิน

4.1.3 ความสูงของต้น (height) ที่อายุ 3 เดือน พบว่าความสูงของต้นมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำ 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีแนวโน้มความสูงมากที่สุดเท่ากับ 107.94 เซนติเมตร รองลงมาคือน้ำที่ระดับ 2/3AW และมีความสูงน้อยที่สุดคือการให้น้ำที่ระดับ 1/3AW โดยมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 107.81 และ 101.83 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยพบว่ามันสำปะหลังแต่ละพันธุ์มีความสูงเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับน้ำ โดยพันธุ์ห้านาที มีความสูงมากที่สุด รองลงมาคือ พันธุ์ห้วยบง 80 ระยอง 9 เกษตรศาสตร์ 50 และศรีราชา 1 มีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 116.10, 110.32, 107.28, 102.63 และ 92.91 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่อายุ 5 เดือน พบว่า ความสูงของมันสำปะหลังแต่ละระดับน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 152.50 เซนติเมตร รองลงมาคือน้ำที่ระดับ 2/3AW และ 1/3AW มีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 145.76 และ 134.96 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยพบว่า มันสำปะหลังแต่ละพันธุ์มีความสูงเฉลี่ยแตกต่างกันทุกระดับน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ พันธุ์ที่มีความสูงเฉลี่ยสูงสุดคือ พันธุ์ห้านาที ห้วยบง 80 ระยอง 9 ศรีราชา 1 และ เกษตรศาสตร์ 50 เท่ากับ 147.17, 139.83, 136.75, 123.50, และ123.17 เซนติเมตร

ตามลำดับ ที่อายุ 7 เดือน พบว่าความสูงของมันสำปะหลังแต่ละระดับน้ำ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 173.61 เซนติเมตร รองลงมาคือน้ำที่ระดับ 2/3AW มีความสูงเท่ากับ 164.26 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือที่ระดับ 1/3AW มีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 148.45 เซนติเมตร โดยพบว่าความสูงเฉลี่ยของทุกระดับน้ำของมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพันธุ์ห้านาทีมีความสูงที่สุดเท่ากับ 177.80 เซนติเมตร รองลงมาคือ พันธุ์ห้วยบง 80 ระยอง 9 ศรีราชา 1, และเกษตรศาสตร์ 50 ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 168.29, 164.69, 152.07 และ 147.68 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่อายุ 9 เดือน พบว่า ความสูงของมันสำปะหลังแต่ละระดับน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 222.12 เซนติเมตร รองลงมาคือการให้น้ำที่ระดับ 2/3AW มีความสูงเท่ากับ 204.66 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุดคือการให้น้ำที่ระดับ 1/3AW มีความสูงเท่ากับ 184.73 เซนติเมตร โดยพบว่า พันธุ์มีผลทำให้ความสูงเฉลี่ยของทุกระดับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพันธุ์ห้านาทีมีความสูงเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 242.31 เซนติเมตร รองลงมาคือ พันธุ์ห้วยบง 80 ระยอง 9 ศรีราชา 1 และ เกษตรศาสตร์ 50 มีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 209.61, 200.53, 185.23 และ 181.51 เซนติเมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 16 ความสูงเฉลี่ยมันสำปะหลังที่อายุ 3, 5, 7 และ9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ



ภาพที่ 17 ความสูงเฉลี่ยพันธุ์มันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 3, 5, 7 และ9 เดือน

4.1.4 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (Pn) ที่อายุ 2 เดือน พบว่ามันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำ 3 ระดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดเท่ากับ 12.64 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีค่าการสังเคราะห์แสงสุทธิเท่ากับ 9.16 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีค่าการสังเคราะห์แสงต่ำสุดเท่ากับ 8.83 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} โดยพบว่าค่าการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยค่าการสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ มีค่าใกล้เคียงกัน 8.87-12.41 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} ที่อายุ

4 เดือน มันสำปะหลังปลูกภายใต้ระดับน้ำ 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีค่าการสังเคราะห์แสงสูงสุดเท่ากับ 9.89 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW และ 1/3AW มีค่าการสังเคราะห์แสงเท่ากับ 7.78 และ 0.11 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} ตามลำดับ โดยค่าการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยของพันธุ์มันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างๆไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ มีค่าการสังเคราะห์แสงใกล้เคียงกัน 5.64-6.17 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} ที่อายุ 6 เดือน มันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำ 3 ระดับ มีการสังเคราะห์แสงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีค่าการสังเคราะห์แสงสูงสุดเท่ากับ 9.91 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีค่าการสังเคราะห์แสงเท่ากับ 7.68 และ 0.09 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} ตามลำดับ โดยพบว่า ค่าการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 มีแนวโน้มค่าการสังเคราะห์แสงสูงสุดเท่ากับ 6.09 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} รองลงมาคือ พันธุ์ระยอง 9 พันธุ์ห้วยบง 80 พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ห้านาที มีค่าการสังเคราะห์แสงเท่ากับ 6.03, 5.96 , 5.82 และ 5.57 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 8 อัตราการสังเคราะห์แสงในใบมันสำปะหลัง5 พันธุ์ ที่อายุ 2,4,6 และ 8 เดือนในระดับน้ำ 3 ระดับ

ระดับน้ำ	การสังเคราะห์แสง (μ mol H_2O m^{-2} s^{-1})			
	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
Field capacity	12.64a	9.29a[/1]	8.89a	9.91a
2/3AW	9.16b	1.03b	-0.27b	7.68b
1/3AW	8.83b	2.11b	-0.66b	0.09c
พันธุ์				
ห้านาที	12.41	3.71	1.78	5.57
ระยอง 9	10.99	3.74	2.70	6.03
ศรีราชา 1	8.87	4.64	3.01	6.09
เกษตรศาสตร์ 50	8.70	4.06	2.83	5.82
ห้วยบง 80	10.07	4.58	2.91	5.96
A[/2]	*	**	**	**
B	ns	ns	ns	ns
A*B	ns	ns	ns	ns
CV(%)	50.22	23.58	43.38	18.24

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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

4.1.5 การนำปากใบ (stomata conductance) ที่อายุ 2 เดือน พบว่าการนำปากใบมัน-สำปะหลังที่ปลูกภายระดับน้ำ 3 ระดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีการนำปากใบสูงสุดเท่ากับ 0.24 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีการนำปากใบเท่ากับ 0.20 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีการนำปากใบเท่ากับ 0.17 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ โดยพบว่า พันธุ์ที่ต่างกันมีการนำปากใบเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับน้ำ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีมีการนำปากใบสูงสุดเท่ากับ 0.27 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ รองลงมาคือพันธุ์ห้วยบง 80 ระยอง 9 ศรีราชา 1 และเกษตรศาสตร์ 50 มีการนำปากใบใกล้เคียงกัน 0.22-0.15 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 9) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย คือ ระดับน้ำ และพันธุ์ ระดับน้ำ FC กับพันธุ์ 5 พันธุ์ ระดับน้ำ 2/3AW กับพันธุ์ 5 พันธุ์ ระดับน้ำ 1/3AW กับพันธุ์ 5 พันธุ์ พบว่าความแตกต่างของระดับน้ำมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกัน (รูปที่ 18) แสดงว่า ระดับน้ำที่

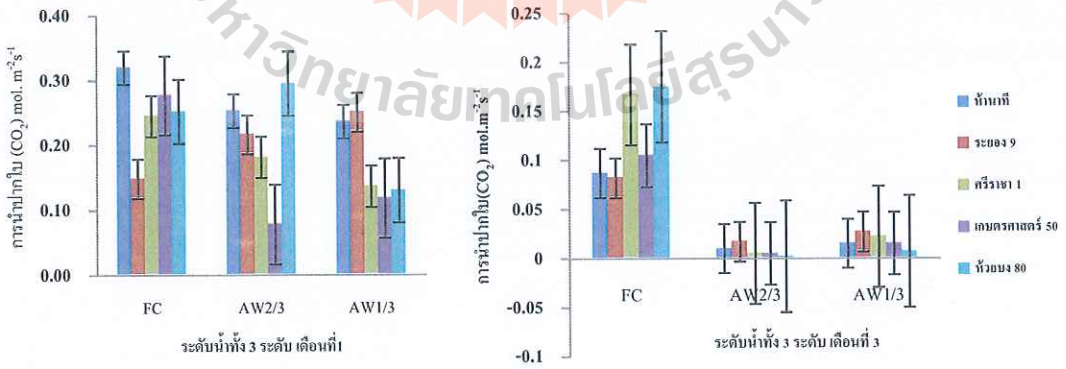
แตกต่างกันมีผลต่อการนำปากใบในมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ โดยพบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที เมื่อได้รับน้ำเต็มที่จะมีการนำปากใบเพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อเริ่มขาดน้ำ ซึ่งต่างจากพันธุ์ระยอง 9 ที่มีการนำปากใบลดลงเมื่อให้น้ำเต็มที่ และเพิ่มขึ้นเมื่อเริ่มมีการขาดน้ำ ที่อายุ 4 เดือน พบว่ามัน-สำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำที่ต่างกันทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีการนำปากใบสูงสุดเท่ากับ 0.12 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW และ 1/3AW มีการนำปากใบเท่ากับ 0.00 และ 0.01 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ โดยการนำปากใบเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ พันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ มีการนำปากใบใกล้เคียงกัน (0.03-0.06) (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ และความแตกต่างของระดับน้ำมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกัน (รูปที่ 18) แสดงว่า ระดับน้ำที่แตกต่างกันมีผลต่อการนำปากใบในมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ โดยพบว่า พันธุ์ระยอง 9 มีการนำปากใบสูงเมื่อได้รับน้ำเต็มที่ และ 1/3AW ซึ่งแตกต่างจากเมื่อได้รับน้ำในระดับ 2/3AW การที่มันสำปะหลังมีอัตราการนำปากใบสูงเมื่อขาดน้ำ จะทำให้มันสำปะหลังมีการสูญเสียน้ำได้ง่ายขึ้น ที่อายุ 6 เดือน พบว่ามันสำปะหลังปลูกภายใต้ระดับน้ำ 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีการนำปากใบสูงสุดเท่ากับ 1.00 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีการนำปากใบเท่ากับ 0.11 และ 0.00 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ โดยพบว่าการนำปากใบเฉลี่ยของทุกระดับน้ำ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีแนวโน้มมีค่าการนำปากใบสูงสุดเท่ากับ 0.05 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ รองลงมาพันธุ์มีการนำปากใบใกล้เคียงกันเท่ากับ (0.02-0.04) (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ (ตารางที่ 9) ที่อายุ 8 เดือน พบว่า มันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้น้ำ 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีการนำปากใบสูงสุดเท่ากับ 0.12 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ รองลงมา คือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีการนำปากใบเท่ากับ 0.10 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีการนำปากใบต่ำสุดเท่ากับ 0.00 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ ค่าการนำปากใบเฉลี่ยของพันธุ์ต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ มีการนำปากใบใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.00-0.09 (CO_2) mol. $m^{-2}s^{-1}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 การนำปากใบมันสำปะหลัง5 พันธุ์ ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในระดับน้ำ 3 ระดับ

ระดับน้ำ	การนำปากใบ (CO_2) mol. m^{-2} s^{-1}			
	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
Field capacity	0.24a[/1]	0.12a	0.11a	0.12a
2/3AW	0.20b	0.00b	1.00b	0.10a
1/3AW	0.17b	0.01b	0.00b	0.00b
พันธุ์				
ห้านาที	0.27	0.03	0.02	0.07
ระยอง 9	0.20	0.04	0.04	0.09
ศรีราชา 1	0.18	0.06	0.04	0.07
เกษตรศาสตร์ 50	0.15	0.04	0.02	0.05
ห้วยบง 80	0.22	0.06	0.05	0.08
A[/2]	*	**	**	**
B	ns	ns	ns	ns
A*B	*	**	ns	ns
CV(%)	6.62	3.00	2.78	4.64

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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



ภาพที่ 18 การนำปากใบมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ภายใต้ระดับน้ำที่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1.6 การคายน้ำ (transpiration) ที่อายุ 2 เดือน พบว่า มันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำที่เต็มที่ มีอัตราคายน้ำมากที่สุดเท่ากับ 5.9 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำที่ระดับ 1/3AW มีอัตราการคายน้ำเท่ากับ 4.27 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำระดับ 2/3AW มีอัตราการคายน้ำเท่ากับ 4.27 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} ด้านพันธุ์มันสำปะหลัง พบว่า พันธุ์มีผลทำให้อัตราการคายน้ำเฉลี่ยของทุกระดับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีมีอัตราการคายน้ำสูงสุดเท่ากับ 6.27 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} รองลงมาคือมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ศรีราชา 1 ห้วยบง 80 และ เกษตรศาสตร์ 50 มีอัตราการคายน้ำเท่ากับ 4.93, 4.35, 4.33 และ 4.24 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 10) ที่อายุ 4 เดือน พบว่ามันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีอัตราการคายน้ำสูงสุดเท่ากับ 3.81 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีอัตราการคายน้ำเท่ากับ 3.58 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} และมันสำปะหลังที่ได้รับในระดับ 1/3AW มีอัตราการคายน้ำต่ำสุดเท่ากับ 0.30 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} ในด้านพันธุ์ พบว่าพันธุ์มีผลทำให้การนำปากใบเฉลี่ยของทุกระดับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีอัตราการคายน้ำสูงสุดเท่ากับ 2.72 รองลงมาคือมันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 ห้วยบง 80 เกษตรศาสตร์ 50 และห้านาที มีอัตราการคายน้ำเท่ากับ 2.67, 2.65, 2.60 และ 2.17 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} (ตารางที่ 10) ที่อายุ 6 เดือน มันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีอัตราการคายน้ำสูงสุดเท่ากับ 4.94 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีอัตราการคายน้ำเท่ากับ -0.64 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีอัตราการคายน้ำต่ำสุดเท่ากับ -0.13 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} ในด้านพันธุ์พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ มีอัตราการคายน้ำใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.13-2.16 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} (ตารางที่ 10) ที่อายุ 8 เดือน พบว่ามันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีอัตราการคายน้ำสูงสุดเท่ากับ 3.82 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีอัตราการคายน้ำเท่ากับ 3.58 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีอัตราการคายน้ำต่ำสุดเท่ากับ 0.28 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} -ในด้านพันธุ์พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์มีอัตราการคายน้ำใกล้เคียงกันเท่ากับ 2.13-2.78 μ mol H_2O m^{-2} s^{-1} (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 อัตราการคายน้ำในใบมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในระดับน้ำ 3 ระดับ

ระดับน้ำ	อัตราการคายน้ำ (μ mol H_2O m^{-2} s^{-1})			
	2 เดือน	**4 เดือน**	**6 เดือน**	**8 เดือน**
Field capacity	5.90a[/1]	3.81a	4.94a	3.82a
2/3AW	4.27b	3.58a	-0.64b	3.58a
1/3AW	4.29b	0.30b	-0.13b	0.28b
พันธุ์				
ห้านาที	6.27	2.17	0.13	2.13
ระยอง 9	4.93	2.72	1.34	2.78
ศรีราชา 1	4.35	2.67	1.71	2.68
เกษตรศาสตร์ 50	4.24	2.60	1.59	2.58
ห้วยบง 80	4.33	2.65	2.16	2.64
A[/2]	**	**	**	**
B	*	ns	ns	ns
A*B	ns	ns	ns	ns
CV (%)	20.32	18.24	25.36	18.23

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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

สภาวะขาดน้ำของพืชเกิดขึ้นเมื่ออัตราการได้รับน้ำจากดินน้อยกว่าอัตราการคายน้ำซึ่งทำให้เซลล์ และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของพืชไม่สามารถรักษาความเต่งไว้ได้เต็มที่ 100% สภาวะขาดน้ำนี้มีได้ตั้งแต่ขาดแคลนเล็กน้อยซึ่งไม่เห็นอาการเหี่ยว หรือเห็นอาการเหี่ยวเฉพาะในเวลาเที่ยงแต่กลับเต่งเมื่อเวลาเย็นจนถึงขาดแคลนรุนแรง ซึ่งแสดงอาการเหี่ยวถาวรหรือตายในที่สุด การขาดแคลนน้ำของพืชถูกควบคุมโดยทั้งปัจจัยที่อยู่เหนือดินซึ่งได้แก่ความต้องการระเหยน้ำของบรรยากาศ และปัจจัยที่อยู่ในดินคือความเครียดของความชื้นดิน การขาดแคลนน้ำมีผลต่อการดำเนินกิจกรรมของพืชหลายขบวนการพร้อม ๆ กัน และต่างมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงเช่นเมื่อเกิดการขาดแคลนน้ำทำให้ปากใบปิด ปริมาณ CO_2 ที่พืชได้รับลดลง อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง การเคลื่อนย้ายของสิ่งที่ได้จากการสังเคราะห์แสงลดลง การใช้น้ำตาล และแป้งเพื่อเปลี่ยนเป็นโปรตีนลดลง เป็นต้น จากการทดลองจะเห็นได้ว่า การให้น้ำในระดับ 1/3 AW ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสง การนำปากใบ และการคายน้ำลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับการให้น้ำในระดับ FC ในด้านพันธุ์

มันสำปะหลัง พบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือน มีค่าการนำปากใบต่ำที่สุดเมื่อขาดน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ 1) โดยมันสำปะหลังอาจมีการปรับตัวโดยการปิดปากใบเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ (Mahajan and Tuteja, 2005) หรือมีกลไกที่ช่วยรักษาสมดุลของน้ำ โดยการสะสมตัวถูกละลาย เช่น โพลลีน น้ำตาลซูโครส ทำให้รักษาน้ำให้อยู่ภายในเซลล์เพื่อลดค่าศักย์ของน้ำ (Cabuslay *et al.*, 2002) นอกจากนี้ยังพบว่าพันธุ์ห้านาที และพันธุ์ระยอง 9 ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือน มีค่าการนำปากใบสูงที่สุดเมื่อขาดน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ 1) และจากการศึกษาการคายน้ำของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่อายุ 2 เดือน และ 6 เดือน มีอัตราการคายน้ำต่ำที่สุดเมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ ต่างจากมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีที่อายุ 2, 4 และ 8 เดือน มีอัตราการคายน้ำสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ (ตารางภาคผนวกที่ 2) ในส่วนของการสังเคราะห์แสงพบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 ที่อายุ 2 และ 6 เดือน มีการสังเคราะห์แสงต่ำสุดเมื่อขาดน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ 3) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahajan และ Tuteja ในปี 2005 รายงานว่า พืชอาจมีการปรับตัวโดยการปิดปากใบเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ ในขณะเดียวกันในปี 2004 Liu และคณะ รายงานว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศภายนอกก็ไม่สามารถแพร่เข้าสู่ใบทำให้อัตราการสังเคราะห์แสง และการสร้างอาหารของพืชลดต่ำลงทำให้ความยาวลำต้นน้อยลง ทั้งนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับรายงานของ โอภาษ และคณะ (2546) ที่ได้ศึกษารูปแบบการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง พบว่า มันสำปะหลังจะหยุดชะงักการเจริญเติบโตในช่วงฤดูแล้ง โดยจำนวนใบลดลง เพื่อลดการคายน้ำออกจากต้นทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของใบลดลง ดังนั้น ควรให้น้ำในช่วงฤดูแล้งเพื่อจะช่วยให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง หรือทำให้ใบร่วงน้อยที่สุด มีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ต่อมาในปี 2007 Abdalla และ Elkhoshiban รายงานว่า ข้าวโพดข้าวเหนียวอยู่ในสภาวะขาดน้ำ จะมีผลกระทบต่อน้ำหนักแห้ง คือทำให้น้ำหนักแห้งของราก และลำต้นลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้าวโพดดูดน้ำจากดินไปใช้ได้น้อยลง การดูดแร่ธาตุจากดินลดลงมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง เซลล์เกิดอาการเหี่ยว ปากใบปิดทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง

4.1.7 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมันสำปะหลัง (SPAD chlorophyll) ผลของการให้น้ำเต็มที่และขาดน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ จากค่าที่อ่านได้จากคลอโรฟิลล์มิเตอร์ มัน-สำปะหลังที่อายุ 3 เดือน พบว่า คลอโรฟิลล์ของมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำ 3 ระดับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ระดับน้ำ 2/3AW มีแนวโน้มมีค่าคลอโรฟิลล์เฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 53.71 รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำ 1/3AW และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าคลอโรฟิลล์เฉลี่ยเท่ากับ 53.50 และ 53.00 ตามลำดับ ในด้านของพันธุ์มันสำปะหลังพบว่า พันธุ์มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของทุกระดับน้ำ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โดยพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์สูงที่สุดคือ พันธุ์ห้วยบง 80 มีค่าคลอโรฟิลล์เท่ากับ 55.5 รองลงมาคือพันธุ์ศรีราชา 1 ระยอง 9 เกษตรศาสตร์ 50 และห้านาที มีค่าคลอโรฟิลล์เท่ากับ 54.57, 53.75, 53.61 และ 49.54 ตามลำดับ (ตารางที่ 11) อายุ 5 เดือน พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ของมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ ระดับน้ำ 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ระดับน้ำเต็มที่ มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดเท่ากับ 47.84 รองลงมาคือมัน-สำปะหลังที่ระดับน้ำ 2/3AW มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยเท่ากับ 45.11 ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยน้อยที่สุดคือ มันสำปะหลังที่ระดับน้ำ 1/3AW มีค่าเท่ากับ 40.95 ในด้านของพันธุ์มันสำปะหลัง พบว่า พันธุ์มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของทุกระดับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์สูงสุดคือ พันธุ์ห้วยบง 80 มีค่าคลอโรฟิลล์เท่ากับ 51.16 รองลงมาคือ พันธุ์ระยอง 9 ศรีราชา 1 เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ห้านาที มีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 48.60, 42.99, 40.29 และ 40.12 ตามลำดับ มันสำปะหลังที่อายุ 7 เดือน พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ของมันสำปะหลังที่ปลูกภานใต้ระดับน้ำ 3 ระดับ มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดเท่ากับ 51.07 รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ระดับน้ำ 2/3AW และมันสำปะหลังที่ระดับน้ำ 1/3AW มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 49.66 และ 47.23 ตามลำดับ พันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์ที่มีแนวโน้มค่าคลอโรฟิลล์สูงสุดคือพันธุ์ระยอง 9 มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 52.37 รองลงมาคือพันธุ์ห้วยบง 80 ศรีราชา 1 เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ที่มีแนวโน้มค่าปริมาณคลอโรฟิลล์น้อยที่สุด คือพันธุ์ห้านาที มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 51.93, 48.43, 48.08 และ 45.80 ตามลำดับ ที่อายุ 9 เดือน พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ของมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำ 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีแนวโน้มมีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดเท่ากับ 52.51 รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ระดับน้ำ 2/3AW และมันสำปะหลังที่ระดับน้ำ 1/3AW มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 49.80 และ 48.53 ตามลำดับ โดยทั้ง 5 พันธุ์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพันธุ์ที่มีแนวโน้มมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดคือพันธุ์ระยอง 9 มีปริมาณคอลโรฟิลล์เท่ากับ 54.04 รองลงมาคือพันธุ์ห้วยบง 80 เกษตรศาสตร์ 50 ห้านาที และพันธุ์ที่มีแนวโน้มมีปริมาณคลอโรฟิลล์น้อยที่สุดคือพันธุ์ศรีราชา 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 52.45, 49.61, 48.53 และ 46.75 ตามลำดับ (ตารางที่ 11) เมื่อพิจารณามันสำปะหลังที่อายุ 5 และ 7 เดือน พบว่า การให้น้ำเต็มที่ทำให้มันสำปะหลังมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด ซึ่งต่างจากการให้น้ำในระดับ 1/3 AW ที่ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำสุด และพบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 และ ระยอง 9 มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดเมื่อขาดน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Epron และ Dreyer (1992) ที่รายงานว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในใบลดลงเมื่อพืชได้รับสภาวะขาดน้ำ ซึ่งการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์อาจ

เป็นผลมาจากการที่สภาวะขาดน้ำ ทำให้เกิดความร้อนในใบมากเกินไปทำให้รงควัตถุภายในใบเกิดการสูญเสียสภาพ และส่งผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น คลอโรฟิลล์ทั้งหมดซึ่งมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงเป็นผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงด้วย ซึ่งการลดลงของปริมาณรงควัตถุภายในใบภายใต้สภาวะขาดน้ำสามารถพบได้ในพืชหลายชนิด เช่น ฝ้าย ข้าวสาลี สบู่ดำ (Loggini *et al.*,1999; Sapeta *et al.*, 2003; Parida *et al.*, 2007) ต่อมาในปี 2006 Kaushik และ Inderjit รายงานว่า เมื่อปริมาณรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงลดลง ทำให้เกิดความเสียหายระดับเซลล์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Oelmuller (1989) และ Ramel *et al.*, (2012) พบว่า ในสภาวะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชลดลงจะทำให้พืชมีการสังเคราะห์แสงลดลง และการลดลงของปริมาณแคโรทินอยด์ ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายของคลอโรฟิลล์ยับยั้งการทำงานของอนุมูลอิสระ เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจากแสง (photo oxidation) อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง การเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืชได้รับผลกระทบจากสภาวะขาดน้ำ โดยสภาวะขาดน้ำก่อให้เกิดสภาวะเครียดจากค่าออสโมติคภายในพืช ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความสัมพันธ์ของน้ำภายในพืช และการรอดชีวิตของพืชที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ (Rampino *et al.*, 2006) โดยความสามารถในการเจริญเติบโต และพัฒนาของพืชภายใต้สภาวะขาดน้ำ สามารถพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางสรีรวิทยาที่ส่งผลต่อการรอดชีวิตของพืช เช่น ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณรงควัตถุ เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 3, 5, 7 และ 9 เดือนในระดับน้ำ 3 ระดับ

ระดับน้ำ	คลอโรฟิลล์ (SPAD unit)			
	3 เดือน	5 เดือน	7 เดือน	9 เดือน
Field capacity	53.00	47.84	51.07a	52.51
2/3AW	53.71	45.11	49.66ab	49.80
1/3AW	53.50	40.95	47.23b	48.53
พันธุ์				
ห้านาที	49.54b[/1]	40.12b	45.80	48.53
ระยอง 9	53.75a	48.60a	52.37	54.04
ศรีราชา 1	54.57a	42.99b	48.43	46.75
เกษตรศาสตร์ 50	53.61a	40.29b	48.08	49.61
ห้วยบง 80	55.50a	51.16a	51.93	52.45
A[/2]	ns	**	*	ns
B	*	**	ns	ns
A*B	ns	ns	ns	ns
CV(%)	8.53	13.84	11.90	12.20

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 และ 0.05 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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

4.1.8 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (chlorophyll fluorescence) ที่อายุ 2 เดือนพบว่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้น้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้น้ำเต็มที่ มีแนวโน้มมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.60 รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.57 และ 0.54 ตามลำดับ โดยพบว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพันธุ์ห้านาทีมีแนวโน้มมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.60 รองลงมาคือ มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ศรีราชา 1 เกษตรศาสตร์ 50 และ ห้วยบง 80 มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.58, 0.57, 0.56 และ 0.55 ตามลำดับ ที่อายุ 4 เดือนพบว่า ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของมัน-สำปะหลังที่ปลูกภายใต้น้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำ

เต็มที่มีแนวโน้มมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.61 รองลงมา คือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.58 และ 0.56 โดยพบว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีมีแนวโน้มมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.64 รองลงมาคือมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 80 และศรีราชา 1 มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.60, 0.58, 0.57 และ 0.53 ตามลำดับ ที่อายุ 8 เดือน พบว่า ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีแนวโน้มมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.68 รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.48 และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.47 โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีแนวโน้มมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.60 รองลงมาคือพันธุ์ห้านาที เกษตรศาสตร์ 50 ศรีราชา 1 และห้วยบง 80 โดยมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 0.58, 0.53, 0.51 และ 0.49 ตามลำดับ ที่อายุ 9 เดือนพบว่า ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.62 รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.49 และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.44 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีแนวโน้มมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.56 รองลงมาคือ พันธุ์ห้านาที เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 80 และ ศรีราชา 1 มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเท่ากับ 0.55, 0.53, 0.50 และ 0.46 ตามลำดับ (ตารางที่ 12) จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของมัน-สำปะหลัง พบว่าที่อายุ 8 เดือน มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดรองลงมาคือที่ระดับน้ำ 2/3AW และ 1/3AW ตามลำดับ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และพันธุ์ห้านาที มีประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเมื่อขาดน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ 5) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Krause และ Weis (1984) รายงานว่า การตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชต่อสภาวะเครียดมีผลต่อการทำงาน PSII ของพืชนั้น จะมีผลนำไปสู่การลดลงของค่า Fv/Fm และถ้ากระบวนการสังเคราะห์แสงได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากอุณหภูมิสูงค่า Fo จะเพิ่มสูงขึ้น โดยการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์สามารถใช้ได้กับพืชทุกสปีชีส์ (Wilson and Greaves, 1993) เช่น ข้าวบาร์เลย์ (Kocheva et al., 2004) มันฝรั่ง (Smillie and Hetherington, 1990) เป็นต้น ต่อมาในปี 2006 Rong-hua และคณะ ศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในการประเมินความทนแล้งในข้าวบาร์เลย์ 4 พันธุ์ พบว่า มีความสัมพันธ์ทางลบของลักษณะทางการเกษตรกับความทนแล้ง และมีความแตกต่างของระดับความเครียดต่อสภาพแล้ง และสามารถแยกความเสียหายทั้ง 4 พันธุ์ได้ ซึ่งพบว่า พันธุ์ที่

ทนทานจะมีค่า Fo, Fv/Fo และ Fv/Fm แตกต่างกันมากกว่าค่าที่พบในพันธุ์ที่อ่อนแอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าคลอโรฟิลล์ฟูลออเรสเซนซ์ สามารถใช้อธิบายถึงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืชได้ (Hidekaza et al., 1994) ระดับอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์ และโครงสร้างของโปรตีน และเยื้อหุ้มไทลาคอยด์ในคลอโรพลาสต์นั้นก็เป็นโครงสร้างไวต่อสภาวะความเครียดที่เกิดจากอุณหภูมิที่สูงมาก และมักจะเสียสภาพไปทำให้ภาวะที่อุณหภูมิสูงผิดปกติกระบวนการสังเคราะห์แสงจะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบแสงสอง (photosystem II) ในปฏิกิริยาแสง (light reaction) จะหยุดทำงาน (petkova *et al*., 2007) ซึ่งส่งผลให้ปฏิกิริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรคาลวินเสียสมดุล เช่นเดียวกัน อุณหภูมิสูงในช่วงในช่วงที่ใกล้จะเป็นอันตรายต่อพืช มีผลต่อการลดปริมาณของแป้ง และโปรตีนที่พืชสะสมไว้ ดังนั้นการเติบโตและพัฒนาของพืชซึ่งขึ้นอยู่กับอาหารเหล่านี้หยุดชะงักลง อุณหภูมิดังกล่าวนี้ จะทำให้พืชสูญเสียน้ำ และเกิดสภาวะขาดน้ำ ดังนั้นกลไกความต้านทานต่อการขาดน้ำ จึงมักมีผลทำให้เกิดความต้านทานหรือทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ด้วยเช่นกัน การที่อุณหภูมิสูงไปมีผลโดยตรงต่อการสูญเสียโครงสร้าง และการตกตะกอนของโปรตีนเช่นเดียวกันกับการขาดน้ำ ฉะนั้นพืชที่มีคุณสมบัติทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้จึงน่าจะมีกลไกที่สามารถสร้างโปรตีนหรือเอนไซม์ที่คงตัว (stable) หรือสร้างได้ทันกับส่วนที่สูญเสียไป (ลิลลี่ กาวีต๊ะ, 2546)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ฟูลออเรสเซนซ์ในใบมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 2, 4, 8 และ 9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ

ระดับน้ำ	คลอโรฟิลล์ฟูลออเรสเซนซ์			
	2 เดือน	4 เดือน	8 เดือน	9 เดือน
Field capacity	0.60	0.61	0.68a[/1]	0.62a
2/3AW	0.54	0.56	0.48b	0.49b
1/3AW	0.57	0.58	0.47b	0.44b
พันธุ์				
ห้านาที	0.60	0.64	0.58	0.55
ระยอง 9	0.58	0.60	0.60	0.56
ศรีราชา 1	0.57	0.53	0.51	0.46
เกษตรศาสตร์ 50	0.56	0.58	0.53	0.53
ห้วยบง 80	0.55	0.57	0.49	0.50
A[/2]	ns	ns	ns	**
B	ns	ns	ns	ns
A*B	ns	ns	ns	ns
CV(%)	15.21	14.84	7.74	23.13

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 และ 0.05 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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

4.1.9 การวัดค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (relative water content; RWC) มันสำปะหลังอายุ 3 เดือน ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบที่ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 91.38 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีค่าเท่ากับ 86.09 เปอร์เซ็นต์ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์น้อยที่สุดคือ 84.62 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพันธุ์ที่มีแนวโน้มมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์สูงที่สุดคือ พันธุ์ห้านาทีมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์เท่ากับ 89.02 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 80 ศรีราชา 1 และระยอง 9 มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์เท่ากับ 88.43, 86.32, 85.71 และ 85.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มันสำปะหลังอายุ 5 เดือน ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบที่ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดย

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 90.81 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์เท่ากับ 84.99 เปอร์เซ็นต์ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์น้อยที่สุดเท่ากับ 83.41 เปอร์เซ็นต์ ในด้านของพันธุ์พบว่า พันธุ์มีผลทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเฉลี่ยของทุกระดับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบสูงที่สุดเท่ากับ 88.95 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือพันธุ์ห้านาที ห้วยบง 80 ระยอง 9 และศรีราชา 1 มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์เท่ากับ 88.86, 85.35, 85.24 และ 83.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อายุ 7 เดือน ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 90.16 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำที่ระดับ 1/3AW มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเท่ากับ 86.12 และ 82.89 เปอร์เซ็นต์ ในด้านของพันธุ์พบว่า พันธุ์มีผลทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเฉลี่ยของทุกระดับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์ห้านาที มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบสูงที่สุดเท่ากับ 89.48 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 9 ห้วยบง 80 และศรีราชา 1 มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเท่ากับ 87.62, 85.76, 84.96 และ 84.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มันสำปะหลังอายุ 9 เดือน ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 89.62 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเท่ากับ 86.92 เปอร์เซ็นต์ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำระดับ 1/3AW มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบน้อยที่สุดเท่ากับ 84.16 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของมันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพันธุ์ที่มีแนวโน้มค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์สูงที่สุดคือพันธุ์ห้านาที เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 9 ห้วยบง 80 และศรีราชา 1 มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์เท่ากับ 89.38, 87.22, 87.14, 86.81 และ 83.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 13) จากการวัดค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพบว่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบมีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อมันสำปะหลังได้รับน้ำเต็มที่ และขาดน้ำ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีที่อายุ 3, 5, 7 เดือน มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบน้อยกว่าพันธุ์อื่น ๆ เมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ และเมื่ออายุ 9 เดือน พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบน้อยกว่าพันธุ์อื่น ๆ เมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ 6) สอดคล้องกับการศึกษาของ Nautiyal และคณะ (2003) รายงานว่า อัตราการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเป็นไปในทางเดียวกับระดับของความชื้นดินที่ลดลง พันธุ์ถั่วลิสงที่ทนแล้งได้ดีจะสามารถรักษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบไว้ได้สูง ทั้งนี้ Babu และคณะ (1999) รายงานว่า เมื่อเกิดสภาพแล้งสายพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอต่อความแห้งแล้ง ก็จะมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดต่ำลงมากกว่าสายพันธุ์ที่มีความสามารถทนทานต่อความแห้งแล้ง ระดับการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์มี

ความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะเวลาของการขาดน้ำ ทั้งนี้ในปีต่อมา ปรียานุช และคณะ (2558) ทำการศึกษาผลของการขาดน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในใบข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 4 พันธุ์ ที่โครโมโซม 9 บางส่วนถูกแทนที่ด้วยยีนทนแล้ง พบว่า ข้าวกลุ่มที่ได้รับสภาวะขาดน้ำค่าศักย์ของน้ำ และปริมาณน้ำสัมพัทธ์มีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมโดยค่าศักย์ของน้ำในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปรียาภรณ์ และคณะ (2006) ศึกษาของสภาวะความเครียดขาดน้ำต่อสัณฐานวิทยา และการออกดอกของส้มเปลือกล่อนพันธุ์ฮันนี่ พบว่า ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงเมื่อขาดน้ำทั้งนี้ในพืชที่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ 65-80 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าพืชอยู่ในสภาวะเครียดขาดน้ำ และเมื่อให้น้ำถึง field capacity พบว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณสัมพัทธ์ในใบเริ่มสูงขึ้น และสามารถฟื้นกลับสู่สภาพปกติได้ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบมีความเหมาะสมในการบ่งบอกสภาวะความเครียดขาดน้ำของพืช เนื่องจากมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกิจกรรม metabolism และการเจริญเติบโตของต้นพืช (Sinclair and Ludlow, 1985)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 13 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ที่อายุ 3, 5, 7 และ 9 เดือนในระดับน้ำ 3 ระดับ

ระดับน้ำ	ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (เปอร์เซ็นต์)			
	3 เดือน	5 เดือน	7 เดือน	9 เดือน
Field capacity	90.38a[/1]	90.81a	90.16a	89.62a
2/3AW	86.09ab	84.99b	86.12b	86.92ab
1/3AW	84.62b	83.41b	82.89c	84.16b
พันธุ์				
ห้านาที	89.02	88.86ab	89.48a	89.38
ระยอง 9	85.68	85.24c	85.76bc	87.14
ศรีราชา 1	85.71	83.62c	84.11c	83.96
เกษตรศาสตร์ 50	88.43	88.95a	87.62ab	87.22
ห้วยบง 80	86.32	85.35bc	84.96b	86.81
A[/2]	*	**	**	**
B	ns	**	**	ns
A*B	ns	ns	ns	ns
CV (%)	7.87	5.01	4.60	5.60

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 และ 0.05 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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

4.1.10 ค่าศักย์ของน้ำในใบ (leaf water potential; LWP) จากการวัดค่าศักย์ของน้ำในใบเมื่อมันสำปะหลังที่ปลูกน้ำ 3 ระดับ พบว่า มันสำปะหลังที่อายุ 2 เดือน ค่าศักย์ของน้ำในใบมีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีค่าศักย์ของน้ำในใบมากที่สุดเท่ากับ -0.50 MPa รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW และ 1/3AW มีค่าศักย์ของน้ำในใบเท่ากับ -0.90 MPa และ -1.87 MPa ตามลำดับ ในด้านของพันธุ์พบว่า ค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีมีแนวโน้มมีค่าศักย์ของน้ำในใบมากที่สุดเท่ากับ -0.76 MPa รองลงมาคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 9 ห้วยบง 80 และศรีราชา 1 มีค่าศักย์ของน้ำในใบเท่ากับ -0.81, -0.84, -0.86 และ -0.87 MPa ตามลำดับ ที่อายุ 4 เดือน ค่าศักย์ของน้ำในใบที่ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยค่าศักย์ของน้ำในใบของมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ -0.57 MPa รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW และ 1/3AW มีค่าศักย์ของน้ำในใบเท่ากับ

-0.89 และ -1.05 MPa ตามลำดับ โดยพบว่า ค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีมีแนวโน้มมีค่าศักย์ของน้ำในใบมากที่สุดเท่ากับ -0.75 MPa รองลงมาคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 9 ห้วยบง 80 และศรีราชา 1 มีค่าศักย์ของน้ำในใบเท่ากับ -0.80, -0.85,-0.86 และ -0.88 MPa ตามลำดับ ที่อายุ 6 เดือน ค่าศักย์ของน้ำในใบในมันสำปะหลังที่ระดับน้ำต่าง ๆ ทั้ง 3 ระดับ มีความความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าศักย์ของน้ำในใบมากที่สุดเท่ากับ -0.43 MPa รองลงคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำที่ระดับ 2/3AW และ 1/3AW มีค่าศักย์ของน้ำเท่ากับ -0.48 และ -0.59 MPa ตามลำดับ ค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ยของทุกระดับน้ำ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 มีแนวโน้มมีค่าศักย์ของน้ำในใบมากที่สุดเท่ากับ -0.46 MPa รองลงมาคือพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 80 ระยอง 9 และห้านาที มีค่าศักย์ของน้ำในใบเท่ากับ -0.45, -0.52, -0.54 และ -0.54 MPa ตามลำดับ (ตารางที่ 14) มันสำปะหลังที่อายุ 8 เดือน ค่าศักย์ของน้ำในใบของระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าศักย์ของน้ำในใบมากที่สุดเท่ากับ -0.46 MPa รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีค่าศักย์ของน้ำในใบเท่ากับ -0.82 MPa และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำระดับ 1/3AW มีค่าศักย์ของน้ำในใบสูงที่สุดเท่ากับ -1.12 MPa ในด้านพันธุ์พบว่า ค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพันธุ์ที่มีแนวโน้มมีค่าศักย์ของน้ำมากที่สุดคือ พันธุ์ห้านาที และระยอง 9 มีค่าศักย์ของน้ำเท่ากับ -0.77 MPa รองลงมาคือพันธุ์ศรีราชา 1 ห้วยบง 80 และเกษตรศาสตร์ 50 มีค่าศักย์ของน้ำในใบเท่ากับ 0.81, 0.82 และ 0.82 MPa ตามลำดับ (ตารางที่ 14) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย คือ ระดับน้ำและพันธุ์ ระดับน้ำ FC กับพันธุ์ 5 พันธุ์ ระดับน้ำ 2/3AW กับพันธุ์ 5 พันธุ์ ระดับน้ำ 1/3AW กับพันธุ์ 5 พันธุ์ พบว่า ความแตกต่างของระดับน้ำมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับ พันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกัน (รูปที่ 19) แสดงว่าระดับน้ำที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าศักย์ของน้ำในใบมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ของน้ำในใบมันสำปะหลังเมื่อได้รับน้ำเต็มที่จะมีค่าศักย์ของน้ำในใบสูงกว่ามันสำปะหลังที่ขาดน้ำ เนื่องจากเมื่อพืชได้รับน้ำเต็มที่จะทำให้การคายน้ำเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้ศักย์ของน้ำในใบเพิ่มขึ้นเนื่องจากความชื้นดินยังมีอย่างเพียงพอ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ธเนศ ถาวรพานิชย์โรจน์ ในปี 2546 รายงานว่า ค่าศักย์ของน้ำในใบเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำที่พืชได้รับ และในปี 1998 Jongde B. และคณะ รายงานว่า เมื่อข้าวได้รับสภาพแล้งจะส่งผลทำให้ค่าศักย์ของน้ำในใบลดลง และพันธุ์ข้าวที่มีค่าศักย์ของน้ำในใบสูงขณะเกิดสภาพแล้งช่วงข้าวใกล้ออกดอก จะมีเมล็ดลีบน้อยกว่าข้าวที่มีศักย์ของน้ำต่ำกว่า ส่งผลให้พันธุ์ข้าวที่มีศักย์ของน้ำในใบสูงจะมีผลผลิตสูงอีกด้วย และความแตกต่างของพันธุ์ข้าวในการรักษาค่าศักย์ของน้ำในใบอาจใช้เป็นลักษณะหนึ่งในการคัดเลือกข้าวในสภาพแล้งได้อีกด้วย (Wade *et al.*, 2004).

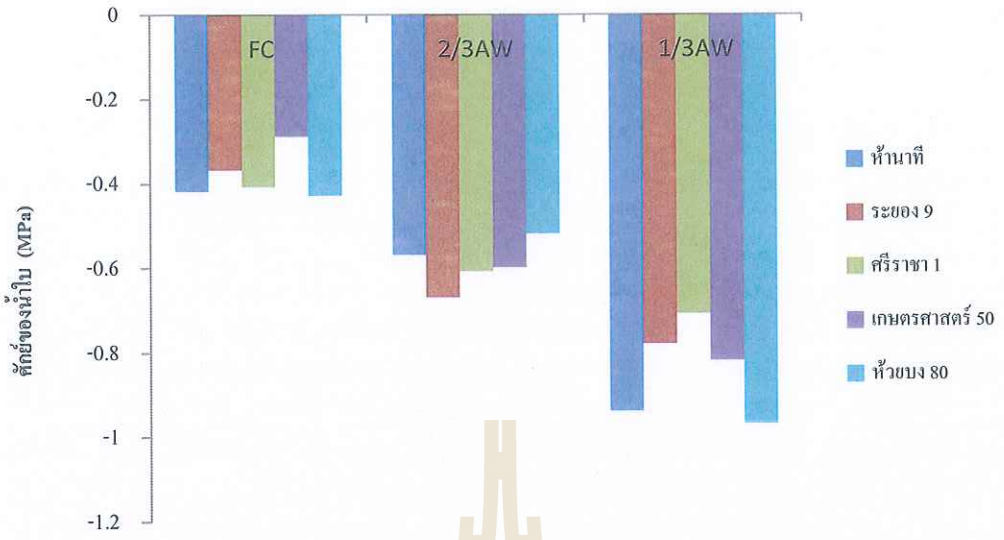
ตารางที่ 14 ค่าศักย์ของน้ำในใบของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือนในระดับน้ำ 3 ระดับ

ระดับน้ำ	ค่าศักย์น้ำในใบ (MPa)			
	2 เดือน	**4 เดือน**	**6 เดือน**	**8 เดือน**
Field capacity	-0.50c[/1]	-0.55c	-0.43b	-0.46
2/3AW	-0.90b	-0.88b	-0.48ab	-0.82
1/3AW	-1.08a	-1.05a	-0.59a	-1.12
พันธุ์				
ห้านาที	-0.76	-0.75	-0.54	-0.77
ระยอง 9	-0.84	-0.85	-0.54	-0.77
ศรีราชา 1	-0.87	-0.88	-0.46	-0.81
เกษตรศาสตร์ 50	-0.81	-0.80	-0.45	-0.82
ห้วยบง 80	-0.86	-0.86	-0.52	-0.82
A[/2]	**	**	*	**
B	ns	ns	ns	ns
A*B	ns	ns	ns	*
CV (%)	16.83	16.61	33.58	18.12

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 และ 0.05 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 19 ศักย์ของน้ำในใบมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ภายใต้ระดับน้ำที่แตกต่างกัน

4.1.11 ปริมาณแทนนิน (Tannin) ในใบมันสำปะหลัง พบว่าที่อายุ 2 เดือน ปริมาณแทนนินในใบมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้น้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำระดับ 1/3AW มีปริมาณแทนนินสูงที่สุดเท่ากับ 6.66 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือมัน-สำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.51 มิลลิกรัมต่อลิตร และมัน-สำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีปริมาณแทนนินต่ำที่สุดเท่ากับ 6.39 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาในด้านพันธุ์พบว่า พันธุ์มีผลทำให้ปริมาณแทนนินเฉลี่ยของทุกระดับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีมีปริมาณแทนนินสูงสุดเท่ากับ 6.91 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือพันธุ์ห้วยบง 80 เกษตรศาสตร์ 50 ศรีราชา 1 และระยอง 9 มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.64, 6.55, 6.26 และ 6.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 15) มันสำปะหลังที่อายุ 3 เดือน ปริมาณแทนนินในใบมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้น้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีแนวโน้มมีปริมาณแทนนินสูงสุดเท่ากับ 5.56 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 5.55 และ 5.54 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่า พันธุ์มีผลทำให้ปริมาณแทนนินเฉลี่ยของทุกระดับน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพันธุ์ห้วยบง 80 มีปริมาณแทนนินสูงสุดเท่ากับ 5.64 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ห้านาที ศรีราชา 1 มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 5.60, 5.59 และ 5.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพันธุ์ระยอง 9 มีปริมาณแทน-นินในใบต่ำที่สุดเท่ากับ 5.46 มิลลิกรัมต่อลิตร มันสำปะหลังอายุ 5 เดือน ปริมาณแทนนินในใบมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้น้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย

มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำที่ระดับ 1/3AW มีแนวโน้มมีปริมาณแทนนินสูงสุดเท่ากับ 6.65 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.51 และ 6.39 ตามลำดับ โดยพบว่า ปริมาณแทนนินเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพันธุ์ห้านาที มีแนวโน้มมีปริมาณแทนนินสูงที่สุดเท่ากับ 6.91 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ พันธุ์ห้วยบง 80 เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 9 และศรีราชา 1 มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.64, 6.55, 6.24 และ 6.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 15) มันสำปะหลังอายุ 7 เดือน ปริมาณแทนนินในใบมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้น้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีแนวโน้มมีปริมาณแทนนินสูงสุดเท่ากับ 6.06 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำที่ระดับ 2/3AW มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.04 และ 6.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณแทนนินเฉลี่ยของทุกระดับน้ำ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีแนวโน้มมีปริมาณแทนนินสูงที่สุดเท่ากับ 6.14 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ พันธุ์ศรีราชา 1 มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.06 มิลลิกรัมต่อลิตร เกษตรศาสตร์ 50 และ ระยอง 9 มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 15) มันสำปะหลังอายุ 9 เดือน ปริมาณแทนนินของมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้น้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีปริมาณแทนนินสูงสุดเท่ากับ 6.73 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำระดับ 2/3AW มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีปริมาณแทนนินต่ำสุดเท่ากับ 6.58 มิลลิกรัมต่อลิตร หากพิจารณาพันธุ์มันสำปะหลัง พบว่าพันธุ์มีผลทำให้ปริมาณแทนนินเฉลี่ยของทุกระดับน้ำ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 มีปริมาณแทนนินสูงสุดเท่ากับ 6.77 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ พันธุ์ห้านาที ห้วยบง 80 ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.75, 6.63, 6.61 และ 6.57 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 15) ปริมาณแทนนินที่มีอยู่ในใบมันสำปะหลังจะมีปริมาณมากเท่าใดขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโต และพันธุ์ที่ปลูกโดยปริมาณแทนนินนั้นอยู่ระหว่าง 30-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (wanapat *et al*., 2001) ในด้านพันธุ์มันสำปะหลังที่มีปริมาณแทนนินสูงสุดจากค่าเฉลี่ยในทุกระดับน้ำคือ พันธุ์ศรีราชา 1 และพันธุ์ห้านาที มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.77 และ 6.75 มิลลิกรัม/ลิตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ephraim และคณะ (2014) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางชีวเคมี และสารที่เป็นทุติยภูมิ เพื่อยืนยันการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังในสภาวะแห้งแล้งพบว่า ในระหว่างช่วงเครียดเมื่อเกิดสภาวะแล้ง มันสำปะหลังมีการเปลี่ยนแปลงของสารฟีนอลในใบ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 0.12 µg/g และ เมื่องดน้ำพบว่า มันสำปะหลังมีการปรับตัวโดยการสร้างสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.42 µg/g ที่อายุ 7 สัปดาห์ ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลนอลเพิ่มขึ้นในอัตราที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ทั้งนี้ในปี

2000 Alves และ Setter พบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีวเคมีของมันสำปะหลัง เมื่อเกิดความเครียดเป็นการปรับตัวเพื่อความอยู่รอดของมันสำปะหลัง เกิดจากการกระตุ้นของกระบวนการ metabolic pathways เพื่อป้องกันเซลล์และโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ (Lokko *et al.*, 2007) โดยมีการแสดงออกในรูปของชีวเคมี เช่นการเพิ่มเอนไซม์ และ ทุติยภูมิ เช่น แทนนิน ฟีนอลิก และโพรลีน เป็นผลทำให้มันสำปะหลังหยุดชะงักการเจริญเติบโตแต่จะสามารถฟื้นตัวคืนได้ เมื่อได้รับน้ำ (Okogbenin *et al.*, 2010) หากพิจารณาในแง่ของการนำสารเหล่านี้ มาใช้ให้เกิดประโยชน์แก่มนุษย์แล้วจะพบว่า การศึกษาวิถีชีวสังเคราะห์ของเมแทบอไลต์ทุติยภูมิจะช่วยในการควบคุมหรือเพิ่มการผลิตสารที่ต้องการ เช่น สารที่เป็นยาฆ่าแมลง เป็นต้น

ตารางที่ 15 ค่าปริมาณแทนนินของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ที่อายุ 2, 3, 5, 7 และ 9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ

ระดับน้ำ	ปริมาณแทนนิน (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน	7 เดือน	9 เดือน
Field capacity	6.39b[/1]	5.55	6.39b	6.04	6.73a
2/3AW	6.51ab	5.54	6.51ab	6.06	6.68ab
1/3AW	6.66a	5.56	6.65a	6.00	6.58b
พันธุ์					
ห้านาที	6.91a	5.59a	6.91a	5.96	6.75b
ระยอง 9	6.24c	5.46b	6.24c	6.00	6.61c
ศรีราชา 1	6.26c	5.47b	6.24c	6.06	6.77a
เกษตรศาสตร์ 50	6.55b	5.60a	6.55b	6.00	6.57c
ห้วยบง 80	6.64b	5.64a	6.64b	6.14	6.63bc
A[/2]	*	ns	*	ns	*
B	**	**	**	ns	**
A*B	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.82	1.66	4.74	4.14	2.49

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 และ 0.05 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1.12 ปริมาณไซยาไนด์รวม (Total Cyanide: CNT) ในหัวมันสำปะหลัง พบว่าที่อายุ 9 เดือน ปริมาณไซยาไนด์รวมในหัวมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้น้ำ 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีปริมาณไซยาไนด์รวมสูงสุดเท่ากับ 108.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีปริมาณไซยาไนด์รวมเท่ากับ 86.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีปริมาณไซยาไนด์รวมต่ำสุดเท่ากับ 45.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ด้านพันธุ์มันสำปะหลัง พบว่าปริมาณไซยาไนด์เฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีแนวโน้มมีปริมาณไซยาไนด์รวมสูงสุดเท่ากับ 103.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ มันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 9 มีปริมาณไซยาไนด์รวมเท่ากับ 101.05, 71.50 และ 69.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที มีแนวโน้มมีปริมาณไซยาไนด์ต่ำสุดเท่ากับ 50.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 16) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bokanga *et al.*, (1994) พบว่า หากปลูกมันสำปะหลังในสภาพแล้งจะส่งผลให้ปริมาณไซยาไนด์มันสำปะหลังเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องได้แก่ สภาพอากาศ อายุพืช และสภาพแวดล้อม (Bokanga *et al.*, 1994; Gleadow and Woodrow, 2002) การเปลี่ยนแปลงของสารไซยาไนด์เป็นกลไกการปรับตัวที่สำคัญเพื่อการอยู่รอด และลดความเสียหายต่อผลผลิต และคุณภาพของผลผลิต ความเครียดที่เกิดจากการขาดน้ำมีผลทำให้มันสำปะหลัง มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมี สำหรับในหัวมันสำปะหลัง เมื่อขาดน้ำจะมีการเสื่อมสภาพซึ่งกระบวนการเสื่อมสภาพนี้สรุปเป็น 2 กระบวนการคือ primary deterioration และ secondary deterioration ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลผลิต และก่อให้เกิดความเสียหายทางการค้า และปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น น้ำ แสง และธาตุอาหาร จะขาดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งไม่ได้ และหากว่าปัจจัยใดไม่เพียงพอเท่าปริมาณที่พืชต้องการปัจจัยนั้นจะเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตพืช

4.1.13 ปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคติน พบว่า มันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีแนวโน้มมีปริมาณอะมิโลสเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.46 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีปริมาณอะมิโลสเฉลี่ยเท่ากับ 8.99 เปอร์เซ็นต์ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีปริมาณอะ-มิโลสเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 7.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ด้านพันธุ์มันสำปะหลังพบว่า พันธุ์มีผลทำให้ปริมาณอะมิโลสเฉลี่ยของทุกระดับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีปริมาณอะมิโลสเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 12.09 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ห้านาที ห้วยบง 80 และศรีราชา 1 มีปริมาณอะมิโลสเฉลี่ยเท่ากับ

9.23, 8.25, 7.50 และ 6.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 16) ซึ่งจากการตรวจเอกสาร พบว่าปริมาณอะมิโลสในหัวมันสำปะหลังจะมีค่าอยู่ระหว่าง 13-21 เปอร์เซ็นต์ (Alves, 2002) แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการทดลองปลูกมันสำปะหลังในกระถาง จึงทำให้มีปริมาณอะมิโลส อยู่ระหว่าง 6.81-12.09 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลเพคตินพบว่า มันสำปะหลังที่ปลูกในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีแนวโน้มมีปริมาณอะมิโลเพคตินเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 90.53 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีปริมาณอะมิโลเพคตินเฉลี่ยเท่ากับ 91.00 เปอร์เซ็นต์ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับน้ำ 1/3AW มีปริมาณอะมิโลเพคตินเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 92.12 เปอร์เซ็นต์ ด้านพันธุ์มันสำปะหลังพบว่า พันธุ์มีผลทำให้ปริมาณอะมิโลแพคตินเฉลี่ยของทุกระดับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีปริมาณอะมิโลเพคตินเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 87.90 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ห้านาที ห้วยบง 80 มีปริมาณอะมิโลเพคตินเฉลี่ยเท่ากับ 90.76, 91.74 และ 92.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของมันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 พบว่า มีแนวโน้มมีปริมาณอะมิโลเพคตินเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 93.18 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 16) อะมิโลสในหัวมันสำปะหลังส่วนมากจะมีค่าอยู่ระหว่าง 13-21 เปอร์เซ็นต์ (Alves, 2002) และค่าอะมิโลเพคตินเฉลี่ยตามสัดส่วนอยู่ระหว่าง 85.50-93.91 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอะมิโลสต่ำจะมีค่าความหนืดสูง (Varavinit *et al.*, 2003) และปริมาณของอะมิโลส และอะมิโลเพคตินที่แตกต่างกัน ทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลาย (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) และในปี 2540 วัฒนา และคณะ พบว่า ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลัง การเก็บเกี่ยวช่วงฤดูแล้งมีปริมาณแป้งสูงกว่าการเก็บเกี่ยวในฤดูฝน เมื่อนำแป้งที่สกัดมาตรวจสอบคุณสมบัติช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวเท่านั้นที่มีผลต่อความหนืด และคุณสมบัติของแป้ง แป้งที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งมีความหนืดสูงกว่าแป้งในฤดูฝน และเมื่อมันสำปะหลังได้รับน้ำอีกครั้งจะมีการเจริญเติบโตใหม่อีกครั้งปริมาณอะมิโลสจะลดลง และจะมีการเจริญเติบโตในส่วนลำต้นและใบ จึงเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสอะมิโลส เพื่อให้ได้กลูโคสไปผลิตพลังงานสร้างต้น และใบต่อไป

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยปริมาณอะมิโลส อะมิโลเพคตินและปริมาณไซยาไนด์รวมในหัวมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ที่อายุ 9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ

ระดับน้ำ	ปริมาณอะมิโลส (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณอะมิโลสเพคติน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณไซยาไนด์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
Field capacity	9.46	90.53	45.63b
2/3AW	8.99	91.00	86.04a
1/3AW	7.87	92.12	108.41a
พันธุ์			
ห้านาที	8.25b[/1]	91.74a	50.60
ระยอง 9	12.09a	87.90b	69.60
ศรีราชา 1	6.81b	93.18a	101.05
เกษตรศาสตร์ 50	9.23ab	90.76ab	71.50
ห้วยบง 80	7.50b	92.49a	103.32
A[/2]	ns	ns	**
B	*	*	ns
A*B	ns	ns	ns
CV (%)	25.32	4.77	31.93

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 และ 0.05 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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

4.1.14 ผลผลิตหัวสด ผลผลิตของมันสำปะหลังเมื่ออายุ 9 เดือน น้ำหนักหัวสดมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหัวสดสูงที่สุดเท่ากับ 1552.4 กรัม/ต้น รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีน้ำหนักหัวสดเฉลี่ยเท่ากับ 656 กรัม/ต้น และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีน้ำหนักหัวสดเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 347.8 กรัม/ต้น ในด้านพันธุ์พบว่า น้ำหนักหัวสดเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีแนวโน้มมีน้ำหนักหัวสดสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1096.9 กรัม/ต้น รองลงมาคือ พันธุ์ห้วยบง 80 ห้านาที ศรีราชา 1 และ ระยอง 9 มีน้ำหนักหัวสดเฉลี่ยเท่ากับ 1029.7, 854.7, 731.4 และ 548.7 กรัม/ต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

4.1.15 น้ำหนักใบสด น้ำหนักใบสดมันสำปะหลังเมื่ออายุ 9 เดือนพบว่า น้ำหนักใบสดมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักใบสดสูงที่สุดเท่ากับ 181.43 กรัม/ต้น มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ AW 2/3 มีน้ำหนักใบสดเฉลี่ยเท่ากับ 39.06 กรัม/ต้น และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีน้ำหนักใบสดเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 33.38 กรัม/ต้น โดยพบว่า น้ำหนักใบสดเฉลี่ยของทุกระดับน้ำ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที มีแนวโน้มมีน้ำหนักใบสดเท่ากับ 93.96 กรัม/ต้น รองลงมาคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 9 ห้วยบง 80 และศรีราชา 1 มีน้ำหนักใบสดเฉลี่ยเท่ากับ 89.26, 86.50, 79.27 และ 74.12 กรัม/ต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

4.1.16 น้ำหนักต้นสด น้ำหนักต้นสดมันสำปะหลังเมื่ออายุ 9 เดือนพบว่า น้ำหนักต้นสดมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1231.6 กรัม/ต้น รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีน้ำหนักสดต้นเฉลี่ยเท่ากับ 678.6 กรัม/ต้น และมันสำปะหลังที่มีน้ำหนักสดต้นน้อยที่สุดคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 582.6 กรัม/ต้น โดยพบว่า น้ำหนักต้นสดเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีมีแนวโน้มมีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 909.98 กรัม/ต้น รองลงมาคือมันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 ระยอง 9 ห้วยบง 80 และเกษตรศาสตร์50 มีน้ำหนักเฉลี่ยต้นสดเท่ากับ 871.84, 803.80, 797.78 และ 771.26 กรัม/ต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 17 น้ำหนักหัวสด น้ำหนักใบสด น้ำหนักต้นสด ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ที่อายุ 9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ

ระดับน้ำ	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)		
	น.น. หัวสด	น.น. ต้นสด	น.น. ใบสด
Field capacity	1552.4a[/1]	1231.6a	181.43a
2/3AW	656.0b	678.6b	39.06b
1/3AW	347.8c	582.6c	33.38b
พันธุ์			
ห้านาที	854.7ab	909.98	93.96
ระยอง 9	548.7c	803.80	86.50
ศรีราชา 1	731.4bc	871.84	74.12
เกษตรศาสตร์ 50	1095.9a	771.26	89.26
ห้วยบง 80	1029.7a	797.78	79.27
A[/2]	**	**	**
B	**	ns	ns
A*B	ns	ns	ns
CV (%)	35.53	9.06	26.70

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 และ 0.05 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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

4.1.17 น้ำหนักแห้งหัวมันสำปะหลัง น้ำหนักแห้งหัวมันสำปะหลังเมื่ออายุ 9 เดือน พบว่า น้ำหนักแห้งหัวมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้น้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งหัวเฉลี่ยสูงที่สุดคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งหัวเท่ากับ 424.57 กรัม/ต้น รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีน้ำหนักเฉลี่ยน้ำหนักหัวสดเฉลี่ยเท่ากับ 204.18 และ 100.49 กรัม/ต้น ตามลำดับ โดยพบว่า พันธุ์มีผลทำให้น้ำหนักแห้งหัวเฉลี่ยของทุกระดับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งหัวสูงสุดเท่ากับ 332.25 กรัม/ต้น รองลงมาคือ มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ห้านาที ระยอง 9 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งหัวเฉลี่ยเท่ากับ 300.12, 208.72, 189.79 กรัม/ต้น ตามลำดับ และมันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งหัวเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 184.53 กรัม/ต้น (ตารางที่ 18)

4.1.18 น้ำหนักแห้งใบมันสำปะหลัง น้ำหนักแห้งใบมันสำปะหลังเมื่ออายุ 9 เดือน พบว่า น้ำหนักแห้งใบมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ ให้ค่าน้ำหนักแห้งใบเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 53.07 กรัม/ต้น รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำที่ระดับ 2/3AW มีค่าน้ำหนักใบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 10.93 กรัม/ต้น และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีค่าน้ำหนักใบเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 9.04 กรัม/ต้น โดยพบว่า น้ำหนักแห้งใบเฉลี่ยของทุกระดับน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีแนวโน้มมีค่าน้ำหนักแห้งใบเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 27.15 กรัม/ต้น รองลงมาคือมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที มีน้ำหนักแห้งใบเฉลี่ยเท่ากับ 26.77 กรัม/ต้น พันธุ์ระยอง 9 มีน้ำหนักแห้งใบเฉลี่ยเท่ากับ 23.66 กรัม/ต้น พันธุ์ห้วยบง 80 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งเท่ากับ 23.48 กรัม/ต้น และพันธุ์ศรีราชา 1 มีค่าน้ำหนักแห้งใบเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 20.69 กรัม/ต้น (ตารางที่ 18)

4.1.19 น้ำหนักแห้งต้นมันสำปะหลัง น้ำหนักแห้งต้นมันสำปะหลังเมื่ออายุ 9 เดือน พบว่า น้ำหนักแห้งต้นมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ ให้ค่าน้ำหนักแห้งต้นมันสำปะหลังเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 783.60 กรัม/ต้น รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักต้นแห้งเท่ากับ 385.25 และ 298.18 กรัม/ต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 18) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย คือ ระดับน้ำละพันธุ์ ระดับน้ำ FC กับ พันธุ์ 5 พันธุ์ ระดับน้ำ 2/3AW กับพันธุ์ 5 พันธุ์ ระดับน้ำ 1/3AW กับพันธุ์ 5 พันธุ์ พบว่า ความแตกต่างของระดับน้ำมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกัน (รูปที่ 20) แสดงว่าระดับน้ำที่แตกต่างกันมีผลต่อน้ำหนักแห้งในใบมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 18 น้ำหนักหัวแห้ง น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้งของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ที่อายุ 9 เดือนในระดับน้ำ 3 ระดับ

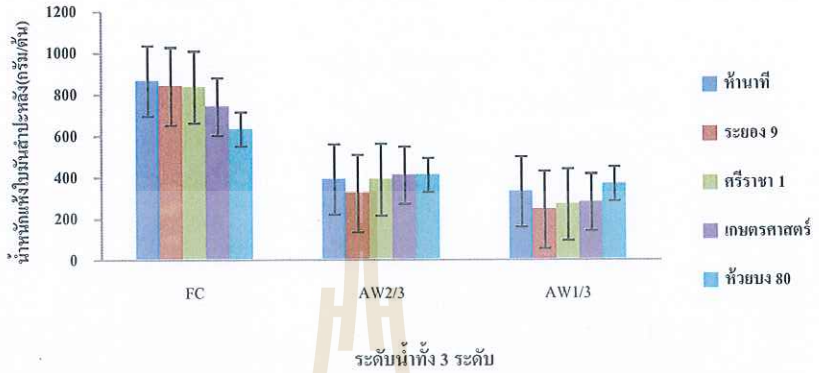
ระดับน้ำ	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)		
	น.น. แห้งหัว	น.น. ต้นแห้ง	น.น. ใบแห้ง
Field capacity	424.57a[/1]	783.60a	53.07a
2/3AW	204.18b	385.25b	10.93b
1/3AW	100.49c	298.18c	9.04b
พันธุ์			
ห้านาที	208.72b	529.51	26.77a
ระยอง 9	189.79b	468.66	23.66a
ศรีราชา 1	184.53b	497.87	20.69b
เกษตรศาสตร์	300.12a	477.73	27.15a
ห้วยบง 80	332.25a	471.26	23.48a
A[/2]	**	**	**
B	**	ns	*
A*B	ns	*	ns
CV (%)	37.65	19.95	15.74

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 และ 0.05 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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

การให้น้ำที่แตกต่างกันทำให้ผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งแตกต่างกัน โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดสูงสุด แตกต่างจากมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต่ำสุด จากการศึกษาผลของการให้น้ำต่อน้ำหนักแห้ง พบว่ามันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งสูงสุด รองลงมาคือที่ระดับน้ำ 2/3AW และ 1/3AW โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 และ พันธุ์ห้านาที ให้ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ เห็นได้ชัดว่าสามารถปรับตัวได้ดีกว่าพันธุ์อื่น ๆ เมื่อขาดน้ำ สอดคล้องกับงานทดลองของ Sriroth และคณะ (2001) ที่กล่าวว่า ความแตกต่างของผลผลิตขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่ปลูกซึ่งประกอบด้วย ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ฤดูปลูก อายุและช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว (จิณณจาร์, 2547; สถาบันวิจัยพืชไร่, 2549) ทั้งนี้ในปี 1994 Sharp และคณะ รายงานว่า การให้น้ำทำให้ผลผลิตสูงขึ้น เพราะเมื่อมีน้ำเพียงพอกับความเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ทำให้จำนวนและขนาดของหัวมันสำปะหลังดีขึ้น เพราะมันสำปะหลังต้องการน้ำในกระบวนการเจริญเติบโต สร้างมวลชีวภาพ

เช่นเดียวกับรายงานของ El-Sharkawy และคณะ (2006) ที่กล่าวว่าแม้ว่าพืชชนิดนี้เป็นพืช C3 แต่มีประสิทธิภาพการใช้น้ำใกล้เคียงกับพืช C4 ต่อมาในปี 22551 อัจฉรา และกอบเกียรติ รายงานว่า การให้น้ำมีแนวโน้มทำให้ปริมาณแป้งในมันสำปะหลังสูงขึ้น



ภาพที่ 20 น้ำหนักแห้งใบมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ภายใต้ระดับน้ำที่แตกต่างกัน

4.1.20 ดัชนีเก็บเกี่ยว (Harvest Index: HI) มันสำปะหลังที่อายุ 9 เดือน พบว่า ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวเฉลี่ยของมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวน้อยที่สุดเท่ากับ 0.22 รองลงมาคือ มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.33 ส่วนค่าดัชนีเก็บเกี่ยวในพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า พันธุ์มีผลทำให้ดัชนีการเก็บเกี่ยวเฉลี่ยของทุกระดับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติมี โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวสูงสุดเท่ากับ 0.37 รองลงมาคือ มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ห้านาที ระยอง 9 และศรีราชา 1 มีค่าดัชนีเท่ากับ 0.35, 0.27, 0.25 และ 0.22 ตามลำดับ ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวที่ได้นี้ มีค่าน้อยกว่าค่าทั่วไป โดยทั่วไปค่าดัชนีเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังจะอยู่ที่ 0.6-0.7 (Okeke, 1980) ซึ่งค่าดัชนีเก็บเกี่ยวเป็นตัวชี้ว่าการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่อายุ 9 เดือน นั้นยังเจริญเติบโตไปทางลำต้นมากว่าการสะสมน้ำหนักที่หัว (ตารางที่ 19) Lenis และคณะ(2006) พบว่า สายพันธุ์มันสำปะหลังที่ได้รับความชื้นจากการให้น้ำชลประทาน การหลุดร่วงของใบน้อยส่งผลให้อายุของใบยาวนานขึ้น เพิ่มดัชนีพื้นที่ใบทำให้มันสำปะหลังสามารถสังเคราะห์อาหารได้มาก เมื่อสังเคราะห์อาหารได้มาก แต่ไม่ต้องส่งไปสร้างใบใหม่ทำให้สัดส่วนการส่งไปสร้างและสะสมอาหารที่รากเกิดขึ้นได้มาก

ตารางที่ 19 ดัชนีเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่อายุ 9 เดือน ในระดับน้ำ 3 ระดับ

ระดับน้ำ	ดัชนีการเก็บเกี่ยว
Field capacity	0.33a[/1]
2/3AW	0.33a
1/3AW	0.22b
พันธุ์	
ห้านาที	0.27c
ระยอง 9	0.25bc
ศรีราชา 1	0.22c
เกษตรศาสตร์ 50	0.35ab
ห้วยบง 80	0.37a
A[/2]	**
B	**
A*B	ns
CV(%)	28.03

[/1]ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± S.E. ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ที่ 0.01 และ 0.05 โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

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

4.1.21 การศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต และลักษณะทางสรีรวิทยา จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของสรีรวิทยากับน้ำหนักแห้งหัว พบว่า น้ำหนักแห้งหัวมีสหสัมพันธ์กับความสูง (r = 0.43) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (r = 0.32) อัตราการสังเคราะห์แสง (r = 0.30) อัตราการนำปากใบ (r = 0.70) อัตราการคายน้ำ (r = 0.67) และคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (r = 0.44) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และน้ำหนักแห้งหัวมีสหสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ (r = 0.23) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ไม่มีสหสัมพันธ์กับศักย์ของน้ำในใบ (r = -0.73)

ความสูงมีสหสัมพันธ์กับปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (r = 0.21) อัตราการสังเคราะห์แสง (r = 0.24) อัตราการนำปากใบ (r = 0.24) และคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (r = 0.29) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ไม่มีสหสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ (r = 0.00) และอัตราการคายน้ำ (r = 0.16) แต่ไม่มีสหสัมพันธ์กับศักย์ของน้ำในใบ (r = -0.41)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่มีสหสัมพันธ์กับปริมาณสัมพัทธ์ในใบ (0.05) ศักย์ของน้ำในใบ (r = - 0.18) อัตราการสังเคราะห์แสง (r = 0.10) อัตราการนำปากใบ (r = 0.13) อัตราการคายน้ำ (r = 0.07) และคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (r = 0.14)

น้ำสัมพัทธ์ในใบมีสหสัมพันธ์อัตราการนำปากใบ (r = 0.28) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 น้ำสัมพัทธ์ในใบมีสหสัมพันธ์กับอัตราการคายน้ำ (r = 0.21) และคลอโรฟิลล์ฟลูออเรส-เซนซ์ (r = 0.21) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ไม่มีสหสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์แสง (r = 0.04) และศักย์ของน้ำในใบ (r = -0.39)

ศักย์ของน้ำในใบมีสหสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์แสง (r = 0.38) อัตราการนำปากใบ (r = 0.71) อัตราการคายน้ำ (r = 0.65) และคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (r = 0.49) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

อัตราการสังเคาะห์แสงมีสหสัมพันธ์กับอัตราการนำปากใบ (r = 0.38) อัตราการคายน้ำ (r = 0.35) และ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (r = 0.29) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

อัตราการนำปากใบมีสหสัมพันธ์กับอัตราการคายน้ำ (r = 0.75) และ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรส-เซนซ์ (r = 0.45) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

อัตราการคายน้ำมีสหสัมพันธ์กับคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (r = 0.45) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Begum และ Paul (2005) รายงานว่า ค่าดัชนีพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์กับผลผลิตหัวมันสำปะหลังค่อนข้างสูง (r = 0.60) ส่งผลให้มีการรับแสงมากขึ้น ในปีต่อมา El-Sharkawy และคณะ (2006) ระบุว่า ความคงทนของใบในฤดูแล้งมีความสัมพันธ์กับผลผลิตหัวสดนอกจากนี้ แล้วปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบก็มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งของหัวมัน-สำปะหลัง (r = 0.79) ในมันสำปะหลังต่างพันธุ์กัน (Akparobi *et al.*, 2009) รวมถึงในปี 2008 HaripriyaAnand และ Byju ได้ศึกษาผลรวมของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และความเขียวใบที่วัดได้จากเครื่องวัดความเขียวใบ (SPAD) พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตหัวมันสำปะหลัง นอกจากศึกษาในมันสำปะหลังแล้ว ยังมีการศึกษาถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวสาลี และปริมาณคลอโรฟิลล์ในถั่วเหลือง ว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลผลิตเมล็ด (Guendouz *et al.*, 2014; Liu et al., 2012) ผลผลิตมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ อาจเนื่องมาจากมีดัชนีพื้นที่ใบสูง ส่งผลให้รับแสงได้มาก จึงมีการสังเคราะห์แสงเพื่อนำสารอาหารที่ได้เคลื่อนย้ายไปที่ฝักและเมล็ดในถั่วเหลือง (Hunt *et al.*, 1994) ศักย์ของน้ำในใบ มีสหสัมพันธ์กับอัตราการนำปากใบ อัตราการคายน้ำ และคลอโรฟิลลฟลูออเรสเซนซ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปรียานุช และคณะ (2558) ทำการศึกษาผลของการขาดน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะน้ำในข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่โครโมโซม 9 บางส่วนถูกแทนที่ด้วยยีนทนแล้ง พบว่าศักย์ของน้ำในใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าปริมาณน้ำสัมพันธ์ในใบ (r = 0.70) ดังนั้นลักษณะที่ควรพิจารณาเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ทนแล้งคือ ความสูง ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณน้ำสัมพันธ์ในใบ อัตราการนำปากใบ อัตราการคายน้ำ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ คลอโรฟิลล์ อัตราการสังเคราะห์แสง พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งรวม และดัชนีการเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 20 สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีวิทยาของใบมันสำปะหลัง กับ น้ำหนักแห้งหัวมันสำปะหลังเมื่ออายุ 9 เดือน

ลักษณะของสรีรวิทยา	ความสูง	ปริมาณคลอโรฟิลล์	น้ำสัมพัทธ์ในใบ	ศักย์ของน้ำในใบ	อัตราการสังเคราะห์แสง	อัตราการเปิดปิดปากใบ	การคายน้ำ	คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์
น้ำหนักแห้งหัว	0.43**	0.23*	0.32**	-0.73**	0.30*	0.70**	0.67**	0.44**
ความสูง		0.00	0.21*	-0.41**	0.24*	0.24*	0.16	0.29*
ปริมาณคลอโรฟิลล์			0.05	-0.18	0.10	0.13	0.07	0.14
น้ำสัมพัทธ์ในใบ				-0.39**	0.04	0.28*	0.21*	0.21*
ศักย์ของน้ำในใบ					-0.38**	-0.71**	-0.65**	-0.49**
การสังเคราะห์แสง						0.38**	0.35**	0.29*
การเปิดปิดปากใบ							0.75**	0.45**
อัตราการคายน้ำ								0.45**

* = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

4.1.22 การศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับพื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้ง และ ดัชนีการเก็บเกี่ยว จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต และพื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้งและดัชนีการเก็บเกี่ยว พบว่าน้ำหนักแห้งหัวมีสหสัมพันธ์กับพื้นที่ใบ (r = 0.75) น้ำหนักแห้งใบ (r = 0.75) น้ำหนักต้นแห้ง (r = 0.63) และดัชนีการเก็บเกี่ยว (r = 0.73) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

พื้นที่ใบมีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักใบแห้ง (r = 0.98) และน้ำหนักต้นแห้ง (r = 0.87) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 พื้นที่ใบมีสหสัมพันธ์กับดัชนีการเก็บเกี่ยว (r = 0.26) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

น้ำหนักใบแห้งมีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักต้นแห้ง (r = 0.86) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และน้ำหนักใบแห้งมีสหสัมพันธ์กับดัชนีการเก็บเกี่ยว (r = 0.24) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

น้ำหนักต้นแห้งไม่มีสหสัมพันธ์กับดัชนีการเก็บเกี่ยว (r = 0.10)

ตารางที่ 21 สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะผลผลิตกับพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักแห้งต้น และดัชนีการเก็บเกี่ยว เมื่ออายุ 9 เดือน

ลักษณะผลผลิตและพื้นที่ใบ	พื้นที่ใบ	น้ำหนักใบแห้ง	น้ำหนักต้นแห้ง	ดัชนีการเก็บเกี่ยว
น้ำหนักแห้งหัว	0.75**	0.75**	0.63**	0.73**
พื้นที่ใบ		0.98**	0.87**	0.26*
น้ำหนักใบแห้ง			0.86**	0.24*
น้ำหนักต้นแห้ง				0.10

* = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ภายใต้สภาพที่ได้รับน้ำเต็มที่ และที่ขาดน้ำที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิต รวมถึงปริมาณสารไซยาไนด์และปริมาณสารแทนนินในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 การเจริญเติบโต น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ของใบ ต้น หัว มันสำปะหลัง

5.1.1 การเจริญเติบโตด้านความสูงของมันสำปะหลังอายุ 9 เดือน ที่ระดับความชื้น 3 ระดับของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ พบว่ามันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีความสูงเฉลี่ยสูงสุด และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีความสูงเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยพบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 และระยอง 9 มีความสูงสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ เมื่อขาดน้ำภายใต้ระดับน้ำ 1/3AW สอดคล้องกับงานทดลองของ อารดา และคณะ (2550) ซึ่งรายงานว่า มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีการเจริญเติบโตด้านความสูง สูงกว่ามันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 นอกจากนี้ในปี 2549 สถาบันวิจัยพืชไร่รายงานว่าการเจริญเติบโตด้านความสูงนั้น เป็นลักษณะประจำพันธุ์ และความถี่ของการให้น้ำส่งผลให้มันสำปะหลังเมื่อได้รับน้ำเต็มที่ทำให้มันสำปะหลังมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น เช่นเดียวกับ Almansouri ในปี 2001 รายงานว่าความยาวของลำต้นลดลงเมื่อปลูกภายใต้สภาวะขาดน้ำ

5.1.2 การให้น้ำที่แตกต่างกันทำให้ผลผลิตน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งแตกต่างกัน โดยมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดสูงสุด แตกต่างจากมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต่ำสุด จากการศึกษาผลของการให้น้ำต่อน้ำหนักแห้ง พบว่ามันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งสูงสุด รองลงมาคือ ที่ระดับน้ำ 2/3AW และ 1/3AW โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 และพันธุ์ห้านาที ให้ผลผลิตหัวสด และน้ำหนักแห้งสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ เห็นได้ชัดว่าสามารถปรับตัวได้ดีกว่าพันธุ์อื่น ๆ เมื่อขาดน้ำ สอดคล้องกับงานทดลองของ Sriroth และคณะ (2001) ที่กล่าวว่า ความแตกต่างของผลผลิตขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสภาพแวดล้อมที่ปลูกซึ่งประกอบด้วย ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ฤดูปลูก อายุ และช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว (จิณณจาร์, 2547; สถาบันวิจัยพืชไร่, 2549)

5.2 การนำปากใบ การคายน้ำ การสังเคราะห์ด้วยแสง

จากการศึกษานี้พบว่า การให้น้ำที่แตกต่างกันทำให้มันสำปะหลังมีการเปิดปิดปากใบต่างกัน โดยการให้น้ำให้ระดับ 1/3AW ทำให้การนำปากใบน้อยกว่าการให้น้ำเต็มที่ และจากการศึกษาอัตราการคายน้ำ และอัตราการสังเคราะห์แสง พบว่า เมื่อมันสำปะหลังได้รับน้ำเต็มที่จะทำให้มันสำปะหลังมีการคายน้ำ และการสังเคราะห์แสงสูงกว่ามันสำปะหลังที่ขาดน้ำโดยพบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่อายุ 2, 4, 6 และ 8 เดือน มีการนำปากใบต่ำที่สุดเมื่อขาดน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ 1) โดยมันสำปะหลังอาจมีการปรับตัวโดยการปิดปากใบเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ (Mahajan and Tuteja, 2005) หรือมีกลไกที่ช่วยรักษาสมดุลของน้ำ โดยการสะสมตัวถูกละลาย เช่น โพรลีน น้ำตาลซูโครส ทำให้รักษาน้ำให้อยู่ภายในเซลล์เพื่อลดค่าศักย์ของน้ำ (Cabuslay *et al.*, 2002) การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังจะหยุดชะงักการเจริญเติบโตในช่วงฤดูแล้ง โดยจำนวนใบลดลง เพื่อลดการคายน้ำออกจากต้นทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของใบลดลง ดังนั้นควรให้น้ำในช่วงฤดูแล้ง เพื่อจะช่วยให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องหรือทำให้ใบร่วงน้อยที่สุด มีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

5.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ และประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของมันสำปะหลัง

5.3.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ จากการวิจัยนี้พบว่าการให้น้ำที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ต่างกันเมื่อมันสำปะหลังอายุ 5 และ 7 เดือน โดยพบว่า การให้น้ำเต็มที่ ทำให้มันสำปะหลังมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุด ซึ่งต่างจากการให้น้ำที่ระดับ 1/3AW ที่ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำสุด โดยพบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 และระยอง 9 มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดเมื่อขาดน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Epron และ Dreyer (1992) ที่รายงานว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในใบลดลงเมื่อพืชได้รับสภาวะขาดน้ำ ซึ่งการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์อาจเป็นผลมาจากการที่สภาวะขาดน้ำ ทำให้เกิดความร้อนในใบมากเกินไปทำให้รงควัตถุภายในใบเกิดการสูญเสียสภาพ และส่งผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น คลอโรฟิลล์ทั้งหมดซึ่งมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงเป็นผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงด้วย ซึ่งการลดลงของปริมาณรงควัตถุภายในใบภายใต้สภาวะขาดน้ำสามารถพบได้ในพืชหลายชนิด เช่น ฝ้าย ข้าวสาลี สบู่ดำ (Loggini *et al.*,1999; Sapeta *et al.*, 2003; Parida *et al.*, 2007)

5.3.2 จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของมันสำปะหลังพบว่า ที่อายุ 8 เดือน มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด รองลงมาคือที่ระดับน้ำ 2/3AW และ 1/3AW ตามลำดับ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และพันธุ์ห้านาที มีประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดเมื่อขาดน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ 5) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Flagell และคณะ(1994) ซึ่ง

รายงานว่าได้ศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในข้าวสาลี พบว่า ข้าวสาลีที่เจริญในสภาพที่ได้รับน้ำเต็มที่จะมีค่า Fv/Fm สูง และให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวสาลีที่เจริญในสภาพขาดน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Selmani และ Wassom (1993) รายงานว่า ในการทดลองวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรส-เซนซ์ของข้าวสาลีในสภาพที่ได้รับน้ำเต็มที่จะมีค่า Fv/Fm สูงกว่าในสภาพที่ขาดน้ำ ทั้งนี้ในปี 1994 Nogues และคณะ รายงานว่า มีการใช้เทคนิคคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในการคัดแยกความทนแล้งในจีโนไทป์ข้าวบาร์เลย์ และประเมินการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าศักย์ของน้ำในใบ มีการศึกษากับความทนทานของข้าวบาร์เลย์ต่ออุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเทคนิคคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในการตรวจสอบความเสียหายในระดับไทลาคอยด์เมมเบรน (Ilik *et al.*, 2000)

5.4 การวัดค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ และค่าศักย์ของน้ำในใบ

5.4.1 จากการวัดค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ พบว่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบมีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อมันสำปะหลังได้รับน้ำเต็มที่ และขาดน้ำ โดยพบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีที่อายุ 3, 5, 7 เดือน มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ เมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ และเมื่ออายุ 9 เดือน พบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ เมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ (ตารางภาคผนวกที่ 6) สอดคล้องกับการศึกษาของ Nautiyal และคณะ (2003) รายงานว่า อัตราการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเป็นไปในทางเดียวกับระดับของความชื้นดินที่ลดลง พันธุ์ถั่วลิสงที่ทนแล้งได้ดี จะสามารถรักษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบไว้ได้สูง ทั้งนี้ Babu และคณะ (1999) รายงานว่า เมื่อเกิดสภาพแล้งสายพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอต่อความแห้งแล้งก็จะมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดต่ำลงมากกว่าสายพันธุ์ที่มีความสามารถทนทานต่อความแห้งแล้ง ระดับการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะเวลาของการขาดน้ำ

5.4.2 จากการศึกษาศักย์ของน้ำในใบพบว่า มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระดับ มีค่าศักย์ของน้ำในใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 เมื่ออายุ 9 เดือน โดยมัน-สำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 และ พันธุ์ระยอง 9 มีค่าศักย์ของน้ำในใบสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ในสภาวะขาดน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับน้ำเต็มที่ (ตารางภาคผนวกที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jongde B. (1998) รายงานว่า เมื่อข้าวได้รับสภาพแล้งจะส่งผลทำให้ค่าศักย์ของน้ำในใบลดลง และพันธุ์ข้าวที่มีค่าศักย์ของน้ำในใบสูงขณะเกิดสภาพแล้งช่วงข้าวใกล้ออกดอก จะมีเมล็ดลีบน้อยกว่าข้าวที่มีศักย์ของน้ำต่ำกว่า ส่งผลให้พันธุ์ข้าวที่มีศักย์ของน้ำในใบสูงจะมีผลผลิตสูงอีกด้วย และความแตกต่างของพันธุ์ข้าวในการรักษาค่าศักย์ของน้ำในใบ อาจใช้เป็นลักษณะหนึ่งในการคัดเลือกข้าวในสภาพแล้งได้อีกด้วย (Wade *et al.*, 2004)

5.5 ดัชนีการเก็บเกี่ยว

จากการวิจัยนี้พบว่า มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงสุดเท่ากับ 0.33 ในขณะที่มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวต่ำสุดเท่ากับ 0.22 โดยพบว่าดัชนีการเก็บเกี่ยวเฉลี่ยอยู่ระหว่าง (0.22-0.37) โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงสุด เมื่อได้รับน้ำเต็มที่ และมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงสุดเมื่อขาดน้ำ

5.6 ปริมาณอะมิโลส และอะมิโลแพคติน

พบว่า มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีปริมาณ อะมิโลสเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.46 เปอร์เซ็นต์ และมันสำปะหลังที่ขาดน้ำมีปริมาณอะมิโลสเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 7.87 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าอะมิโล-เพคตินเฉลี่ยตามสัดส่วนของปริมาณอะมิโลสอยู่ระหว่าง 90.53-92.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแต่ละพันธุ์มีปริมาณอะมิโลส และอะมิโลเพคตินแตกต่างทางสถิติ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีปริมาณอะมิโลสสูงสุด เมื่อได้รับน้ำเต็มที่และขาดน้ำ โดยมีปริมาณอะมิโลสเท่ากับ 14.49 และ 10.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งต่างจากมันสำปะหลังพันธุ์ศรี-ราชา 1 ที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำสุดเมื่อได้รับน้ำเต็มที่ และขาดน้ำ โดยมีปริมาณอะมิโลสเท่ากับ 6.61 และ 6.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ 8) ซึ่งพบว่า อะมิโลสในหัวมันสำปะหลังส่วนมากจะมีค่าอยู่ระหว่าง 13-21 เปอร์เซ็นต์ (Alves, 2002) และค่าอะมิโลเพคตินเฉลี่ยตามสัดส่วนอยู่ระหว่าง 85.50-93.91 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอะมิโลสต่ำ จะมีค่าความหนืดสูง (Varavinit *et al.*, 2003) และปริมาณของอะมิโลส และอะมิโลเพคตินที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแตกต่างกัน เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลาย (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

5.7 ปริมาณไซยาไนด์รวม (Total Cyanide: CNT) ในหัวมันสำปะหลัง

พบว่า มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 1/3AW มีปริมาณไซยาไนด์รวมเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 108.41 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำในระดับ 2/3AW และมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ มีปริมาณไซยาไนด์รวมเฉลี่ยเท่ากับ 86.04 และ 45.63 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยพบว่า มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 มีปริมาณไซยาไนด์รวมสูงสุดเมื่อขาดน้ำ และมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที มีปริมาณไซยาไนด์รวมต่ำสุด (ตารางภาคผนวกที่ 8) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bokanga *et al.*, (1994) พบว่า หากปลูกมันสำปะหลังในสภาพแล้งจะส่งผลให้ปริมาณไซยาไนด์มันสำปะหลังเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องได้แก่ สภาพอากาศ อายุพืช และสภาพแวดล้อม (Bokanga *et al.*, 1994; Gleadow and Woodrow, 2002)

5.8 ปริมาณแทนนินในใบมันสำปะหลัง

พบว่า ในเดือนที่ 9 มันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่มีปริมาณแทนนินสูงสุดเท่ากับ 6.73 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือที่ระดับน้ำ 2/3AW และ 1/3AW มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.68 และ 6.58 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ปริมาณแทนนินที่มีอยู่ในใบมันสำปะหลังจะมีปริมาณมากเท่าใด ขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโต และพันธุ์ที่ปลูกโดยปริมาณแทนนินนั้น อยู่ระหว่าง 30-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (wanapat *et al.*, 2001) ในด้านพันธุ์มันสำปะหลังที่มีปริมาณแทนนินสูงสุดจากค่าเฉลี่ยในทุกระดับน้ำคือ พันธุ์ศรีราชา 1 และพันธุ์ห้านาที มีปริมาณแทนนินเท่ากับ 6.77 และ 6.75 มิลลิกรัม/ลิตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ephraim และคณะ (2014) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางชีวเคมี และ สารที่เป็นทุติยภูมิเพื่อยืนยันการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังในสภาวะแห้งแล้ง พบว่า ในระหว่างช่วงเครียดเมื่อเกิดสภาวะแล้ง มันสำปะหลังมีการเปลี่ยนแปลงของสารฟีนอลในใบ

5.9 การศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต และลักษณะทางสรีรวิทยาพื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้ง และดัชนีการเก็บเกี่ยว

จากผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะพบว่า น้ำหนักแห้งหัวมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับความสูง ปริมาณน้ำสัมพันธ์ในใบ อัตราการนำปากใบ อัตราการคายน้ำ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ คลอโรฟิลล์ อัตราการสังเคราะห์แสง พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งรวม และดัชนีการเก็บเกี่ยว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Begum และ Paul (2005) รายงานว่า ค่าดัชนีพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์กับผลผลิตหัวมันสำปะหลังค่อนข้างสูง ($r = 0.60$) ส่งผลให้มีการรับแสงมากขึ้น ในปีต่อมา El-Sharkawy และคณะ (2006) ระบุว่า ความคงทนของใบในฤดูแล้งมีความสัมพันธ์กับผลผลิตหัวสด นอกจากนี้แล้วปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ก็มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งของหัวมันสำปะหลัง ($r = 0.79$) ในมันสำปะหลังต่างพันธุ์กัน (Akparobi *et al.*, 2009) รวมถึงในปี 2008 HaripriyaAnand และ Byju ได้ศึกษาผลรวมของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และความเขียวใบที่วัดได้จากเครื่องวัดความเขียวใบ (SPAD) พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตหัวมันสำปะหลัง นอกจากศึกษาในมันสำปะหลังแล้ว ยังมีการศึกษาถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวสาลี และปริมาณคลอโรฟิลล์ในถั่วเหลือง ว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลผลิตเมล็ด (Guendouz *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2012) ผลผลิตมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ อาจเนื่องมาจากมีดัชนีพื้นที่ใบสูง ส่งผลให้รับแสงได้มาก จึงมีการสังเคราะห์แสงเพื่อนำสารอาหารที่ได้เคลื่อนย้ายไปที่ฝัก และเมล็ดในถั่วเหลือง (Hunt *et al.*, 1994)

รายการอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอต. (2542). **เทคโนโลยีของแป้ง.** บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด. 225 หน้า.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). **เทคโนโลยีของแป้ง.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 303 หน้า.

จิณณจาร์ เศรษฐสุข. (2547). วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง. **เอกสารวิชาการมัน - สำปะหลัง.** กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 124 หน้า.

จักรพงษ์ ชาตะรักษ์.(2554). **มันสำปะหลัง.** [ออนไลน์] ได้จาก: http://50010210339.blogspot.com/: พืชเศรษฐกิจของไทย.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. (2532). **มันสำปะหลังการปลูกอุตสาหกรรมแปรรูป และการใช้ประโยชน์.** ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 444 หน้า.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ. (2550). **ประวัติความเป็นมาของมันสำปะหลัง.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php?qID=&wi=&hnl=&ob=&asc=&q=%BB%C3%D0%C7%D1%B5%D4%A4%C7%D2%C1%E0%BB%E7%B9%C1%D2%A2%CD%A7%C1%D1%B9%CA%D3%BB%D0%CB%C5%D1%A7&select=1.

จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา และอัจฉรา ลิ่มศิลา. (2537). ประวัติการแพร่กระจายความสำคัญ และดันอากาศที่เหมาะสม. ใน **เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง.** ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 1-13.

จำลอง เจียมจำนรรจา. (2541). มันสำปะหลัง. ใน **พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ.** ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 47-51.

จำลอง เจียมจำนรรจา. (2547). มันสำปะหลัง. ใน **พืชเศรษฐกิจ.** ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 108-127.

ญภิกา เริงจารุพนธ์. (2557). ธุรกิจมันสำปะหลัง และผลิตภัณฑ์. **บทความทางวิชาการ.** สำนักวิจัยธุรกิจ: สายงานบริหารความเสี่ยง. ธนาคารแลนด์ แอนด์ เฮาส์ จำกัด (มหาชน). 1-4.

ฐิติมา วีระศิลป์ . (2542). โรคมันสำปะหลัง. ใน **พืชทองคำใต้แผ่นดินมันสำปะหลัง.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 41-121.

เฉลิมพล แซมเพชร. (2535). **สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่.** กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรินติ้ง เฮ้าส์ จำกัด.

ชวลิต สิทธิสมบัติ. (2539). **Aromatic Compounds**. ภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.

ชาญ ถิรพร. (2537). อุตสาหกรรมการแปรรูปมันสำปะหลัง และการใช้ประโยชน์ . ใน **เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง.** ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 177-192.

ดนัย ศุภาพร. (2537). พฤกษศาสตร์ และพันธุศาสตร์ของมันสำปะหลัง. ใน **เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง.** ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 14-29.

ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งก่อสกุล, นาวี จิระชีวี และอิทธิสุนทร นันทกิจ. (2543). **การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช.** กรุงเทพฯ: เจริญรัฐการพิมพ์.

ปรียานุช ลาขุนทด, ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธ์, จิรวัฒน์ สนิทชน และโจนาลิซา แอล เซี่ยงหลิว. (2558). ผลของการขาดน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในใบข้าวขาวดอก มะลิ 105 ที่โครโมโซม 9 บางส่วนถูกแทนที่ด้วยยีนทนแล้ง. **วารสารวิจัย มข. (บศ.)** 15(3): กค-กย. 2558. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปรียาภรณ์ ต่อวงศ์, เสาวณี สาธรวิริยะพงศ์ และวิทยา สาธรวิริยะพงศ์. (2006). **ผลของความเครียดขาดน้ำต่อสัณฐานวิทยา และการออกดอกของส้มเปลือกล่อนพันธุ์ฮันนี.** ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพบูลย์ ฟูวัฒนศิลป์. (2551). **การเพาะปลูกมันสำปะหลังไทยในปี 2552 มีความเสี่ยงสูงขึ้น.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.ktb.co.th/ktb/ Download/economyresources/EconomyResources.

พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ. (2544). **ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 3 พืชที่ให้สีย้อมและแทนนิน.** สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.). ห้างหุ้นส่วนจำกัด. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ยุกติ สาริกะภูต. (2526). มันสำปะหลัง. **เอกสารวิชาการ เล่มที่ 7. กรมวิชาการเกษตร.** 83 - 87.

ลิลลี่ กาวี่ต๊ะ. (2546). การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานและพัฒนาพืช. ภาควิชาพฤษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลัดดาวัลย์ เนียมฟัก. (2544). การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์แซคคาไรด์ที่เป็นแป้ง และการวิเคราะห์แซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในมันสำปะหลัง และมันเทศ. **วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยชีวภาพ. ภาควิชาเทคโนโลยชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร.** กรุงเทพฯ. 140 หน้า.

วัฒนะ วัฒนานนท์, วุฒิศักดิ์ พรพรหมประทาน, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, วิจารณ์ วิชชุกิจ, กล้าณรงค์ ศรีรอต และไชยรัตน์ เพ็ชรชลานุวัฒน์. (2540). ผลของพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังที่มีต่อผลผลิต ความหนืดและสมบัติของแป้งสุก. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (สาขาวิทยาศาสตร์). หน้า 28.

ศานิต สวัสดิกาญจน์. (2557). **พืชอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ. 560 หน้า.

ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาการผลิตมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. (2553). **พันธุ์มันสำปะหลัง และการจำแนกชนิดพันธุ์.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.cassava-devlp-center.com/index.php?lay=show&ac=article&Ntype=6.

สถาบันวิจัยพืชไร่. (2549). **เอกสารแนะนำการปลูกมันสำปะหลัง.** สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กรงเทพฯ.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. (2548). **สรีระวิทยาของพืช.** จามจุรีโปรดักท์. กรุงเทพฯ.

สมพงษ์ กาทอง. (2537). การเขตกรรมมันสำปะหลัง. ใน **เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง.** ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 71-83.

สายัณห์ สดุดี. (2534). **สภาวะขาดน้ำในการผลิตพืช.** สงขลา: ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุนีย์ โชตินีรนาท, ธงชัย สุวรรณสิชณน์, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, กล้าณรงค์ ศรีรอต และวิชัย หฤทัยธนาสันติ์. (2548). การพัฒนากระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังไซยาไนด์ต่ำจากพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. **เอกสารประกอบการนำเสนอบทความวิชาการ (เฉพาะบทคัดย่อ) การประชุมประจำปี สวทช. 2548 " วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทยสู่เศรษฐกิจยุคโมเลกุล" 28-30 มีนาคม 2548.** [ออนไลน์]. ได้จาก: www1.stkc.go.th/redirect.php?id=3456&g=stportal

โสภณ สินธุประมา. (2526). ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง. **เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง.** ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 9-16.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2550). **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีการเพาะปลูก 2550. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร,** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 232 หน้า

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). **สถิติการเกษตรของประเทศไทยประจำปี 2556. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.** กรุงเทพฯ. 237 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2558). **สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญ และแนวโน้มปี 2559.** สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กรุงเทพฯ. 241 หน้า.

โอภาษ บุญเส็ง, จิณณจาริ หาญเศรษฐสุข, เมธี คำหุ่ง และอุดม จันทะมณี. (2546). ศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งชีวเคมีในหัว และเคมีฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลัง: พันธุ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร. หน้า 871-943. ใน **เอกสารผลงานวิจัยมันสำปะหลังปี 2544-46 ชุดโครงการวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และใช้ประโยชน์มันสำปะหลัง**. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ

อาทิตยา ยอดใจ และจักรี เส้นทอง. (2553). **ผลของการขาดน้ำในระยะการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง**.ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อารดา มาสิริ, วันชัย ถนอมทรัพย์, จิลาลักษณ์ ภูมิไธสง และเชาวนาถ พฤทธิเทพ. (2550). ผลผลิตและคุณภาพแป้งของมันสำปะหลังแป้งของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกบนดินชุดร้อยเอ็ดในจังหวัดอุทัยธานี. สัมนาวิชาการเกษตรประจำปี 2550. **แก่นเกษตร.** ชัยนาท.

Aalbersberg, W.G.L. and Limalevu, L. (1991). Cyanide content in fresh and processed Fijian cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivars. **Tropical Science.** 31: 249-256.

Abdulla, M.M. and EI-Khoshiban, N.H., (2007). The influence of water stress on growth, water content, photosynthetic pigment, some metabolism and hormonal contents of two Triticium aestivum cultivars. **Journal of Applied Sciences Research3**: 2062-2074.

Akparobi S. O. (2009). Effects of two agro-ecological zones on leaf chlorophyll contents of twelve cassava genotypes in Nigeria. **Middle-East Journal of Scientific Research** 4(1): 20-23.

Albert, N.W., Lewis Zhang, D.H. Irving, H., Paula, L.J. Jameson, E., P.E. and Davies, K.M. (2009). Light-induced vegetative anthocyanin pigmentation in Petunia. **Journal of Experimental Botany** 60: 2191-2202.

Allem, A.C. (2002). The Origins and Taxonomy of Cassava. In **Cassava: Biology, Production and utilization.** CABI Publishing. 1-16.

Almansouri, M., Kiet, J.M. and Lutts, S. (2001). Effect of salt and osmotic stress on germination in durum wheat (*Triticum durum Desf.*). **Plant and Soil** 231: 243-254.

Alves, AC. And Setter, TL. (2000). Response of cassava to water deficit, leaf area growth and abscisic acid. **Crop Sci**. 40: 131-137.

Ameny, M.A. (1990). Traditional post-harvest technology of cassava in Uganda. Tropical

Amelot, M. A., A.O. Bastidas. and M.C. Pisarelli.(2007). Phenolics and condensed tannins of high altitude Pteridium arachnoideum in relation to sunlight exposure, elevation, and rain regime. **Biochemical Systematics and Ecology**. 35: 1-10.

Anonymoys. (2007). **Hydrolyzed Tannins: Gallotannins. Structure.** From: http://www.chm.bris. ac.uk, 20 April 07.

Arnold, T. M. , Tanner, C. E. , Rothen, M. , and Bullington J. (2008) . Wound-induced accumulations of condentannins in turtlegrass, Thalassia testudinum. **Aquatic Botany**.

Babu, CR., Pathan, MS., A. Blum Nguyen HT. (1999). Comparison of measurement method of osmotic adjustment in rice cultivars. **Crop Science.** 39: 150-158.

Begum, S., and Paul, N. K. (2005). Growth analysis of cassava (*Manihotes culenta* Crantz) varieties in relation to time of planting. **Bangladesh Journal of Botany** 34(1): 21-26.

Boonseng, O., Hansethasuk, Chantamanee, J. U. and Summataya, A. (2004). Physiochemical characteristics of starch of commercial cassava varieties grown in thailand. pp. 115. In **proceedings meeting of the sixth international scientific meeting of the cassava biotechnology network.** CIAT.

Burns A., Gleadow, R., Cliff J., Zacarias A. and Cavagnaro, T. (2010). Cassava: The Drought, War and Famine Crop in a Changing World. **Sustainability** 2: 3572-3607.

Cabuslay, G.S., Ito, O. and Alejar, A. A. (2002). Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. **Plant Science.** 163, 815–827.

Close, D.C. and Beadle, C.L. 2003. The ecophysiology of foliar anthocyanin. **Botanical Review** 69: 149-161.

Colombo C., Gérard S. and André C. (2000). Diversity within american cassava germplasm based on RAPD markers. **Genetics and Molecular Biology**, 23 (1): 189-199.

Coursey, D.L. (1979). Cassava as food: toxicology and technology. In B. Nestel and R. MacIntyre (eds.). Chronic Cassava Toxicity. International Development Reserch Centre. Ottawa, Canada. 27-36. **Science**. 30: 41-50.

El-Sharkawy, M. A. (1993) . Drought-tolerant cassava for Africa, **Asia and Latin-America. Bioscience** 43: 441-451.

El-Sharkawy, M.A. (2003). Cassava biology and physiology. **Plant Mol. Biol.** 53: 621-641.

El-Sharkawy, M. A. (2006). International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, and responses to environmental stresses in the tropics. **Photosynthetica 44(4): 481-512.**

Ephraim N., Rubaihayo, P., Mukasa, S., Kyamanywa, S., Hawumba J. and Yona B. (2014). Biochemical and secondary metabolites changes under moisture and temperature stress in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **African Journal of Biotechnology.** 13(31), pp. 3173-3186.

Epron, D. and Dreyer, E. (1992). Effects of severe dehydration on leaf photosynthesis in Quercus petruea (Matt.) Liebl.: Photosystem II efficiency, photochemical and nonphotochemical fluorescence quenching and electrolyte leakage, **Tree Physiol.** 10: 273-284.

Ernesto, M., Cardoso, A.P., Nicala, D., Mirione, E., Massaza, F., Cliff, J., Haque, M.R., and J.H. Bradbury, (2002). Persistent konzo and cyanogen toxicity from cassava in northern Mozambique. **Acta Trop.** 82, 357-362.

Flagella, Z., Pastore, D., Campanile R.G. and Fonzo, N.D. (1994). Photochemical quenching of chlophyll fluorescence and drought tolerance in different durum wheat (*Triticum durum*) cultivars. **Journal of Agricultural Science** 122; 183-192.

Fukuda, W.M.G., C.L. Guevara, R. Kawuki, and Ferguson, M.E. (2010). Selected morphological and agronomic descriptors for the characterization of cassava. **International Institute of Tropical Agriculture (IITA),** Ibadan, Nigeria. 19 pp.

Fujita, A., Soma, N., Goto-Yamamoto, N., Mizuno,A., Kiso, K.and Hashizume, K. (2007). Effect of shading on proanthocyanidin biosynthesis in the grape berry. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science** 76(2): 112-119.

Gomez, G. and Valdivieso, M. (1984). Changes in Cyanide Content of Cassava Tissues As Affected by Plant Age and Variety. **Proceedings of the Sixth Symposium of the International Society for Tropical Root Crops**, International Potato Center, Lima, Peru, pp. 323-336.

Guendouz, A., Hafsi, M., Khebbat, Z., Moumeni, L., Achiri, A. (2014). Evaluation of grain yield, 1000, kernels weight and chlorophyll content as indicators for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). **Advance in Agriculture and Biology** 1(2): 89-92.

Hada, H., Hidema, J., Maekawa, M. and Kumagai, T. (2003). Higher amounts of anthocyanins and UV-absorbing compounds effectively lowered CPD photo repair in purple rice (Oryza sativa L.). **Plant,** Cell and Environment 26: 1691-1701.

HaripriyaAnand, M., G. Byju. (2008). Chlorophyll meter and leaf color chart to estimate chlorophyll content, leaf color, and yield of cassava. **Photosynthetica** 46(4): 511-516.

Hidekaza, S., Zhijun, L.I., Kenkou, T. and Masayuki, O.D.A. (1994). Factors affecting the measurement chlorophyll a fluorescence in cucumber leaves. **Japan agricultural research quarterly** 28: 242-246.

Hunt, T.E., Higley L.G. and Witkowski, J.F. (1994). Saybean growth and yield after simulated ben leaf beetle injury to seedlings. **Agron. J.** 86: 140-146.

Hung, Y.T., Chen, P.C., Chen, R.C. And Cheng, T.J. (2008). Determining the levels of tannins in tea by amperometry of ferricyanide pre-reaction with a sample in a flow-injection system. **Sensors and Actuators B.** 130: 135-140.

IITA. (1982). Annual report. (1981). **International Institute of Tropical Agriculture.** Inbadan, Nigeria. 41-44.

IITA. (1982). Annual report. (1981). **International Institute of Tropical Agriculture.** Inbadan, Nigeria. 49-90.

Ilik, P., Kouril, R., Fiala J., Naus, J. and Vacha, F. (2000). Spectral characterization of chlorophyll fluorescence in barley leaves during linear heating. Analysis of high-temperature fluorescence raise around 60°C. **J Phochem.** Photobilo. 59: 103-114.

Islam, M.S., Jalaluddin, M. and Garner, J. O. (2005). Artificial shading and temperature influence on anthocyanin compositions in sweet potato leaves. **Horticultural Science** 40(1): 176-180.

Jangpromma, N., Songsri, P., Thammasirirak, S. and Jaisil, P. (2010). Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a SPAD chlorophyll meter across different water stress conditions. **Asian Journal of Plant Sciences** 9: 368-374.

John R. B., Marmey P., Gavalda M. C., Noirot M., Haysom H. R., Hughes M. A. and Charrier, A. (1993). An assessment of genetic diversity within a collection of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm using molecular markers. **Ann Bot.** 72 (6): 515-520.

Kaushik, S. (2006). Phytotoxicity of selected herbicides to mung bean (Phaseolus aureus Roxb.). Environ. **Exp. Bot.** 55(1): 41-48.

Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V. and Karabaliev, M. (2004). **Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress.** Bioelectrochemistry 63: 121-124.

Kramer, P.J. (1980). Drought, stress and the origin of adaptation. pp11. In N.C. Turner and P.J. Kramer(ed) Adaptation of plant to water and high temperature stress. **John Wiley and Sons.** USA.

Krause, G.H. and Weis. E. (1991). **Chlorophyll flucrescence and photosynthesisi: The basics. Annual review of plant physiology and plant molecular biology** 42: 313-349.

Lee, E.-A. and Tollenaar, M. (2007). ''Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield''. **Crop Sci.** 47(S3): S202–S215.

Lenis, J.I., Calle,F., Jaramillo,G., Perez,J.C., Ceballos, H. and Cock, J.H. (2005). **Leaf retention and cassava productivity.** Field Crops Research 95: 126-134.

Liu, G., Yang, C., Xu, K., Zhang, Z., Li, D., Wu, Z., Chen, Z. (2012). Development of yield and some photosynthetic characteristics during 8 2 years of genetic improvement of soybean genotypes in northeast China. **AJCS** 6(10): 1416-1422.

Lokko, Y., Okogbenin, E., Mba, C., Raji, A., and Fregene M. (2007). Cassava In: chittaranjan kole. (2007). Pulses, sugar and tuber crops. Genome mapping and molecular breeding in plants, **Spring,** Volume3.

Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E. and Navari-Izzo, F. (1999). Antioxidative defense system, pigment composition, and photo-synthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought, **Plant Physiol.** 119: 1091-1099.

Lutts, S., Almansouri, M. and Kinet, J.M. (2004). Salinity and water stress have contrasting effects on the relationship between growth and cell viability during and after stress exposure in durum wheat callus, Plant Sci. 167: 9-18.

Mahajan, S. and Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. **Arch. Biochem.** Biophys. 444, 139-158.

Mahungu N.M., Dixon, A.G.O. and Kumbira, J.M. (1994). Breeding Cassava for Multiple Pest Resistance in Africa. Afr. **Crop Sci. J.** 2: 539-552.

Meagher, L.P., Lane, G., Sivakumaran, S., Tavendale, M.H. and Fraser, K. (2004). Characterization of condensed tannins from Lotus species by thiolytic degradation and electrospary mass spectrometry. **Animal Feed Science and Technology** 151-163.

Muetzel, S. and Becker, K. (2006). Extractability and biological activity of tannins from various tree leaves determined by chemical and biological assays as affected by drying procedure. **Animal Feed Science and Technology.** 125: 139-149.

Naczyk, M. and Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A.** 1054: 95-111.

Nautiyal, PC., Roa, RN., Jodhi, YC. (2003). Moisture deficit induced changes in leaf water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. **Field Crops Research.** 74:67-79.

Neuenschwander P. (1994). Control of the cassava mealy bug in Africa: lessons from a biological control project. Afr. **Crop Sci. J.** 2 (4): 369-383.

Neuenschwander P. (2001). Biological control of the cassava mealy bug in africa: A review. **Biological Control** 21: 214–229.

Nguyen, P. and Cin, V.D. (2009). The role of light on foliage colour development in coleus (Solenostemon scutellarioides (L.) Codd). **Plant Physiology and Biochemistry** 47: 934-945.

Nogues, S., Alegre, L., Araus, J., Perez-Arand, L. and Lannoye, R. (1994). Modulated chlorophyll fluorescence and photosysthetic gas exchange as rapid screening methods for drought tolerance in barley genotypes. **Photosysthetica.** 30: 165-474

O'Brien, G. M., Taylor, A. J. and Poulter, N. H. (1991). Improved enzymic assay for cyanogens in fresh and processed cassava. **J. Sci. Food Agric.** 56: 277-289.

Oelmuller, R. (1989). Photooxidative destruction of chloroplasts and its effect on nuclear gene expression and extraplastidic enzyme levels. **Photochem**. Photobiol. 49, 229-239.

Okeke, J.E. (1980). **Cassava varietal improvement for processing and utilization in livestock feeds. Cassava as livestock feed in Africa**
[On-line]. Available: http://www.fao.org/Wairdocs/ILRI/x5458E/x5458e0b.htm#cassava varietal improvement for processing and utilization in livestock feeds.

Okogbenin E., Setter, TL., Ferguson, M., Mutegi, R., Alves, AC., Ceballos, H., and Fregene M. (2010). Phenotyping cassava for adaptation to drought. In **monneveux P, Ribaut JM, eds, drought phenotyping in crops**: From theory to practice. CTMMYT/Gen. Challenge Prog. Mex. City, pp 381-400.

Organic Chem. (2550). **เคมี: Tannin.** แหล่งที่มา: http://www.VCharkarn.com, 16 เม.ย. 2550.

Oszmianski, J., Wojdylo, A. Zarawska, E.L. and Swiader, K. (2007). Antioxidant tannins from rosaceae plant roots. **Food Chemistry**. 100: 579-583.

Parida, A.K., Dagaonkar, V.S., Phalak, M.S., Umalkar, G.V. and Aurangabadkar, L.P. (2007). Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery**, Plant Biotechnol.** Rep. 1: 37-48.

Pelleschi, S., Rocher, J.P. and Prioul, J.L. (1997). Effect of water restriction on carbohydrate metabolism and photosynthesis in mature maize leaves. Plant cell and environment 20: 493-503.

Petkova, V., I.D. Denev, D. Cholakov and I. Porjazov. (2007). Field screening for heat tolerant mommon bean cultivars (*Phaseolus Vulgaris* L.) by measuring of chlorophyll fluorescence induction parameters. Scientia Horticulturae. 111; 101-1060.

Ramel, F., Birtic, S., Cuine, S., Triantaphylides, C., Ravanat, J. L. and Havaux. M. (2012). Chemical quenching of singlet oxygen by carotenoids in plants. **Plant Physiol.** 158, 1267-1278.

Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G. and Perrotta, C.(2006). Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes, **Plant Cell Environ**. 29: 2143-2152.

Rong-hoa, L., Pei-guo, G., Baum ,M., Grando, S. and Ceccarelli, S. (2006). Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought toterance in barley. **Agricultural sciences in chaina** 5(10): 751-757.

Sangsing, K., Roux, X.L., Kasemsap, P., Thanisawanyangkura, S., Sangkhasila, K., Gohet, E. and Thaler, P. (2004). Photosynthetic capacitu and effect of drought on eaf gas exchange in two rubber (*Hevea brasiliensis*). Clones. **Kasetsart J.** 38: 111-122.

Santisopasri V., Kurotjanawong K., Chotineeranat S., Piyachomkwan K., Sriroth K., and Oates, C. G. (2001). Impact of water stress on yield and quality of cassava starch. **Industrial Crops and Products.** 13: 115–129.

Sapeta, H., Costa, J.M., Lourenço, T., Maroco, J., van der Linde, P. and Oliveira, M.M. (2013). Drought stress response in Jatropha curcas: Growth and Physiology, **Environ. Exp. Bot.** 85: 76-84.

Selmani, A. and Wassaom, C.E. (1993). Daytime chlorophyll fluorescence measurement in field grown maizw and its genetic variability under well watered and water stressed conditions. **Field crops research** 31: 173-184.

Sinclair , T.R. and Ludlow, M.M. (1985). Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. **Austral. J. Plant Physiol.** 33: 213–217.

Smillie, R.M. (1979). Coloured components of chloroplast membranes as intrinsic membrane probes for monitoring the development of heat injury in intact tissues. **Aust. J. Plant Plant Physiol.** 6: 121-123.

Souza, R.P., Machado, E.c., Silva, J.A.B., Lagoa, A.M.M.A. and Silveira, J.A.G. (2004). Photosynthetic gas exchanges, chlorophyll fluorescence and same associated metabolic change in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and experimental batany.** 51: 45-56.

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

Sriroth, K., Piyachomkwan, K., Santisopasri, V. and Oates, C.G. (2004). **Environmentel condition root development drought constant on cassava starch quality**: http://springerlink.com/content/h650jq64r2852677/page1of2

Ueda, A., Kathiresan, A., Inada, M., Narita, Y., Nakamura, T., Shi, W., Takabe, T. and Bennett, J. (2004). Osmotic stress in barley regulates expression of a different set of genes than salt stress does. **Journal of experimental botany.** 55: 2213-2218.

Umanah, E. E. and Hartmann, R. W. (1973). Chromosome numbers and Karyotypes of some Manihot species. **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 98(3): 272-274.

Vu, J.C.V., Baker, J.T., Pennanen, A.H., Allen, H. and Bowes, G. (1998). Water deficit effects on photosynthesis, ribulose bisphosphate carboxylase-oxygenase, and carbohydrate metabolism inrice. **Physiologia Plantarum.** 103: 327-339.

Wade, L.J., Kamoshita, A., Yawauchi, A., Rodriguez, R. (2004). Genotypic variation in response of rainfed lowland rice to droughtand rewatering. **Plant Production Science.** 7(4): 406-420.

White, W.L.B., Arias-Garzon, D.I., McMahon, J M., Sayre R T. (1998). Cyanogenesis inCassava: The role of hydroxyl nitrile lyase in root cyanide production. **Plant Physiol.** 116: 1219-1225.

Wilson, J.M. and Greaves, J.A. (1993). Deverlopment of fluorescence-based screening programs for temperature and water stress in crop plant, pp. 389-398. *In* C. G. Kuo, eds. Adadaptation of food crops to temperature and water stress. **Proc. Int. Symp**. Taiwan, Asian vegetable research and development center Taipei.

Zidenga, T., Siritunga, D., and Sayre, R. (2006). **Cyanide metabolism, protein production and post- harvest physiological deterioration in cassava 2006 Midwest ASPB Sectional Meeting The University of Illinois at Chicago March 24-25, 2006.** [On-line] . Available: http://www.aspb.org/sections/midwestern/MW2006.pdf

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. การวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์

(ดัดแปลงจาก หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลัง และแป้งสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์)

สารเคมี

- กรดฟอสฟอริก 0.1 โมลาร์ เตรียมโดยดูดกรดฟอสฟอริก 1.7 มิลลิลิตรใส่ในขวดปรับปริมาณขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปรับให้ครบ ใช้น้ำกลั่น
- ไตรโซเดียมฟอสเฟต 0.1 โมลาร์ เตรียมโดยชั่งไตรโซเดียม-ฟอตเฟต-ฟอตเฟส 9.5031 กรัม ละลายในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาณ เป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาณ
- สารสกัด เตรียมโดยกรดฟอสฟอริก 0.1 โมลาร์ ผสมกับแอลกฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ให้มีแอลกฮอล์ร้อยละ 25 (โดยปริมาตร)
- ฟอตเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ เตรียมโดยผสมกรดฟอสฟอริก 0.1 โมลาร์และไตร-โซเดียมฟอสเฟต 0.1 โมลาร์แล้วปรับความเป็นกรดด่างให้ได้ 6.0 และ 7.0
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 โมลาร์เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม ละลายน้ำและปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร
- สารละลาย ไพริดีน/ไพราโซโลน (pyridine/pyrazolone) เตรียมโดยผสม 0.05 กรัม บีสไพราโซโลน และ 0.25 กรัม 3-methyl-1-phenyl-5-pyrazolone ละลายในไพริดีน 50 มิลลิลิตร (ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์)
- สารละลายคลอรามีนที เตรียมโดยชั่งคลอรามีนที 0.025 กรัม ละลายในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร (ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์)
- สารละลายเอนไซม์มินามาเรส 5 ยูนิตต่อมิลลิลิตร เตรียมโดยใช้บัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดด่าง 6.0

วิธีวิเคราะห์

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

- เตรียมโซเดียมไซยาไนด์ความเข้มข้น 0 ถึง 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร แต่ละความเข้มข้นดูดมา 0.1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง
- เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 7.0 ปริมาตร 0.4 มิลลิตร เขย่าให้เข้ากันเติมสารละลายเอนไซม์ลินามาเรส (Linamarase) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่า (vortex mixer)
- บ่มหลอดตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณภูมิ 37 องศา 15 นาที

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- หยุดปฏิกิริยาโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

- เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 6.0 ปริมาตร 2.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

- เติมสารละลายคลอรามีน ที (chloramine T) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

- บ่มหลอดในน้ำเย็น เป็นเวลา 5 นาที เติมสารละลายไพริดีน/ไพราโซโลน ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

- บ่มหลอดตัวอย่างไว้ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

- สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมไซยาไนด์ลค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และสร้างสมการเส้นตรงที่ผ่านจุดกำเนิดของกราฟ อ่านค่าความชัด

การวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ในตัวอย่าง (เนื้อมันสด)

- ชั่งตัวอย่าง (เนื้อมันสด 50 กรัม หั่นเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋าขนาดไม่เกิน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร) (A) (ร้อยละความชื้น, M) เติมสารที่ใช้สกัด 150 มิลลิลิตร (B) ปั่นด้วยเครื่องปั่นบด (Homogenizer) 1 นาทีแล้วกรองโดยใช้กระดาษเบอร์ 1

- ปิเปตส่วนใสของตัวอย่างที่สกัดได้ 0.1 มิลลิลิตร (สำหรับสารละลายมาตรฐานของโซเดียมไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น 0 ถึง 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร)

- เติม 0.1 โมลาร์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.0 ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตรเขย่า จากนั้นเติมเอนไซม์ลินามาเรส 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

- เติม 0.2 โมลาร์โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

- เติม 0.2 โมลาร์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 6.0, 2.8 มิลลิลิตร เขย่าและเติมสารละลายคลอ-รามีน ที 0.2 มิลลิลิตร เขย่าแล้วบ่มในน้ำเย็น 5 นาที

- เติมสารละลายไพริดีน/ไพราโซโลน 0.8 มิลลิลิตร เขย่า บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 40 นาที แต่ไม่ควรเกิน 180 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร (C)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไซยาไนด์} = \frac{B \times C \times \text{อัตราการเจือจางของตัวอย่าง} \times 100}{\text{ค่าความชันของกราฟมาตรฐาน} \times A \times (100-M) \times 10}$$

(มิลลิกรัม HCN ต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่าง

B คือ ปริมาณสารที่ใช้สกัด (มิลลิลิตร)

C คือ ค่าดูดกลืนแสง

M คือ ร้อยละของความชื้นของตัวอย่าง

2. การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีทำให้เกิดสี (Colorimetry)

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

- ชั่งสารละลายมาตรฐานอะมิโลส 0.0400 กรัม เติมเอธิลแอลกอฮอล์ 95% จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 9 มิลลิลิตร ต้มในอ้างน้ำเดือด (water bath) 10 นาที
- ปิเปตสารละลายที่ได้จากข้อ 1 จำนวน 1, 2, 3,4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร
- เติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด และปิเปตสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1โมลาร์ จำนวน 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มิลลิลิตร ตามลาดบ
- เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่า (vortex mixer) จะได้สารละลายมาตรฐานอะมิโลสซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณอะมิโลสในสารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8, 16, 24, 32 และ 40 ตามลำดับ
- ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานอะมิโลส

การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

- ชั่งตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง 0.1000 กรัม (p/w) ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
- เติมสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 95% จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 9 มิลลิลิตร ต้มในอ่างน้ำเดือด (water bath) 10 นาที ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ 1 คืน

วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในตัวอย่าง

- ปิเปตตัวอย่างจำนวน 5 มิลลิลิตร กรณีทำ blank ใช้น้ำกลั่น จำนวน 5 มิลลิลิตร แทนสารละลายตัวอยาง
- เติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด และปิเปตสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1โมลาร์ จำนวน 1 มิลลิลิตร
- เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่า (vortex) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 20 นาที
- วัดค่าการดูดกลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตรคำนวณการหาเปอร์เซนต์อะ-มิโลส โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของอะมิโลส

3. การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในใบมันสำปะหลังมันสำปะหลัง

การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

- เตรียมใบมันสำปะหลัง นำมาทำความสะอาดแล้วหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศา 48 ชั่วโมง
- นำมาบด และเก็บตัวอย่างไว้ในขวดทึบแสง ปิดฝาให้สนิท หุ้มด้วยกระดาษอะลูมิเนียมฟอยด์ และเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

การวิเคราะห์สารแทนนิน

- ชั่งตัวอย่างใบมันสำปะหลัง 1 กรัม เติม acetone 80 เปอร์เซนต์ 10 มิลลิลิตร
- นำไปเขย่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- ปิเปตสารปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
- เติมโฟลินเดนนิสรีเอเจนต์ 5 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัว 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ 30 นาที
- นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาว 762 นาโนเมตร
- เทียบหาปริมาณสารแทนนินจากกราฟมาตรฐาน

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

- กรดแทนนิกเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 0.50, 1.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 7 ขวด
- เติมสารละลายโฟลิน-เดนนิส รีเอเจน 5 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัว 10 มิลลิลิตร
- ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาว 726 นาโน-เมตร

ภาคผนวก ข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพผนวกที่ 1 มันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่ได้รับน้ำทั้ง 3 ระดับ เมื่ออายุ 3 เดือน

ภาพผนวกที่ 2 มันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ที่ได้รับน้ำทั้ง 3 ระดับ เมื่ออายุ 7 เดือน

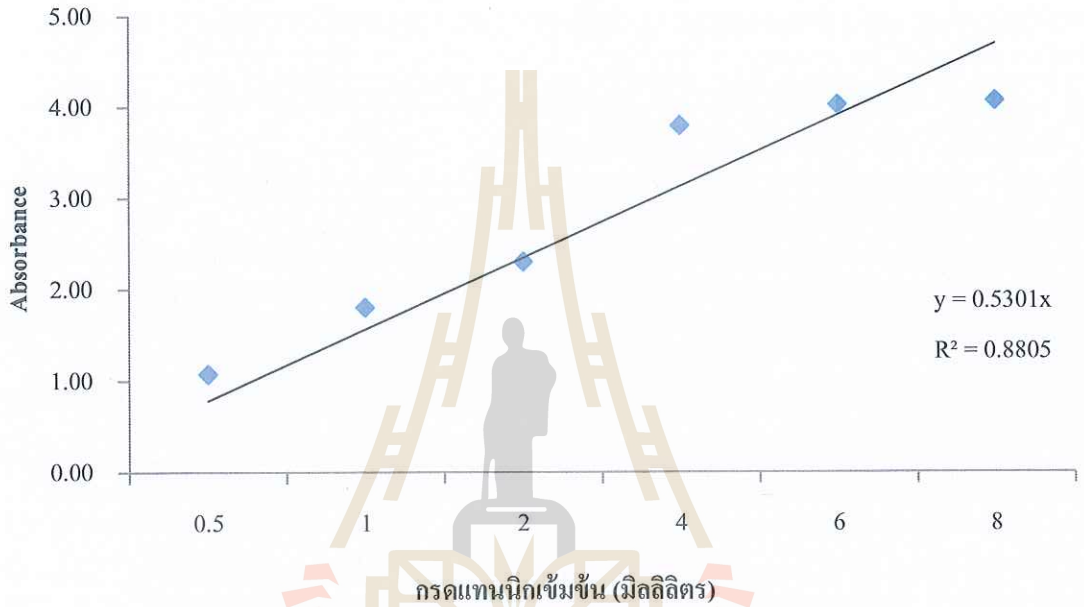
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพผนวกที่ 3 ตัวอย่างหัวมันสำปะหลังที่ได้รับน้ำเต็มที่ เมื่ออายุ 8 เดือน

ภาพผนวกที่ 4 ตัวอย่างหัวมันสำปะหลังที่ขาดน้ำ เมื่ออายุ 8 เดือน

ภาพผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนิน

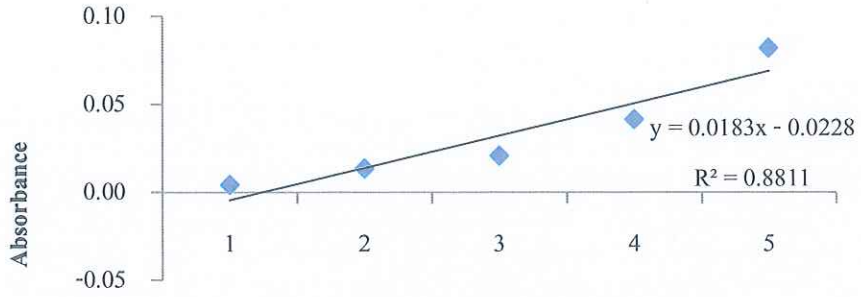
ภาพผนวกที่ 5 แสดงกราฟมาตรฐานของกรดแทนนิก ที่ทำการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 762 นาโนเมตร กราฟมาตรฐานที่ได้เป็นกราฟเส้นตรง มีค่า $R^2 = 0.8805$ และสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้เป็น $y = 0.5301x$ และได้ใช้กราฟนี้ในการคำนวณหาปริมาณของแทนนินในสารสกัดใบมันสำปะหลัง



ภาพผนวกที่ 5 กราฟมาตรฐานแทนนิน

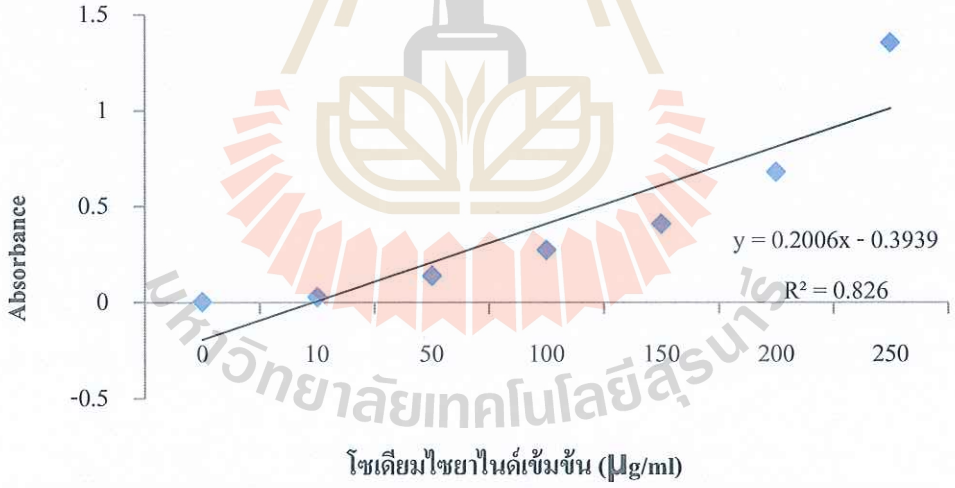
ภาพผนวกที่ 6 การวิเคราะห์อะมิโลส และอะมิโลแพคติน

ภาพผนวกที่ 6 แสดงกราฟมาตรฐานของอะมิโลส ที่ทำการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร กราฟมาตรฐานที่ได้เป็นกราฟเส้นตรง มีค่า $R^2 = 0.8811$ และสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้เป็น $y = 0.0183x-0.0228$ และได้ใช้กราฟนี้ในการคำนวณหาปริมาณของอะมิโลส และอะมิโลแพคตินในมันสำปะหลัง



ภาพผนวกที่ 6 กราฟมาตรฐานอะมิโลส และอะมิโลแพคติน

ภาพผนวกที่ 7 แสดงกราฟมาตรฐานของไซยาไนด์ ที่ทำการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร กราฟมาตรฐานที่ได้เป็นกราฟเส้นตรง มีค่า $R^2 = 0.826$ และสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้เป็น $y = 0.2006x-0.3939$ และได้ใช้กราฟนี้ในการคำนวณหาปริมาณของไซยาไนด์รวมในมันสำปะหลัง



ภาพผนวกที่ 7 กราฟมาตราฐานไซยาไนด์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

ตารางภาคผนวกที่ 1 การนำปากใบของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ

ระดับน้ำ	พันธุ์	การนำปากใบ (CO_2) mol. m^{-2} s^{-1}			
		2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
Field capacity	ห้านาที	0.32	0.08	0.07	0.14
	ระยอง 9	0.15	0.08	0.14	0.15
	ศรีราชา 1	0.24	0.16	0.12	0.11
	เกษตรศาสตร์ 50	0.27	0.10	0.08	0.08
	ห้วยบง 80	0.25	0.17	0.16	0.12
2/3AW	ห้านาที	0.25	0.01	0.00	0.07
	ระยอง 9	0.21	0.01	0.00	0.12
	ศรีราชา 1	0.18	0.00	0.00	0.12
	เกษตรศาสตร์ 50	0.08	0.00	0.00	0.08
	ห้วยบง 80	0.29	0.00	0.00	0.12
1/3AW	ห้านาที	0.23	0.01	0.00	0.01
	ระยอง 9	0.25	0.02	0.00	0.00
	ศรีราชา 1	0.13	0.02	0.00	0.00
	เกษตรศาสตร์ 50	0.12	0.01	0.00	0.00
	ห้วยบง 80	0.13	0.00	0.00	0.00
A		*	**	**	**
B		ns	ns	ns	ns
A*B		*	**	ns	ns
CV (%)		6.63	3.00	2.78	4.64

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, *=แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางภาคผนวกที่ 2 อัตราการคายน้ำของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ

ระดับน้ำ	พันธุ์	อัตราการคายน้ำ (μ mol H_2O m^{-2} s^{-1})			
		2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
Field capacity	ห้านาที	7.24	2.62	3.70	2.56
	ระยอง 9	4.05	4.17	4.93	4.33
	ศรีราชา 1	6.22	3.79	5.40	4.07
	เกษตรศาสตร์ 50	6.40	3.65	4.76	3.64
	ห้วยบง 80	5.64	4.51	5.93	4.52
2/3AW	ห้านาที	5.39	3.39	-3.16	3.36
	ระยอง 9	5.66	3.65	-0.36	3.67
	ศรีราชา 1	3.59	3.79	-0.17	3.83
	เกษตรศาสตร์ 50	3.67	3.90	-0.01	0.19
	ห้วยบง 80	4.04	3.19	0.49	3.14
1/3AW	ห้านาที	6.17	0.50	-0.14	0.47
	ระยอง 9	5.07	0.34	-0.52	0.36
	ศรีราชา 1	3.25	0.16	-0.09	0.15
	เกษตรศาสตร์ 50	3.67	0.26	0.01	0.19
	ห้วยบง 80	3.30	0.24	0.07	0.26
A		**	**	**	**
B		*	ns	ns	ns
A*B		ns	ns	ns	ns
CV (%)		20.32	18.24	25.36	18.23

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, *=แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางภาคผนวกที่ 3 การสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ

ระดับน้ำ	พันธุ์	การสังเคราะห์แสง (μ mol H2O m^{-2} s^{-1})			
		2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
Field capacity	ห้านาที	14.97	7.55	6.49	7.70
	ระยอง 9	10.53	8.27	9.21	11.45
	ศรีราชา 1	13.95	10.18	10.43	10.41
	เกษตรศาสตร์ 50	12.81	9.78	9.45	9.98
	ห้วยบง 80	10.92	10.69	8.87	10.00
2/3AW	ห้านาที	11.92	0.84	-0.64	8.64
	ระยอง 9	11.90	1.05	-0.58	6.38
	ศรีราชา 1	6.12	0.83	-0.34	7.97
	เกษตรศาสตร์ 50	5.06	0.97	-0.30	7.12
	ห้วยบง 80	10.82	1.48	0.47	8.31
1/3AW	ห้านาที	10.34	2.74	-0.50	0.39
	ระยอง 9	10.53	1.90	-0.52	0.26
	ศรีราชา 1	6.55	2.92	-1.05	-0.11
	เกษตรศาสตร์ 50	8.24	1.44	-0.64	0.34
	ห้วยบง 80	8.48	1.57	-0.60	-0.43
A		*	**	**	**
B		ns	ns	ns	ns
A*B		ns	ns	ns	ns
CV (%)		50.22	23.58	43.38	18.24

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, *=แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางภาคผนวกที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ

ระดับน้ำ	พันธุ์	คลอโรฟิลล์ (SPAD unit)			
		3 เดือน	5 เดือน	7 เดือน	9 เดือน
Field capacity	ห้านาที	48.52	40.37	47.22	48.92
	ระยอง 9	52.87	52.00	51.40	50.27
	ศรีราชา 1	55.50	44.72	50.00	51.92
	เกษตรศาสตร์ 50	52.10	46.07	52.70	53.62
	ห้วยบง 80	56.00	56.02	54.05	57.05
2/3AW	ห้านาที	52.52	41.77	45.72	51.90
	ระยอง 9	54.42	49.70	54.25	50.27
	ศรีราชา 1	51.82	45.05	47.95	51.75
	เกษตรศาสตร์ 50	55.50	36.65	47.25	48.77
	ห้วยบง 80	54.30	52.37	53.15	57.02
1/3AW	ห้านาที	47.57	38.22	44.45	49.22
	ระยอง 9	53.97	44.10	51.47	48.45
	ศรีราชา 1	56.40	39.20	47.35	52.92
	เกษตรศาสตร์ 50	53.25	38.15	44.30	48.17
	ห้วยบง 80	56.30	45.10	48.60	55.77
A		ns	**	ns	ns
B		*	**	*	ns
A*B		ns	ns	ns	ns
CV (%)		8.53	13.84	11.90	12.20

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, *=แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางภาคผนวกที่ 5 คลอโรฟิลล์ฟูลออเรสเซนซ์ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ

ระดับน้ำ	พันธุ์	คลอโรฟิลล์ฟูลออเรสเซนซ์			
		2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
Field capacity	ห้านาที	0.57	0.61	0.75	0.63
	ระยอง 9	0.61	0.62	0.76	0.81
	ศรีราชา 1	0.63	0.61	0.76	0.68
	เกษตรศาสตร์ 50	0.57	0.57	0.71	0.59
	ห้วยบง 80	0.62	0.63	0.73	0.70
2/3AW	ห้านาที	0.59	0.66	0.69	0.48
	ระยอง 9	0.59	0.64	0.73	0.49
	ศรีราชา 1	0.51	0.43	0.75	0.53
	เกษตรศาสตร์ 50	0.57	0.58	0.74	0.51
	ห้วยบง 80	0.46	0.50	0.72	0.39
1/3AW	ห้านาที	0.63	0.64	0.80	0.63
	ระยอง 9	0.53	0.55	0.77	0.51
	ศรีราชา 1	0.56	0.54	0.76	0.34
	เกษตรศาสตร์ 50	0.56	0.58	0.70	0.50
	ห้วยบง 80	0.60	0.59	0.74	0.38
A		ns	ns	ns	**
B		ns	ns	ns	ns
A*B		ns	ns	ns	ns
CV (%)		15.21	14.84	7.74	23.13

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, *=แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางภาคผนวกที่ 6 ปริมาณน้ำสัมพันธ์ของมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ

ระดับน้ำ	พันธุ์	ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (เปอร์เซ็นต์)			
		3 เดือน	5 เดือน	7 เดือน	9 เดือน
Field capacity	ห้านาที	91.03	91.10	90.84	90.80
	ระยอง 9	87.67	90.23	89.54	85.45
	ศรีราชา 1	90.97	90.38	89.64	87.73
	เกษตรศาสตร์ 50	94.07	92.01	90.97	92.07
	ห้วยบง 80	88.19	90.35	89.80	89.32
2/3AW	ห้านาที	89.85	85.90	88.56	91.98
	ระยอง 9	86.40	82.51	85.47	85.45
	ศรีราชา 1	83.93	82.90	83.97	81.03
	เกษตรศาสตร์ 50	85.34	88.68	88.39	85.99
	ห้วยบง 80	84.95	84.98	84.23	90.17
1/3AW	ห้านาที	86.20	89.59	89.06	85.37
	ระยอง 9	82.98	82.98	82.29	87.76
	ศรีราชา 1	82.24	77.59	78.72	83.11
	เกษตรศาสตร์ 50	85.89	86.17	83.50	83.61
	ห้วยบง 80	85.82	80.72	80.87	80.95
A		*	**	**	**
B		ns	**	**	ns
A*B		ns	ns	ns	ns
CV (%)		7.87	5.01	4.60	5.60

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, *=แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางภาคผนวกที่ 7 ศักย์ของน้ำในใบมันสำปะหลัง 5 พันธุ์ ในระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ

ระดับน้ำ	พันธุ์	ศักย์ของน้ำในใบ (Mpa)			
		2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
Field capacity	ห้านาที	-0.41	-0.46	-0.48	-0.42
	ระยอง 9	-0.58	-0.63	-0.47	-0.37
	ศรีราชา 1	-0.48	-0.53	-0.43	-0.41
	เกษตรศาสตร์ 50	-0.50	-0.53	-0.34	-0.29
	ห้วยบง 80	-0.75	-0.60	-0.45	-0.43
2/3AW	ห้านาที	-0.82	-0.82	-0.49	-0.57
	ระยอง 9	-0.87	-0.87	-0.52	-0.67
	ศรีราชา 1	-0.92	-0.91	-0.49	-0.61
	เกษตรศาสตร์ 50	-0.86	-0.85	-0.45	-0.60
	ห้วยบง 80	-1.01	-0.97	-0.46	-0.52
1/3AW	ห้านาที	-1.07	-0.96	-0.65	-0.94
	ระยอง 9	-1.08	-1.05	-0.62	-0.78
	ศรีราชา 1	-1.21	-1.20	-0.46	-0.71
	เกษตรศาสตร์ 50	-1.07	-1.02	-0.57	-0.82
	ห้วยบง 80	-1.01	-1.01	-0.65	-0.97
A		**	**	*	**
B		ns	ns	ns	ns
A*B		ns	ns	ns	*
CV (%)		16.83	16.61	33.58	18.12

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, *=แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางภาคผนวกที่ 8 ปริมาณอะมิโลส อะมิโลสแพคติน และปริมาณไซยาไนด์ในด์

ระดับน้ำ	พันธุ์	อะมิโลส (เปอร์เซ็นต์)	อะมิโลสแพคติน (เปอร์เซ็นต์)	ไซยาไนด์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
Field capacity	ห้านาที	9.93	90.07	89.34
	ระยอง 9	14.49	85.50	39.22
	ศรีราชา 1	6.61	93.39	82.45
	เกษตรศาสตร์ 50	9.68	90.32	63.14
	ห้วยบง 80	6.62	93.37	38.65
2/3AW	ห้านาที	8.00	92.00	66.13
	ระยอง 9	11.40	88.60	67.77
	ศรีราชา 1	7.75	92.24	103.99
	เกษตรศาสตร์ 50	8.71	91.28	85.95
	ห้วยบง 80	9.11	90.88	106.30
1/3AW	ห้านาที	6.82	93.17	128.75
	ระยอง 9	10.39	89.61	90.38
	ศรีราชา 1	6.08	93.91	116.70
	เกษตรศาสตร์ 50	9.31	90.68	86.15
	ห้วยบง 80	6.78	93.21	65.24
A		ns	ns	**
B		*	*	ns
A*B		ns	ns	ns
CV (%)		25.32	4.77	31.93

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, *=แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางภาคผนวกที่ 9 น้ำหนักสด ใบ ต้น และหัวมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ

ระดับน้ำ	พันธุ์	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)		
		น.น ใบสด	น.น ต้นสด	น.น หัวสด
Field capacity	ห้านาที	199.68	1335.10	1440.20
	ระยอง 9	179.65	1262.00	1047.00
	ศรีราชา 1	181.88	1327.20	1510.8
	เกษตรศาสตร์ 50	193.23	1132.90	2029.20
	ห้วยบง 80	152.73	1100.80	1734.90
2/3AW	ห้านาที	40.17	740.70	647.10
	ระยอง 9	43.34	602.50	488.60
	ศรีราชา 1	25.11	718.90	493.90
	เกษตรศาสตร์ 50	46.01	664.00	819.70
	ห้วยบง 80	40.69	666.90	830.70
1/3AW	ห้านาที	42.06	654.10	476.90
	ระยอง 9	36.51	547.00	110.40
	ศรีราชา 1	15.37	569.40	189.50
	เกษตรศาสตร์ 50	28.57	516.90	438.90
	ห้วยบง 80	44.40	625.60	523.40
A		**	**	**
B		ns	ns	**
A*B		ns	ns	ns
CV (%)		26.70	19.11	35.53

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, *=แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางภาคผนวกที่ 10 น้ำหนักแห้ง ใบ ต้น และหัวมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ

ระดับน้ำ	พันธุ์	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)		
		น.น ใบแห้ง	น.น ต้นแห้ง	น.น หัวแห้ง
Field capacity	ห้านาที	58.05	239.60	310.95
	ระยอง 9	49.63	447.36	348.26
	ศรีราชา 1	51.50	491.87	387.94
	เกษตรศาสตร์ 50	59.97	477.41	515.49
	ห้วยบง 80	46.22	519.38	560.18
2/3AW	ห้านาที	10.86	617.71	196.04
	ระยอง 9	11.98	409.95	177.93
	ศรีราชา 1	6.65	434.42	120.54
	เกษตรศาสตร์ 50	13.30	401.43	255.19
	ห้วยบง 80	11.88	440.69	271.23
1/3AW	ห้านาที	11.41	435.90	119.14
	ระยอง 9	9.36	653.98	42.18
	ศรีราชา 1	3.92d	465.29	45.10
	เกษตรศาสตร์ 50	8.18	805.32	129.68
	ห้วยบง 80	12.34	494.82	165.35
A		**	ns	**
B		ns	ns	**
A*B		ns	ns	ns
CV (%)		28.05	48.52	37.65

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, *=แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05, ** = แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุพรรณิกา นพคุณ เกิดเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม พ.ศ. 2534 ที่อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา ในปี 2549-2551 ได้เข้าศึกษาและสำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนบุญเหลือวิทยานุสรณ์ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในปีพ.ศ. 2552 ได้เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตพืช) เมื่อปี พ.ศ. 2555 โดยได้ผ่านการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ มหาวิทยาลัยกุ้ยโจว เมืองกุ้ยหยาง มณฑลกุ้ยโจว ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ในปีพ.ศ. 2556 และได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ขณะศึกษาได้รับทุน (OROG) ระดับบัณฑิตศึกษา และได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา พร้อมทั้งเป็นผู้ช่วยสอน และผู้ช่วยวิจัยในสาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี