ผลของระดับความชื้นในดินต่อการกระจายของราก และลักษณะทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง

นายธีระศักดิ์ ตองอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

EFFECTS OF SOIL MOISTURE CONTENT ON ROOT DISTRIBUTION AND PHYSIOLOGICAL TRAITS OF CASSAVA

Thirasak Thong-Ob

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

ผลของระดับความชื้นในดินต่อการกระจายของราก และลักษณะทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.สาวิตร มีจุ้ย)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ฐิติพร มะชิโกวา)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ)
กรรมการ

(อ. ดร.แหวนพลอย จินากูล)
กรรมการ

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(ศ. ดร.หนึ่ง เตียอำรุง)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ธีระศักดิ์ ตองอบ : ผลของระดับความชื้นในดินต่อการกระจายของราก และลักษณะทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง (EFFECTS OF SOIL MOISTURE CONTENT ON ROOT DISTRIBUTION AND PHYSIOLOGICAL TRAITS OF CASSAVA) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร มะชิโกวา, 94 หน้า.

การปลูกมันสำปะหลังโดยใช้ระบบน้ำหยดจะสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตได้อย่างเต็มที่ก็ต่อเมื่อมีการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้มีความจำเป็นต้องควบคุมน้ำให้อยู่ในบริเวณเขตรากของมันสำปะหลัง และรักษาระดับความชื้นดินที่เพียงพอสำหรับพืชโดยไม่เกิดผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา การเจริญเติบโต และผลผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการกระจายรากของมันสำปะหลังที่ให้น้ำในระบบน้ำหยด และการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชต่อระดับความชื้นในดิน โดยมีการทดลอง 2 การทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาการตอบสนองของการกระจายราก (ความหนาแน่นของรากที่ระดับความลึกต่าง ๆ) ของมันสำปะหลังต่อการให้น้ำในระบบน้ำหยด และเปรียบเทียบกับการใช้เฉพาะความชื้นที่มีในดิน (อาศัยน้ำฝน) ผลการทดลองพบว่าการให้น้ำโดยระบบน้ำหยดมีผลทำให้ความหนาแน่นของรากส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความลึก 0-30 ซม. ส่วนการปลูกแบบอาศัยเฉพาะความชื้นในดินที่มีนั้น รากมันสำปะหลังมีการกระจายรากไปกว้าง และลงลึกไปในชั้นดินมากกว่า 30 ซม. รวมทั้งมีความหนาแน่นของรากอยู่ใกล้โคนต้นเพียงเล็กน้อย

การทดลองที่ 2 การตอบสนองทางสรีรวิทยาการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังต่อระดับการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด 5 ระดับคือ การให้น้ำเมื่อความชื้นในดินลดลง 50%, 40%, 30%, 20% ของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน (available water holding capacity; AWHC) และการไม่ให้น้ำ (อาศัยน้ำฝน) โดยทำการทดลองในดินทรายร่วนและดินร่วนเหนียวปนทรายพบว่าลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง ประกอบด้วย อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การเหนี่ยวนำปากใบ ศักย์ของน้ำในใบ และประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างดินทั้งสองชนิด โดยดินทรายร่วนมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาลดลงที่ระดับ 20% AWHC ในขณะที่ดินร่วนเหนียวปนทรายมีการตอบสนองลดลงที่ระดับ 40% AWHC ทั้งนี้ลักษณะน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นมีการตอบสนองเช่นเดียวกับลักษณะทางสรีรวิทยาในแต่ละชนิดของดินโดยมีการลดลงอย่างเด่นชัดเมื่อให้น้ำที่ระดับ 40% AWHC ในดินร่วนเหนียวปนทราย และที่ระดับ 20% AWHC ในดินทรายร่วน จากการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยากับน้ำหนักแห้งรวมพบว่า ศักย์ของน้ำในใบมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งมากที่สุด ดังนั้นจึงใช้ศักย์ของน้ำในใบเป็นตัววิเคราะห์เพื่อหาจุดวิกฤติการให้น้ำของพืชมันสำปะหลัง ทั้งนี้ในดินทราย

ร่วนพบว่ามีจุดวิกฤติของการให้น้ำที่ความชื้นประมาณ 5.59 ถึง 5.82% โดยปริมาตร ส่วนดินร่วนเหนี่ยวปนทรายมีจุดวิกฤติของการให้น้ำที่ความชื้นประมาณ 20.97 ถึง 22.82% โดยปริมาตร

ผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าการจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพในระบบน้ำหยดจำเป็นต้องรักษาระดับน้ำในดินระหว่างความลึก 0-30 ซม.ให้มีความชื้นไม่น้อยกว่า 5.59 ถึง 5.82% ในดินทรายและ 20.97 ถึง 22.82%ในดินร่วนเหนียว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา_____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

THIRASAK THONG-OB : EFFECTS OF SOIL MOISTURE CONTENT ON ROOT DISTRIBUTION AND PHYSIOLOGICAL TRAITS OF CASSAVA. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. THITIPORN MACHIKOWA, Ph.D., 94 PP.

CASSAVA/AVAILABLE WATER HOLDING CAPACITY (AWHC)/ROOT DISTRIBUTION/DRIP IRRIGATION/PHYSIOLOGICAL RESPONSES

Drip irrigation will be able to increase cassava growth and yield significantly only if there is effective water management. It is necessary to control the supplied water in its root zone and keep the soil moisture levels at which not affect plant physiology, growth and yield of cassava. The objectives of this research were to 1) study the cassava root distribution under the drip irrigation system and 2) study the physiological responses of plants to the soil moisture level. There were two experiments as follows;

In experiment 1, the response of cassava roots distribution (total root length density at different soil depths) to drip irrigation was investigated and compared to those without irrigation (rainfed control). The result showed that drip irrigation caused cassava root distribution mostly in 0-30 cm soil depth, while under non irrigation, the root distribution was more than 30 cm in soil depth and less root density was found at the base of the cassava stem.

In experiment 2, physiological responses of cassava to 5 levels of drip irrigation (50%, 40%, 30%, 20% of available water holding capacity (AWHC) and no irrigation) were investigated in sandy and sandy clay loam soils. It was found that the physiological responses of cassava in both soil textures were different. In sandy soils,

there was a noticeable reduction of photosynthetic rate, stomatal conductance, leaf water potential and leaf chlorophyll efficiency at 20% AWHC, while in sandy clay loam, these physiological responses were found immediately when the irrigation level was at 40% AWHC. Total dry weight responded to irrigation level similarly to the physiological traits in each soil texture. From the correlation analysis between physiological traits and total dry weight it was found that the leaf water potential had the highest positive correlation with total dry weight. Therefore, it was used to analyze the critical point of soil water content for cassava. It was also found that the critical moisture content was 5.59 to 5.82% in sandy soil and was 20.97 to 22.82% in sandy clay loam soil.

The results of this study suggested that for effective water management under drip irrigation, the soil moisture content between 0 to 30 cm depth have to maintain more than 5.59% in sandy soil and 20.97% in sandy clay loam soil.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Crop Production Technology Student's Signature _____

Academic Year 2017 Advisor's Signature _____

Co-advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลืออย่างดี ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร มะชิโกวา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้โอกาสทางการศึกษาให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณนวลปรางค์ อุทัยดา คุณสมยง พิมพ์พรม และคุณสหรัฐ นภากาศ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณอุทัย ยศจังหรีด และเจ้าหน้าที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยเหลือและสนับสนุนการปฏิบัติงานในแปลงทดลอง และโรงเรือน

ขอขอบคุณ พี่น้องบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชทุกท่าน ที่ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ให้การปฏิบัติงานเป็นไปได้ด้วยดี ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้โอกาสในการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิตแก่ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ด้วยทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่มอบทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ธีระศักดิ์ ตองอบ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ญ
บทที่
1. บทนำ 1
   1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
   1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 2
   1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
   1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
2. ปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
   2.1 มันสำปะหลัง และความสำคัญทางเศรษฐกิจ 3
   2.2 บทบาทและความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช 6
   2.3 การให้น้ำแก่พืช 19
   2.4 การตอบสนองของพืชต่อน้ำ 24
   2.5 จุดวิกฤติน้ำของพืช 30
3. วิธีดำเนินการวิจัย 32
   3.1 ผลการตอบสนองของการกระจายรากของมันสำปะหลังต่อการให้น้ำระบบน้ำหยด 32
   3.2 ผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังต่อระดับความชื้นในดินที่แตกต่างกัน 34
4. ผลการทดลอง และการอภิปรายผล 39

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 ผลการตอบสนองของการกระจายรากของมันสำปะหลังต่อการให้น้ำระบบน้ำหยด 39
4.2 ผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังต่อการให้น้ำที่แตกต่างกัน 52
5. บทสรุป 75
รายการอ้างอิง 77
ภาคผนวก 82
ประวัติผู้เขียน 94

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

1 ขนาดช่องว่างภายในดิน 8
2 การแบ่งกลุ่มอนุภาคปฐมภูมิของดิน 9
3 คุณสมบัติทางกายภาพของดินที่เกี่ยวกับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้หรือความชื้นที่อยู่ระหว่างระดับความชื้นชลประทานกับจุดเหี่ยวเฉาถาวร 15
4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทั้งหมดส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และใช้ไม่ได้ของดินชนิดต่าง ๆ 16
5 ปริมาณการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในมันสำปะหลัง 33
6 ปริมาณการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ในดินทรายร่วน และดินร่วนเหนียวปนทรายของมันสำปะหลัง 35
7 การจัดการให้น้ำของแต่ละกรรมวิธีจากค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน 38
8 คุณสมบัติดินก่อนปลูก 39
9 ปริมาณการให้น้ำมันสำปะหลังของกรรมวิธีไม่ให้น้ำ และให้น้ำในช่วงเดือน ต.ค.-ธ.ค. 40
10 ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางต้น และจำนวนต้นของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 อายุ 90 วัน 51
11 จำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักผลผลิตสดต่อต้น น้ำหนักผลผลิตสดต่อไร่ และเปอร์เซ็นต์แป้งของกรรมวิธีไม่ให้น้ำและให้น้ำ 52
12 คุณสมบัติเนื้อดิน 53
13 คุณสมบัติของดินก่อนปลูก และค่าคุณสมบัติของดินที่เหมาะสมในการปลูกมันสำปะหลัง 53
14 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทรายร่วน และร่วนเหนียวปนทราย 54
15 ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางต้น จำนวนต้น และน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังอายุ 120 วันหลังปลูก 57
16 ลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชที่อายุประมาณ 45 วันหลังปลูก โดยวัดก่อนการให้น้ำในแต่ละกรรมวิธี 66

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

17 สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งและลักษณะทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง ในสภาพดินทรายร่วน 69
18 สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งและลักษณะทางสรีรวิทยามันสำปะหลังในสภาพ ดินร่วนเหนียวปนทราย 69
19 ปริมาณการให้น้ำและประสิทธิภาพการใช้น้ำของมันสำปะหลัง 74

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

หน้า

1 ลักษณะของมันสำปะหลัง 5
2 องค์ประกอบของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชโดยทั่วไป 7
3 สามเหลี่ยมมาตรฐานเพื่อจำแนกประเภทเนื้อดิน 10
4 น้ำในดินและระดับความชื้นของดินที่จุดต่างๆ และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับกำหนดการให้น้ำแก่พืช 13
5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช 21
6 การกระจายของรากมันสำปะหลังในกรรมวิธี ไม่ให้น้ำ (รูปซ้าย) และให้น้ำ (รูปขวา) ในอายุ 30 (ก ข), 60 (ค ง) และ 90 (จ ฉ) วันหลังปลูก 42
7 การกระจายของรากที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0–0.5 มม. ของกรรมวิธี ไม่ให้น้ำ (รูปซ้าย) และให้น้ำ (รูปขวา) เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 30 (ก,ข), 60 (ค,ง) และ 90 (จ,ฉ) วันหลังปลูก 44
8 การกระจายของรากที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-1.0 มม. ของกรรมวิธี ไม่ให้น้ำ (รูปซ้าย) และให้น้ำ (รูปขวา) เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 30 (ก,ข), 60 (ค,ง) และ 90 (จ,ฉ) วันที่ปลูก 46
9 การกระจายของรากที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0-4.5 มม. ของกรรมวิธี ไม่ให้น้ำ (รูปซ้าย) และให้น้ำ (รูปขวา)เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 30(ก,ข), 60(ค,ง) และ 90(จ,ฉ) วันหลังปลูก 47
10 ความสูงต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางต้น ของมันสำปะหลังเมื่อไม่ให้น้ำ และให้น้ำ ในช่วงอายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก 51
11 ความชื้นในดินทรายร่วน และดินร่วนเหนียวปนทราย เมื่อมีการใช้แรงดึงที่ต่างกัน 55
12 ความสูงของต้นมันสำปะหลังในสภาพดินทรายร่วน (ก) และดินร่วนเหนียวปนทราย (ข) 58
13 เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมันสำปะหลังในสภาพดินทรายร่วน (ก) และดินร่วนเหนียวปนทราย (ข) 59
14 อัตราการสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลังในดิน 2 ชนิดที่มีความชื้นแตกต่างกัน 61
15 การเหนี่ยวนำปากใบของมันสำปะหลังในดิน 2 ชนิดที่มีความชื้นแตกต่างกัน 63

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

16 ศักย์น้ำในใบมันสำปะหลังในดิน 2 ชนิด ที่มีความชื้นแตกต่างกัน 64
17 ประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ในใบมันสำปะหลังในดิน 2 ชนิด ที่มีความชื้นแตกต่างกัน 65
18 จุดวิกฤติจากเส้นความสัมพันธ์ของศักย์ของน้ำในใบ และความชื้นดิน ในสภาพดินทรายร่วน 70
19 จุดวิกฤติจากเส้นความสัมพันธ์ของศักย์ของน้ำในใบ และความชื้นดิน ในสภาพดินร่วนเหนียวปนทราย 70
20 ปริมาณการให้น้ำของมันสำปะหลังในสภาพดินทรายร่วน และ สภาพดินร่วนเหนียวปนทราย 73
21 ประสิทธิภาพการใช้น้ำของมันสำปะหลังในสภาพดินทรายร่วน และสภาพดินร่วนเหนียวปนทราย 73

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ และเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีความแปรปรวนของสภาพดินฟ้าอากาศได้เป็นอย่างดี ทนต่อความแห้งแล้ง เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีโรคและแมลงรบกวนน้อย ไม่ต้องการการดูแลรักษามาก จึงส่งผลให้เกษตรกรนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย ผลผลิตของมันสำปะหลังโดยเฉลี่ยทั้งประเทศในปี 2556 อยู่ที่ 28.28 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2556) โดยผลผลิตเฉลี่ยที่ 3-4 ตันต่อไร่ ปัจจุบันมีผลงานวิจัยยืนยันว่าการจัดการให้น้ำสามารถเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังได้เท่าตัว แต่สถานการณ์การปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรไทยนั้นมีสภาวะขาดแคลนน้ำในบางช่วงการเจริญเติบโตเนื่องเพราะมีปริมาณน้ำที่กักเก็บไว้จำกัด ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการจัดการให้น้ำในแปลงปลูกมันสำปะหลังให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยนำระบบน้ำหยดมาใช้เพราะเป็นระบบให้น้ำแบบประหยัด ปริมาณการสูญเสียน้ำน้อย และมีประสิทธิภาพสูง โดยทั่วไปแล้วการให้น้ำกับพืชส่วนใหญ่ ยอมให้ความชื้นดินลดลงไม่เกิน 50% ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน เพราะจะไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช (ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545) แต่ยังไม่มีความชัดเจนว่า พืชสามารถใช้น้ำได้ต่ำใกล้ระดับจุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) หรือเรียกว่า "จุดวิกฤติ" ได้หรือไม่ แม้ว่ามีการศึกษาระดับความชื้นในดินที่แตกต่างกันเพื่อหาจุดวิกฤตสำหรับวางแผนการให้น้ำ โดยใช้ลักษณะน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้น ก็ยังคงขาดข้อสรุปเพื่อนำไปใช้ในแปลงเกษตรกรจริง เพราะการเก็บข้อมูลน้ำหนักแห้งของพืชนั้น ต้องใช้เวลาและตัวอย่างพืชมาก และต้องเก็บข้อมูลตามระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อบันทึกผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช ที่คาดว่ามีความแม่นยำมากกว่าการใช้ข้อมูลน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกข้อมูลได้สะดวก ใช้เวลาสั้นตามระยะการเจริญเติบโต อีกทั้งยังเป็นการตอบสนองโดยตรงของพืชอีกด้วย ทั้งนี้จากงานวิจัยที่ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความแห้งแล้งของมันสำปะหลังที่ผ่านมา ก็เป็นเพียงการศึกษาในสภาวะขาดน้ำเท่านั้น และไม่ชี้ชัดถึงจุดวิกฤติของมันสำปะหลังที่มีต่อระดับความชื้นในดิน นอกจากนี้ จุดประสงค์ของการให้น้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ในมุมมองการตอบสนองทางสรีรวิทยาแล้วจำเป็นต้องศึกษาระบบรากหรือการกระจายรากของมันสำปะหลังด้วยไปเลี่ยงเนื่องจากรากพืชทำหน้าที่ในการดูดน้ำและธาตุอาหาร

ต้นพืชซึ่งช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาได้เป็นปกติ โดย Tennant. (1975) ได้รายงานว่ารากพืชมีความสำคัญต่อขบวนการทางสรีรวิทยาของพืชอย่างมาก คือรากพืชมีความสามารถในการส่งสัญญาณ (signal) ไปยังส่วนยอดเพื่อการปรับตัวต่อความกดดันของสภาวะแวดล้อม และยังทำหน้าที่ลำเลียง (Conduction) น้ำ และแร่ธาตุรวมทั้งอาหารซึ่งพืชสะสมไว้ในรากขึ้น สู่ส่วนต่าง ๆ ของลำต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษารูปแบบการให้น้ำที่มีต่อการกระจายของรากมันสำปะหลังด้วย เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการให้น้ำที่ครอบคลุมบริเวณเขตราก และลดการสูญเสียน้ำออกนอกเขตราก ซึ่งข้อมูลดังกล่าว จะเป็นประโยชน์ต่อการวางตำแหน่งหัวหยดน้ำและการวางตำแหน่งเครื่องวัดความชื้นที่ใช้ในแปลงปลูกพืชอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการกระจายรากของมันสำปะหลังในสภาพการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด
2. เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังต่อระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาเปรียบเทียบการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดในระดับต่าง ๆ ตามความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน ต่อการการตอบสนองทางสรีรวิทยา การเจริญเติบโต ในดินทรายร่วนและดินร่วนเหนียวปนทรายของมันสำปะหลังพันธุ์ ระยอง 7 และการกระจายรากของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ในดินร่วนเหนียวปนทราย โดยดำเนินการภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพื้นฐาน 3 (F3)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงลักษณะการกระจายของรากมันสำปะหลังเมื่อมีการให้น้ำระบบน้ำหยด ที่ตอบสนองต่อปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ ระดับความลึกของดินที่ควรให้น้ำ และตำแหน่งในการนำเทคโนโลยีการวัดความชื้นในดินมาใช้ให้ครอบคลุมบริเวณราก
2. ทราบถึงระดับของความชื้นในดินที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และการตอบสนองทางสรีรวิทยา เพื่อใช้หาจุดวิกฤติสำหรับการให้น้ำแก่มันสำปะหลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มันสำปะหลัง และความสำคัญทางเศรษฐกิจ

มันสำปะหลังมีแหล่งกำเนิดแถบที่ลุ่มเขตร้อน (lowland tropics) ละติจูด 30 องศาเหนือ และ 30 องศาใต้ มีหลักฐานแสดงว่าปลูกกันในโคลัมเบียและเวเนซูเอลานานกว่า 3,000–7,000 ปีมาแล้ว สันนิษฐานว่าแหล่งกำเนิดมันสำปะหลังมี 4 แหล่งด้วยกันคือ 1) ประเทศกัวเตมาลาและเม็กซิโก 2) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้ 3) ทิศตะวันออกของประเทศโบลิเวีย และทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของอาร์เจนตินา 4) ทิศตะวันออกของประเทศบราซิล ในประเทศเอเชียมีการนำมันสำปะหลังมาปลูกเป็นครั้งแรกที่ประเทศฟิลิปปินส์ในคริสตวรรษที่ 17 โดยชายสเปนได้นำมาจากเม็กซิโก และในเวลาต่อมามีการนำมาปลูกที่อินโดนีเซีย และเมื่อ พ.ศ. 2337ได้มีการนำมันสำปะหลังจากแอฟริกา มาปลูกที่อินเดียเพื่อใช้ในการทดลอง สำหรับประเทศไทยไม่มีหลักฐานที่แน่นอนว่ามีการนำมันสำปะหลังมาปลูกเมื่อใด คาดว่าคงเข้ามาในระยะเดียวกันกับการเข้าสู่ศรีลังกาและฟิลิปปินส์ คือประมาณ พ.ศ. 2329–2383

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญพืชหนึ่ง เป็นพืชอาหารที่ใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต ถ้าพิจารณาจากปริมาณการผลิตพืชอาหารทั่วโลก มันสำปะหลังอยู่ในอันดับที่ 5 รองมาจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง เป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อน โดยเฉพาะในทวีปแอฟริกา อเมริกาใต้ และเอเชียบางประเทศ เช่น อินโดนีเซีย อินเดีย และฟิลิปปินส์ ซึ่งปลูกมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการบริโภคโดยตรง ปริมาณการผลิตของมันสำปะหลังทั่วโลก ประมาณสองในสามส่วนใช้เป็นอาหารมนุษย์ ที่เหลือใช้เลี้ยงสัตว์ และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม จากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พ.ศ. 2554 ทั่วโลกผลิตมันสำปะหลังได้ 252.2 ล้านตัน แหล่งผลิตที่สำคัญได้แก่ ทวีปแอฟริกา ซึ่งผลิตได้ถึง 85.23 ล้านตัน รองลงมาเป็นทวีปเอเชีย ผลิตได้ 49.91 ล้านตัน ส่วนทวีปอเมริกาผลิตรวมกันได้ 33.52 ล้านตัน ส่วนมากเป็นประเทศในแทบอเมริกาใต้ หรือแถบลาตินอเมริกา ประเทศที่ผลิตได้มากที่สุดในโลก 5 อันดับแรกได้แก่ ไนจีเรีย บราซิล ไทย ซาอีร์ และอินโดนีเซีย สำหรับประเทศไทยมันสำปะหลังมีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก เพราะมีเนื้อที่ปลูกมากเป็นอันดับ 4 รองจาก ข้าว ข้าวโพด และยางพารา จากการพยากรณ์พื้นที่ปลูกในปี 2559 คาดว่าจะมีพื้นที่ เก็บเกี่ยว 8.63 ล้านไร่ และผลผลิตประมาณ 31.18 ล้านตัน อย่างไรก็ตามผลผลิตมันสำปะหลังส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้ส่งออกมากกว่าประเทศอื่นที่มีการปลูก

มันสำปะหลัง เพราะประเทศที่ผลิตได้มากกว่าอย่างไนจีเรีย และบราซิล จะใช้บริโภคภายในประเทศหมด ส่วนประเทศไทยมีการใช้ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังน้อยมาก ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่ไทยส่งออกอยู่ในรูปของมันเส้น และมันอัดเม็ดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ตลาดที่สำคัญได้แก่ ประชาคมยุโรป ส่วนที่เหลือส่งออกในรูปแป้ง และสาคูยังประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ไต้หวัน เกาหลี และอื่น ๆ รวมมูลค่าของการส่งออกทั้งหมดมากกว่าสองหมื่นล้านบาทต่อปี (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2559)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์มันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามภาษาท้องถิ่นเช่น cassava, tapioca, manioc, mandioca และ yucca ในภาษาไทยเคยเรียกว่า มันไม้ มันสำโรง หรือมันสำปะโรง แต่ในปัจจุบันนิยมเรียกว่า มันสำปะหลัง จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaccae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz ซึ่งในปัจจุบันถือว่ามันสำปะหลังที่ปลูกเป็นการค้าทั่วโลกนั้น มีเพียงชนิดนี้ชนิดเดียวเท่านั้น (รูปที่ 1)

ราก เมื่อนำท่อนพันธุ์มันสำปะหลังไปปลูกจะมี adventitious root งอกจาก cambium ตรงรอยตัด หลังจากปลูกประมาณ 2 เดือนจะเริ่มสะสมอาหารที่ราก ทำให้รากขยายใหญ่ขึ้นเป็นหัว ต้นหนึ่ง ๆ อาจมี 5-20 หัว จำนวน รูปร่าง ขนาด และน้ำหนักหัวแตกต่างไปตามพันธุ์ บางพันธุ์หัวยาว บางพันธุ์ หัวกลมป้อมสั้น ภายในหัวมีแป้งสะสมอยู่ 10-30 เปอร์เซ็นต์ มีสีแตกต่างไปตามพันธุ์ ตั้งแต่ ขาว ครีม จนถึงเหลือง

ลำต้น มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มมีอายุอยู่ได้หลายปี แต่ที่ปลูกเป็นการค้าทั่วไปมักนิยมเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 1 ปี ลำต้นมีความสูงตั้งแต่ 1-5 เมตร ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและพันธุ์ พันธุ์ที่ไม่แตกแขนงเช่น พันธุ์พื้นเมือง จะสูง ส่วนพันธุ์ที่แตกแขนงเช่น พันธุ์ระยอง 3 จะแตกแขนงมาก ทำให้ดูเป็นพุ่มเตี้ย ที่ลำต้นจะเห็นรอยก้านใบหลุดร่วงไปเรียกว่า leaf scar เป็นปุ่มนูนออกมา แต่จะนูนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ ลำต้นมีหลายสีแตกต่างไปตามพันธุ์เช่น เทา เงิน เหลือง และน้ำตาล ส่วนที่เป็นยอดอ่อนมีสีเขียวหรือแดงปนม่วง ลำต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-6 เซนติเมตร

ใบ เป็นใบเดี่ยวแบบ palmate มีแฉกเว้าลึก 3-9 แฉก ลักษณะแฉกแตกต่างไปตามพันธุ์ ก้านใบค่อนข้างยาว มีหลายสีเช่น เขียว แดง และม่วง

ดอก มันสำปะหลังจัดเป็นพืชผสมข้าม เนื่องจากมีดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียอยู่คนละดอก แต่อยู่ในช่อเดียวกัน และจะบานไม่พร้อมกัน ดอกตัวผู้มีขนาดเล็กอยู่ส่วนบนของช่อดอก ส่วนดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าอยู่ด้านล่าง และจะบานก่อนดอกตัวผู้ในช่อดอกเดียวกัน 7-10 หลังจากผสมเกสรแล้ว 2-3 เดือน ผลจะแก่

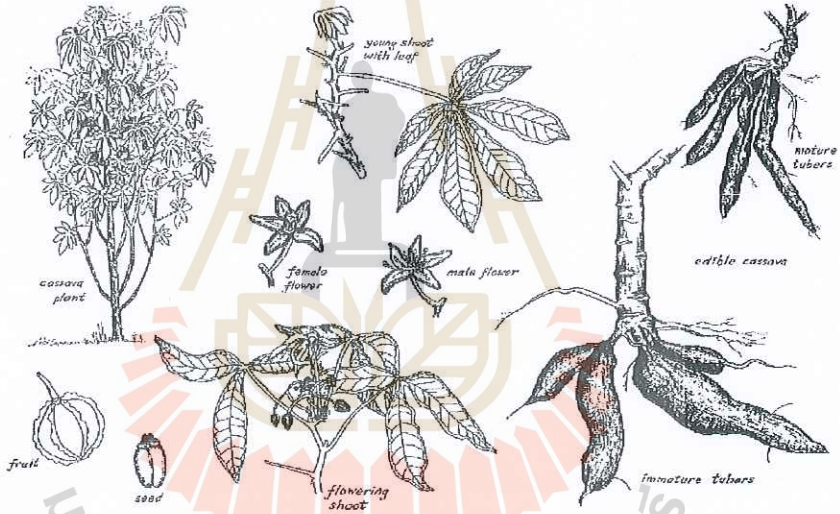
ผลและเมล็ด เมื่อผลแห้งจะแตกดีดเมล็ดกระจายไป ภายในหนึ่งผลมี 3 เมล็ด ลักษณะคล้ายเมล็ดละหุ่งแต่มีขนาดเล็กกว่า มีสีน้ำตาลลายดำหรือสีเทา

พันธุ์มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. พันธุ์ที่ใช้ประดับ นิยมปลูกตามบ้านเพื่อความสวยงาม เนื่องจากใบมีแถบสีขาวและเหลืองกระจายไปตามความยาวของใบจึงเรียกว่า มันด่าง พบมากแถบจังหวัดชลบุรี และระยอง

2. พันธุ์ชนิดหวาน พันธุ์นี้จะใช้หัวเป็นอาหารมนุษย์โดยเชื่อม ต้ม ปิ้ง หรือเผา ไม่มีรสขม เนื่องจากมีปริมาณ HCN ต่ำ ที่พบในบ้านเรามี 3 พันธุ์ ได้แก่ มันสวน มันห้านาที หรือมันก้านแดง และระยอง 2

3. พันธุ์ชนิดขม เป็นพันธุ์ที่ปลูกส่งโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อผลิตมันเส้น มันอัดเม็ด และแป้ง ซึ่งมีปริมาณ HCN สูง ทำให้ไม่นิยมไปบริโภค หรือ ประกอบอาหาร พันธุ์ที่มีการปลูกมีหลายพันธุ์ เช่น ห้วยบง 60, ห้วยบง 80, ระยอง 1, ระยอง 2, ระยอง 3, ระยอง 72, ศรีราชา 1 และเกษตรศาสตร์ 50 เป็นต้น



รูปที่ 1 ลักษณะของมันสำปะหลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปัญหาการปลูกมันสำปะหลัง

ถึงแม้มันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในสภาพแล้งและพื้นที่ที่ไม่มีชลประทาน ซึ่งทางหน่วยงานของรัฐบาลได้สนับสนุนให้ปลูกเป็นพืชทนแล้ง สามารถให้ผลผลิตได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีโรคและแมลงศัตรูพืชน้อย แต่ประสิทธิภาพของผลผลิต และเปอร์เซ็นต์แป้งค่อนข้างต่ำ จากข้อมูลผลผลิต (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) รวมทั้งประเทศมีผลิตผลลดลง เช่นในปี พ.ศ. 2556 มีผลผลิตรวม 30,227,542 ตัน แต่ใน พ.ศ. 2557 ผลผลิตรวมได้ 30,022,052 ตัน ซึ่งอาจมีหลายปัจจัยที่ทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลง เช่น พันธุ์ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การ

ปฏิบัติดูแลรักษา การเตรียมดิน การใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืช และความชื้นในดิน มีการศึกษาเกี่ยวกับการให้น้ำแก่มันสำปะหลังส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น เช่นการศึกษาของ นพศูล สมุทรทอง (2549) พบว่า มันสำปะหลังที่มีการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดตามปริมาณความต้องการน้ำของมันสำปะหลัง (ETc) ให้ผลผลิตหัวมันสดสูงที่สุด คือ 9,106 กิโลกรัม/ไร่ แต่การปลูกแบบอาศัยความชื้นในดินได้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยน้อยกว่าคือ 5,228 กิโลกรัม/ไร่ ดังนั้นน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างมากต่อการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 บทบาทและความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช

2.2.1 คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช

เนื่องจากดินเปรียบเสมือนถังน้ำหรือที่เก็บกักน้ำโดยธรรมชาติให้แก่พืชนำไปใช้ โดยรากของพืชดูดเอาความชื้นในดินไปใช้ทอดหนึ่ง น้ำที่เก็บให้พืชนำไปใช้นี้จะอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่เป็นของแข็ง ซึ่งช่องว่างเหล่านี้ถ้าไม่มีน้ำบรรจุอยู่ก็มีอากาศเข้าไปแทนที่ ดินมีองค์ประกอบ 4 ส่วนคือ อนินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุ น้ำและอากาศ องค์ประกอบของดินแต่ละส่วนมีประโยชน์ต่อการผลิตพืช ดังนี้

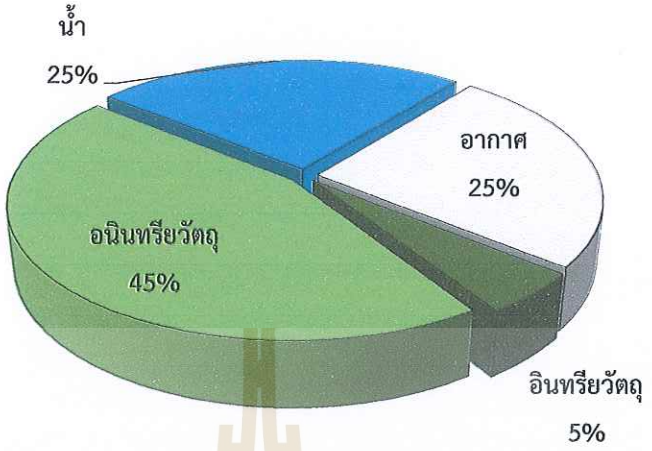
1) อนินทรียวัตถุ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของดิน เกิดจากการสลายของหินและแร่ต่าง ๆ ออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ที่มีขนาดต่าง ๆ กัน ดินแต่ละแห่งจะมีขนาดของอนินทรียวัตถุและชนิดของแร่ธาตุแตกต่างกัน ขึ้นกับการย่อยสลายที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดของดินและแร่ธาตุต้นกำเนินดิน

2) อินทรียวัตถุในดินประกอบด้วยเศษซากพืชซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยแล้ว ที่กำลังถูกย่อยสลาย สารที่หลงเหลืออยู่จากการย่อยสลายดังกล่าวและสารที่ได้จากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ดิน สารต่าง ๆ เหล่านี้เรียกว่า ฮิวมัส ซึ่งเป็นสารแขวนลอยสีดำหรือน้ำตาล มีคุณสมบัติในการดูดยึดน้ำและธาตุอาหารพืชได้สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารอนินทรีย์ อินทรียวัตถุทำให้ดินร่วนโปร่ง มีการระบายน้ำและอากาศดี เป็นที่มาของธาตุอาหารพืชหลายชนิด เช่น ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ทำให้ได้ฮิวมิคเพิ่มมากขึ้นอีก

3) น้ำ เป็นส่วนประกอบสำคัญของพืช น้ำในดินนอกจากจะเป็นแหล่งที่รากพืชดูดขึ้นมาหล่อเลี้ยงต้นพืชแล้ว ยังช่วยในการสลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในสภาพที่พืชสามารถนำไปใช้ได้

4) อากาศ ช่องว่างระหว่างเม็ดดินส่วนที่ไม่มีน้ำอยู่จะเป็นที่อยู่ของอากาศ รากพืชใช้ออกซิเจนในการหายใจเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานที่ใช้ในการดูดน้ำและธาตุอาหาร โดยทั่วไปแล้วอากาศในดินมีออกซิเจนน้อยกว่าอากาศบนดิน ดังนั้นการถ่ายเทอากาศของดินจึงมีความจำเป็น ดินที่มีการถ่ายเทอากาศน้อยจะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง ถ้ามีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึงร้อยละ10 จะทำให้การทำงานของรากพืชถูกจำกัด นอกจากนี้ออกซิเจนยังมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดินอีกด้วย

ส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชโดยทั่วไป ควรมีอินทรียวัตถุร้อยละ 5 อนินทรียวัตถุร้อยละ 45 น้ำร้อยละ 25 และอากาศร้อยละ 25 โดยปริมาณ (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 องค์ประกอบของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชโดยทั่วไป

สถานะของดิน เนื่องจากดินประกอบด้วย อินทรียวัตถุ อนินทรียวัตถุ น้ำ และอากาศ ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 สถานะคือ ส่วนของแข็งหรือสถานะของแข็งเป็นอินทรียวัตถุกับอนินทรียวัตถุรวมกัน และที่เหลือเป็นช่องว่างซึ่งเป็นที่อยู่ของของเหลว ซึ่งเป็นสถานะของน้ำและสารละลายที่อยู่ในดิน และก๊าซคือส่วนที่เป็นอากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่มิได้เป็นของเหลว สำหรับช่องว่างในดินแบ่งออกเป็น 3 ขนาดคือ ช่องว่างในดินขนาดใหญ่ ช่องว่างในดินขนาดกลาง และช่องว่างในดินขนาดเล็กซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องว่าง และคุณสมบัติของช่องว่าง (ตารางที่ 1)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 1 ขนาดช่องว่างภายในดิน

ขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องว่าง (มม.)	คุณสมบัติของช่องว่าง
ใหญ่	มากกว่า 0.01	น้ำซึมผ่านช่องว่างในดินได้ง่าย ช่องว่างเหล่านี้จึงเป็นที่อยู่ของอากาศในดิน
กลาง	0.0002 – 0.01	น้ำถูกดินยึดเอาไว้ได้ และพืชนำน้ำขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ เมื่อดินแห้งช่องว่างนี้เป็นที่อยู่ของอากาศ
เล็ก	น้อยกว่า 0.0002	ดินดูดยึดน้ำได้อย่างเหนียวแน่น พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ ช่องว่างนี้จะสูญเสียน้ำ และดินแห้งมาก

ที่มา : ดิเรก ทองอร่าม และคณะ (2545)

เนื้อดิน เป็นคุณสมบัติของดินที่บ่งบอกถึงความหยาบหรือความละเอียดของดิน เนื้อดินหมายถึงสัดส่วนของอนุภาคอนินทรียวัตถุของดิน หรือคุณสมบัติของดินที่เกี่ยวกับเม็ดดิน 3 ชนิด ได้แก่ เม็ดทราย (sand) เม็ดซิลท์หรือทรายแป้ง (silt) และเม็ดดินเหนียว (clay) ในอัตราส่วนต่าง ๆ ดินที่มีอนุภาคของทรายเป็นส่วนประกอบมากกว่าเรียกว่า ดินเนื้อหยาบ และดินที่มีอนุภาคดินเหนียวเป็นส่วนประกอบมากเรียกว่าดินเนื้อละเอียดจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีกว่าดินทรายที่มีคุณสมบัติให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย มีการระบายน้ำดีอุ้มน้ำไว้ได้น้อย

การแบ่งเนื้อดินสามารถแบ่งได้ละเอียดตามวัตถุประสงค์ของการแบ่งโดยทั่วไปนิยมยึดถือตามมาตรฐานของ 2 องค์กรคือ ระบบการแบ่งของกระทรวงเกษตร สหรัฐอเมริกา (US department of agriculture scheme) และระบบสากล (international scheme) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มอนุภาคปฐมภูมิของดิน

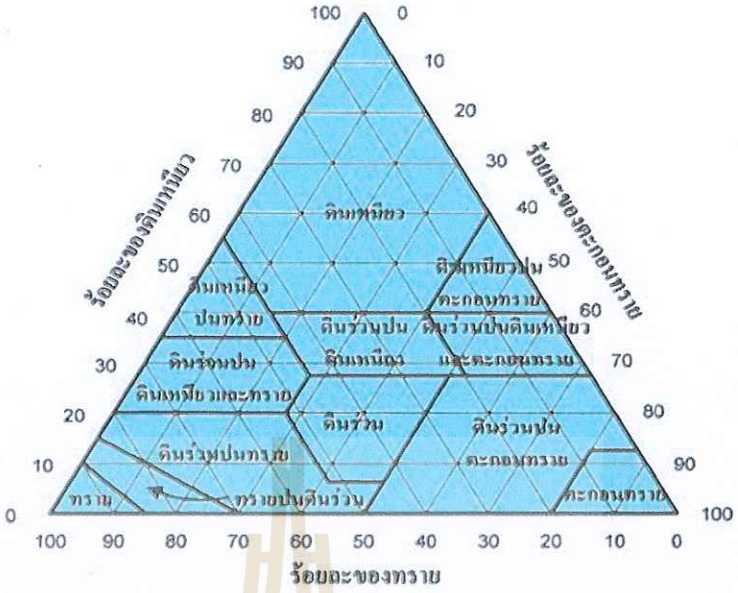
ระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา		ระบบสากล	
ชื่อกลุ่ม	เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (มม.)	ชื่อกลุ่ม	เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (มม.)
ทรายหยาบมาก	2.0 – 1.0		
ทรายหยาบ	1.0 – 0.5	ทรายหยาบ	2.0 – 0.2
ทรายปานกลาง	0.5 – 0.25	ทรายละเอียด	0.20 – 0.02
ทรายละเอียด	0.25 – 0.10	ทรายแป้ง	0.02 – 0.002
ทรายละเอียดมาก	0.10 – 0.05	ดินเหนียว	เล็กกว่า 0.002
ทรายแป้ง	0.05 – 0.002		
ดินเหนียว	เล็กกว่า 0.002		

ที่มา : ดิเรก ทองอร่าม และคณะ (2545)

วิธีการอ่านผลการแบ่งเนื้อดิน ในสภาพความเป็นจริงดินประกอบด้วยอนุภาคขนาดต่าง ๆ กัน ดังนั้นในการจำแนกเนื้อดินจึงพิจารณาจากสัดส่วนของดินที่มีขนาดต่าง ๆ ว่ามีอยู่ร้อยละเท่าใด แล้วเปรียบเทียบกับสามเหลี่ยมมาตรฐานเพื่อจำแนกประเภทเนื้อดิน (รูปที่ 3)

ตัวอย่างเช่น จากผลการวิเคราะห์ดินพบว่า ดินนั้นประกอบด้วยทราย (sand) ร้อยละ 30 ทรายแป้ง (silt) ร้อยละ 40 และดินเหนียว (clay) ร้อยละ 30 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสามเหลี่ยมมาตรฐานจะพบว่าดินชนิดนี้เป็นดินประเภท clay loam หรือดินร่วนเหนียว หรือดินร่วนปนดินเหนียว จากประเภทของดินในสามเหลี่ยมมาตรฐานซึ่งมี 12 ชนิดนั้นสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ ดินเนื้อหยาบ ดินร่วน และดินเนื้อละเอียด ซึ่งแต่ละกลุ่มมีข้อดีข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่มเพื่อการเขตกรรมและการจัดการน้ำแตกต่างกันไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3 สามเหลี่ยมมาตรฐานเพื่อจำแนกประเภทเนื้อดิน

2.2.2 คุณสมบัติของน้ำที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช

ลักษณะของน้ำในดินปกติแล้วน้ำอยู่ในดินได้เพราะคุณสมบัติของโมเลกุลของน้ำสามารถยึดติดกันเองได้ และสามารถเกาะติดกับผิวของสารอื่นได้ดี ถ้าสารที่เกาะติดนั้นมีผิวประกอบด้วยอะตอมของออกซิเจนและสร้างพันธะให้เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำและผิววัตถุ เนื่องจากการที่ผิวของอนุภาคของดิน มีอะตอมของออกซิเจนเรียงรายอยู่โดยรอบนอก จึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำและดูดซับไว้เป็นชั้น ๆ โดยรอบอนุภาคดิน แต่การดูดซับด้วยแรงดูดซับ (absorptive force) ระหว่างน้ำกับอนุภาคดินผันแปรกับระยะห่างจากผิวอนุภาคกล่าวคือ น้ำที่อยู่ห่างจากผิวอนุภาคดินจะถูกดูดซับด้วยแรงที่น้อยลงกว่าส่วนที่อยู่ใกล้ผิวอนุภาคดิน ดังนั้นโมเลกุลของน้ำรอบนอกนี้สามารถเคลื่อนไหวไปที่อื่นได้ง่ายกว่า น้ำที่อยู่ชั้นใน และหากว่าน้ำในดินมากขึ้นแล้วชั้นน้ำรอบ ๆ อนุภาคดินก็จะรวมตัวกันในช่องว่างระหว่างอนุภาคหรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

เมื่อฝนตก หรือเมื่อเราให้น้ำแก่ดิน น้ำจะซึมเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินและยึดติดกับเม็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลดินของน้ำกับเม็ดดิน และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำที่เป็นแรงดูดยึดดังกล่าว การที่ทำให้น้ำในดินเคลื่อนที่หรือดูดน้ำออกจากดินจึงต้องใช้แรงมากกว่าแรงดังกล่าวนี้ ขนาดของแรงที่ใช้อยู่ในรูปของแรงดึงขนาดต่าง ๆ กัน และจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่อยู่ในดิน กล่าวคือถ้าดินยิ่งมีความชื้นมากเท่าใดน้ำที่เกาะอยู่รอบ ๆ เม็ดดินก็จะหนามากขึ้น โมเลกุลของน้ำที่อยู่ห่างจากเม็ดดินมากก็จะไม่ได้รับอิทธิพลจากแรงยึดเหนี่ยวกับ

โมเลกุลของดิน ดังนั้นน้ำที่อยู่ห่างจากเม็ดดินนี้จะถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยแรงดึงดูดของโลก หรือไหลไปสู่เม็ดดินที่มีน้ำเกาะติดบางกว่าได้ง่าย แต่เมื่อความชื้นในดินลดลงแรงยึดเหนี่ยวจากแรงดูดซับของดินจะมีอิทธิพลมากขึ้น ทำให้การที่จะดูดน้ำไปจากดินจะต้องใช้แรงมากขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าเมื่อความชื้นในดินลดลงมากเท่าใด การที่จะแยกน้ำหรือความชื้นที่ดินยึดไว้ก็จะต้องใช้แรงดึงความชื้นมากขึ้นเท่านั้น

สำหรับแรงดึงความชื้นคือ แรงที่ใช้วัดความเหนี่ยวแน่นที่ดินยึดน้ำไว้และเป็นแรงที่จะต้องใช้เพื่อที่จะดูดเอาความชื้นซึ่งมักจะวัดเป็นบาร์ (bar.) หรือบรรยากาศ (atmosphere) แรงดึงความชื้นของดินมีความสัมพันธ์กับจำนวนความชื้นในดินที่พืชจะนำไปใช้ได้ กล่าวคือถ้าหากดินแห้งจะมีแรงดึงดูดความชื้นสูงมากนั้นคือ พืชจะต้องใช้แรงดึงมากเพื่อที่จะนำเอาความชื้นจากดินไป แต่ถ้าดินเปียกก็จะมีแรงดึงความชื้นน้อยซึ่งพืชสามารถดูดเอาความชื้นนี้ไปใช้ได้ ค่าของแรงดึงความชื้นของดินเหล่านี้ไม่ได้เป็นสิ่งที่แสดงปริมาตรความชื้นที่มีอยู่ในดินหรือบอกปริมาณน้ำที่จะสามารถดูดออกจากดินได้ แต่จะบอกถึงความยากง่ายที่พืชจะดูดน้ำจากดินไปใช้ได้ เพราะปริมาณน้ำในดินจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินและโครงสร้างของดิน

ชนิดของน้ำในดิน หลังจากที่ทราบว่าน้ำอยู่ในดินได้อย่างไรแล้ว แต่ถ้าหากน้ำเข้าไปแทนที่อากาศจนเต็มทุกช่องว่าง เราถือว่าดินนั้นเป็นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือ "อิ่มน้ำ" และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนั้นทั้งหมดจะเป็นปริมาตรสูงสุดที่ดินจะกักเก็บเอาไว้ได้ถ้าไม่มีแรงจากภายนอกมากระทำ เราสามารถแบ่งชนิดของน้ำตามความสามารถของดินยึดน้ำไว้ได้ 3 ชนิดตามระดับของน้ำที่ถูกดินดูดยึดไว้ตั้งแต่ชั้นนอกเข้าไปถึงชั้นในที่ติดกับเม็ดดินคือ

1) น้ำอิสระ (gravitational water หรือ free water) เนื่องจากว่าสสารทุกอย่างที่อยู่บนผิวโลกจะถูกแรงดึงดูดของโลกกระทำอยู่ตลอดเวลา รวมทั้งน้ำที่ขังอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วย ในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำที่ขังอยู่ตรงกลางของช่องว่างกับเม็ดดิน จะน้อยกว่าช่องว่างที่มีขนาดเล็กถ้าผลรวมของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำต่อน้ำ และน้ำต่อดินน้อยกว่าแรงดึงดูดของโลก (หรือน้ำที่ได้รับแรงเหนี่ยวรั้งจากอนุภาคดินน้อยมาก) น้ำก็จะไหลสู่ที่ต่ำกว่าน้ำที่ไหล ด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้ เรียกว่า "น้ำอิสระ" น้ำชนิดนี้ ถ้าหากอยู่ในดินนานนอกจากจะเป็นอันตรายต่อพืชกล่าวคือ จะทำให้พืชขาดอากาศสำหรับหายใจจึงต้องหาทางระบายออกแล้วยังจะเป็นตัวการชะล้างแร่ธาตุอาหารพืชให้สูญเสียไปจากดิน

2) น้ำซับ (capillary water) เป็นน้ำที่เกิดขึ้นในสภาพที่เมื่อฝนตกหรือหยุดให้น้ำแก่พืช น้ำถูกระบายสู่ส่วนล่างซึ่งใช้เวลาประมาณ 24–48 ชั่วโมง ในลักษณะนี้ ความหนาแน่นของน้ำที่เกาะยึดอนุภาคดินจะถูกยึดด้วยดินเต็มแต่เพียงช่องว่างขนาดเล็กด้วยแรงดูดซับที่สูงมากพอที่จะต่อต้านแรงฉุดของแรงดึงดูดของโลกกระทำได้พอดี ซึ่งความชื้นของน้ำซับนี้อนุภาคดินมีแรงดึงต่อน้ำประมาณ 1/3 บาร์ และเรียกความชื้นในขณะนี้ว่า ความชื้นชลประทาน หรือความจุความชื้นในสนาม

(field capacity) ส่วนน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะถูกแรงฉุดของแรงดึงดูดของโลกให้ไหลซึมออกไป และจะมีอากาศเข้าทดแทนเพื่อพืชสามารถใช้ประโยชน์ในการหายใจ

3) น้ำเยื่อ (hygroscopic water) เป็นน้ำที่เกาะติดหรือชิดกับอนุภาคของผิวดิน และปรากฏในชั้นที่บางมากที่พืชไม่สามารถนำมาใช้ได้แรงดูดยึดอนุภาคของดินมีประมาณ 31 บาร์

แม้ว่าการแบ่งขอบเขตของชั้นระหว่างน้ำในดินทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมานี้ไม่มีกำหนดที่แน่นอน เพราะแต่ละชั้นขึ้นอยู่กับเนื้อดิน โครงสร้างของดิน อินทรียวัตถุในดิน อุณหภูมิ และความลึกเนื้อดิน อย่างไรก็ตามระดับของน้ำในชั้นต่าง ๆ นั้นอาจเขียนแทนได้ในรูปที่ 4

ระดับความชื้นที่สำคัญของดิน จากชนิดของน้ำในดินดังที่กล่าวสามารถนำมาพิจารณาระดับความชื้นที่สำคัญภายในดินตามลักษณะของน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เพื่อประโยชน์ในการกำหนดหรือคำนวณหาปริมาณน้ำในดินที่ระดับความชื้นต่าง ๆ คือ

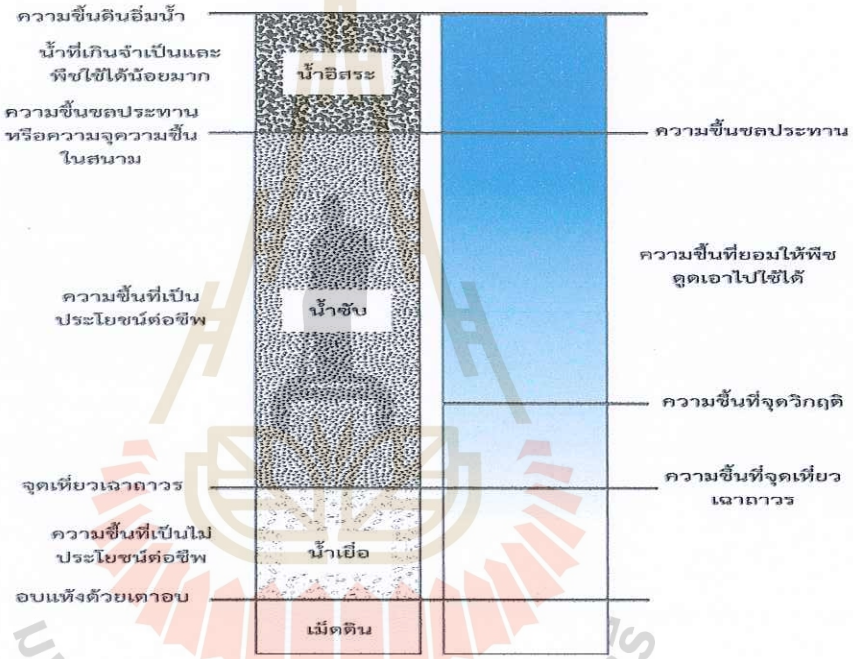
1) จุดความชื้นอิ่มน้ำหรือจุดความชื้นเมื่อดินอิ่มน้ำ (water saturated) เป็นชั้นของน้ำในดินที่เกิดขึ้นเมื่อปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ดดินทั้งหมดถูกแทนที่ด้วยน้ำอาจจะมีอากาศอยู่บ้างในช่องว่างขนาดเล็กๆ แต่ก็มีปริมาณน้อยมาก ถ้าดินมีความสามารถในการระบายน้ำได้ดีแล้วปริมาณน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ก็จะเคลื่อนที่ลงไปข้างล่าง เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกภายในเวลาไม่มากนัก

2) ความชื้นชลประทานหรือความจุความชื้นในสนาม (field capacity) หมายถึงความชื้นของดินที่เหลือในดินหลังจากที่น้ำเคลื่อนไหวอิสระได้ถูกระบายออกไปจากช่องว่างขนาดใหญ่หมดแล้วหรือเป็นปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินสามารถอุ้มความต้านทางแรงดึงดูดของโลก ในสภาพเช่นนี้ช่องว่างขนาดเล็กจะมีน้ำอยู่เต็มแต่มีอากาศอยู่เต็มช่องว่างขนาดใหญ่ เช่น ปริมาณความชื้นหลังจากที่ฝนตกหนักหรือหยุดให้น้ำแล้ว 2–3 วันเป็นความชื้นชลประทานหรือที่ความจุความชื้นในสนาม โดยทั่วไปแล้วแรงดึงดูดความชื้นที่จุดความชื้นชลประทานมีค่า 1/3 บรรยากาศ แต่ค่านี้เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะเนื้อดิน เช่น ดินเนื้อหยาบจะมีค่าแรงดึงความชื้นประมาณ 1/10 บรรยากาศ และดินเหนียวหรือดินค่อนข้างเหนียวมีค่าประมาณ 0.6 บรรยากาศ ระดับความชื้นชลประทานนี้ถือว่า เป็นระดับสูงสุดของความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available water) กล่าวคือพืชสามารถดูดกินความชื้นในระดับนี้ได้ และความชื้นระดับนี้ก็อยู่ในดินได้นานพอที่ให้พืชดูดกิน เพราะระดับความชื้นที่สูงกว่านี้ เช่น น้ำอิสระ รากพืชมีโอกาสดูดน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยมากจนไม่ถือว่าเป็นประโยชน์ต่อพืชเนื่องจากระบายไปจากดินในบริเวณที่มีรากพืชได้เร็ว

3) จุดเหี่ยวเฉาถาวร (permanent wilting point) คือ ความชื้นในดินเมื่อพืชไม่สามารถดูดมาใช้ให้เพียงพอสำหรับการคายน้ำและพืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรเรียกว่าความชื้นที่ “จุดเหี่ยวเฉาถาวร” ระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรนี้ถือว่าเป็นพิกัดล่างสุดของความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยทั่วไปแล้วค่านิยมใช้เป็นค่าประมาณของจุดเหี่ยวเฉาถาวรที่แรงดึงความชื้นเท่ากับ 15 บรรยากาศ อาการเหี่ยวเฉาของพืชอาจเกิดขึ้นได้หลายครั้งเรียกว่าเหี่ยวเฉาชั่วคราวก่อนที่จะถึงจุดที่

พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร เช่น การสูญเสียน้ำโดยการคายออกและเมื่ออัตราการที่พืชดูดน้ำจากดินน้อยกว่าที่คายออกทางใบ การที่จะทราบว่ามีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรเมื่อนำพืชที่เฉานั้นไปไว้ในห้องที่มีอากาศเย็น หรือบรรยากาศรอบ ๆ ต้นพืชอิ่มตัวด้วยไอน้ำคือมีความชื้นสัมพันธ์ของอากาศประมาณ 100% เป็นเวลาอย่างน้อย 15 ชั่วโมงแล้วพืชนั้นยังไม่สดชื้น

4) ความชื้นเมื่ออบแห้ง หมายถึงปริมาณความชื้นในดินภายหลังถูกอบไว้ที่อุณหภูมิ 105–110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 ชั่วโมง จนกระทั่งไม่มีน้ำระเหยออกจากดิน ซึ่งถือว่าดินในสภาพนี้มีแรงดึงความชื้น 10,000 บรรยากาศขึ้นไป และนิยมใช้น้ำหนักดินอบแห้งเป็นหลักสำหรับคำนวณหาค่าต่าง ๆ



รูปที่ 4 น้ำในดินและระดับความชื้นของดินที่จุดต่างๆ และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช (ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน หมายถึงความสามารถที่ดินสามารถเก็บน้ำหรืออุ้มน้ำไว้ให้แก่พืชดูดกินคือน้ำหรือความชื้นที่อยู่ระหว่างระดับความชื้นในดินที่ความชื้นชลประทานกับจุดเหี่ยวเฉาถาวร หรือความชื้นในสภาพที่ดินถูกยึดไว้ด้วยแรงดึงความชื้นตั้งแต่ 1/3 บรรยากาศ ถึง 15 บรรยากาศ เป็นความชื้นที่เป็นประโยชน์ในปริมาณสูงสุดของความชื้นที่ดินชนิดหนึ่ง ๆ สามารถดูดยึดไว้เป็นประโยชน์ต่อพืช นั่นคือ

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน = ความชื้นในดินที่ความชื้นชลประทาน – จุดเหี่ยวเฉาถาวร

แม้ว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามลักษณะโครงสร้างและลักษณะของเนื้อดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือขนาดและปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (ตารางที่ 3)

ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้นี้มักจะวัดเป็นเปอร์เซ็นโดยน้ำหนักของดินแห้ง เปอร์เซ็นโดยปริมาตร หรือเป็นความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน เช่น ดินร่วนปนทรายมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 1.20 มิลลิเมตรต่อความลึกดิน 1 เซนติเมตร เป็นต้น เช่นถ้าปลูกพืชมีรากลึก 1.0 เมตร ดินจะสามารถอุ้มน้ำไว้ให้พืชใช้ได้ทั้งหมด 1x120 = 120 มิลลิเมตร นั่นคือจำนวนน้ำหรือความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 1 เมตร เป็นต้น

ค่าของความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ให้แก่พืชดูดกิน อาจแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย เนื่องจากความสามารถในการอุ้มน้ำของดินแตกต่างกันไปตามลักษณะโครงสร้างและลักษณะของเนื้อดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ ขนาดและปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (ตารางที่ 4)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของดินที่เกี่ยวกับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้หรือความชื้นที่อยู่ระหว่างระดับความชื้นชลประทานกับจุดเหี่ยวเฉาถาวร (ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545)

เนื้อดิน	ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (As)	ความชื้นชลประทาน (% นน.ดินแห้ง) (Fc)	ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (% นน. ดินแห้ง) (Pw)	ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (% นน.ดินแห้ง) (Aw) Aw=Fc-Pw	ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (% โดยปริมาตร) (Pv) Pv=Aw x As	ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (มิลลิเมตรต่อเซนติเมตร) (D) D=(Aw x As x B)/100
	(1)	(2)	(3)	(4)=(2)-(3)	(5)=(4)x(1)	(6)=(4)x(1)xB/100
1.ดินทราย	1.65* (1.55-1.80)**	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10)	0.8 (0.6-1.0)
2.ดินร่วนปนทราย	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	1.2 (0.9-1.5)
3.ดินร่วน	1.40 (1.35-1.50	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	1.7 (1.4-2.0)
4.ดินร่วนปนดินเหนียว	1.35 (1.30-1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	1.9 (1.6-2.2)
5.ดินเหนียวปนตะกอน	1.30 (1.25-1.35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	21 (18-23)	2.1 (1.8-2.3)
6. ดินเหนียว	1.25 (1.20-1.30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	23 (20-35)	2.3 (2.0-3.5)

หมายเหตุ : (1) = ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (AS) (2) = ความชื้นชลประทาน % นน.ดินแห้ง (FC) (3) = ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร % นน. ดินแห้ง (Pw) (4) = ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ % นน. ดินแห้ง (Aw) (5) = ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ % นน. โดยปริมาตร (Pv) (6) = ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ มิลลิเมตรต่อเซนติเมตร (D) B = ความลึกดินที่ 10 มม. * = ค่าเฉลี่ยของแต่ละค่า ** = ช่วงของค่าแต่ละค่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทั้งหมดส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และใช้ไม่ได้ของดินชนิดต่าง ๆ

เนื้อดิน	ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (มม.น้ำ /ซม.ดิน)		
	รวมทั้งหมด	พืชนำเอาไปใช้ได้	พืชใช้ไม่ได้
(1)	(2)	(3)	(4)
1.ดินทราย	0.65–1.50	0.35–0.85	0.30–0.65
2.ดินร่วนปนทราย	1.50–2.30	0.75–1.15	0.75–1.00
3.ดินร่วน	2.30–3.40	1.15–1.70	1.15–1.50
4.ดินร่วนปนตะกอนทราย	3.4–4.00	1.70–2.00	1.70–2.00
5.ดินร่วนปนดินเหนียวปนตะกอนทราย	3.60–4.15	1.50–1.80	2.10–2.35
6.ดินเหนียว	3.80–4.15	1.50–1.60	2.30–2.55

ที่มา : ดิเรก ทองอร่าม และคณะ (2545)

ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จากความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่กล่าวผ่านมาน้ำในรูปของความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ที่พืชสามารถดูดเอาไปใช้สำหรับการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำซับ ซึ่งเป็นความชื้นหรือความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ของดินที่อยู่ระหว่างความชื้นชลประทานกับจุดเหี่ยวเฉานั้น เรียกว่า ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช พืชไม่สามารถใช้ความชื้นที่ดินอุ้มไว้ได้นี้ทั้งหมดเพราะเมื่อระดับความชื้นในดินถูกพืชใช้จนเหลือน้อยมากใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวรแล้วพืชอาจได้รับความเสียหายได้เพราะความชื้นในช่วงนี้จะถูกดินยึดเอาไว้มากจนรากพืชไม่สามารถดูดมาใช้ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการให้น้ำเมื่อความชื้นในดินลดลงใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวรซึ่งเรื่องนี้เป็นเรื่องที่สำคัญต่อการตัดสินใจในการกำหนดการให้น้ำแก่พืชมาก ซึ่งโดยทั่วไป จะยอมให้ความชื้นในดินลดลงประมาณ 40 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ของความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ซึ่งความชื้นในดินที่ยอมให้ลดลงก่อนทำการให้น้ำครั้งต่อไปเรียกว่า "ความชื้นที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้" ส่วนความชื้นที่เหลือในดินหลังจากที่พืชดูดเอาความชื้นที่ยอมให้ดูดไปใช้ได้หมดแล้วคือ "ความชื้นที่จุดวิกฤติ"

น้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสรีรวิทยาและกระบวนการทางชีวเคมีในพืชทั้งในด้านการสร้างพลังงานของพืช เช่น การสังเคราะห์แสงโดยที่น้ำเป็นวัตถุดิบอย่างหนึ่งในการสังเคราะห์แสงของพืช การจัดการอาหารในพืชอันได้แก่ การดูดน้ำและธาตุอาหาร การลำเลียงภายในพืช นอกจากนี้ น้ำยังมีส่วนสำคัญต่อการขับถ่ายหรือการสูญเสียน้ำไปจากพืชอันได้แก่การคายน้ำเป็นส่วนใหญ่อีกด้วย โดยทั่วไปพืชประกอบด้วยประมาณร้อยละ 80 โดยน้ำหนักสด พืชอวบน้ำจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบสูงถึงร้อยละ 90-95 ปริมาณน้ำจะแตกต่างกันไปตามชนิด อายุ และส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ราก ลำต้น ใบ ผล และเมล็ด นอกจากนี้ น้ำมีบทบาท

ที่สำคัญต่อการจัดการผลิตพืชให้ได้ในเวลาปริมาณและคุณภาพตามที่ต้องการ เช่น ในการปลูกพืชนั้น หากมีการจัดการเรื่องน้ำที่ดีจะสามารถควบคุมหรือชักนำการออกดอกออกผลทั้งในและนอกฤดูกาลเพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิ์ภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปลูกไม้ผลต่าง ๆ เช่น มะม่วง มะนาว ส้ม น้อยหน่า เป็นต้น

การตรวจสอบความชื้นในดิน การที่รู้ว่าความชื้นในดินถึงจุดวิกฤติหรือยังนั้น จะต้องมีการตรวจวัดความชื้นในดินที่เขตรากพืช เพื่อประเมินหาระดับความชื้นในดินว่ามีอยู่เท่าใด และจะต้องทำการส่งน้ำเพิ่มเป็นปริมาณเท่าใด จึงจะทำให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้นถึงจุดชลประทาน (ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545) สำหรับแนวคิดในการตรวจสอบความชื้นที่ความชื้นชลประทาน (หรือความจุความชื้นในสนาม) และจุดเหี่ยวถาวรซึ่งเป็นระดับของความชื้นที่มีน้ำอยู่ในดินและใช้เป็นหลักเกณฑ์สำหรับการกำหนดการให้น้ำแก่พืชนั้น สามารถหาค่าความชื้นทั้ง 2 ระดับได้จากหลักการที่ว่า ความจุความชื้นในสนามมีแรงดึงความชื้น 1/3 บรรยากาศและจุดเหี่ยวเฉาถาวรมีแรงดึงความชื้น 15 บรรยากาศ โดยใช้เครื่องแยกความชื้นออกจากดิน (soil moisture extractor) หลักการประเมินความชื้นในเขตรากมีอยู่ 3 วิธีที่นิยมใช้ คือ

1) การวัดความชื้นในดินด้วยการชั่งน้ำหนัก วิธีนี้เป็นวิธีวัดโดยตรงและเป็นวิธีที่ให้ข้อมูลถูกต้องที่สุด โดยการเก็บตัวอย่างดินที่จุดต่างๆ ในพื้นที่เพาะปลูกมาชั่งแล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักดินไม่เปลี่ยนแปลง

2) การวัดความชื้นในดินโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เครื่องมือการวัดความชื้นมีหลายแบบ ซึ่งสามารถแบ่งตามคุณสมบัติที่ทำการวัด หรือวิธีการวัดดังนี้

แบบวัดแรงดึงความชื้นของดิน (tensiometer) โดยให้แรงดึงความชื้นของผิวดินนี้อยู่ในสภาวะสมดุลกับน้ำที่บรรจุอยู่ในกระเปาะพรุน ซึ่งเมื่อรู้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นของดินและจำนวนความชื้นในดินตรงบริเวณจุดที่ติดตั้งเครื่องมือก็จะทราบค่าจำนวนความชื้นในดิน ณ จุดนั้นได้ tensiometer ใช้ในการวัดความชื้นได้กับดินที่มีความชื้นค่อนข้างสูง คือ -0.8 บาร์ขึ้นไป เพราะถ้าหากใช้กับดินที่แห้งกว่านี้ อากาศในดินจะซึมเข้าไปในอุปกรณ์ทางกระเปาะพรุนทำให้อ่านค่าไม่ได้

แบบวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุพรุน หรือแท่งวัดความชื้น (moisture block) คุณสมบัติทางไฟฟ้าส่วนมากจะเป็นความต้านทาน ดังนั้นเครื่องมือนี้จะประกอบด้วยตัววัดความต้านทาน และก้อนความต้านทานที่มีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว เพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าที่จุดวัด เมื่อกระแสไฟผ่านดินที่มีความชื้นจะเกิดความต้านทาน ซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้นเวลานั้น เครื่องวัดนี้เหมาะสมในการใช้กับดินที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำ แต่ไม่ต่ำเกินไปเพราะเครื่องจะสามารถวัดและแสดงค่าได้

แบบวัดการกระจายของนิวตรอน (neutron moisture meter) หลักการการทำงานคือ เมื่อนิวตรอนเร็ว (fast neutron) วิ่งไปกระทบนิวเครียสของไฮโดรเจนอะตอมจะเกิดการสูญเสียพลังงาน

และกลายเป็นนิวตรอนช้า (slow neutron) นั้นแปลว่าเมื่อส่งนิวตรอนเร็วออกไปกระทบกับน้ำที่มีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบจะทำให้ความเร็วของนิวตรอนสะท้อนกลับมายังเครื่องวัดลดลง จำนวนนิวตรอนช้าที่สะท้อนกลับมาสามารถวัด และเทียบเป็นความชื้นในดินได้

3) การวัดความชื้นในดินโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัส การตรวจวัดด้วยวิธีนี้ ผู้ตรวจวัดต้องมีความคุ้นเคยกับสภาพดินแต่ละชนิดที่มีความชื้นแตกต่างกันถึงจะได้ข้อมูลที่ดีพอ แม้การประเมินนี้ไม่ถูกต้องนัก แต่ถ้าผู้ประเมินมีความเชี่ยวชาญก็จะสามารถกำหนดการให้น้ำแก่พืชได้ถูกต้องพอสมควร

2.2.3 คุณสมบัติของพืชที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (evapotranspiration หรือ consumptive Usc) หรือมีชื่อเรียกอย่างอื่นอีกว่า การคายระเหยน้ำหรือการระเหยคายน้ำ ซึ่งคำต่าง ๆ เหล่านี้ มีความหมายเหมือนกันคือ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียไปจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ซึ่งประมาณดังกล่าวประกอบด้วย

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (evapotranspiration) = การระเหย (evaporation) + การคายน้ำ(transpiration)

1) การระเหย (evaporation) คือปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบ ๆ ต้นพืช จากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่ และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบพืช

2) การคายน้ำ (transpiration) คือปริมาณน้ำที่พืชนำไปใช้จริง ๆ โดยการดูดไปจากดินเพื่อนำไปใช้ล่อเลี้ยงลำต้นและส่วนต่าง ๆ ของพืช รวมทั้งการละลายแร่ธาตุอาหารในดินขึ้นไปบำรุงส่วนต่าง ๆ ของพืชแล้วคายออกทางใบสู่บรรยากาศ

ตัวแปรภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพดิน พืช สภาพภูมิอากาศรอบๆ ต้น และการจัดการเพาะปลูก เป็นต้น

1) สภาพดิน เช่น ดินทรายมีความสามารถในการเก็บกักน้ำได้น้อยกว่าดินเหนียว

2) พืช เช่น พืชต่างชนิด อายุ ระยะการเจริญเติบโต ย่อมต้องการใช้น้ำต่างกัน

3) สภาพภูมิอากาศรอบ ๆ ต้นพืช เช่น รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และลมเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลทำให้การใช้น้ำของพืชต่างกัน

4) การจัดการเพาะปลูก เช่น การเขตกรรมต่าง ๆ มีอิทธิพลทำให้การใช้น้ำของพืชต่างกันด้วย

ตัวแปรภายในที่มีอิทธิพลต่อการใช้น้ำของพืช การใช้น้ำของพืชจะมากหรือน้อย นอกจากขึ้นกับสภาพแวดล้อมแล้วยังขึ้นกับพืชด้วย

1) ปริมาณการใช้น้ำสูงสุดของพืชแต่ละวัน เป็นปริมาณการใช้น้ำสูงสุดของพืชเฉลี่ยต่อวันในระยะเวลาของการให้น้ำในฤดูการเจริญเติบโตของพืช ปกติจะอยู่ในช่วงที่พืชเริ่มมีผลผลิตและในเวลาที่มีอุณหภูมิสูง

2) ความลึกของรากพืช การแผ่กระจายหรือความลึกของรากพืชเป็นข้อมูลที่สำคัญยิ่งในการกำหนดปริมาณน้ำ ที่จะส่งให้แก่พืช ทั้งนี้เพราะตามหลักการจัดการเรื่องน้ำแล้วจะส่งน้ำให้แก่พืชไม่เกินความลึกของบริเวณรากพืช ลักษณะการแผ่กระจายของรากพืชแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ชนิดและความลึกของดิน ฤดูการเพาะปลูก ตลอดจนปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชในแต่ละครั้ง ซึ่งปกติทั่วไปรากพืชจะไม่งอกออกไปในดินที่มีความชื้นต่ำกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวร และรากจะไม่ขยายตัวต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน เพราะมีออกซิเจนและอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย ส่วนใหญ่แล้วจะมีรากลึกไม่เกิน 2 เมตร

3) การดูดน้ำจากดินในชั้นต่าง ๆ ของพืช ถ้าหากดินมีเนื้อดินอย่างสม่ำเสมอ และมีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ตลอดความลึกของรากพืชแล้ว พืชก็จะใช้น้ำจากตอนบนของเขตรากอย่างรวดเร็ว ส่วนในตอนล่างนั้นพืชจะดูดน้ำไปใช้ช้ากว่ามาก ถ้าแบ่งความลึกของเขตรากออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน ประมาณ 40% ของความชื้นที่พืชใช้ทั้งหมดมาจากชั้นดินแรกนับจากผิวดินลงมา 30% จากชั้นที่สอง 20% จากดินชั้นที่สาม และ 10% จากดินชั้นที่สี่ ตามลำดับ

2.3 การให้น้ำแก่พืช

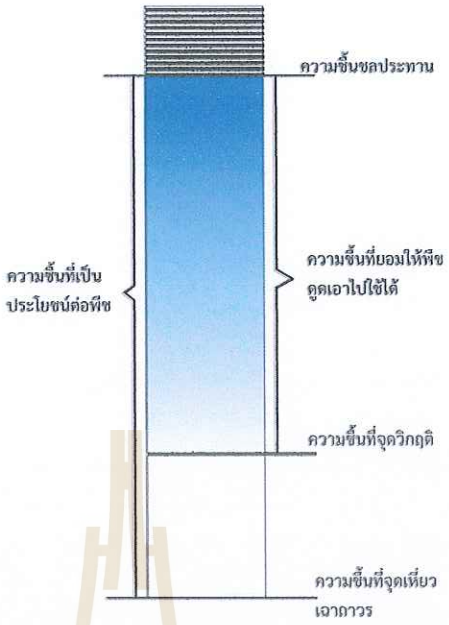
2.3.1 หลักการใช้น้ำของพืช การใช้น้ำของพืชนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และระยะการเจริญเติบโต โดยปกติแล้วพืชมีการใช้น้ำน้อยที่สุดเมื่อเริ่มเพาะปลูกและจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมากที่สุด เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ออกดอกออกผลและค่อย ๆ ลดลงเมื่อผลแก่และถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยว ซึ่งแบ่งการเจริญเติบโตของพืชออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแตกใบ ช่วงออกดอก และช่วงออกผล สำหรับช่วงแตกใบยังแบ่งออกเป็น 2 ช่วงย่อยคือ เมื่อพืชยังอ่อนอยู่ และเมื่อพืชมีการแตกกิ่งก้านอย่างเต็มที่แล้ว ส่วนช่วงออกดอก และช่วงออกผลแบ่งออกเป็น 2 ช่วงย่อยได้เช่นเดียวกันคือ ช่วงที่ผลหรือเมล็ดยังสดอยู่ และช่วงที่เมล็ดหรือผลเริ่มแห้ง

การใช้น้ำในขณะที่พืชยังเล็กอยู่นั้นใช้ปริมาณน้ำค่อนข้างน้อย ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่จะมาจากการระเหยจากผิวดิน เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่ในระยะหลังของช่วงแตกใบและในช่วงออกดอกพืชจะมีการใช้น้ำเพิ่มขึ้นในช่วงออกผลการใช้น้ำของพืชจะลดลงเพราะพืชมีการเจริญเติบโตน้อยลงแต่จะลดไม่มากนักในระยะที่ผลยังสดอยู่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช แต่การใช้น้ำจะลดลงมากในช่วงผลแห้ง

2.3.2 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช การกำหนดการให้น้ำแก่พืชเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง การชลประทานมีผลกระทบโดยตรงต่อการปลูกพืชให้เจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูง

ตลอดจนเพื่อให้ได้ประโยชน์จากน้ำชลประทานอย่างเต็มที่ การที่จะกำหนดการให้น้ำให้ถูกต้องเหมาะสม จำเป็นที่จะต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดิน-น้ำ-พืช เป็นอย่างดี เรื่องดินจำเป็นที่จะต้องรู้คุณสมบัติของดินในแปลงเพาะปลูกเกี่ยวกับขีดความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ของดิน ความชื้นในดินที่จะยอมให้พืชดูดเอาไปใช้ได้ ลักษณะการดูดซึมน้ำของดินความสามารถในการระบายน้ำของดิน และคุณภาพน้ำชลประทานตลอดจนรอบเวรในการส่งน้ำชลประทาน คุณสมบัติบางประการของพืช เช่น การใช้น้ำของพืช ความสามารถในการทนแล้ง และระยะวิกฤติของพืช การชลประทานขึ้นอยู่กับผู้ที่ทำหน้าที่ในการกำหนดการให้น้ำแก่พืช ซึ่งการกำหนดการให้น้ำที่ไม่เหมาะสม นอกจากจะก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์แล้ว ยังก่อให้เกิดผลเสียหายแก่พืชและผลผลิตตลอดจนอาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำตามมาอีกด้วย เมื่อไรจึงควรทำการให้น้ำและต้องให้เป็นปริมาณเท่าใด ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการกำหนดการให้น้ำแก่พืช หรือการชลประทาน รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช คือการให้น้ำเพื่อควบคุมความชื้นในดินในเขตรากพืชให้อยู่ในช่วงระหว่างจุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) กับความชื้นชลประทาน (FC) การให้น้ำแก่พืชจะเริ่มทำเมื่อความชื้นในดินลดลงใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวรส่วนจะให้ลดลงใกล้มากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความสามารถในการทนแล้งของพืช และสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการใช้น้ำของพืช โดยทั่ว ๆ ไปจะยอมให้ความชื้นในดินลดลง 50-75 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ ซึ่งความชื้นในดินที่ยอมให้ลดลงก่อนทำการให้น้ำครั้งต่อไป เรียกว่า ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ (allowable soil moisture deficiency หรือ allowable depletion) ส่วนความชื้นที่เหลือในดินหลังจากที่พืชดูดเอาความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ไปหมดแล้ว คือความชื้นที่จุดวิกฤติ (critical moisture level หรือ critical point)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช
(ที่มา : ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545)

จากรูปที่ 5 สรุปได้ว่า การให้น้ำแก่พืชต้องเริ่มทำเมื่อความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤติ และปริมาณน้ำที่ให้ต้องมากพอที่จะเพิ่มความชื้นในดินให้ถึงความชื้นชลประทาน ซึ่งถ้าหากทำการให้น้ำไม่ทันจนทำให้ความชื้นในดินลดต่ำลงกว่าความชื้นที่จุดวิกฤติ ส่งผลกระทบกระเทือนต่อผลผลิตของพืชทำให้เกิดการเหี่ยวเฉา ผลผลิตและคุณภาพลดลง แต่การที่จะทราบว่าความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤติ ต้องมีการตรวจวัดความชื้นในดินในเขตรากพืช ซึ่งมีทางทำได้ 3 วิธีคือ การวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนัก การวัดความชื้นโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัส และวิธีสุดท้ายคือการวัดความชื้นในดินโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้มีค่าอยู่ระหว่างความชื้นชลประทานถึงความชื้นที่จุดวิกฤติจะเปลี่ยนไปตามชนิดและลักษณะของดิน

2.3.3 การให้น้ำแบบประหยัด (micro irrigation) เป็นการให้น้ำแบบฉีดฝอย น้ำเหวี่ยง และน้ำหยดที่ใช้แรงดันต่ำ มีอัตราการกระจ่ายน้ำต่ำ มีประสิ ทธิภาพการใช้น้ำสูง หัวจ่ายน้ำจะเป็นแบบ minisprinkler, microsprinkler microjet, microspray, mistspray และการให้น้ำแบบหยด (drip irrigation) เป็นการให้น้ำครั้งละน้อย ๆ แต่บ่อยครั้งด้วยอัตราการให้น้ำที่ต่ำไม่ครอบคลุมเต็มพื้นที่เขตรากทั้งหมด ปริมาณของดินเปียกอยู่ในวงจำกัด และไม่มีการซ้อนทับ (overlap) ดังนั้น การให้น้ำจะใช้ปริมาณพื้นที่น้อย และมีโอกาสสูญเสียน้ำน้อยมาก (ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545) การให้น้ำ

วิธีนี้เหมาะสำหรับไม้ยืนต้น เช่น ไม้ผลต่าง ๆ พืชผักและพืชไร่ สำหรับไม้ยืนต้นหัวฉีดที่เหมาะสมจะเป็นแบบ minisprinkler และ microsprinkler ซึ่งจะมีการควบคุมการกระจายของน้ำคลุมพื้นที่เขตรากระหว่าง 60-80% และอัตราการกระจายน้ำ ต้องไม่เกินความสามารถในการซึมซับน้ำของดิน สำหรับพืชไร่ และพืชผัก ระบบการให้น้ำที่เหมาะสมเป็นแบบหัวน้ำหยด โดยมีหลักการ คือให้ความชื้นแก่ดินในรูปกรวยตัด แล้วให้รากพืชเจริญเติบโตอยู่ภายในกรวยความชื้นนั้น

การให้น้ำแบบหยด (drip or trickle irrigation) เป็นการให้น้ำแก่พืชเฉพาะในเขตรากพืช โดยมีการควบคุมปริมาณน้ำให้แก่พืชครั้งละน้อย ๆ แต่บ่อยครั้งอย่างสม่ำเสมอด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่าหัวจ่ายน้ำ (emitter) จุดมุ่งหมายสำคัญของการให้น้ำแบบนี้ก็เพื่อที่จะรักษาระดับความชื้นของดินบริเวณรากพืชให้อยู่ในระดับที่รากพืชดูดไปใช้ได้อย่างง่าย สร้างความเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์พอเหมาะ และเป็นไปตามความต้องการของพืช โดยมีคุณลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ 1) เป็นวิธีการให้น้ำด้วยอัตราทีละน้อย ๆ (น้อยกว่า 250 ลิตร/ชั่วโมง) 2) เป็นวิธีการให้น้ำที่ใช้เวลานาน (นานมากกว่า 30 นาที) 3) เป็นวิธีการให้น้ำช่วงบ่อยครั้ง (ไม่เกิน 3 วันครั้ง) 4) เป็นวิธีการให้น้ำโดยตรงในบริเวณเขตรากพืชหรือเขตพุ่มใบ (เปียกอย่างน้อย 60%) 5) เป็นวิธีการให้น้ำด้วยระบบท่อที่ใช้แรงดันต่ำ (แรงดันที่หัวจ่ายน้ำไม่เกิน 20 เมตร)

ข้อดีของระบบให้น้ำแบบหยด

1. ประหยัดน้ำมากกว่าทุก ๆ วิธี ไม่ว่ารดด้วยมือหรือใช้สปริกเกลอร์ หรือวิธีอื่นใดก็ตาม และแก้ปัญหาภาวะวิกฤตการขาดแคลนน้ำในบางฤดูการซึ่งเริ่มเกิดขึ้นในปัจจุบัน

2. ประหยัดต้นทุนในการบริหารจัดการ กล่าวคือลงทุนครั้งเดียวแต่ให้ผลคุ้มค่าในระยะยาว การติดตั้งอุปกรณ์ไม่ยุ่งยาก ติดตั้งครั้งเดียวสามารถใช้งานได้หลายปี สามารถควบคุมการเปิด-ปิดน้ำโดยใช้ระบบ manual และ automatic หรือ micro control โดยเฉพาะระบบตั้งเวลา และตรวจจับความชื้นทำให้ประหยัดค่าแรง โดยมีการรายงานการใช้แรงงานดูแล และบำรุงรักษาระบบในแปลงองุ่นที่รัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา พบว่าใช้แรงงาน 1 แรง ต่อพื้นที่ 50 เอเคอร์ (100 ไร่) ต่อวัน

3. ใช้ได้กับพื้นที่ทุกประเภท ไม่ว่าดินร่วน ดินทราย หรือดินเหนียว รวมทั้งดินเค็มและดินด่าง โดยน้ำหยดจะไม่ละลายเกลือมาตกค้างอยู่ที่ผิวดิน

4. สามารถใช้กับพืชได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นพืชที่ต้องการน้ำขัง

5. เหมาะสำหรับพื้นที่ขาดแคลนน้ำ ต้องการใช้อย่างประหยัด

6. ให้ประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงที่สุด 75-95% ซึ่งทำให้สูญเสียน้ำน้อย และเมื่อเทียบกับการปล่อยน้ำท่วมขังมีประสิทธิภาพเพียง 25-50% ส่วนในระบบสปริงเกลอร์แบบติดถาวรมีประสิทธิภาพ 70-80% และในระบบสปริงเกลอร์แบบเคลื่อนย้ายมีประสิทธิภาพ 65-75%

7. ประหยัดเวลาทำงาน ไม่ต้องค่อยเฝ้า ใช้เวลาไปทำงานอย่างอื่นได้เต็มที่ไปพร้อม ๆ กับการให้น้ำ

8. ลดการระบาดของศตรูพืชบางชนิดได้ดี เช่น โรคพืช และวัชพืช (Locascio, 2005)

9. ได้ผลผลิตสูงกว่าการใช้น้ำระบบชลประทานแบบอื่น ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพในขณะเดียวกันก็ประหยัดต้นทุนน้ำ ทำให้มีกำไรสูงกว่า (Locascio, 2005)

แต่เนื่องจากระบบการให้น้ำแบบน้ำหยดเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับเกษตรกรไทย จึงมีข้อจำกัดเรื่องต้นทุนในช่วงแรก การติดตั้งต้องอาศัยความรู้ความเชี่ยวชาญ และเกษตรกรต้องมีความรู้เรื่องปริมาณการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดที่ปลูก เช่นมันสำปะหลังมีความต้องการน้ำตลอดฤดูการปลูก 1,200-1,600 ลบ.ม./ไร่ หรือต้องมีความสูงของน้ำในดินที่ระดับ 75.0-100.0 ซม./ซม.ดิน (ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545) นอกจากนี้ เกษตรกรต้องมีการค้นคว้าหาแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ติดตั้ง และบริหารระบบ

2.3.4 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยตรงนั้นสามารถนำผลที่ได้รับนี้ไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงซึ่งอาจจะกระทำได้หลาย วิธีที่ใช้กันทั่วไปในงานทางด้านชลประทานมี 3 ลักษณะคือ การศึกษาจากจำนวนความชื้นในดิน การศึกษาจากแปลงทดลอง และการวัดจากถังวัดการใช้น้ำจากพืช (lysimeter) วิธีการเหล่านี้ให้ผลที่ถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง แต่มีข้อจำกัดคือ ต้องให้ข้อมูลที่ถูกต้องกับสภาพพื้นที่ที่ทำการตรวจวัดเท่านั้น ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลานานและแรงงานมาก นักวิทยาศาสตร์มีการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลจากภูมิอากาศ จึงได้วิธีที่เรียกว่า การใช้น้ำของพืชอ้างอิง หรือศักย์การใช้น้ำของพืช หรือศักย์การคายระเหยของน้ำ (potential evapotranspiration, ETp หรือ ET_0) ซึ่งหลักการนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศรอบๆ ต้นพืชเพียงอย่างเดียว ดิเรก ทองอร่าม และคณะ (2524) พบว่า วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมดีกว่าวิธีอื่น ๆ จึงได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากการคำนวณโดยวิธีการของ Penman ที่ปรับปรุงแล้ว โดยใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาในคาบ 25 ปี รวม 49 แห่ง และรวมทั้งค่า สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) ซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืชเพียงอย่างเดียว ค่าดังกล่าวได้จากการทดลองจริง ๆ ในสนาม เพื่อสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางทั่วประเทศ ดังนั้น เมื่อมีข้อมูลทั้ง การใช้น้ำอ้างอิงของพืช (ETp) และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$ETc = Kc \times ET_o$$

(ETc) = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (crop evapotranspiration, mm d^{-1})

Kc = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient)

ET_o = การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration, mm d^{-1})

จากสมการสามารถหาค่าความต้องการน้ำของแต่ละวันได้ ตัวอย่างเช่น

การใช้น้ำของพืชอ้างอิงเดือนมกราคมที่ จังหวัดนครราชสีมา = 3.86 มม./วัน

สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลังที่อายุ 1 เดือน = 0.30

ดังนั้น ปริมาณการใช้น้ำของมันสำปะหลัง = 3.86x0.30 = 1.158 มม./วัน

2.4 การตอบสนองของพืชต่อน้ำ

น้ำถือเป็นปัจจัยสำคัญมากที่สุดในการจำกัดผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสภาวะแล้งแบบไม่คาดหมายเนื่องจากฝนขาดช่วง หรือเกิดจากปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปรกติ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาการตอบสนองของพืชเศรษฐกิจต่อสภาวะขาดน้ำ เพื่อหาคำตอบว่าการจะให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรที่ดีนั้น ควรมีการให้น้ำแก่พืชมากแค่ไหนและควรให้บ่อยแค่ไหน นอกจากนี้ ก็ยังเป็นที่สนใจอีกด้วยว่าการหยุดให้น้ำพืชเป็นระยะเวลานานแค่ไหนจึงจะมีผลต่อผลผลิตของพืช ซึ่งนั่นก็คือปริมาณต้นทุนการผลิตว่าจะมากหรือน้อยเพียงใด มีงานวิจัยอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับการตอบสนองของพืชต่อสภาวะขาดน้ำ และมีการดำเนินการมาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าศตวรรษ มีผลการวิจัยตีพิมพ์หลายพันหรือถึงปัจจุบันนี้อาจมีเป็นหมื่นชิ้น (Theodore Hsiao, 1973) ได้รวบรวมผลงานวิจัยด้านนี้ และสรุปการตอบสนองของกระบวนการทางสรีรวิทยาหลายอย่างของพืชต่อสภาวะขาดน้ำ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเจริญเติบโตของเซลล์เป็นกระบวนการที่ไวต่อสภาวะขาดน้ำมากที่สุด Hsiao ได้ชี้แนะว่า การที่การเจริญเติบโตของเซลล์ไวต่อการขาดน้ำนี้เองอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้พบว่าการเจริญเติบโตของเซลล์พืชจะเกิดขึ้นในเวลากลางคืนซึ่งเป็นเวลาที่สภาวะขาดน้ำเกิดขึ้นน้อยที่สุด กระบวนการที่ไวต่อสภาวะขาดน้ำใกล้เคียงกัน คือการสร้างผนังเซลล์เป็นที่ทราบกันดีว่าขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตของเซลล์ การตอบสนองของการเจริญเติบโตของเซลล์ การสร้างผนังเซลล์ และการสร้างโปรตีนต่อสภาวะขาดน้ำมักพบในเนื้อเยื่อที่กำลังมีการเจริญเติบโตอย่างเร็ว

หลายการทดลองพบว่า สภาวะขาดน้ำมีผลทำให้พืชมีการตอบสนองและมีกลไกในการปรับตัวหลายด้านด้วยกันคือ

2.4.1 สภาวะขาดน้ำยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงภายในคลอโรพลาสต์ ผลของสภาวะแวดล้อมวิกฤติต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืชมีการศึกษาอย่างกว้างขวางและเป็นที่ทราบกันดีว่า สภาวะแวดล้อมวิกฤติทำให้อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของใบพืชและของต้นพืชลดลง (Reich and Amundson, 1985; Schulze, 1986) การยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพืชเนื่องจากการขาดน้ำอาจเป็นผลมาจากการรับคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศเข้าสู่คลอโรพลาสต์ลดลงเมื่อปากใบปิด การทำงานของ mesophyll ลดลง หรือเกิดจากทั้งสองอย่างรวมกัน แต่ผลดังกล่าวก็ไม่ชัดเจนเสมอไป เนื่องจากพอการทำงานของ mesophyll ลดลงปากใบก็มักจะปิด หรือในทางกลับกันเมื่อปากใบปิดก็ทำให้การทำงานของ mesophyll ลดลงถึงแม้ว่าจะยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่าทั้ง 2 ลักษณะนี้เกี่ยวพันกันอย่างไร แต่ก็ชัดเจนว่ามีความเกี่ยวพันกัน (Morison, 1987)

ในการตอบสนองของพืชต่อการขาดน้ำมักพบเสมอว่า มีการปิดของปากใบเกิดขึ้น ซึ่งชัดเจนว่าทำให้การคายน้ำลดลงและช่วยรักษาปริมาณน้ำในพืช ถึงแม้ว่าเหตุการณ์ดังกล่าวจะมีผลต่อสมดุลของพลังงานในพุ่มใบพืชและทำให้อุณหภูมิของพืชเพิ่มขึ้น (Tanner, 1963) การตอบสนองของพืชต่อการขาดน้ำที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในธรรมชาติในสภาพแปลงแตกต่างจากการตอบสนองต่อการขาดน้ำที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในการทดลองในสภาพแปลงพืช จะมีการปรับตัวกับสภาพขาดน้ำและยังเปิดปากใบระดับหนึ่ง ทำให้อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สูง และมีอุณหภูมิใบต่ำ (Jodan and Ritchie, 1971; McCree, 1974; Ludlow *et al.*, 1985) ไม่ใช่การลดลงของการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบ จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงเท่านั้น แต่การเจริญเติบโตที่ลดลงก็มีผลทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชทั้งต้นลดลงด้วยเช่นกัน เนื่องจากพืชมีอัตราการสร้างใบและการขยายขนาดของใบลดลง ทำให้มีพื้นที่ในการรับแสงน้อยลง นอกจากนี้การเปลี่ยนมุมของอวัยวะที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงที่มีผลมาจากการขาดน้ำ ก็อาจมีผลต่อการรับแสงและมีผลต่อเนื่องถึงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ยกตัวอย่างเช่น การม้วนใบของพืชตระกูลหญ้าในการตอบสนองต่อการขาดน้ำ หรือการเปลี่ยนมุมใบเนื่องจากการเหี่ยวของพืชใบเลี้ยงคู่ซึ่งจะลดการใช้น้ำ แต่มีผลกระทบต่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชเช่นกัน

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบมักจะไม่ไวต่อสภาวะขาดน้ำอ่อน ๆ มากเท่ากับการขยายขนาดของใบ สาเหตุก็เพราะการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อแรงเต่งน้อยกว่าการขยายขนาดของใบ แต่ในขณะเดียวกันมีหลักฐานว่าความเข้มของแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ภายในคลอโรพลาสต์ อาจมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงระหว่างการขาดน้ำเนื่องจากมันมีหน้าที่ในปฏิกิริยาควบคู่ระหว่างการส่งผ่านอิเล็กตรอนและการสร้างพลังงาน ATP การสังเคราะห์ด้วยแสงในคลอโรพลาสต์ที่แยกออกมาจะไวมากต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้น และเหตุการณ์คล้ายกันนี้ สามารถเกิดขึ้นในระหว่างที่เซลล์มีการหดตัวเนื่องจากการขาดน้ำ เมื่อปลูกทานตะวัน (heliantus annuus) ในสารละลายที่มีความ

เข้มข้นของแมกนีเซียมต่าง ๆ กัน (Rao *et al.*, 1987) พืชที่มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อต่ำกว่าจะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่าเมื่อใบขาดน้ำ

2.4.2 การลดพื้นที่ใบจากการขาดน้ำ ในการตอบสนองต่อสภาวะขาดน้ำในช่วงต้นจะเกิดจากเหตุการณ์ทางไบโอฟิสิกส์มากกว่าการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากการสูญเสียน้ำเมื่อปริมาณน้ำภายในพืชลดลง เซลล์มีการหดตัวและผนังเซลล์อ่อนตัวลง การลดปริมาณเซลล์ลงนี้ทำให้ hydrostatic pressure หรือแรงเต่ง (turgor) ลดลง เมื่อการสูญเสียน้ำดำเนินต่อไปและเซลล์ลดขนาดลงไปอีกจะทำให้สารละลายในเซลล์เข้มข้นขึ้น เยื่อหุ้มเซลล์จะหนาขึ้นอัดแน่นขึ้นและห่อหุ้มพื้นที่เล็กลง การสูญเสียความเต่งเป็นผลทางไบโอฟิสิกส์อันดับแรกที่เกิดจากการขาดน้ำ ดังนั้นสามารถคาดการณ์ได้ว่ากิจกรรมใด ๆ ที่ขึ้นอยู่กับความเต่งจะไวต่อการขาดน้ำที่สุด (Taiz and Zeiger, 1991)

การลดขนาดของเซลล์ (cell expansion) เป็นกระบวนการที่อาศัยแรงเต่ง และไวต่อสภาวะขาดน้ำอย่างยิ่ง การขยายขนาดของเซลล์สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$GR = m(P - Y)$$

เมื่อ GR คือ growth rate, P คือ turgor, Y คือ yield threshold (ระดับแรงดันที่ผนังเซลล์ต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพที่ไม่สามารถย้อนกลับได้) และ m คือ wall extensibility (การตอบสนองของผนังเซลล์ต่อแรงดัน) จากสมการแสดงให้เห็นว่า การลดลงของแรงเต่งทำให้การเจริญเติบโตลดลง อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้การเจริญเติบโตไวต่อการขาดน้ำมากก็เพราะ P ลดลงเท่ากับ Y ซึ่งทำให้การขยายขนาดหยุดลงได้แล้ว ไม่ต้องลดลงถึง 0 โดยปกติแล้วมักพบว่า Y มีค่าต่ำกว่า P แค่ 0.1–0.2 MPa เท่านั้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโตเกิดขึ้นในช่วงค่าของแรงดันที่แคบมาก การยับยั้งการขยายขนาดเซลล์ทำให้การขยายขนาดของใบเป็นไปอย่างช้า ๆ ในช่วงแรกที่สภาวะขาดน้ำเกิดขึ้น พื้นที่ใบเล็กลง การคายน้ำก็ลดน้อยลงไปด้วย ทำให้มีการรักษาระดับน้ำในดินไว้ใช้ในระยะเวลายาวนานขึ้น การจำกัดขนาดพื้นที่ใบถือเป็นการป้องกันตัวอย่างแรกต่อสภาวะแห้งแล้ง

เนื่องจากการขยายขนาดของใบเกือบทั้งหมดขึ้นอยู่กับการขยายขนาดของเซลล์ ดังนั้นหลักการของทั้ง 2 กระบวนการจึงคล้ายกันมาก การขาดน้ำในใบพืชไม่เพียงไปลดแรงเต่ง (P) เท่านั้น แต่ยังไปลด m และเพิ่ม Y ขึ้นด้วย ในพืชที่ไม่อยู่ภายใต้สภาวะขาดน้ำ ความสามารถในการขยายตัวของผนังเซลล์ (wall extensibility, m) จะเป็นไปได้สูงสุดเมื่อสารละลายในผนังเซลล์มีสภาพเป็นกรดอ่อน ๆ สภาวะขาดน้ำไปลด m โดยยับยั้งการเคลื่อนย้ายของ H^+ จากเซลล์ เข้าสู่ช่องว่างของผนังเซลล์ ทำให้ไม่เกิดการลดลงของ pH ซึ่งจำเป็นสำหรับการขยายตัวผลของสภาวะขาดน้ำต่อ Y ยังไม่เป็นที่เข้าใจชัดเจนเท่าไร แต่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ซับซ้อนของผนัง

เซลล์ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากเมื่อพ้นจากสภาวะขาดน้ำแล้ว จะสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ช้ามาก แตกต่างจากผลโดยตรงของแรงเต่งพืชที่ขาดน้ำมักจะคืนสภาพในเวลากลางคืน เป็นผลให้มีการเจริญเติบโตของใบมากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของ m และ Y อัตราการเจริญเติบโตจึงยังคงต่ำกว่าพืชที่ไม่ขาดน้ำถึงแม้จะมีแรงเต่งเท่ากัน สภาวะขาดน้ำไม่เพียงแต่จำกัดขนาดของแต่ละใบเท่านั้น แต่ยังจำกัดจำนวนของใบพืชที่เป็นพวก indeterminate ด้วย เนื่องจากสภาวะขาดน้ำทำให้จำนวนและอัตราการเจริญเติบโตของกิ่งน้อยลง

การขาดน้ำอาจกระตุ้นให้เกิดการหลุดร่วงของใบ พืชไม่สามารถรักษาพื้นที่ใบทั้งหมดให้คงที่ไว้ได้เมื่อใบทั้งหมดแก่เต็มที่ ถ้าพืชประสบกับสภาวะขาดน้ำเมื่อใบส่วนพัฒนาแล้ว ใบจะเริ่มเสื่อมสภาพและหลุดร่วงไป เมื่อพืชขาดน้ำมักพบว่าพื้นที่ใบลดลง การปรับพื้นที่ใบนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวที่มีความสำคัญต่อพืชในการจะปรับตัวให้เข้ากับกับสภาวะแวดล้อมที่มีน้ำจำกัด พืชทะเลทรายหลายชนิดที่มีการผลัดใบก็ถือว่าเป็นการตอบสนองต่อความแห้งแล้งแบบเดียวกัน โดยการผลัดใบทั้งหมดระหว่างแล้ง และแตกใบใหม่ขึ้นมาหลังจากได้รับฝน ลักษณะการตอบสนองนี้จะเกิดขึ้น 2 ครั้งหรือมากกว่านั้นใน 1 ฤดูกาล การร่วงของใบภายใต้สภาวะขาดน้ำนี้เป็นการตอบสนองต่อฮอร์โมน ethylene ที่มีการสร้างเพิ่มขึ้น

2.4.3 การกระจายของราก สภาวะขาดน้ำอ่อน ๆ มีผลต่อการพัฒนาของระบบราก ความสัมพันธ์ระหว่างรากและต้น (root–shoot relationships) ถูกควบคุมด้วยความสมดุลระหว่างการดูดน้ำของรากและการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้น ต้นจะเจริญเติบโตจนมีขนาดใหญ่มากจนทำให้การดูดน้ำของรากเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตในช่วงหลัง ในทางตรงกันข้ามรากจะเจริญเติบโตจนกระทั่งความต้องการอาหารจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นเท่ากับปริมาณอาหารที่ต้นมีให้สมดุลนี้ จะเปลี่ยนไปเมื่อปริมาณน้ำที่ให้มีน้อยลง เมื่อพืชดูดน้ำได้น้อยลง การขยายขนาดของใบจะได้รับผลกระทบอย่างรวดเร็ว ในขณะที่กิจกรรมในการสังเคราะห์ด้วยแสงจะได้รับผลกระทบน้อยกว่า การยับยั้งการขยายขนาดของใบไปลดการใช้คาร์บอนและพลังงานและอาหารที่พืชสร้างได้ส่วนใหญ่จะถูกส่งไปที่รากซึ่งจะเป็นตัวสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืชต่อไปในขณะเดียวกันปลายรากในดินที่ขาดน้ำจะสูญเสียแรงเต่ง และดินแห้งนั้นก็จะมีโครงสร้างที่แข็งขึ้น ปัจจัยเหล่านี้นำไปสู่การเจริญเติบโตของรากไปในส่วนของดินที่ยังมีความชื้นอยู่ ในขณะที่สภาวะขาดน้ำดำเนินต่อไป ดินชั้นบนมักจะแห้งก่อน ดังนั้น จึงมักจะพบว่า พืชมีระบบรากที่ตื้นเมื่อทุกส่วนของดินมีความชื้น แต่ระบบรากจะลึกเมื่อความชื้นในดินลดลง ดังนั้นการเจริญเติบโตของรากลึกลงไปยังชั้นดินที่มีความชื้นจึงถือเป็นกลไกที่สองของพืชในการต่อสู้กับความแห้งแล้ง

การเจริญเติบโตของรากลึกลงไปในชั้นดินที่มีความชื้นภายใต้สภาวะขาดน้ำ ขึ้นอยู่กับการลำเลียงอาหารไปยังปลายรากที่กำลังเจริญเติบโต โดยปกติแล้วผลมักจะเป็นส่วนของ sink ที่แย่ง

อาหารได้ดีกว่าราก ทำให้อาหารที่สร้างได้ถูกส่งไปยังผลมากกว่าราก จากเหตุผลดังกล่าว ทำให้การดูดน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเจริญเติบโตของราก จะเห็นได้ในพืชที่ติดผลแล้วไม่ชัดเจนเท่าในพืชที่อยู่ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น การแย่งอาหารระหว่างผลกับรากเป็นเหตุผลที่อธิบายความจริงที่ว่าโดยทั่วไปพืชมักจะไวต่อสภาวะขาดน้ำมากกว่าในช่วงเจริญพันธุ์ อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับรากพืชค่อนข้างจำกัดและน้อยมาก เนื่องจากเป็นส่วนของพืชที่ยากต่อการศึกษา เก็บข้อมูลหรือสังเกตอาการต่าง ๆ เพราะพืชส่วนใหญ่ จะมีรากที่อยู่ในส่วนใต้ดิน มีพืชไม่กี่ชนิดที่รากอยู่เหนือดิน เช่น กล้วยไม้ เป็นต้น จึงทำให้การศึกษารากพืชจึงมีน้อยเมื่อเทียบกับการศึกษาส่วนอื่น ๆ ของพืช ซึ่งถ้าสามารถทราบถึงระบบ การกระจายของรากพืชได้นั้น การจัดการด้านต่าง ๆ จะมีประสิทธิภาพอย่างมาก เช่น การให้น้ำแก่พืช การใส่ปุ๋ย เมื่อให้ในบริเวณที่มีรากมากการที่ต้นพืชสามารถนำไปใช้ก็มีประสิทธิภาพขึ้น ลดการสูญเสียน้ำ ปุ๋ยจากการระเหย ชะล้าง หรืออยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่ออยู่ในดิน อีกทั้งในการปลูก การใช้ทรัพยากร และพลังงานต่าง ๆ ที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างคุ้มค่า

ขั้นตอนการศึกษาการกระจายรากนั้น Coelho (1999) ได้ทำการศึกษารากของมะนาวที่ปลูกโดยใช้ระบบสปริงเกอร์ เก็บตัวอย่างที่ความลึก 1.2 เมตร ในระยะห่าง 2.5 เมตร ด้วยกระบอกเจาะดิน แล้วนำไปล้างน้ำเพื่อแยกรากออกจากดิน (Bohm, 1979) และจัดเรียงรากบนถาดใสแล้วสแกนด้วยความละเอียด 600 DPI ซึ่งจะได้รูปแบบดิจิตอล TIFF จากนั้นไปวิเคราะห์ด้วย rootedge software package (Kaspar and Ewing, 1997) เพื่อหาเส้นผ่านศูนย์กลาง พื้นผิวราก ความยาวราก และในการทดลองของ Yuhong Gao (2014) ศึกษารากของข้าวโพด โดยจะเก็บตัวอย่างรากด้วยกระบอกเจาะดิน ที่ความลึก 1.25 เมตร แล้วนำไปรากเพื่อแยกรากจากดิน จึงนำไปวัดโดยใช้ grid cross ขนาด 30x40 เซนติเมตร เพื่อหาความยาวราก เส้นผ่านศูนย์กลางราก

การศึกษาระบบรากจะบอกถึงความหนาแน่นของรากในแต่ละระดับชั้นความลึก และระยะห่างจากต้น ทราบว่ารากของพืชมีการเจริญเติบโต การกระจาย เป็นอย่างไร ซึ่งความลึกในการศึกษาขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น องค์ประกอบของดิน ชนิดดิน การอุ้มน้ำของดิน ปริมาณน้ำที่ให้ ความลึกของน้ำที่ให้ เป็นต้น (Coelho, 1999) มีการศึกษาความหนาแน่นของรากหลายการทดลอง เช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง อ้อย มะเขือเทศ และแอปเปิล (Sokalska *et al.*, 2009; Yuhong Gao *et al*, 2014; Smith, 2005; Machado, 2003; Yang Gao *et al*, 2010) พบว่ารากพืชมีการตอบสนองอย่างเด่นชัดกับความชื้นในดิน ทั้งตอบสนองต่อความชื้นในดินที่สูงกว่าระดับความชื้นชลประทาน ระดับความชื้นที่พืชสามารถใช้ได้ และระดับใกล้ระดับความชื้นเหี่ยวเฉาถาวร ระดับความชื้นในดินทั้งหมดมีการตอบสนองของความหนาแน่นรากแตกต่างกัน ไม่เพียงเท่านั้น การกระจายรากของพืชยังตอบสนองอย่างเด่นชัดต่อวิธีการให้น้ำ และระดับความลึกของการให้น้ำอีกด้วย

2.4.4 ปากใบปิดตอบสนองต่อกรดแอบซิสิกระหว่างการขาดน้ำ ถ้าสภาวะขาดน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว หรือพืชมีพื้นที่ใบที่ขยายขนาดเต็มที่แล้วก่อนที่สภาวะขาดน้ำจะเริ่มต้นขึ้น พืชจะมีการตอบสนองแบบอื่นที่ช่วยปกป้องพืชจากการสูญเสียน้ำอย่างฉับพลัน เช่น การปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ การปิดปากใบของพืชถือเป็นกลไกที่สามในการต่อสู้ต่อความแห้งแล้ง การเคลื่อนที่ของน้ำเข้า-ออกจาก guard cells ทำให้แรงเต่งของเซลล์เปลี่ยนแปลงและไปมีผลต่อการเปิดปิดปากใบ เนื่องจาก guard cells อยู่ติดกับบรรยากาศโดยรอบใบทำให้เซลล์เหล่านี้สูญเสียน้ำได้โดยตรงตรงด้วยการระเหย เรียกกระบวนการนี้ว่า hydropassive closure ของปากใบซึ่งจะเกิดขึ้น เมื่อความชื้นในบรรยากาศต่ำ ทำให้การสูญเสียน้ำจาก guard cells เกิดขึ้นรวดเร็วมากเกินกว่าจะทดแทนด้วยการเคลื่อนที่ของน้ำจากเซลล์รอบๆ เข้าสู่ guard cells อีกกลไกหนึ่งของการเปิดปิดปากใบเรียกว่า hydroactive closure เกิดขึ้นเมื่อมีการสูญเสียน้ำจากทั้งใบ และขึ้นอยู่กับกระบวนการทางเมแทบอลิซึมของ guard cells การลดลงของปริมาณ solute ใน guard cells ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและทำให้แรงเต่งของเซลล์ลดลง นำไปสู่การปิดปากใบ

กระบวนการสูญเสีย solute จาก guard cells เกิดขึ้นเนื่องจากการที่ปริมาณน้ำในส่วนที่เหลือของใบลดลง และมีหลักฐานมากมายว่ากรดแอบซิสิก (abscisic acid, ABA) ทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการนี้กรดแอบซิสิกถูกสร้างขึ้นมาอย่างต่อเนื่องในอัตราต่ำ ๆ ใน mesophyll cells และสะสมในคลอโรพลาสต์เป็นส่วนใหญ่ เมื่อ mesophyll cells ขาดน้ำอย่างอ่อน ๆ มี เหตุการณ์เกิดขึ้น 2 อย่าง อย่างแรกคือ กรดแอบซิสิกบางส่วนที่สะสมใน mesophyll cells จะถูกปล่อยออกไปสู่ apoplast (ช่องว่างของผนังเซลล์ที่อยู่ด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์) ทำให้เป็นการง่ายที่กรดแอบซิสิกจะถูกเคลื่อนย้ายจาก guard cells ไปสู่ apoplast (Cornish and Zeevart, 1985) การสร้างกรดแอบซิสิกจะเพิ่มขึ้นหลังจากเริ่มมีการปิดปากใบ และมีผลให้การปิดปากใบเพิ่มขึ้นและนานขึ้น

การเคลื่อนย้ายกรดแอบซิสิกจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งตามที่กล่าวมาข้างต้นขึ้นอยู่กับ 1) ความแตกต่างของ pH ภายในใบ 2) คุณสมบัติของการเป็นกรดอ่อนของกรดแอบซิสิก และ 3) คุณสมบัติการยอมให้สารบางชนิดผ่านได้ของเยื่อหุ้มเซลล์ ในใบที่กำลังมีการสังเคราะห์ด้วยแสงและไม่อยู่ภายใต้สภาวะขาดน้ำ pH ของ stroma มักจะสูงกว่าของ cytosol ความแตกต่างของ pH นี้นำไปสู่การสะสมกรดแอบซิสิกในคลอโรพลาสต์ ผลของการขาดน้ำอย่างหนึ่งคือการไปทำให้ pH ของคลอโรพลาสต์ลดลง ทำให้มีการปล่อยกรดแอบซิสิกส่วนหนึ่งออกมา นอกจากนี้ ยังทำให้ pH ของ cytosol เพิ่มขึ้นด้วย การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ ภายใต้สภาวะขาดน้ำทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของกรดแอบซิสิกจากคลอโรพลาสต์ไปสู่ apoplast (Hartung *et al.*, 1988)

การตอบสนองของปากใบต่อการสูญเสียน้ำแตกต่างกันไป ทั้งในพืชชนิดเดียวกันและต่างชนิดกันปากใบของพืชบางชนิดเป็นพวก dehydration–postponing species เช่น cowpea (*Vigna*

unguiculata) และมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta*) ตอบสนองต่อการขาดน้ำมากกว่าปกติ ทำให้การเหนี่ยวนำปากใบและการคายน้ำลดลงมากจนทำให้ water potential ของใบแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการขาดน้ำ ในฝ้าย (*Gossypium hirsutum*) ปัจจัยบางอย่างเช่น การให้ปุ๋ยในโตรเจนมีผลต่อการสะสมหรือการเคลื่อนย้ายของกรดแอบซิสิก หรือทั้ง 2 อย่างและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในการตอบสนองของปากใบต่อการขาดน้ำ (Radin and Hendrix, 1988)

2.4.5 สภาวะขาดน้ำเพิ่มความต้านทานต่อการเคลื่อนย้ายน้ำในรูปของเหลว เมื่อดินแห้งความต้านทานในการไหลของน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งใกล้จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point) ซึ่งจะเห็นได้ที่ระดับ water potential ของดินลดลงถึง -1.5 MPa ที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรนี้เอง การเคลื่อนที่ของน้ำไปยังรากเกิดขึ้นช้าเกินกว่าที่พืชจะฟื้นตัวได้ในช่วงกลางคืน แต่ดินไม่ใช่เป็นแหล่งเดียวที่มีความต้านทานต่อการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น โดยความจริงแล้วจากการศึกษาในสภาวะขาดน้ำพบว่าความต้านทานต่อการไหลของน้ำภายในพืชมากกว่าความต้านทานในดิน (Blizzard and Boyer, 1980) อาจมีปัจจัยหลายอย่างที่มีส่วนทำให้ความต้านทานของพืชต่อการเคลื่อนที่ของน้ำเพิ่มขึ้นระหว่างการขาดน้ำ ในขณะที่เซลล์พืชสูญเสียน้ำจะหดตัว ในช่วงกลางวันเมื่อเกิดการหดตัวของรากอย่างชัดเจน จะทำให้ผิวของรากเคลื่อนที่หนีอนุภาคดินที่อุ้มน้ำอยู่ และส่วนของรากขนอ่อนซึ่งเป็นส่วนบอบบางและเป็นส่วนที่ชอนไชอนุภาคดินอาจเกิดการฉีดขาดเมื่อมีการหดตัวออกจากอนุภาคดินเหล่านั้น นอกจากนี้เมื่อการยืดตัวของรากช้าลงระหว่างการขาดน้ำ ชั้นนอกของ cortex มักถูกปกคลุมไปด้วย suberin ซึ่งเป็นไขมันที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ทำให้เพิ่มการต้านทานต่อการไหลของน้ำ ที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งคือ cavitation หรือ การขาดช่วงลำน้ำ (water column) ภายใต้ความตึง (tension) การคายน้ำจากใบดึงน้ำผ่านพืชโดยทำให้เกิดความตึงขึ้นบนลำน้ำ แรงยึด (cohesive force) ที่ต้องการในการรับความตึงที่มหาศาลนั้นจะมีเฉพาะในลำน้ำเล็กๆ ที่มีน้ำยึดเกาะกับผนัง การขาดช่วงของลำน้ำ (cavitation) ในพืชส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ water potential ระดับกลาง (-1 ถึง -2 MPa) โดยเกิดในท่อ vessel ขนาดใหญ่ก่อน ยกตัวอย่างเช่น ในต้นโอ๊ก (quercus) ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงฤดูใบไม้ผลิจะทำหน้าที่เป็นทางผ่านของน้ำที่มีความต้านทานต่ำในต้นฤดูปลูกในขณะที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างมาก เมื่อถึงฤดูร้อนท่อเหล่านี้จะหยุดทำงาน ปล่อยให้ท่อขนาดเล็กที่ถูกสร้างขึ้นในช่วงขาดน้ำทำหน้าที่ให้ลำน้ำผ่าน การเปลี่ยนหน้าที่นี้มีผลต่อเนื่องยาว ถึงแม้พืชจะได้รับน้ำใหม่ ท่อขนาดใหญ่ที่มีความต้านทานต่ำยังคงไม่ทำงานอยู่ดี (Taiz and Zeiger, 1991)

2.5 จุดวิกฤติน้ำของพืช

พืชมีความต้องการ และความสามารถในการดึงน้ำจากดินมาใช้ ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น ชนิดพืช อายุของพืช ความลึกราก พืชบางชนิดมีระบบรากที่ตื้นประมาณ 10-15 ซม. ตัวอย่างเช่น

พืชจำพวกผัก หญ้า เป็นต้นอีกส่วนจะมีระบบรากที่ลึกอย่างเช่น พืชตระกูลถั่ว ข้าวโพด ทานตะวัน มันสำปะหลัง จนถึงไม้ยืนต้น ซึ่งระบบรากนี้เป็นข้อจำกัดของตัวพืชในความสามารถดูดความชื้นดินมาใช้ อีกส่วนคือเนื้อดินที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งดินแต่ละชนิดมีความสามารถเก็บความชื้นได้ต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในดินแต่ละชนิดต่างกันด้วย ดังนั้นความชื้นที่พืชจะใช้ได้ในดินแต่ละชนิดจะมากน้อยต่างกันออกไป โดยส่วนใหญ่การชลประทานกำหนดให้ประสิทธิภาพหรือความสามารถที่พืชจะดึงน้ำในดินมาใช้ได้อยู่ที่ช่วง 50% ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเป็นตัวกำหนดแผนการให้น้ำพืช โดยมองว่าระดับของความสามารถในการอุ้มน้ำของดินดังกล่าวพืชยังดูดใช้น้ำได้อย่างเต็มที่โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโต ซึ่งในระดับที่ต่ำลงกว่านี้จะเกิดแรงดึงระหว่างโมเลกุลของดินกับน้ำมากขึ้นหรือศักย์น้ำในดินลดลงส่งผลให้พืชต้องลดศักย์ของน้ำให้น้อยกว่าดินการดูดใช้น้ำจึงยากขึ้น การลดศักย์ของน้ำในพืชนั้นพืชต้องใช้พลังงานในการเคลื่อนย้ายและสะสมความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์ทำให้พลังงานในการใช้สร้างโครงสร้างต่างๆของพืชลดลงการเจริญจึงชะงักตามไปด้วย

ในความชื้นดินที่ลดลงกว่าครึ่งของความสามารถในการอุ้มน้ำของดินพืชบางชนิดยังคงสามารถที่จะดูดใช้น้ำได้และเจริญเติบโตอย่างมีประสิทธิภาพจนความชื้นในดินลดลงใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวร จึงเรียกระดับความชื้นดังกล่าวว่า "จุดวิกฤติของพืช" แต่ในดินแต่ละชนิดมีจุดดังกล่าวต่างกันออกไปถึงแม้จะเป็นพืชชนิดเดียวกัน ในปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินจุดวิกฤติในพืชน้อยมาก เนื่องจากมีความยากต่อการศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อพืชและปัจจัยที่ใช้ในการชี้วัด Bielorai (1973) and Hsiao (1993) ได้เสนอแนวทางในการศึกษาจุดวิกฤติน้ำในดินโดยการสังเกตการลดลงของน้ำในดินต่อการลดลงของน้ำหนักแห้งของพืช และ Vidovic and Novak (1987); Merta *et al.* (2006) พบการศึกษาการคายน้ำของพืชจะลดลงก่อนที่ความชื้นหรือศักย์ของน้ำในดินถึงระดับจุดเหี่ยวเฉาถาวร อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาที่เจาะจงถึงลักษณะทางสรีรวิทยาใดที่ใช้ในการประเมินจุดวิกฤติน้ำของพืชอย่างแม่นยำ ดังนั้นจุดวิกฤติน้ำของพืชต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางสรีรวิทยาหลายลักษณะรวมไปถึงลักษณะของดินเพื่อบ่งชี้ถึงแนวทางการประเมินจุดวิกฤติน้ำของพืชได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การทดลองที่ 1 ผลการตอบสนองของการกระจายรากของมันสำปะหลังต่อการให้น้ำระบบน้ำหยด

3.1.1 วิธีการทดลอง

1) การทดลองประกอบด้วย 2 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ คือ

T1 = ไม่มีการให้น้ำ (อาศัยความชื้นในดินที่มี) มีการให้น้ำหลังปลูก 30 วัน เพื่อให้ต้นมันสำปะหลังมีการงอกอย่างสม่ำเสมอหลังจาก 30 วันหลังปลูกเป็นต้นไปจะไม่มีการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดตลอดการทดลอง โดยอาศัยความชื้นในดินที่มีอยู่ที่ได้รับน้ำน้ำฝนเท่านั้น

T2 = ให้ปริมาณน้ำตามการคำนวณการใช้น้ำของมันสำปะหลัง (ETc) โดยมีการให้น้ำอย่างสม่ำเสมอตามการคำนวณค่าการใช้น้ำของพืช

2) การเตรียมแปลงทดลอง

การศึกษาใช้พื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ใช้มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ซึ่งในแต่ละกรรมวิธีใช้ขนาดแปลง 7.2x30 ม. (216 ตารางเมตร) ขนาดแปลงย่อย 7.2x10 ม. (72 ตารางเมตร) เตรียมดินโดยไถระเบิดดินดาน ไถดะด้วยพาน 4 ไถแปรด้วยพาน 7 และยกร่องพานคู่ขนาดร่อง 1.2 ม. ปลูก 1 ท่อนพันธุ์ที่ระยะห่างระหว่างต้น 1 ม. ความยาวท่อนพันธุ์ 30 ซม. โดยปลูกที่ความลึก 10-15 ซม. จากผิวดิน โดยให้ท่อนพันธุ์พ้นเหนือดินประมาณ 15-20 ซม.

3) การปฏิบัติดูแลรักษามันสำปะหลัง

- แมลงศัตรูพืช หมั่นสำรวจแมลงศัตรูพืชและใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเมื่อพบ 1-2 ใบ/ต้น
- การใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในมันสำปะหลังของดินทั้งสองชนิด (สุดชล วุ้น-ประเสริฐ, 2552) แสดงในตารางที่ 5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5 ปริมาณการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในมันสำปะหลัง

ชนิดดิน	ปริมาณปุ๋ยที่ให้ตามค่าวิเคราะห์ดิน (กิโลกรัม/ไร่)		
	N	P_2O_5	K_2O
ทรายร่วน	16	4	8
ร่วนเหนียวปนทราย	8	4	4

ที่มา : สุดชล วุ้นประเสริฐ (2552)

3.1.2 การบันทึกข้อมูล

1) ข้อมูลการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ในการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตมีการบันทึกข้อมูลทุกเดือนหลังการปลูกเป็นเวลา 4 เดือน โดยจะสุ่มตัวอย่างของแต่ละซ้ำจำนวน 4 ต้น ข้อมูลที่เก็บได้แก่

1.1 ความสูงของต้น วัดจากโคนต้นที่อยู่ส่วนเหนือดินจนถึงยอดหรือใบที่สูงที่สุด

1.2 ขนาดของลำต้น หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ใช้เวอร์เนียวัดต้นที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่แตกออกจากท่อนพันธุ์ โดยวัดที่ระดับกลางต้น (ใช้ปลายยอดกับโคนต้นที่แตกจากท่อนพันธุ์เป็นจุดสูงสุดและต่ำสุด)

1.3 จำนวนกิ่งต่อต้น นับจำนวนกิ่งที่แตกออกมาจากท่อนพันธุ์สุ่มนับซ้ำละ 10 ต้น

1.4 ผลผลิตต่อพื้นที่ เก็บในระยะ 10 เดือนหลังปลูก ซึ่งได้แก่

- น้ำหนักผลผลิตต่อต้น ชั่งน้ำหนักหัวมันสำปะหลังของต้นตัวอย่าง จำนวน 4 ต้นต่อซ้ำ โดยชั่งเฉพาะหัวซึ่งไม่รวมน้ำหนักเหง้ามันสำปะหลัง
- จำนวนหัว นับจำนวนหัวมันสำปะหลังของแต่ละต้น
- เปอร์เซ็นต์แป้ง วัดเปอร์เซ็นต์แป้งของตัวอย่างที่ใช้วัดน้ำหนักผลผลิต โดยใช้เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์แป้งมาตรฐานแบบ เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ ชนิดเครื่องวัดอัตราส่วน

2) การกระจายรากมันสำปะหลัง (root distribution) และความหนาแน่นรากรวม (total root length density; cm/cm3 at soil depth) มันสำปะหลัง

2.1 บันทึกเมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก จำนวน 1 ครั้งต่อเดือน ใช้อุปกรณ์เจาะ (soil core) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 ซม. เจาะลงลึกไปในดินในระยะห่างจากต้น 10, 20, 30 และ 40 ซม.

2.2 จากนั้นนำตัวอย่างดินจากข้อ 2.1 มา แบ่งเป็น 10 เซนติเมตรตามความลึก ในทุก ๆ ระยะห่างจากต้นที่ได้เจาะดินขึ้นมา แล้วนำไปล้างผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อล้างดินออกและเก็บเพียงรากมันสำปะหลัง โดยมีลักษณะสีขาวเหลือง หรือขาวเหลืองอ่อน รูปทรงกระบอก เก็บตัวอย่างรากไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (20°C) ในระหว่างรอนำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ

2.3 วิเคราะห์ตัวอย่างราก โดยนำรากมาจัดเรียงบนถาดใสขนาด 21 ซม.x29.4 ซม. แล้วเติมน้ำสะอาดลงพอท่วมรากมันสำปะหลัง จัดเรียงไม่ให้รากทับซ้อนกัน แล้วทำการสแกนรากมันสำปะหลังโดยใช้ เครื่องสแกน Epson perfection V700 Photo ซึ่งจะได้ไฟล์ภาพที่เป็นรูปของรากมันสำปะหลังโดยใช้โปรแกรม Winrhizo v. 2013e 32bit เพื่อวิเคราะห์ไฟล์ภาพตัวอย่างรากมัน-สำปะหลัง ซึ่งได้ข้อมูลของตัวอย่างรากได้แก่ 1) ความยาวรากรวมหรือความหนาแน่นของราก 2) ขนาดราก หรือเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของราก

2.4 นำข้อมูลความยาวรากมาคำนวณหาความหนาแน่นของราก โดยใช้สมการ

ความหนาแน่นของราก (ซม. ซม.-3) = ความยาวรากรวม (ซม.) /ปริมาตรของคอร์เจาะดิน (ซม.3)

หลังจากนั้น นำข้อมูลความหนาแน่นของราก ไปทำกราฟจำลองการกระจายราก 2 มิติ โดยแบ่งศึกษาการกระจายของรากตามขนาดรากเป็น 3 ขนาดได้แก่ 0.0-0.5, 0.5-1.0 และ 1.0-4.5 มม.

3.1.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

- วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยทำการวิเคราะห์วาเรียนซ์ T-test ด้วยโปรแกรม SPSS v.16 for window
- วิเคราะห์ความยาวรากรวม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางราก ด้วยโปรแกรม Winrhizo v.2013e 32bit for window
- วิเคราะห์และแสดงข้อมูลการกระจายรากมันสำปะหลังในรูปแบบกราฟ 2D model ด้วยโปรแกรม Origin pro 2015 v.9.2.196 for window

3.2 การทดลองที่ 2 ผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังต่อระดับความชื้นในดินที่แตกต่างกัน

3.2.1 แผนการทดลอง

ทำการศึกษาในโรงเรือนและเปรียบเทียบระหว่างเนื้อดิน 2 ชนิด ที่เป็นชุดดินที่พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงเป็นตัวแทนของชนิดดินในการศึกษา ได้แก่เนื้อดินทรายร่วน (Loamy sand : LS) และดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy clay loam : SCL) ทั้งนี้ได้วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design (CRD) จำนวน 5 ซ้ำ มีกรรมวิธีประกอบด้วยการให้น้ำระบบน้ำหยด 5 ระดับคือ 50, 40, 30 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (% by volume) และไม่มีการให้น้ำ (อาศัยความชื้นในดินเท่านั้น เป็น control treatment)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

T1 ให้น้ำเมื่อความชื้นลดลงถึง 50% AWHC ของดิน

T2 ให้น้ำเมื่อความชื้นลดลงถึง 40% AWHC ของดิน

T3 ให้น้ำเมื่อความชื้นลดลงถึง 30% AWHC ของดิน

T4 ให้น้ำเมื่อความชื้นลดลงถึง 20% AWHC ของดิน

T5 control อาศัยความชื้นในดิน

3.2.2 วิธีการทดลอง

1) ใช้ถังพลาสติกปริมาตร 130 ลิตร(สูง 65 ซม., เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ซม.) เจาะรูก้นถัง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. จำนวน 12 รู รองก้นถังด้วยผ้าตาข่ายพลาสติก ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 อายุท่อนพันธุ์ 9 เดือน ความยาวท่อนพันธุ์ 30 เซนติเมตร ระยะห่างการวางกระถาง 1x1 เมตร โดยใช้ดินทรายร่วนน้ำหนัก 120 กิโลกรัมต่อถัง ส่วนดินร่วนเหนียวปนทรายใช้น้ำหนัก 105 กิโลกรัมต่อถัง ซึ่งทั้งสองดินจะได้ปริมาตร 0.128 ลูกบาศก์เมตร

2) หลังจากปลูกมันสำปะหลัง มีการให้น้ำจนถึงระดับความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ในทุกกรรมวิธีเพื่อให้มันสำปะหลังงอกอย่างสม่ำเสมอจนอายุประมาณ 30 วันหลังปลูก หลังจากนั้นจึงมีการควบคุมการให้น้ำตามกรรมวิธี โดยกำหนดรอบเวรการให้น้ำด้วยการใช้เครื่องวัดความชื้น Profile probe รุ่น PR2/6 วัดความชื้นในดิน(% by volume) ทุกวันจนระดับความชื้นในดินลดลงถึงระดับความชื้นที่กำหนด จึงทำการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดจนความชื้นในดินถึงระดับความชื้นชลประทานอีกครั้ง (ตารางที่ 6)

3) การปฏิบัติดูแลรักษามันสำปะหลัง

- แมลงศัตรูพืช หมั่นสำรวจแมลงศัตรูพืชและใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเมื่อพบ 1-2 ใบ/ต้น
- การใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในมันสำปะหลังของดินทั้งสองชนิด (สุดชล วุ้น-ประเสริฐ, 2552) แสดงในตารางที่ 6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 6 ปริมาณการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ในดินทรายร่วน และดินร่วนเหนียวปนทรายของมันสำปะหลัง

ชนิดดิน	ปริมาณปุ๋ยที่ให้ตามค่าวิเคราะห์ดิน (กรัม/ต้น)		
	N	P_2O_5	K_2O
ทรายร่วน	20.67	4.10	8.33
ร่วนเหนียวปนทราย	9.80	4.10	4.17

ที่มา : สุดชล วุ้นประเสริฐ (2552)

3.2.3 การบันทึกข้อมูล

1) ลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช ทำการวัดลักษณะทางสรีรวิทยาต่างๆ โดยทำการวัดก่อนการให้น้ำในแต่ละกรรมวิธี เพื่อให้มีความชื้นในดินตามกรรมวิธีที่กำหนดโดยมีการวัดดังนี้

1.1 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ใบพืช (หน่วยวัด μmole $CO2/m^2/s$ unit)ใช้เครื่องวัดการสังเคราะห์แสงพืช LCi-SD เริ่มวัดเมื่ออายุมันสำปะหลัง 30 วันหลังปลูก โดยเลือกใบที่คลี่เต็มที่ที่อยู่บนสุด (ใบที่ 5 นับจากยอด) วัดเวลา 08.30–09.30 น. ตามวิธีของ El-Sharkawy (2012)

1.2 ค่าการเหนี่ยวนำของปากใบพืช (stomatal conductance) (หน่วยวัด mole $CO2/m^2/s$ unit) ใช้เครื่องวัดการสังเคราะห์แสงพืช LCi รุ่น SD เริ่มวัดเมื่ออายุมันสำปะหลัง 30 วันหลังปลูก โดยเลือกใบที่คลี่เต็มที่ที่อยู่บนสุด (ใบที่ 5 นับจากยอด)เวลา 08.30–09.30 น. ตามวิธีของ El-Sharkawy (2012)

1.3 ศักย์ของน้ำในใบพืช (leaf water potential) (หน่วยวัด Bar)ใช้เครื่อง pressure bomb เริ่มวัดเมื่ออายุมันสำปะหลัง 30 วันหลังปลูก โดยเลือกใบที่คลี่เต็มที่ที่อยู่บนสุด (ใบที่ 5 นับจากยอด) วัดเวลา 05.00–06.00 น. ตามวิธีของ El-Sharkawy *et al.* (1997)

1.4 ประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ในใบพืช ใช้เครื่อง Hansatech handy PEA เริ่มวัดเมื่ออายุมันสำปะหลัง 30 วันหลังปลูก โดยเลือกใบที่คลี่เต็มที่ที่อยู่บนสุด (ใบที่ 5 นับจากยอด) เวลา 08.30–09.30 น.

1.5 ดัชนีพื้นที่ใบ บันทึกที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก ใช้ 25% ของน้ำหนักใบสดทั้งหมดนำไปวัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ Li-cor area meter รุ่น Li-3100e จากนั้นคำนวณเทียบกับน้ำหนักใบทั้งหมด และพื้นที่ปลูก จากการสุ่มตัวอย่างของแต่ละกรรมวิธี ซ้ำละ 2 ต้น ตามวิธีของ El-Sharkawy et. al (2007)

2) ข้อมูลการเจริญเติบโต บันทึกข้อมูลทุกเดือนหลังการปลูกเป็นเวลา 4 เดือน โดยจะสุ่มตัวอย่างของแต่ละซ้ำจำนวน 4 ต้น ซึ่งลักษณะของข้อมูลที่เก็บได้แก่

2.1 ความสูงของต้น (ซม.) วัดจากโคนต้นที่อยู่ส่วนเหนือดินจนถึงยอดหรือใบที่สูงที่สุด

2.2 เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น(ซม.) ใช้เวอร์เนียวัดต้นที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่แตกออกจากท่อนพันธุ์ โดยวัดที่ระดับกึ่งกลางความสูงต้น

2.3 จำนวนกิ่งต่อต้น นับจำนวนกิ่งที่แตกออกมาจากท่อนพันธุ์

2.4 ปริมาณน้ำหนักรวมทั้งต้น (กรัม) โดยนำตัวอย่างที่ได้แยกส่วนของพืชเป็น ใบ ต้น เหง้า หัว หั่นเป็นชิ้นเล็ก ใส่ถุงกระดาษ นำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน แล้วบันทึกเป็นรวมทั้งต้น

3) ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Available water holding capacity) ใช้เครื่อง pressure plate ยี่ห้อ Soil moisture ในการวัดโดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 นำตัวอย่างดินร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร ถ้าตัวอย่างดินเปียกให้ตากในอุณหภูมิห้องอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปบด

3.2 นำตัวอย่างดินใส่ภายในคอร์ใส่ดินที่วางบน plate ให้เต็ม รองคอร์ใส่ดินด้วยกระดาษกรองและแช่ plat ในน้ำสะอาดก่อนใช้ประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นหยดน้ำลงบน plate จนดินดูดซับน้ำจนเต็ม โดยสังเกตจากสีดินจะเข้มและผิวเป็นมัน

3.3 ใส่ plate ลงในหม้อความดัน (pressure chamber) โดยจะใช้ 2 ระดับคือ 0.3 และ15 บาร์ เพื่อไล่น้ำออกจากดิน ปิดฝาหม้อให้สนิทและเปิดเครื่องทำความดัน รอจนกว่าน้ำจะหยุดหยดประมาณ 3-4 วัน (ระดับความดันที่ 0.3 บาร์ เป็นระดับความดันที่ไล่ความชื้นออกจากดินให้ระดับน้ำในดินอยู่ในระดับความชื้นชลประทาน (Field capacity) และระดับความดันที่ 15 บาร์ เป็นระดับที่ความดันไล่ความชื้นออกจากดินให้ระดับน้ำในดินอยู่ในระดับความชื้นจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) (ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545)

3.4 นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105–110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24-48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักดินจะไม่เปลี่ยนแปลง

3.5 บันทึกน้ำหนักแห้งและคำนวณหาความชื้นในดินโดยใช้สูตรการหาความชื้นในดินดังนี้

ความชื้นดิน (%โดยน้ำหนัก) = (น้ำหนักก่อนอบ – น้ำหนักหลังอบ)/น้ำหนักหลังอบ x 100

3.6 หลังจากได้ความชื้นโดยน้ำหนักที่ความดัน 0.3 บาร์ (FC) และ 15 บาร์ (PWP) นำมาหาช่วงความสามารถในการอุ้มน้ำของดินด้วย

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน = ความชื้นที่ FC – ความชื้นที่ PWP

3.7 นำค่าความสามารถในการอุ้มน้ำหาปริมาณการให้น้ำตามกรรมวิธีของทั้งสองชนิดดินดังนี้ (ตารางที่ 7)

- ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินคิดเปอร์เซ็นต์ตามกรรมวิธี อย่างเช่น ในดินทราย ความชื้นชลประทานอยู่ที่ 11.65% โดยปริมาตร และระดับความชื้นจุดเหี่ยวเฉาถาวรอยู่ที่ 4.30% โดยปริมาตร ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเท่ากับ 7.35% โดยปริมาตร
- คำนวณระดับการให้น้ำตามกรรมวิธี เช่น ดินทรายร่วนที่ 50% AWHC เท่ากับ 7.35 x0.5 = 3.67% โดยปริมาตร เป็นต้น จากนั้นหาระดับความชื้นที่ให้น้ำโดยใช้จุดเหี่ยวเฉาถาวรบวกกับค่าที่ 50% AWHC เท่ากับ 11.65 + 3.67 = 7.9% โดยปริมาตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- หาปริมาณการให้น้ำ นำค่าความสามารถในการอุ้มน้ำในดินแต่ละกรรมวิธีคำนวณเป็นความลึกน้ำ และคูณด้วยพื้นที่ปลูกจะได้ปริมาณน้ำที่ต้องให้ ตัวอย่างเช่น ดินทรายร่วนที่ 50% AWHC เท่ากับ 3.67% โดยปริมาตร คูณด้วยความลึกน้ำที่ให้สัมพันธุ์กับความลึกของระบบรากของมันสำปะหลังที่ 30 ซม. จะได้เป็น 3.67x30/100 = 11.03 มม. จากนั้นคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดถังปลูก 0.177 ม^2 จะได้ปริมาณน้ำที่ให้ 11.03x0.177 = 1.95 ลิตร/ถังปลูก เป็นต้น คำนวณวิธีเดียวกันในดินทั้งสองชนิด

ตารางที่ 7 การจัดการให้น้ำของแต่ละกรรมวิธีจากค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

กรรมวิธี	ความชื้นที่จุดให้น้ำ (% ปริมาตร.)	ปริมาณน้ำที่ให้ (ลิตร.) จนถึงระดับความชื้นชลประทาน
ดินร่วนเหนียวปนทราย		
50% AWHC[1]	24.5 (±0.2)	3.70
40% AWHC	23.1 (±0.2)	4.44
30% AWHC	21.73 (±0.2)	5.18
20% AWHC	20.34 (±0.2)	5.92
Control	-	-
ดินทรายร่วน		
50% AWHC	7.9 (±0.2)	1.95
40% AWHC	7.2 (±0.2)	2.34
30% AWHC	6.5 (±0.2)	2.74
20% AWHC	5.7 (±0.2)	3.13
Control	-	-

[1] ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

3.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

- วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (combined analysis of variance) ด้วยโปรแกรม SPSS v.16 for window เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (duncan' new multiple range test)
- วิเคราะห์สหสัมพันธ์ (multiple correlation) ด้วยโปรแกรม SPSS v.16 for window
- วิเคราะห์จุดวิกฤติของการใช้น้ำของพืช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการทดลอง และอภิปรายผล

4.1 การทดลองที่ 1 ผลการตอบสนองของการกระจายรากของมันสำปะหลังต่อการให้น้ำระบบน้ำหยด

4.1.1 คุณสมบัติของดินก่อนการทดลอง

แปลงทดลองมีลักษณะของเนื้อดินเป็นร่วนเหนียวปนทราย (Si Khiew soil series: Si, serics, Fine-loamy, mixed, isohyperthermic Typic Rhodustalfs) บันทึกข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีของดินในระดับความลึก 2 ระดับคือที่ 0–15 และ 15–30 ซม. มีค่า pH เป็นกลาง อินทรียวัตถุมีปานกลาง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าสูง โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูง แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าปานกลาง แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าปานกลาง โดยรวมจัดเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และมีความเหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 คุณสมบัติดินก่อนปลูก

คุณสมบัติดิน	ดินร่วนเหนียวปนทราย		ค่าที่เหมาะสม[1]
	ความลึก 0-15 ซม.	ความลึก 15-30 ซม.	
pH	7.15	7.02	5-6
Ec (dsm./m.)	0.19	0.15	>0.5
อินทรียวัตถุ (%)	1.33	0.81	0.6-1.0
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)	32.9	15.8	5-15
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ppm)	119.9	90.6	38-64
แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ppm)	2,587.3	2,584.3	125-2,500
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ppm)	171.2	179.2	167-833

[1]ค่าคุณสมบัติของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง (กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, 2554)

4.1.2 ปริมาณการให้น้ำ

การให้น้ำมันสำปะหลังพันธุ์ ห้วยบง 80 ใช้ระบบน้ำหยดอัตรา 2 ลิตร/ชม.หรือ 6.667 มม./ชม. ที่แรงดัน 1.5 บาร์ โดยช่วงเดือนแรกของการทดลองมีการให้น้ำทั้งสองกรรมวิธี (ให้น้ำ และ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ไม่ให้น้ำ) เพื่อกระตุ้นให้ท่อนมันสำปะหลังมีความงอกอย่างสม่ำเสมอ และลดการตายของท่อนพันธุ์ เนื่องจากฤดูที่ปลูกเป็นช่วงเดือน ตุลาคม–ธันวาคม มีความชื้นสะสมในดินน้อย โดยให้น้ำในปริมาณ 20 มม. ในเดือนแรก หลังจากนั้นจึงเริ่มงดให้น้ำในวิธีการไม่ให้น้ำ ส่วนในวิธีการให้น้ำทำการให้ตามปริมาณความต้องการน้ำพืช (ETc) ของมันสำปะหลัง โดยให้ปริมาณน้ำ 24.00 และ 38.00 มม. ในเดือนที่ 2 และเดือนที่ 3 หลังปลูกตามลำดับ (ตารางที่ 9) การให้น้ำที่มากขึ้นตามอายุเดือนที่เพิ่มขึ้นเกิดจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือน และการเจริญเติบโตของพืช ยิ่งพืชมีการเจริญเติบโตและมีการสร้างใบมากขึ้นปริมาณน้ำที่ต้องใช้มากขึ้นตามไปด้วย โดยช่วงที่ทำการทดลองมีปริมาณน้ำฝนในเดือนที่ 3 หลังการปลูกที่ 65.8 มม.

ตารางที่ 9 ปริมาณการให้น้ำมันสำปะหลังของกรรมวิธีไม่ให้น้ำ และให้น้ำในช่วงเดือน ต.ค.–ธ.ค.

เดือน	ปริมาณน้ำ (มม.)[1]		
	ไม่ให้น้ำ	ให้น้ำ	ปริมาณน้ำฝน
ต.ค.	20.00	20.00	0.00
พ.ย.	0.00	24.00	0.00
ธ.ค.	0.00	38.00	65.80
รวม	20.0	82.0	65.8

1 ปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจสภาพอากาศ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

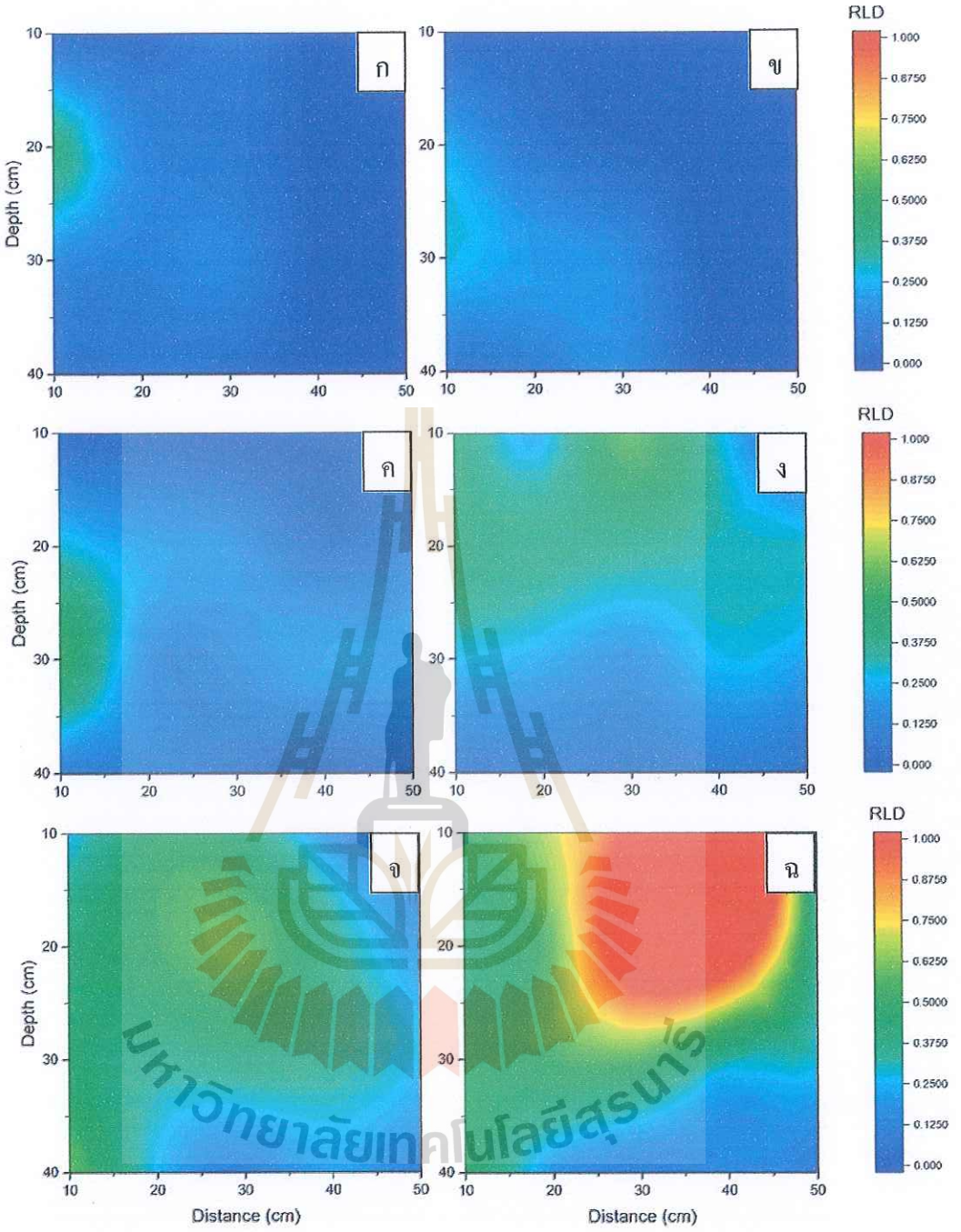
4.1.3 การกระจายรากของมันสำปะหลัง

1) รากทั้งหมด (total root length) จากผลการศึกษาการกระจายของรากมันสำปะหลังโดยวัดจากความหนาแน่นของความยาวราก (Root length density; cm/cm^3) กรรมวิธีให้น้ำ และไม่ให้น้ำมันสำปะหลังอายุ 30 วันหลังปลูก (รูปที่ 6ก, 6ข ตามลำดับ) มีลักษณะการกระจายความหนาแน่นของความยาวรากไม่แตกต่างกัน โดยพบว่ามีความหนาแน่นของความยาวรากในช่วงความลึกดิน 15-30 ซม. และห่างจากต้นช่วง 0-30 ซม. และพบว่า มีความหนาแน่นของความยาวรากมากที่สุดที่ระดับความลึก 20 ซม.

สำหรับช่วงมันสำปะหลังอายุ 60 วันหลังปลูก พบว่ากรรมวิธีไม่ให้น้ำ (รูปที่ 6ค) มีค่าความหนาแน่นของความยาวรากกระจายมากที่ความลึก 30 ซม. และระยะห่างจากต้นช่วง 0-50 ซม. นอกจากนี้ ยังพบว่ากระจายของรากลงลึกไปในชั้นดินมากกว่าเมื่อเทียบช่วงอายุ 30 วันหลังปลูก แต่ไม่พบความหนาแน่นของความยาวรากที่ความลึกบริเวณ 0-10 ซม.จากผิวดิน ส่วนการให้น้ำมีการกระจายรากในทุกระยะห่างจากต้นที่ช่วงความลึก 0–30 ซม. จากผิวดิน โดยพบความหนาแน่นของความยาวรากมากที่สุดบริเวณใกล้ผิวดินระยะห่างจากต้น 30 ซม. (รูปที่ 6ง)

และมันสำปะหลังอายุ 90 วันหลังปลูก พบว่ากรรมวิธีไม่ให้น้ำในทุกระดับความลึกมีค่าความหนาแน่นของความยาวรากน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับการให้น้ำ ซึ่งจากรูปที่ 6จ ชี้ให้เห็นว่ากรรมวิธีไม่ให้น้ำมีค่าความหนาแน่นของความยาวรากตั้งแต่ผิวดินจนถึงความลึกที่ 40 ซม. โดยส่วนมากอยู่ระยะห่างจากต้น 10–40 ซม. ของทุกระดับความลึก แต่ความลึกที่ 40 ซม. มีค่าความหนาแน่นของความยาวรากที่ระยะห่างจากต้นเพียง 10–20 ซม. เท่านั้น อย่างไรก็ตามสังเกตได้ว่าค่าความหนาแน่นของความยาวรากมีแนวโน้มกระจายลงลึกไปในชั้นดินชั้นล่าง ส่วนกรรมวิธีการให้น้ำ มีค่าความหนาแน่นของความยาวรากมากที่สุดที่ระดับความลึก 0–20 ซม. (รูปที่ 6ฉ) และห่างจากต้น 30 ซม. โดยรากส่วนใหญ่มีความหนาแน่นของความยาวรากในลักษณะตื้นบริเวณผิวดินและมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอลงลึกถึง 30 ซม. ในทุกระยะห่างจากต้น แต่ที่ความลึกที่ 40 ซม. พบว่า มีรากกระจายห่างจากต้นเพียง 20 ซม. และมีความหนาแน่นของความยาวรากมีแนวโน้มลงไปในชั้นดินเช่นเดียวกับกรรมวิธีการไม่ให้น้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 6 การกระจายของรากมันสำปะหลังในกรรมวิธี ไม่ให้น้ำ (รูปซ้าย) และให้น้ำ (รูปขวา) ในอายุ 30 (ก ข), 60 (ค ง) และ 90 (จ ฉ) วันหลังปลูก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) การกระจายตัวของรากขนาดต่าง ๆ โดยแบ่งตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากออกเป็น 3 ช่วง คือ รากขนาดเล็ก (0.0–0.5 มม.), รากขนาดกลาง (0.5–1.0 มม.) และรากขนาดใหญ่ (1.0->4 มม.) (รูปที่ 7, 8 และ 9 ตามลำดับ)

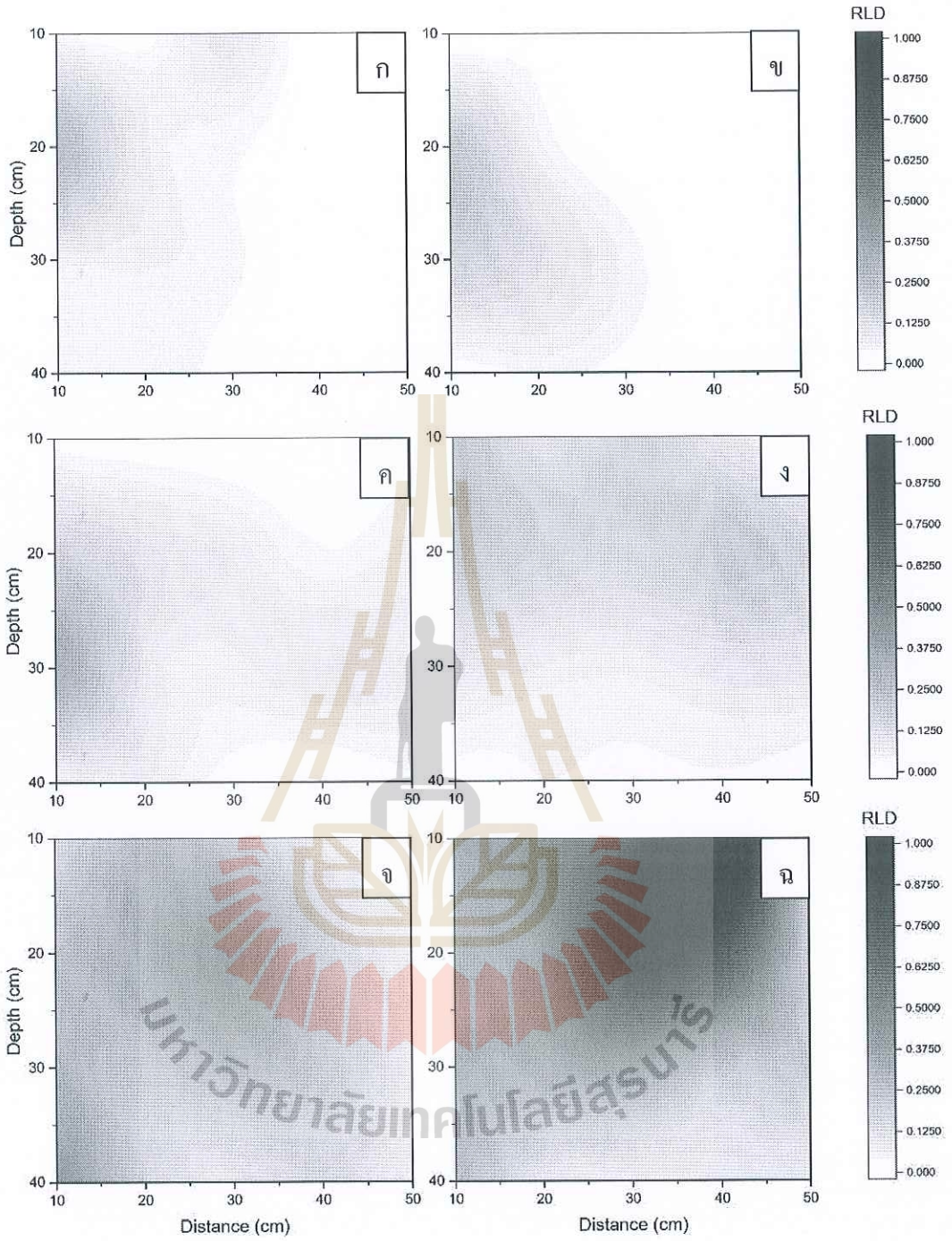
2.1 รากขนาดเล็ก การกระจายของรากที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0-0.5 มม.

อายุมันสำปะหลัง 30 วันหลังปลูก ทั้งการกรรมวิธีการไม่ให้น้ำ และการให้น้ำ (รูปที่ 7ก, 7ข ตามลำดับ) มีการกระจายของรากที่ใกล้เคียงกันที่ความลึก 15–20 ซม. และห่างจากต้น 0–30 ซม. โดยที่ความลึก 20 ซม. พบว่า มีความหนาแน่นของความยาวรากมากที่สุด และการกระจายรากจะลดลงเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น

อายุมันสำปะหลัง 60 วันหลังปลูก พบว่า มีการกระจายเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงอายุ 30 วัน หลังปลูก โดยกรรมวิธีไม่ให้น้ำส่งผลให้ได้ค่าความหนาแน่นของความยาวราก มากที่สุดที่ความลึก 30 ซม.(รูปที่ 7ค) และระดับความลึกดังกล่าวพบว่ารากมีการกระจายห่างจากต้นที่ช่วง 10–40 ซม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารากที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0–0.5 มม. มีการกระจายในแนวระนาบ และลึกลงมากขึ้น ส่วนกรรมวิธีการให้น้ำพบว่ามีการกระจายรากอยู่ช่วงความลึกดิน 0–30 ซม. ในทุกระยะห่างจากต้นที่สม่ำเสมอกัน (รูปที่ 7ง) โดยความหนาแน่นของความยาวรากมีมากที่สุดอยู่ผิวดินที่ความลึกดิน 0–10 ซม.

และอายุมันสำปะหลัง 90 วันหลังปลูก พบว่า กรรมวิธีการให้น้ำส่งผลให้รากขนาดเล็กสุดมีความหนาแน่นของความยาวราก มากกว่าการไม่ให้น้ำอย่างเด่นชัด โดยที่กรรมวิธีการไม่ให้น้ำพบรากกระจายเป็นบริเวณกว้างออกจากต้นไปในบริเวณต่าง ๆ แต่มีความหนาแน่นของความยาวรากมากที่สุดในความลึกดิน 40 ซม. (รูปที่ 7จ) ส่วนการให้น้ำ (รูปที่ 7ฉ) รากมีการกระจายส่วนมากที่ช่วงตื้นหน้าดินความลึกที่ 0–30 ซม. ในทุกระยะห่างจากต้น และความหนาแน่นของความยาวรากมีมากสุดที่ระยะห่างจากต้น 30–40 ซม. และการกระจายรากลดลงเรื่อย ๆ ตามความลึกดิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 7 การกระจายของรากที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0–0.5 มม. ของกรรมวิธีไม่ให้น้ำ (รูปซ้าย) และให้น้ำ (รูปขวา) เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 30 (ก,ข), 60 (ค,ง) และ 90 (จ,ฉ) วันหลังปลูก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2 รากขนาดกลาง การกระจายของรากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5–1.0 มม. (รูปที่ 8) พบว่ามีความหนาแน่นของความยาวรากน้อยกว่าเมื่อเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์ราก 0.0–0.5 มม. แต่การกระจายรากมีรูปแบบคล้ายกันดังนี้

อายุมันสำปะหลังที่ 30 วันหลังปลูกทั้งการไม่ให้น้ำและให้น้ำ (รูปที่ 8ค,ก, 8ข ตามลำดับ) มีการกระจายของรากมากที่ความลึก 20–30 ซม. และระยะห่างจากต้น 10–30 ซม. ซึ่งทั้งสองกรรมวิธีพบว่ามีความหนาแน่นของความยาวรากมากสุดที่ความลึก 30 ซม.

เมื่ออายุมันสำปะหลัง 60 วันหลังปลูก กรรมวิธีการไม่ให้น้ำ (รูปที่ 8ค) มีการกระจายของรากที่ความลึก 20–30 ซม. ของทุกระยะห่างจากต้น โดยพบว่า มีความหนาแน่นของความยาวรากมากที่สุดที่ความลึก 30 และระยะห่างจากต้นที่ 10 และ 40 ซม. ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีให้น้ำ (รูปที่ 8ง) การกระจายของรากอยู่ที่ช่วงความลึก 0–30 ซม. ของทุกระยะห่างจากต้น และพบว่าความหนาแน่นของความยาวรากมากที่สุดบริเวณต้นใกล้ผิวดินที่ระยะห่าง 30 ซม. และการกระจายรากลดลงตามความลึกดินที่เพิ่มขึ้น

และมันสำปะหลังอายุ 90 วันหลังปลูก ทั้งกรรมวิธีไม่ให้น้ำ และให้น้ำ (รูปที่ 8จ, 8ฉ ตามลำดับ) พบการกระจายของรากในทุกระดับความลึก และทุกระยะห่างจากต้น แต่กรรมวิธีไม่ให้น้ำมีความหนาแน่นของความยาวรากน้อยกว่ากรรมวิธีให้น้ำอย่างเด่นชัด กรรมวิธีไม่ให้น้ำ (รูปที่ 8จ) ส่งผลให้มีความหนาแน่นของความยาวรากมากสุดที่ความลึก 0-20 และระยะห่างช่วง 20-30 ซม. ส่วนกรรมวิธีให้น้ำพบความหนาแน่นของความยาวรากมากสุดที่ความลึก 0–20 และระยะห่างจากต้น 40 ซม.

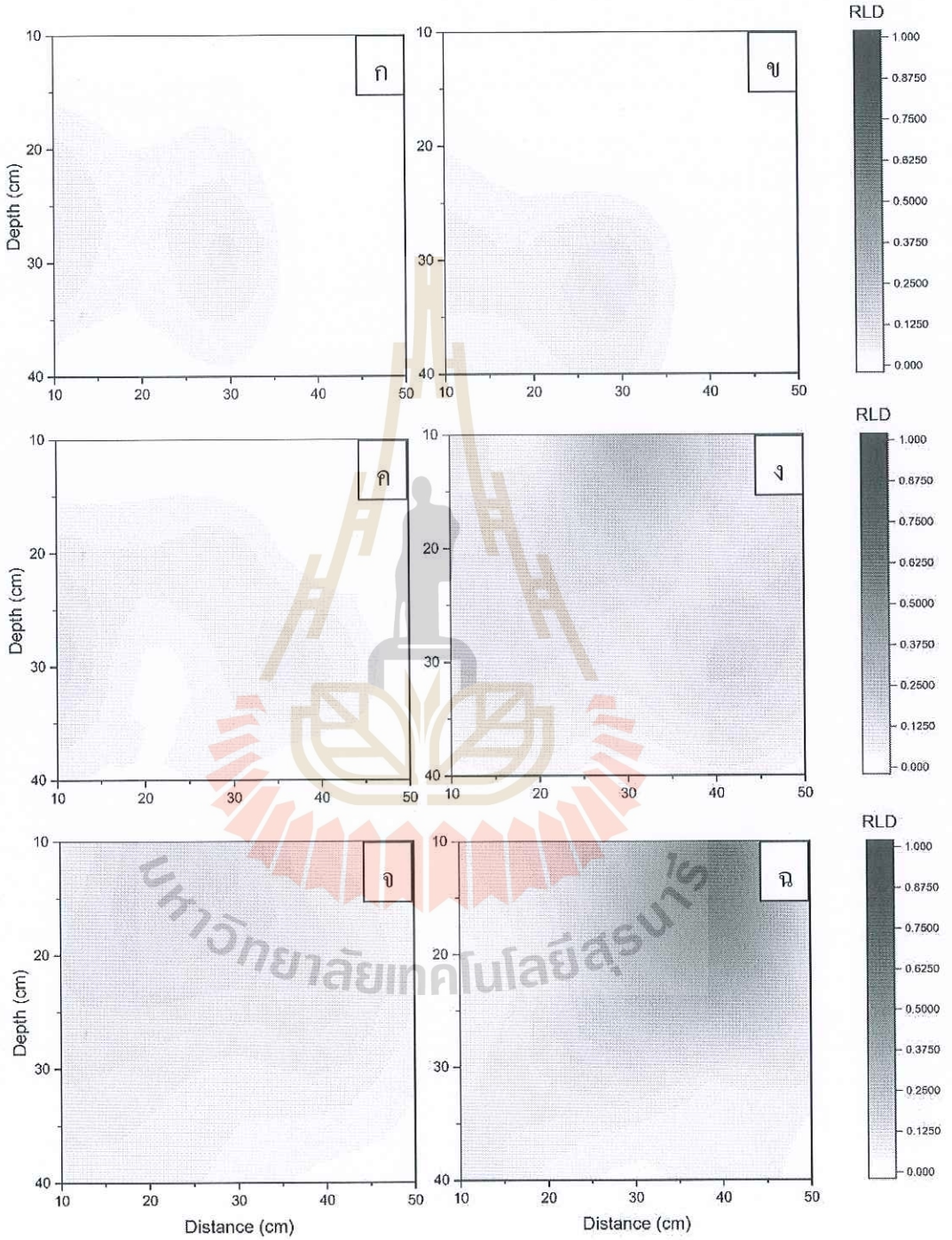
2.3 รากขนาดใหญ่ การกระจายของรากที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0–4.5 มม. (รูปที่ 9) พบว่า ความหนาแน่นของความยาวรากน้อยกว่าเมื่อเทียบรากที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์ 0.0–0.5 และ 0.5–1.0 มม.

โดยมันสำปะหลังอายุ 30 วันหลังปลูก ทั้งกรรมวิธีไม่ให้น้ำ และให้น้ำ (รูปที่ 9ก, 9ข ตามลำดับ) มีการกระจายของรากที่ช่วงความลึก 20–30 ซม. และช่วงระยะห่างจากต้นที่ 10–30 ซม. ซึ่งทั้งสองกรรมวิธีพบว่ามีความหนาแน่นของความยาวรากมากที่สุดที่ความลึก 30 ซม.

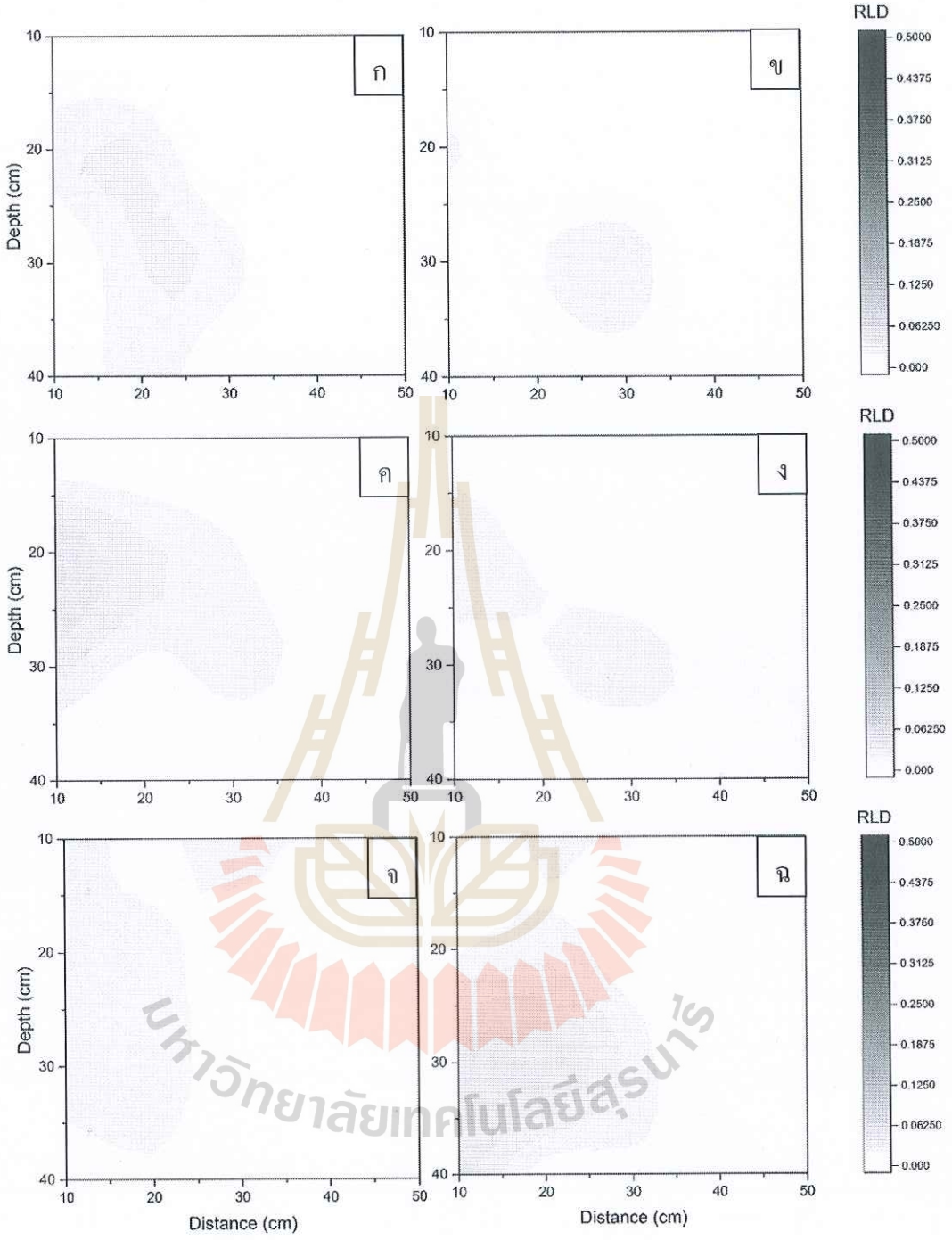
เมื่อมันสำปะหลังอายุ 60 วันหลังปลูก กรรมวิธีไม่ให้น้ำ (รูปที่ 9ค) มีการกระจายของรากที่ความลึก 20–30 ซม. และระยะห่างจากต้น 10–40 ซม. โดยพบว่าความหนาแน่นของความยาวรากมากที่สุดที่ความลึก 20 และระยะห่างจากต้น 10 ซม. สำหรับกรรมวิธีให้น้ำ (รูปที่ 9ง) การกระจายของรากอยู่ที่ความลึก 0–30 ซม. ซึ่งพบความหนาแน่นของความยาวรากมากที่สุดที่ความลึก 20 ซม. และระยะห่างที่ 10 ซม.

และมันสำปะหลังอายุ 90 วันหลังปลูก กรรมวิธีไม่ให้น้ำ (รูปที่ 9จ) พบว่า การกระจายของรากที่ช่วงความลึก 0-30 ซม. และระยะห่างจากต้น 10–30 ซม. ซึ่งพบความหนาแน่นของความ

ยาวรากมากที่สุดที่ระยะห่างจากต้น 10–20 ซม. ของทุกระดับความลึก ส่วนกรรมวิธีให้น้ำจากรูปที่ 9ฉ พบว่า ความหนาแน่นของความยาวรากมากที่สุดที่ความลึก 30 ซม. และระยะห่างจากต้น 10 ซม.



รูปที่ 8 การกระจายของรากที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-1.0 มม. ของกรรมวิธีไม่ให้น้ำ (รูปซ้าย) และให้น้ำ (รูปขวา) เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 30 (ก,ข), 60 (ค,ง) และ 90 (จ,ฉ) วันที่ปลูก



รูปที่ 9 การกระจายของรากที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0-4.5 มม. ของกรรมวิธี ไม่ให้น้ำ (รูปซ้าย) และให้น้ำ (รูปขวา)เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 30(ก,ข), 60(ค,ง) และ 90(จ,ฉ) วันหลังปลูก

จากข้อมูลการศึกษาการกระจายของรากพบว่า กรรมวิธีการไม่ให้น้ำมีความหนาแน่นของความยาวรากน้อยกว่ากรรมวิธีให้น้ำอย่างเด่นชัด การกระจายของรากทุกขนาดในช่วงอายุ 30 วันหลังปลูก ส่วนใหญ่อยู่บริเวณ 15-20 ซม.จากผิวดิน ทั้งนี้อาจเกิดจากวิธีการปลูกที่ใช้ท่อนพันธุ์เสียบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ลึกลงดินประมาณ 10-15 ซม. ซึ่งการเจริญของรากใหม่จะเกิดบริเวณส่วนของลำต้นที่ถูกตัด ทำให้พบความหนาแน่นของความยาวรากมากกว่าบริเวณผิวดิน

สำหรับมันสำปะหลังอายุ 60 วันหลังปลูก กรรมวิธีการให้น้ำระบบน้ำหยดพบความหนาแน่นของความยาวรากบริเวณใกล้ผิวดินมากขึ้น ซึ่งแตกต่างจากกรรมวิธีไม่ให้น้ำที่พบความหนาแน่นของความยาวรากบริเวณ 15-20 ซม. ลึกลงจากผิวดินเช่นเดียวกับผลการบันทึกในช่วง 30 วันหลังปลูก เพียงแต่มีการกระจายในแนวระนาบและลึกลงไปในชั้นดินมากยิ่งขึ้น มีข้อสังเกตว่าที่บริเวณใกล้ผิวดินพบความหนาแน่นของความยาวรากน้อยมาก อาจเพราะบริเวณดังกล่าวมีความชื้นต่ำเกินจนพืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ การสูญเสียความชื้นที่ผิวดินเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย เช่น การระเหย โดยมีลมและความร้อนเป็นอิทธิพล รวมไปถึงการใช้น้ำของวัชพืชบ้างเล็กน้อย ทำให้รากพัฒนาที่บริเวณความชื้นดินมากกว่า จากรายงานของ Duque (2013) พบว่า บริเวณใดที่มีความเครียดน้ำของดินเพิ่มสูงขึ้นหรือศักย์ในน้ำในดินลดลง ส่งผลให้ปริมาณรากและน้ำหนักแห้งรากลดลง เนื่องจากรากมีพัฒนาการที่หลีกเหลี่ยงสภาพความเครียดในดิน ยิ่งบริเวณที่มีความชื้นต่ำกว่าที่พืชจะสามารถดูดใช้ การตอบสนองของพืชคือการพัฒนารากใหม่ไปยังบริเวณที่มีความชื้นมากกว่าและลดการพัฒนารากบริเวณความชื้นดินต่ำ

และอายุมันสำปะหลัง 90 วันหลังปลูก กรรมวิธีให้น้ำชี้ให้เห็นว่าความชื้นในดินมีผลอย่างมากต่อการกระจาย และความหนาแน่นของความยาวรากของรากมันสำปะหลัง นอกจากนั้นรูปแบบความชื้นในดิน หรือวิธีการในการให้น้ำยังส่งผลต่อรูปแบบการกระจายรากด้วย ซึ่งจากการกระจายรากผลของการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดส่งผลต่อรูปแบบการกระจายของราก ซึ่งความหนาแน่นของความยาวรากส่วนใหญ่ที่พบอยู่บริเวณตื้นผิวดินใกล้จุดหยด และมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอลึกลงมาจนถึงระดับ 30 ซม. ในทุกระยะห่างจากต้น

ในปัจจุบันยังไม่พบการศึกษาการกระจายรากในมันสำปะหลังที่ปลูกภายใต้ระบบน้ำหยด อาจเนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชไร่ที่สามารถให้ผลผลิตได้แม้ปลูกในสภาพแห้งแล้ง และระบบน้ำหยดในมันสำปะหลังเป็นเทคโนโลยีการให้น้ำใหม่สำหรับเกษตรกรไทยที่อยู่ในช่วงการศึกษาบันทึกข้อมูล แต่มีผลการศึกษากับพืชอื่น ๆ เช่น การศึกษาของ Machado *et al.* (2003) พบว่า รากของมะเขือเทศพันธุ์ Brigade และ H3044 ที่ปลูกภายใต้ระบบน้ำหยดมีความหนาแน่นเป็นพิเศษในบริเวณใกล้จุดน้ำหยด และกระจายไปในบริเวณที่ดินมีความชื้นจากการให้น้ำ ส่วนในพืชอื่นอย่างเช่น ข้าวโพด (Mitchell, 1981 and Phene *et al.*, 1991) และฝ้าย (Plaut *et al.*, 1996) พบความหนาแน่นของรากสูงที่ระดับความลึกของการให้น้ำในระบบน้ำหยด

นอกจากนั้น พบการศึกษาในพืชที่มีอายุปลูกหลายปี เช่น ต้นแอปเปิ้ลที่มีการให้น้ำภายใต้ระบบน้ำหยดทุกวันเป็นระยะเวลา 5 ปี พบว่า ระบบรากอยู่บริเวณใกล้ผิวดิน และมีความหนาแน่นรากสูงใกล้บริเวณจุดที่มีน้ำหยด (Tanasescu and Paltineanu, 2004) สำหรับการกระจายรากองุ่น

พบว่า การให้ระบบน้ำหยด 5 ปีส่งผลให้ปริมาณรากเพิ่มขึ้นบริเวณใต้สายน้ำหยดโดยเฉพาะ 25-50 ซม. จากผิวดิน (Soar and Loveeys, 2007)

ผลการไม่ให้น้ำมันสำปะหลังในช่วงอายุ 90 วันหลังปลูกพบว่า มีความหนาแน่นของความยาวรากกระจายที่ระดับใกล้ผิวดินที่ความลึก 0-10 ซม. เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงอายุ 60 วันหลังปลูก เนื่องจากช่วงดังกล่าวมีฝนตกที่ 65.8 มม. ก่อนการเก็บข้อมูล จึงช่วยเพิ่มความชื้นที่ระดับผิวดิน รากจึงมีการพัฒนาเพื่อดูดความชื้นดินในบริเวณดังกล่าว ถึงแม้ระบบการให้น้ำจะแตกต่างกันแต่เมื่อสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมความชื้นในดินได้อย่างปริมาณน้ำฝนอาจส่งผลต่อรูปแบบของการกระจายรากไม่แตกต่างกันมากนัก ตัวอย่างเช่น Bassoi *et al.* (2003) ศึกษาการกระจายรากองุ่นในระบบชลประทานแบบน้ำหยดและฉีดฝอย แต่ไม่พบความแตกต่างของการกระจายของรากในวิธีการให้น้ำทั้งสองระบบ เนื่องจากพื้นที่ทำการศึกษา (ประเทศบราซิล) มีปริมาณน้ำฝนในช่วงการทดลองสูง (512 มม.) ชี้ให้เห็นว่า อิทธิพลของวิธีการชลประทานจะส่งผลต่อการกระจายรากมากขึ้นเมื่อพื้นที่นั้นมีปริมาณน้ำฝนต่ำ อย่างไรก็ตาม ความหนาแน่นของความยาวรากของกรรมวิธีไม่ให้น้ำพบการกระจายที่ใกล้ผิวดินน้อยกว่ากรรมวิธีให้น้ำ แต่มีความลึกลงไปมากกว่า ซึ่งการตอบสนองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Connor *et al.* (1981) ที่พบว่า มันสำปะหลังสามารถขยายเส้นรากได้ถึง 2 เมตรหรือมากกว่าในเชิงลึกและสามารถดูดซับน้ำจากชั้นดินลึกได้ในช่วงฤดูแล้ง เป็นลักษณะสำคัญที่ทำให้มันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ในสภาพที่ความชื้นในดินน้อย

ผลการศึกษาขนาดของรากโดยการแบ่งเป็น 3 ขนาด พบว่า ทั้งสองกรรมวิธีเมื่อขนาดของรากแตกต่างกันส่งผลให้รูปแบบการกระจายของรากแตกต่างกัน ซึ่งพบว่ารากขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0-0.5 มม.) มีการกระจายของรากเช่นเดียวกับผลการกระจายของรากขนาดกลาง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-1.0 มม.) แต่รากขนาดกลางมีความหนาแน่นของความยาวรากน้อยกว่ารากขนาดเล็ก ซึ่งการกระจายของรากทั้งสองขนาดอาจมีทำหน้าที่ในการดูดซับความชื้นในดิน โดยมีข้อสังเกตว่ากรรมวิธีไม่ให้น้ำที่อายุมันสำปะหลัง 60 และ 90 วันหลังปลูก พบการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของความยาวรากในทั้งสองขนาดบริเวณใกล้ผิวดินหลังจากมีฝนตกก่อนการเก็บข้อมูล ส่งผลให้รากทั้งสองขนาดที่มีการตอบสนองด้วยการพัฒนาไปยังบริเวณที่มีความชื้น และเพิ่มความหนาแน่นของความยาวรากมากขึ้นอย่างเด่นชัด นอกจากนี้ กรรมวิธีให้น้ำมีลักษณะเช่นเดียวกัน ซึ่งพบการเพิ่มมากขึ้นของรากทั้งสองขนาดบริเวณใกล้ผิวดินเมื่อมันสำปะหลังอายุ 60 และ90 วันหลังปลูก จึงชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มความสามารถในการดูดน้ำเมื่อพืชเจริญเติบโต หรือมีความต้องการน้ำมากขึ้นส่งผลให้มันสำปะหลังเพิ่มความหนาแน่นของความยาวรากที่มีหน้าที่ดูดใช้น้ำ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้น้ำของพืช ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Perry (1982) ที่ศึกษาระบบรากพืช พบว่ารากพืชส่วนใหญ่เป็นรากขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.2 – 1 มม. โดยหน้าที่หลักคือการ

ดูดซับความชื้น และธาตุอาหารในดิน เมื่อต้นพืชมีขนาดใหญ่ขึ้น ความต้องการน้ำ และธาตุอาหารมากขึ้น รากขนาดเล็กที่มีหน้าที่ดูดซับจะมีการพัฒนา และมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามความต้องการของพืช

สำหรับรากขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0-4.5 มม.) พบว่าการให้น้ำทั้งสองกรรมวิธีมีการกระจายของรากเช่นเดียวกัน โดยอายุมันสำปะหลังตั้งแต่ 30-90 วันหลังปลูก มีความหนาแน่นของความยาวรากอยู่ใกล้บริเวณโคนต้นที่ความลึก 10-30 ซม. และระยะห่างจากต้น 20-40 ซม. และความหนาแน่นของความยาวรากเพิ่มขึ้นตามอายุปลูกของมันสำปะหลัง อย่างไรก็ตาม การกระจายของรากขนาดใหญ่มีการตอบสนองต่อความชื้นในดินน้อยกว่าเมื่อเทียบกับรากขนาดเล็ก และรากขนาดกลาง สันนิษฐานได้ว่ารากขนาดใหญ่มีหน้าที่แตกต่างจากรากขนาดเล็ก และรากขนาดกลางอย่างเห็นได้ชัด โดยอาจเป็นท่อลำเลียงน้ำ และธาตุอาหารมากกว่าการทำหน้าที่ดูดซับ และอาจมีการพัฒนาเป็นหัวมันสำปะหลังต่อไป จึงส่งผลให้รากขนาดใหญ่มีการพัฒนา หรือตอบสนองน้อยต่อความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

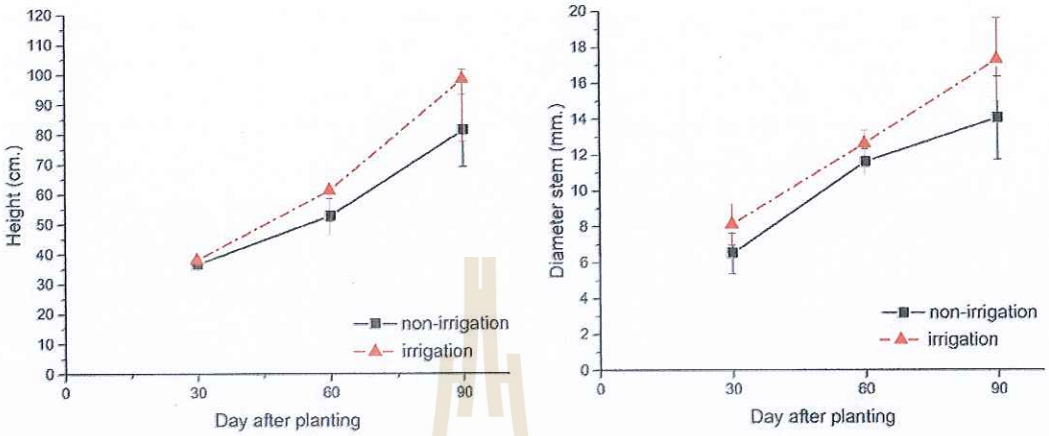
สำหรับความแตกต่างของขนาดราก ความยาวราก และจำนวนราก ไม่เพียงขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ยังรวมถึงองค์ประกอบของดิน ระดับความชื้นในดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Malamy *et al.*, 2005) ดังนั้นกรรมวิธีไม่ให้น้ำมีแนวโน้มที่ความหนาแน่นของความยาวรากรวมน้อยกว่ากรรมวิธีให้น้ำเมื่ออายุมันสำปะหลังมากกว่าช่วงการทดลองที่ 4-10 เดือน ซึ่งการลดลงของความชื้นในดินส่งผลให้ความหนาแน่นของความยาวรากลดลง โดยรากพืชที่ไม่สามารถดูดใช้น้ำจากดินในบริเวณใดได้แล้ว รากพืชจะหยุดจากเจริญเติบโตและตายลงไป (Lyford *et al.*, 1975) และอาจมีผลทางอ้อมต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง ทั้งจำนวนหัว และน้ำหนักผลผลิตอีกด้วย

4.14. การเจริญเติบโตทางใบและลำต้น

ผลการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังเมื่ออายุ 90 วันหลังปลูก พบว่าลักษณะความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 10) โดยความสูงในกรรมวิธีไม่ให้น้ำส่งผลให้มันสำปะหลังมีความสูงน้อยกว่ากรรมวิธีให้น้ำ ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น พบว่ากรรมวิธีไม่ให้น้ำส่งผลให้มันสำปะหลังมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่ากรรมวิธีให้น้ำอย่างเด่นชัด อย่างไรก็ตาม ในส่วนของจำนวนกิ่งต่อต้น พบว่ากรรมวิธีไม่ให้น้ำให้ผลการบันทึกเช่นเดียวกับกรรมวิธีให้น้ำ และไม่แตกกันทางสถิติ

ผลจากทั้งสองกรรมวิธีการให้น้ำส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังแตกต่างกัน โดยกรรมวิธีไม่ให้น้ำน้อยกว่ากรรมวิธีให้น้ำ 30 วันหลังปลูกเป็นต้นไป โดยมีข้อสังเกตว่าเมื่อเริ่มงดการให้น้ำความชื้นในดินที่ลดลงจากการใช้ของพืช มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทั้งความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นอย่างเด่นชัด (รูปที่ 10) อย่างไรก็ตาม จำนวนกิ่งต่อต้นของมันสำปะหลังไม่มีความแตกต่างกันที่อายุ 30 วันหลังปลูก อาจเนื่องมาจากมีการให้น้ำเพื่อกระตุ้นความงอกและ

ความสม่ำเสมอของขนาดท่อนพันธุ์และความยาวของท่อนพันธุ์ เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้จำนวนกิ่งต่อต้นของมันสำปะหลังทั้งสองกรรมวิธีไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 10 ความสูงต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางต้น ของมันสำปะหลังเมื่อไม่ให้น้ำ และให้น้ำในช่วงอายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก

ตารางที่ 10 ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางต้น และจำนวนกิ่งต่อต้นของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 อายุ 90 วัน

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลางต้น (มม.)	จำนวนกิ่งต่อต้น
ให้น้ำ	98.37	17.30	2.00
ไม่ให้น้ำ	88.50	16.07	2.06
T - test	**	*	ns

*,** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

4.1.5 ผลผลิต และเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลัง

จากผลการทดลองทั้งสองกรรมวิธี ส่งผลให้จำนวนหัว น้ำหนักผลผลิตสดต่อต้น และเปอร์เซ็นต์แป้งแตกต่างกันทางสถิติ ในช่วงอายุ 11 เดือนหลังปลูกโดยพบว่า กรรมวิธีให้น้ำส่งผลให้จำนวนหัว น้ำหนักผลผลิตสดต่อต้นและเปอร์เซ็นต์แป้ง มากกว่ากรรมวิธีไม่ให้น้ำ (ตารางที่ 11) แสดงให้เห็นว่าการให้น้ำอย่างสม่ำเสมอมีผลต่อการเจริญเติบโต และการสะสมอาหารของมันสำปะหลัง ซึ่งสอดคลองกับการศึกษาของ นพศูล สมุทรทอง และคณะ (2549) พบว่า มันสำปะหลังที่มีการให้น้ำอัตรา 60 มม./เดือน(แบ่งให้ 3 ครั้ง) ให้ผลผลิตหัวมันสดสูงที่ 9,107 กก./ไร่ ซึ่งแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการไม่ให้น้ำ ซึ่งได้ผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังเฉลี่ยต่ำที่ 5,228 กก./ไร่ และ สุดชล วุ้นประเสริฐ (2558) พบว่า การปลูกมันสำปะหลังโดยใช้ระบบน้ำหยดในสภาพดินเช่นเดียวกับการทดลองนี้ให้ผลผลิตหัวมัน 8.1 ตัน/ไร่ แต่ในการปลูกแบบไม่ให้น้ำส่งผลให้มีผลผลิตหัวมันสด 4.9 ตัน/ไร่ ซึ่งผลผลิตของการไม่ให้น้ำน้อยกว่าการให้น้ำเท่าตัว

ถึงแม้มันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ โดยมีกลไกเพื่อให้อยู่รอดโดยการใช้น้ำน้อยลง และลดใช้คาร์โบไฮเดรตภายใต้สภาพแห้งแล้ง หรือการจัดการที่ไม่เหมาะสมในการปลูกในขั้นตอนใดก็ตามระหว่างที่พืชเจริญเติบโต และพัฒนาองค์ประกอบผลผลิตนั้นแล้ว ย่อมส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโต การสะสมอาหารน้อยลง และส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตที่เก็บเกี่ยวในขั้นสุดท้ายได้ (ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย, 2557)

ตารางที่ 11 จำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักผลผลิตสดต่อต้น น้ำหนักผลผลิตสดต่อไร่ และเปอร์เซ็นต์แป้งของกรรมวิธีไม่ให้น้ำและให้น้ำ

กรรมวิธี	จำนวนหัวต่อต้น	ผลผลิตต่อต้น (กิโลกรัม)	ผลผลิตต่อพื้นที่ (กิโลกรัมต่อไร่)	เปอร์เซนต์แป้ง (%)
ไม่ให้น้ำ	9.60	3.78	5173	20.10
ให้น้ำ	16.00	6.40	8533	24.79
T – test	*	*	*	**

*,** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

4.2 การทดลองที่ 2 การตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังต่อความชื้นในดินที่แตกต่างกัน

4.2.1 คุณสมบัติของสภาพเนื้อดินก่อนการทดลอง

ชุดดินที่ใช้ในการศึกษามี 2 ชุด โดยผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบเนื้อดินเทียบกับตารางสามเหลี่ยมเนื้อดินพบว่า ดินชุดที่ 1 เป็นดินทรายร่วน (Ban Phai soil series: Bpi, loamy, siliceous, isohyperthermic Arenic Paleustalfs) และชุดดินที่ 2 เป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (Si Khiew soil series: Si, series, Fine-loamy, mixed, isohyperthermic Typic Rhodustalfs) (ตารารงที่ 12) ซึ่งทั้งสองชุดดินเป็นชุดดินที่พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยดินทรายร่วนมีคุณสมบัติ pH เป็นกรดเล็กน้อย มีอินทรียวัตถุต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าปานกลาง โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าปานกลาง แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าปานกลาง และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าปานกลาง ส่วนดินร่วนเหนียวปนทราย มีคุณสมบัติดังนี้ pH เป็นกลาง มีอินทรียวัตถุสูง ฟอสฟอรัสที่เป็น

ประโยชน์มีค่าสูง โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูง (105.25 มก./กก.) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูง และ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าปานกลาง เมื่อเทียบกับค่าที่เหมาะสมในการปลูกมันสำปะหลัง (ตารางที่ 13) โดยสรุปดินทั้งสองชนิดเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และมีความเหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง

ตารางที่ 12 คุณสมบัติเนื้อดิน

กลุ่มชุดดิน	Practical size Distribution, %			Soil Textures
	Sand	Silt	Clay	
36[1]	88	9	3	ทรายร่วน
41[2]	68	15	17	ร่วนเหนียวปนทราย

[1] ชุดดินที่ 36 : Ban Phai soil series: Bpi, loamy, siliceous, isohyperthermic Arenic Paleustalfs

[2] ชุดดินที่ 41: Si Khiew soil series: Si, series, Fine-loamy, mixed, isohyperthermic Typic Rhodustalfs

ตารางที่ 13 คุณสมบัติของดินก่อนปลูก และค่าคุณสมบัติของดินที่เหมาะสมในการปลูกมันสำปะหลัง

คุณสมบัติของดิน	ดินทรายร่วน	ดินร่วนเหนียวปนทราย	ค่าที่เหมาะสม[1]
pH	5.96	7.08	5-6
Ec (เดซิซีเมนส์/ม.)	0.90	0.17	>0.5
อินทรียวัตถุ (%)	0.28	1.08	0.6-1.0
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)	9.85	24.35	5-15
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ppm)	41.65	105.25	38-64
แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ppm)	308.65	2585.8	125-2,500
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ppm)	101.00	175.2	167-833

[1] ค่าคุณสมบัติของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง (กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, 2554)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

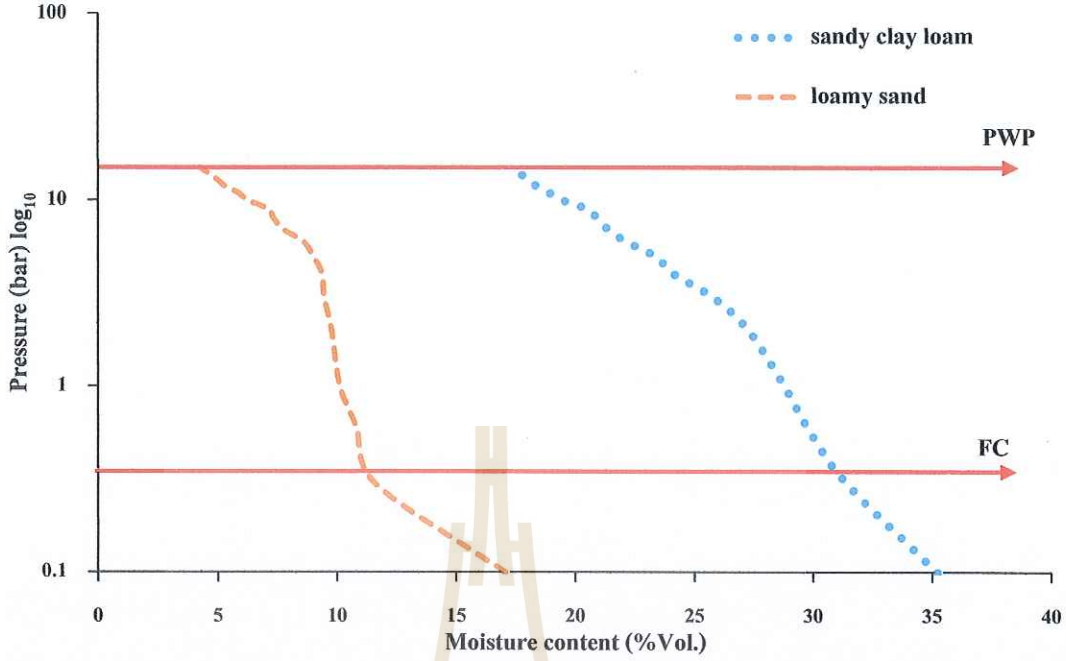
ตารางที่ 14 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทรายร่วน และร่วนเหนียวปนทราย

ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำ	ดินทรายร่วน (% vol.)	ดินร่วนเหนียวปนทราย (% vol.)
ระดับชลประทาน	7.35	13.93
50% of AWHC[1]	3.68	6.97
40% of AWHC	2.94	5.57
30% of AWHC	2.21	4.18
20% of AWHC	1.47	2.79

[1] AWHC : available water holding capacity (ระดับความสามารถในการอุ้มน้ำ)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ดินทรายร่วนมีค่า field capacity (FC) 7.3% vol. ส่วนดินร่วนเหนียวปนทรายมีค่า FC 13.9% vol. โดยความสามารถในการอุ้มน้ำตามกรรมวิธีเริ่มจาก 50%, 40%, 30% และ 20% ของทั้งสองชนิดมี AWHC แตกต่างกัน ซึ่งดินทรายร่วนมีค่าความชื้นที่ดินอุ้มไว้ได้น้อยกว่าดินร่วนเหนียวปนทรายอย่างเด่นชัด (ตารางที่ 14) ส่งผลให้ปริมาณความชื้นของดินทรายร่วนก่อนการให้น้ำในแต่ละกรรมวิธีน้อยกว่าดินร่วนเหนียวปนทราย การที่ดินทั้งสองชนิดมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ต่างกัน เนื่องจากมีองค์ประกอบของดินที่แตกต่างกัน เช่น ระหว่างอนุภาคดินมีช่องว่างเป็นที่บรรจุน้ำและอากาศ อนุภาคดินใหญ่ส่งผลให้ช่องว่างใหญ่ แต่เมื่อเทียบปริมาตรเท่ากันช่องว่างของดินอนุภาคละเอียดมีช่องว่างมากกว่าและแรงดูดซับของผิวอนุภาคดินละเอียดมีมากกว่า ส่งผลให้การดูดซับและปริมาณน้ำให้ช่องว่างในดินอนุภาคละเอียดมีมากกว่าดินอนุภาคใหญ่ (อัญชลี สุทธิประการ และคณะ, 2548)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 11 ความชื้นในดินทรายร่วน และดินร่วนเหนียวปนทราย เมื่อมีการใช้แรงดึงที่ต่างกัน

จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับศักย์ของน้ำในดิน (รูปที่ 11) โดยใช้แรงดันที่ระดับต่าง ๆ ในดินทั้งสองชนิด ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นดินและแรงดึงในดินมีความสัมพันธ์แบบตรงกันข้าม โดยเมื่อแรงดึงเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความชื้นในดินลดลง ซึ่งความชื้นในดินทรายร่วนลดลงจากความชื้นชลประทานอย่างรวดเร็วที่แรงดึง 0.3–2 บาร์ จากนั้น ความชื้นลดลงอย่างช้าๆ และคงที่จนถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวร (4.30%vol.) ส่วนในดินร่วนเหนียวปนทรายความชื้นลดลงเร็วที่แรงดึง 2–5 บาร์ จากนั้นความชื้นลดลงอย่างช้า ๆ และคงที่ เมื่อใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวร (17.55% vol.) ซึ่งระดับความชื้นดินของดินทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันที่ระดับแรงดึงเท่ากัน โดยดินร่วนเหนียวปนทรายมีความชื้นดินมากกว่าดินทรายร่วน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า คุณสมบัติทางกายภาพของดินที่แตกต่างกันส่งผลอย่างมากต่อระดับความชื้นดินในจุดที่มีแรงดึงน้ำเท่ากัน

4.2.4 การเจริญเติบโตทางใบและลำต้น

การให้น้ำในระดับความชื้นต่างกันส่งผลให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตต่างกัน โดยความสูงต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างกันของจำนวนกิ่งต่อต้น (ตารางที่ 15) ซึ่งในสภาพดินร่วนเหนียวปนทรายพบว่า การให้น้ำที่ 50% AWHC ทำให้มีความสูงต้นมากที่สุด ส่วนการให้น้ำที่ระดับ 40%, 30%, 20% AWHC และ

การไม่ให้น้ำ มีความสูงของต้นน้อยกว่าสำหรับในสภาพดินทรายร่วนนั้น การให้น้ำมีผลให้ความสูงมีคล้ายกับสภาพดินร่วนเหนียวปนทราย คือการให้น้ำที่ 50% AWHC ส่งผลให้มีความสูงมากที่สุด รองลงมาคือ 40%, 30%, 20% AWHC และการไม่ให้น้ำ ตามลำดับ จากรูปที่ 12 แสดงให้เห็นความสูงของมันสำปะหลังในดินทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันหลังการให้น้ำตามกรรมวิธีที่อายุ 60 วันหลังปลูกเป็นต้นไป ซึ่งแต่ละระดับการให้น้ำมีความสูงต้นเพิ่มมากขึ้นในอัตราที่ต่างกัน ส่วนกรรมวิธีไม่ให้น้ำพบว่าความสูงลดลงตั้งแต่ 60 วันหลังปลูกในทั้งสองสภาพเนื้อดิน

สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นในดินทรายร่วน พบว่าการให้น้ำที่ 50% AWHC มีขนาดลำต้นใหญ่ที่สุดรองลงมาคือ 40%, 30%, 20% AWHC และการไม่ให้น้ำตามลำดับ แต่การให้น้ำส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของทุกระดับการให้น้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับในดินร่วนเหนียวปนทรายมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการให้น้ำที่ 50% AWHC มีขนาดลำต้นใหญ่ที่สุด รองลงมาคือ 40%, 30%, 20% AWHC และการไม่ให้น้ำ ตามลำดับ (ตารางที่ 15) จากรูปที่ 13 แสดงให้เห็นว่าเส้นผ่านศูนย์กลางต้นในดินทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันหลังการให้น้ำตามกรรมวิธีที่อายุ 60 วันหลังปลูกเป็นต้นไป ซึ่งในดินทรายร่วนพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางต้นมีอัตราเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตไม่ต่างกันมาก แต่ในดินร่วนเหนียวปนทรายพบอัตราของเส้นผ่านศูนย์กลางต้นลดลงที่ 120 วันหลังปลูกในระดับการให้น้ำ 40%, 30% และ 20% AWHC อย่างเห็นได้ชัด ส่วนกรรมวิธีไม่ให้น้ำในทั้งชนิดดินมีการเจริญเติบโตของความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นลดลงตั้งแต่ 60 วันหลังปลูก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 15 ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางต้น จำนวนกิ่งต่อต้น และน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังอายุ 120 วันหลังปลูก

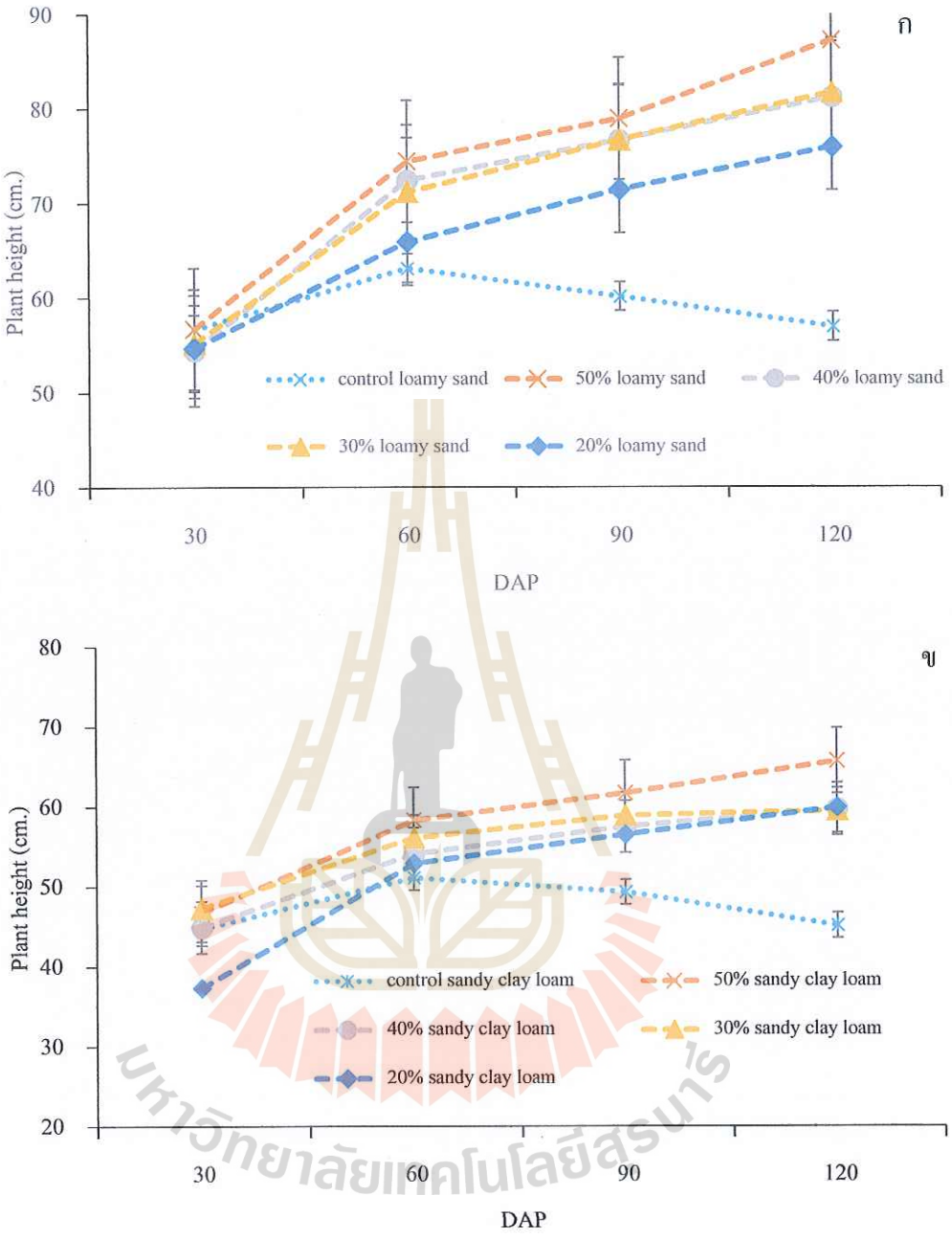
กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)	จำนวนกิ่งต่อต้น	น้ำหนักแห้งรวมทั้งต้น (กรัม)	ดัชนีพื้นที่ใบ
ทรายร่วน					
50% AWHC	87.25a	12.00a	2.75	273.3a	0.58a
40% AWHC	81.25b	11.00a	3.00	263.8a	0.50ab
30% AWHC	81.75b	11.30a	2.50	256.5a	0.45b
20% AWHC	76.00c	11.80a	2.50	214.4b	0.42b
control	57.80e	9.10b	2.75	29.2c	0.00c
F-test	**	**	ns	**	**
CV%	3.5	5.6	17.9	7.5	11.52
ร่วนเหนียวปนทราย					
50% AWHC	66.0a	10.40a	3.00	185.9a	0.50a
40% AWHC	58.0b	9.09b	3.00	160.5ab	0.35ab
30% AWHC	59.5b	9.60ab	3.00	137.3b	0.32b
20% AWHC	60.0b	8.80bc	2.75	132.0b	0.21b
control	44.3c	8.00c	2.75	23.6c	0.00c
F-test	**	**	ns	**	**
CV%	4.1	6.5	24.3	6.8	6.5

หมายเหตุ [1] AWHC: available water holding capacity (ความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์)

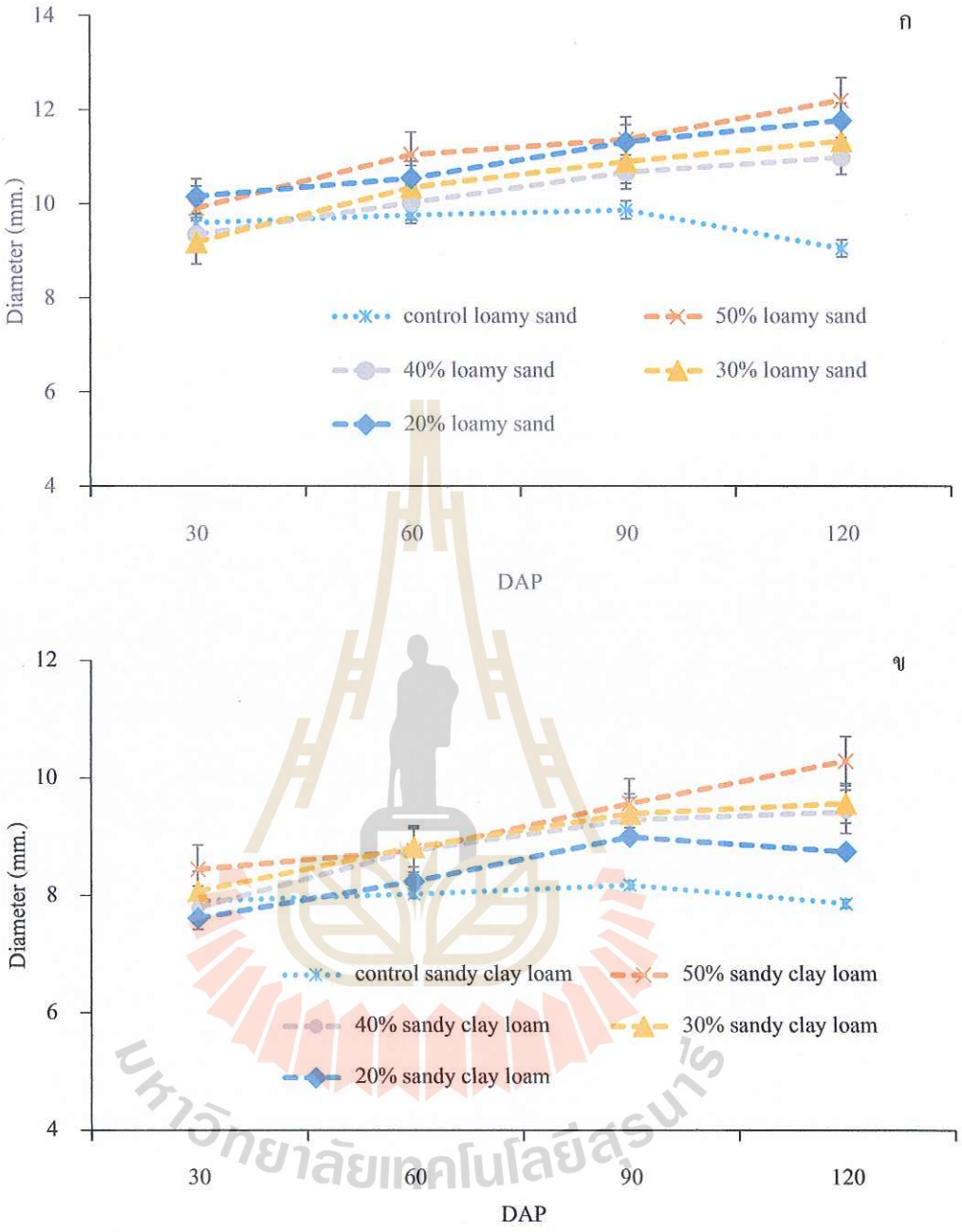
*, ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p< 0.05$ และ 0.01 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันของดินแต่ละชนิด ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีวิเคราะห์แบบ DMRT

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 12 ความสูงของต้นมันสำปะหลังในสภาพดินทรายร่วน (ก) และดินร่วนเหนียวปนทราย (ข)



รูปที่ 13 เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมันสำปะหลังในสภาพดินทรายร่วน (ก) และดินร่วนเหนียวปนทราย (ข)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สำหรับการสะสมน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้น (ตารางที่ 15) พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างดินทั้งสองชนิด โดยในสภาพดินทรายร่วนมีสูงสุด รองลงมาคือ 40%, 30%, 20% AWHC สภาพดินร่วนเหนียวปนทรายให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งสูงสุด รองลงมาคือ 40% 30% 20% AWHC ส่วนการไม่ให้น้ำ

การเจริญเติบโตทางใบและลำต้นมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อสภาวะขาดน้ำ (ตารางที่ 15) ซึ่งพบว่า น้ำหนักแห้งลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อระดับการให้น้ำลดลง เนื่องจากภายใต้สภาวะขาดน้ำ เซลล์พืชมีขนาดเล็กลง และใบมีการพัฒนาน้อยลง ทำให้มีพื้นที่ในการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ดังนั้นการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต และสารอินทรีย์อื่นที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงไปด้วยส่งผลให้การสร้างโครงสร้างของต้นพืช ความสูง ขนาดลำต้นและผลผลิตจึงลดลง (Saliisbury and Ross, 1978 และนวรัตน์ อุดมประเสริฐ, 2542) จากการทดลองครั้งนี้ ถึงแม้ว่าในการให้น้ำในระดับต่าง ๆ มีผลต่อน้ำหนักแห้งรวม เส้นผ่านศูนย์กลางต้นและความสูง แต่พบว่ายังมีการเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาได้อย่างต่อเนื่อง อาจเพราะมันสำปะหลังมีความสามารถปรับตัวในสภาวะที่น้ำในดินเหลือน้อย และสามารถฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับน้ำใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ นพ ศูล สมุทรทอง และคณะ (2549) เกี่ยวกับความถี่ในการให้น้ำในมันสำปะหลัง พบว่าทุกอัตราและความถี่การให้น้ำส่งผลให้น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน จำนวนหัว/ต้น และน้ำหนักสดของใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ และการศึกษาของ Mabrouk *et al.* (1987) และ Matthews & Hunt (1994) พบว่าการไม่ให้น้ำมีการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางต้น และความสูงในมันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพแปลงอย่างรวดเร็วภายหลังฝนตก จึงทำให้มันสำปะหลังสามารถกลับมาเจริญเติบโตแบบปกติได้อย่างรวดเร็วหลังได้รับน้ำแม้อยู่ในสภาพขาดน้ำมานาน

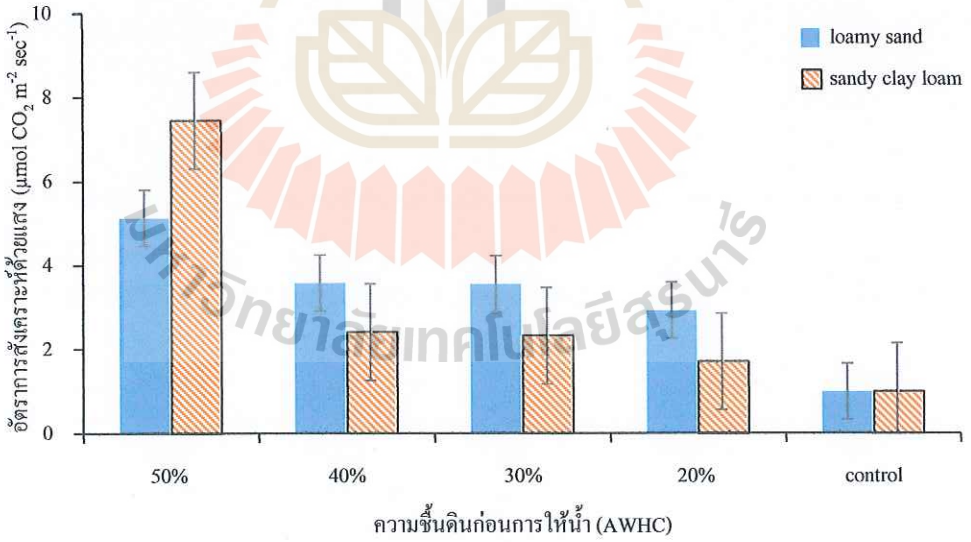
ดัชนีพื้นที่ใบมีความแตกต่างกันทางสถิติในสภาพดินทั้งสองชนิด (ตารางที่ 15) ในดินทรายร่วน พบว่าค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ 40%, 30%, 20% AWHC ส่วนการไม่ให้น้ำ สำหรับในสภาพดินร่วนเหนียวปนทรายพบว่า มีค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบในทำนองเดียวกับสภาพดินทรายร่วนเช่นกัน แต่มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระดับการให้น้ำเดียวกัน ส่วนกรรมวิธีไม่ให้น้ำ เนื่องจากใบมีการหลุดร่วงจนหมด การขาดน้ำมีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับการลดของพื้นที่ใบ และความเต่งของเซลล์ เมื่อปริมาณน้ำภายในพืชลดลงส่งผลให้ผนังเซลล์อ่อนตัวและเซลล์เริ่มหดตัว หรือมีการลดขนาดของเซลล์ การที่เซลล์มีขนาดลดลงทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้นเพื่อที่จะดึงน้ำ (ศักย์ออสโมติกลดลง) เป็นกระบวนการตอบสนองต่อการขาดน้ำช่วงต้น การยับยั้งการขยายขนาดของเซลล์ทำให้การขยายขนาดของใบเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ส่งผลให้พื้นที่ใบลดลง การคายน้ำน้อยลง ทำให้รักษาระดับน้ำไว้ใช้ในระยะเวลายาวนานยิ่งขึ้น (Taiz and Zeiger, 1991 และนวรัตน์ อุดมประเสริฐ, 2558) แม้ว่าระดับการให้น้ำส่งผลทำให้ค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบแตกต่างกัน แต่มีข้อสังเกตว่าค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบของทุกระดับการให้น้ำมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่ง

สอดคล้องกับพบว่าความเครียดที่มาจากการขาดน้ำมีผลให้อายุใช้งานของใบใหม่ยาวนานขึ้น และการเก็บรักษาใบดีขึ้น เนื่องจากใบอ่อนของมันสำปะหลังยังคงมีการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ในสภาพความเครียดจากการขาดน้ำที่มากกว่า 2 เดือน (แม้ว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะน้อยกว่าสภาพปกติ) และในสภาพขาดน้ำใบที่เกิดความเครียดสามารถฟื้นตัวกลับมาใช้งานได้บางส่วนเมื่อมีการให้น้ำใหม่

4.2.3 การตอบสนองด้านสรีรวิทยาของมันสำปะหลังต่อระดับความชื้นในดิน

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังต่อระดับความชื้นในดินที่ต่างกันโดยการศึกษาลักษณะอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช การเหนี่ยวนำปากใบ ศักย์ของน้ำในใบ และประสิทธิภาพของคลอโรฟิลล์ที่ใบพืช พบว่าการให้น้ำที่ระดับแตกต่างกันมีผลทำให้กระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชเปลี่ยนแปลง

1) อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (รูปที่ 14) ในสภาพดินทรายร่วนพบว่าการให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC ส่งผลให้มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงที่สุด รองลงมาคือการให้น้ำที่ระดับ 40%, 30% และ 20% AWHC ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีไม่ให้น้ำมีค่าต่ำที่สุด (2.93 µmol $CO_2m^{-2}sec^{-1}$) อย่างไรก็ตามอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในการให้น้ำที่ระดับ 40% และ 30% AWHC (3.58 และ3.56 µmol $CO_2m^{-2}sec^{-1}$ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกัน สำหรับในสภาพดินร่วนเหนียวปนทรายพบว่า ได้ผลเช่นเดียวกับสภาพดินทรายร่วน (ตารางที่ 16)

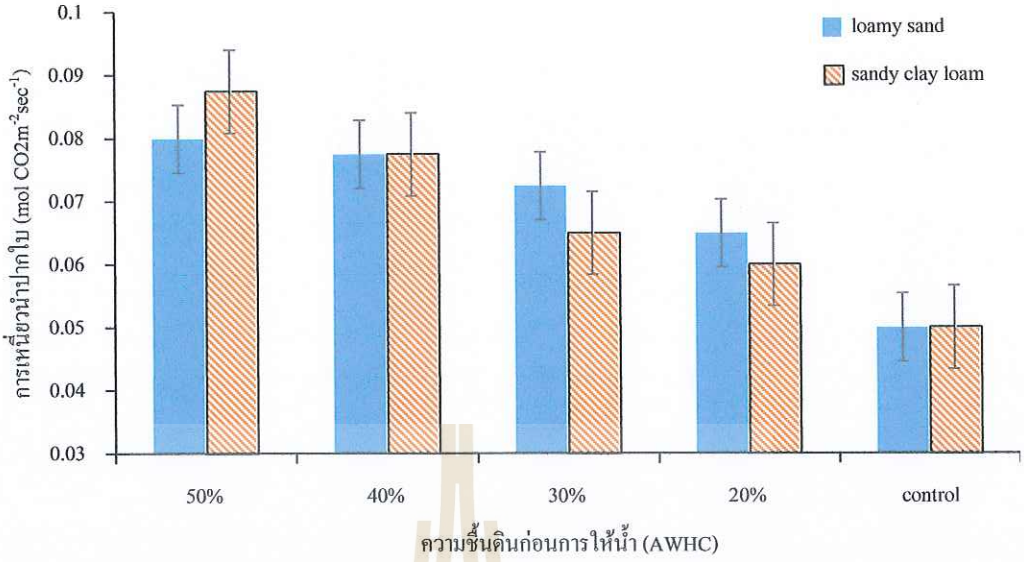


รูปที่ 14 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของมันสำปะหลังในดิน 2 ชนิดที่มีความชื้นแตกต่างกัน

2) การเหนี่ยวนำปากใบ (stomatal conductance) (รูปที่ 15) ในสภาพดินทรายร่วน พบว่า การให้น้ำที่ 50% AWHC ส่งผลให้การเหนี่ยวนำปากใบที่การให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC สูงที่สุด รองลงมาคือการให้น้ำที่ 40% , 30% และ 20% AWHC ตามลำดับ (0.080, 0.078 และ0.072 ตามลำดับ) ส่วนกรรมวิธีไม่ให้น้ำมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งแตกต่างจากการให้น้ำที่ระดับ 20% AWHC (0.065 mol $CO_2m^{-2}sec^{-1}$) ที่มีค่าการเหนี่ยวนำปากใบอย่างเห็นได้ชัด สำหรับในดินร่วนเหนียวปนทราย พบว่าที่ 50% AWHC มีค่าสูงสุด รองลงมา คือการให้น้ำที่ระดับ 40%, 30% และ 20% AWHC ตามลำดับ ส่วนการไม่ให้น้ำมีค่าต่ำที่สุด โดยค่าเฉลี่ยของการให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC (0.088 mol $CO_2m^{-2}sec^{-1}$) มีค่าเฉลี่ยมากกว่า การให้น้ำที่ที่ระดับ 40%, 30% และ 20% AWHC (0.078, 0.065, 0.060 และ 0.050 mol $CO_2m^{-2}sec^{-1}$ ตามลำดับ) อย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 16)

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง และปริมาณความชื้นของดินสองชนิด (รูปที่ 12) พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงตามปริมาณความชื้นที่ลดลงในแต่ในดินร่วนเหนียวปนทรายมีอัตราการลดลงที่เด่นชัดหลังจากความชื้นน้อยกว่าระดับ 50% AWHC ในขณะที่ดินทรายร่วนเมื่อความชื้นลดลงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง และลดลงอย่างมากที่ระดับ 20% AWHC ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างการเหนี่ยวนำปากใบและปริมาณความชื้นของดินสองชนิด (รูปที่ 13) พบว่า การเหนี่ยวนำปากใบลดลงตามการลดลงของปริมาณความชื้นดิน โดยการเหนี่ยวนำปากใบของมันสำปะหลังในดินร่วนเหนียวปนทรายมีการลดลงอย่างรวดเร็วที่ความชื้นดินต่ำกว่า 50% AWHC ขณะที่ดินร่วนเหนียวปนทรายค่อย ๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอจนความชื้นดินต่ำกว่า 30% AWHC การเหนี่ยวนำปากใบจึงมีการลดลงอย่างรวดเร็ว

มีรายงานวิจัยว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง และการเหนี่ยวนำปากใบมีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันในการตอบสนองต่อระดับความชื้นดิน ซึ่งถ้าปริมาณน้ำในดินลดลงพืชลดการคายน้ำด้วยการปิดปากใบส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงอย่างมาก เพราะนอกจากลดการคายแล้วการปิดปากใบทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซลดลงตามไปด้วย (ศรีสม สุวรรณวงศ์, 2552)

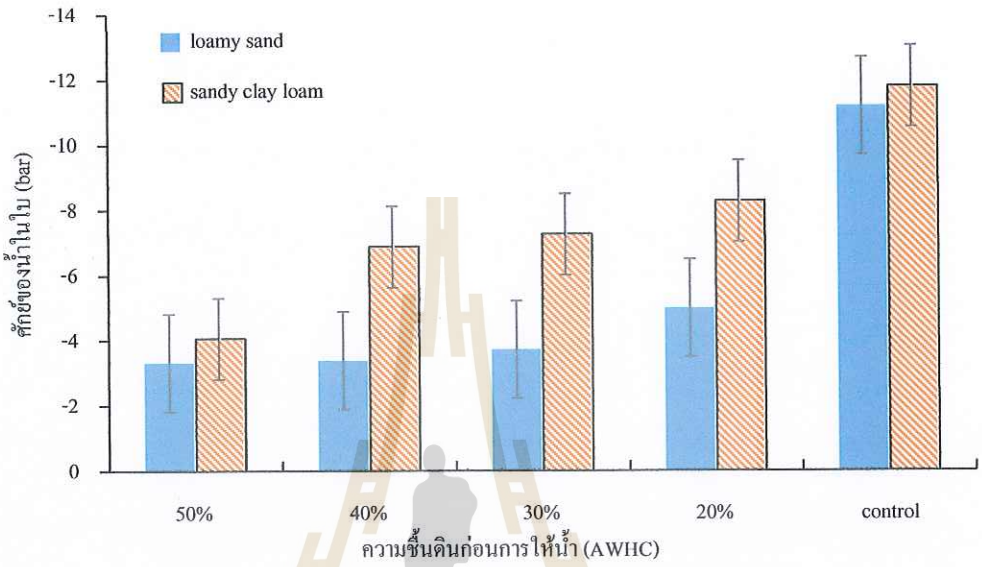


รูปที่ 15 การเหนี่ยวนำปากใบของมันสำปะหลังในดิน 2 ชนิดที่มีความชื้นแตกต่างกัน

3) ศักย์ของน้ำในใบ (รูปที่ 16) ในสภาพดินทรายร่วนพบว่าการให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC ส่งผลให้ศักย์ของน้ำในใบมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือการให้น้ำที่ระดับ 40%, 30% และ 20% AWHC ตามลำดับ ส่วนการไม่ให้น้ำมีค่าต่ำที่สุด โดยค่าเฉลี่ยของการให้น้ำที่ระดับ 50%, 40% และ 30% AWHC (-3.33, -3.40 และ -3.73 bar ตามลำดับ) มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีค่าเฉลี่ยมากกว่าการให้น้ำที่ระดับ 20% AWHC (-5.00 bar) อย่างเด่นชัด สำหรับในดินร่วนเหนียวปนทรายพบว่าที่ระดับ 50% AWHC มีค่าสูงสุด รองลงมาคือการให้น้ำที่ระดับ 40%, 30% และ 20% AWHC ตามลำดับ ส่วนการไม่ให้น้ำมีค่าต่ำที่สุด โดยค่าเฉลี่ยของการให้น้ำที่ระดับ 40%, 30% และ 20% AWHC (-4.40, -5.26 และ -5.20 bar ตามลำดับ) มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่น้อยกว่าการให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC (-4.06 bar) อย่างเด่นชัด (ตารางที่ 16)

ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ของน้ำในใบและปริมาณความชื้นของดินสองชนิด พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นในดินลดลงส่งผลให้ศักย์ของน้ำในใบลดลงด้วย โดยในดินทรายร่วนที่ความชื้นต่ำกว่า 30% AWHC มีการลดลงของศักย์ของน้ำในใบอย่างเห็นได้ชัด แต่ในดินร่วนเหนียวปนทรายพบการลดลงของศักย์ของน้ำในใบอย่างเด่นชัดเมื่อความชื้นดินต่ำกว่าระดับ 50% AWHC แสดงในเห็นว่าชนิดของดินส่งผลอย่างมากต่อศักย์ของน้ำในใบ น้ำในดินที่พืชสามารถดึงมาใช้ได้ส่วนมากจะอยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ เมื่อพืชใช้น้ำไปจนเหลือเพียงน้ำในช่องว่างเล็ก ๆ การปรับศักย์ของน้ำในพืชสามารถดูดน้ำส่วนนี้มาใช้ได้ แต่ปริมาณน้ำที่ดูดได้นั้นจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับศักย์ของน้ำในใบที่สูงกว่า (Taiz and Zeiger, 1991) ดังนั้นช่องว่างที่เล็กกว่าของดินร่วนเหนียวปนทรายทำให้พืชต้องลดศักย์ของน้ำในใบ

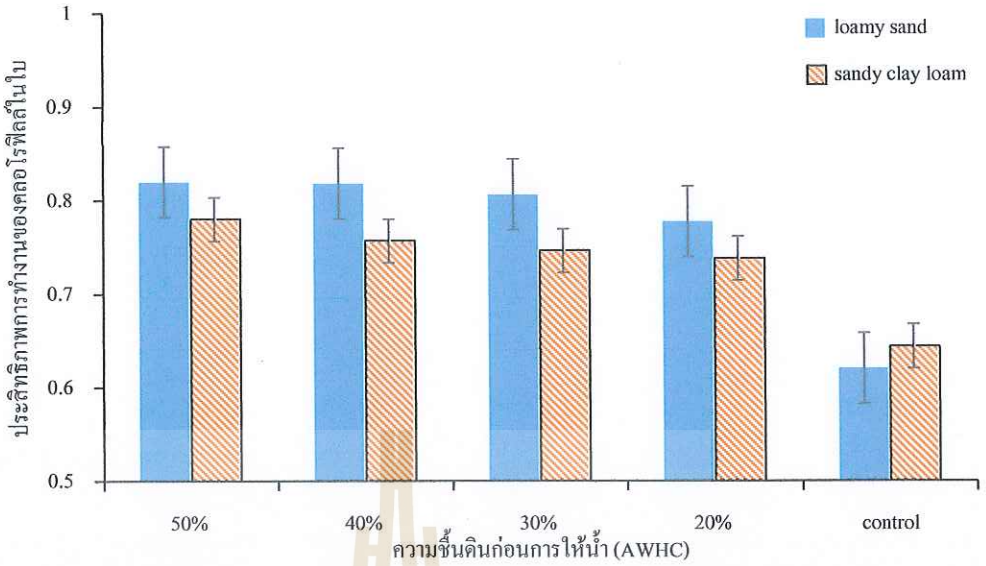
เพื่อที่จะดึงน้ำจากช่องว่างตั้งแต่ที่ปริมาณความชื้นต่ำกว่าระดับ 50% ของปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ ซึ่งส่งผลให้ศักย์ของน้ำในใบมีการลดลงที่ปริมาณความชื้นดินที่เป็นประโยชน์มากกว่าดินทรายร่วน



รูปที่ 16 ศักย์ของน้ำในใบมันสำปะหลังในดิน 2 ชนิดที่มีความชื้นแตกต่างกัน

4) ประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ในใบ (รูปที่ 17) ในสภาพดินทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพของคลอโรฟิลล์ไปในทำนองเดียวกัน และมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันในระหว่างระดับความชื้นในดิน โดยการให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC ให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือการให้น้ำที่ระดับ 40%, 30% และ 20% AWHC ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีไม่ให้น้ำมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งการให้น้ำทุกระดับส่งผลให้ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์ใกล้เคียงกันในดินทั้งสองชนิด

สำหรับประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ในใบที่มีความแตกต่างกันทางสถิติในดินทั้งสองชนิด โดยการให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC ให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือระดับ 40% 30% และ 20% AWHC ส่วนการไม่ให้น้ำส่งผลให้ค่าคลอโรฟิลล์มีค่าต่ำสุด แต่การให้น้ำทุกระดับความชื้นทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการให้น้ำที่ระดับแตกต่างกันไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ในใบ แม้ว่าพบความแตกต่างในการไม่ให้น้ำ โดยการให้ธาตุอาหารพืชของแต่ละระดับการให้น้ำเท่ากัน แต่การไม่ให้น้ำได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารอย่างมาก เพราะการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารอาศัยความชื้นในดินในการดูดใช้ปุ๋ย



รูปที่ 17 ประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ในใบมันสำปะหลังในดิน 2 ชนิด ที่มีความชื้นแตกต่างกัน

ผลของลักษณะสรีรวิทยาในใบมันสำปะหลังในสภาพดินชนิดเดียวกัน มีข้อสังเกตว่าความชื้นในดินที่ระดับเดียวกัน แต่ลักษณะทางสรีรวิทยาลดลงแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนวรัตน์ อุดมประเสริฐ (2558) พบว่า การตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการขาดน้ำอาจไม่พร้อมกัน เช่น การปิดปากใบในช่วงการขาดน้ำแรก ๆ ส่งผลให้ของประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้น โดยการปิดปากใบเป็นการยับยั้งการคายน้ำแต่ไม่ลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ จึงส่งผลให้การสังเคราะห์อยู่ใกล้เคียงระดับปกติ แต่ในการทดลองนี้พบว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงมีการเปลี่ยนแปลงก่อนการเหนี่ยวนำปากใบ และศักย์ของน้ำในใบเมื่อเทียบกับความชื้นในดินที่ระดับเดียวกัน อาจเนื่องจากอุณหภูมิโรงเรือนในช่วงเก็บข้อมูลอยู่ที่ 37–45°C โดยอุณหภูมิที่สูงกว่า 35°C ทำให้พืชมีการหายใจเพิ่มมากขึ้น แต่การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงมีผลต่อการทำงานของเอมไซม์ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลงด้วย (นวรัตน์ อุดมประเสริฐ, 2558)

ในสภาพปัจจัยตัวแปรดินทั้งสองชนิดพบว่า ที่ระดับความชื้นเดียวกัน ลักษณะทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การเหนี่ยวนำปากใบ และศักย์ของน้ำในดินมีความแตกต่างกัน (รูปที่ 14-16) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเกิดจากมีปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ของชนิดดินมีความต่างกัน (ตารางที่ 14) โดยดินร่วนเหนียวปนทรายมีปริมาณความชื้นที่จุดชลประทานมากกว่าดินทรายร่วน ดังนั้นปริมาณน้ำที่พืชสามารถใช้ประโยชน์จึงมากกว่า ส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสงและการเหนี่ยวนำปากใบที่ระดับ 50% AWHC ในดินร่วนเหนียวปนทราย

มากกว่าดินทรายร่วน และในด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินพบว่า เมื่อเทียบผลการวิเคราะห์ก่อนปลูกของดินทั้งสองชนิด ดินร่วนเหนียวปนทรายมีกับค่าดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังมากกว่าดินทรายร่วน ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการทางสรีรวิทยาในดินทั้งสองชนิดแตกต่างกัน งานทดลองของ Taiz and Zeiger, (1991) และ Rao (1987) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความเข้มข้นของแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ในสภาพขาดน้ำ พบว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงของทานตะวันที่ได้รับแมกนีเซียมความเข้มข้นสูงกว่าจะได้รับผลกระทบเร็วเมื่อสภาวะขาดน้ำรุนแรงขึ้น ซึ่งอาจเนื่องจากดินร่วนเหนียวปนทรายมีธาตุอาหารรองมากกว่าจึงส่งผลให้มีการตอบสนองต่อการขาดน้ำเร็วกว่าดินทรายร่วนตั้งแต่ที่ระดับ 40% AWHC

ตารางที่ 16 ลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชที่อายุประมาณ 45 วันหลังปลูก โดยวัดก่อนการให้น้ำในแต่ละกรรมวิธี

กรรมวิธี	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ($\mu mol\ CO_2 m^{-2} sec^{-1}$)	การเหนี่ยวนำปากใบ ($mol\ CO_2 m^{-2} sec^{-1}$)	ศักย์ของน้ำในใบ (bar)	ประสิทธิภาพของคลอโรฟิลล์
ทรายร่วน				
50% AWHC[1]	5.14a[2]	0.080a	-3.33a	0.791a
40% AWHC	3.58b	0.078ab	-3.40a	0.819a
30% AWHC	3.56b	0.072ab	-3.73b	0.807a
20% AWHC	2.93b	0.065b	-5.00c	0.777a
control	1.00c	0.050c	-11.20d	0.621b
F-test	**	**	**	**
ร่วนเหนียวปนทราย				
50% AWHC	7.46a	0.088a	-4.06a	0.781a
40% AWHC	2.41b	0.078a	-4.40b	0.757a
30% AWHC	2.32b	0.065b	-5.26c	0.747a
20% AWHC	1.71c	0.060bc	-5.20c	0.738a
control	1.00c	0.050c	-11.8d	0.724b
F-test	**	**	**	**

หมายเหตุ [1] AWHC: available water holding capacity (ความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์)

*, ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p< 0.05$ และ 0.01 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันของดินแต่ละชนิด ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีวิเคราะห์แบบ DMRT

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ลักษณะทางสรีรวิทยามีการตอบสนองต่อความชื้นในดินที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามแต่ละลักษณะยังไม่สามารถบอกได้ว่าลักษณะใดมีความแม่นยำพอเป็นตัวบ่งชี้ ถึงจุดวิกฤติการให้น้ำได้มีการศึกษาของ Bielorai (1973) and Hsiao (1993) ได้เสนอแนวทางในการศึกษาจุดวิกฤติน้ำในดินโดยการสังเกตการลดลงของน้ำในดินต่อการลดลงของน้ำหนักแห้งของพืช แต่ปริมาณน้ำหนักแห้งรวมพืชต้องใช้ระยะเวลานานเพื่อรอการเก็บเกี่ยว และสามารถเก็บข้อมูลได้เพียงครั้งเดียวทำให้ข้อมูลมีความแม่นยำ และความละเอียดน้อย ซึ่งแตกต่างจากลักษณะทางสรีรวิทยาที่สามารถศึกษาข้อมูลได้หลายครั้ง ใช้ระยะเวลาสั้น ๆ ในการศึกษา เป็นกระบวนที่พืชตอบสนองอย่างรวดเร็วกับระดับน้ำโดยตรง และทำการศึกษาได้ทุกช่วงการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ส่งผลให้มีความแม่นยำ ความละเอียดของข้อมูลสูง และได้ช่วงของจุดวิกฤติของการให้น้ำในมันสำปะหลังอย่างละเอียด จากตารางที่ 17 และ 18 ได้พิจารณาความสัมพันธ์ของลักษณะทางสรีรวิทยาต่าง ๆ กับน้ำหนักแห้งมันสำปะหลังในดินทั้งสองชนิดพบว่า ลักษณะทางสรีรวิทยาได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การเหนี่ยวนำปากใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และศักย์ของน้ำในใบ ต่างมีความสัมพันธ์กันน้ำหนักแห้ง และมีความสัมพันธ์กับลักษณะทางสรีรวิทยาอื่นๆ เช่นเดียวกันแต่มีข้อสังเกตว่าศักย์ของน้ำในใบมีค่าสหสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุด เนื่องด้วยค่าศักย์ของน้ำในใบได้จากการบันทึกข้อมูลในช่วงเวลาที่พืชปรับศักย์ของน้ำในใบหรือศักย์ภายในทั้งหมดของต้นพืชให้ใกล้เคียงกับศักย์ของน้ำในดินที่ระดับการให้น้ำต่าง ๆ จึงส่งผลให้ค่าศักย์ของน้ำในใบมีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินมากกว่า และมีสภาพแวดล้อมภายนอกมาเกี่ยวข้องน้อยกว่าเมื่อเทียบกับลักษณะสรีรวิทยาด้านอื่น ๆ จึงพิจารณาใช้ค่าศักย์ของน้ำในใบเพื่อหาจุดวิกฤติการใช้น้ำของมันสำปะหลัง

จากความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ของน้ำในใบกับความชื้นในดิน (รูปที่ 18 และ 19) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงของความเปลี่ยนแปลง และใช้จุดตัดของเส้นความสัมพันธ์ที่มีความชันต่างกันเป็นตัวกำหนดค่าจุดวิกฤติซึ่งจะอยู่ระหว่างจุดตัดสองจุด โดยขั้นที่ 1 การให้น้ำถึงจุดชลประทาน มีการลดลงอย่างช้า ๆ ของความชื้นในดิน จนความชื้นในดินถึงประมาณ 6% และ 23% vol. และศักย์ของน้ำในใบประมาณ -5 และ -4.8 bar ในดินทรายร่วนและดินร่วนเหนียวปนทรายตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าช่วงดังกล่าวพืชสามารถดูดใช้น้ำได้อย่างปกติ จากนั้นขั้นตอนที่ 2 พบการลดลงของศักย์ของน้ำในใบอย่างรวดเร็วที่ช่วงน้อยกว่า -5 และ -4.8 bar ในดินทรายร่วนและดินร่วนเหนียวปนทรายตามลำดับ ลงไปถึงประมาณ -10 bar. ของดินทั้งสองชนิด ซึ่งเป็นช่วงที่ความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจาก 6% vol.-5% vol. ของดินทรายร่วน และที่ความชื้น 23%vol.-21% vol. ของดินร่วนเหนียวปนทราย การลดลงอย่างรวดเร็วของศักย์ ของน้ำในใบแสดงให้เห็นถึงการดูดใช้น้ำของมันสำปะหลังที่ยากขึ้น พืชจึงต้องปรับศักย์ของน้ำในใบ ให้น้อยกว่าศักย์ของน้ำในดินเพื่อให้สามารถดึงน้ำจากช่องว่างดินเข้าไปใช้ได้ และขั้นตอนที่ 3 ศักย์ของน้ำในใบและความชื้นดินเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงช้าลงในดินทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่าการที่พืชลดศักย์ของน้ำในใบให้น้อยกว่า

-10 bar. นั้นสามารถดึงน้ำจากช่องว่างในดินได้น้อยลงกว่าขึ้นที่ 2 มาก แต่ยังสามารถดึงน้ำจากช่องว่างดินมาใช้ได้บางส่วนเท่านั้น ดังนั้นช่วงที่มันสำปะหลังเริ่มลดศักย์ของน้ำในใบลงอาจเป็นจุดวิกฤติที่พืชเริ่มดึงน้ำได้น้อยลงแล้วนั้นเอง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Polak and Wallach (2001) ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการให้น้ำและหลังให้น้ำในสวนผลไม้ โดยใช้หลักการคล้ายกันกับการทดลองนี้ในการวิเคราะห์เพื่อหาจุดการให้น้ำของพืช พบว่าความแปรปรวนของความชื้นในดินสามารถแบ่งได้ 3 ช่วงตามเส้นความชันที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่า ช่วงสุดท้ายมีการลดลงของความชื้นในดินน้อยลงและช้ากว่าช่วงที่ 2 และเส้นความชันจากความสันพันธ์เชิงเส้นที่ชันน้อยกว่าแสดงให้เห็นว่าเริ่มมีการใช้น้ำน้อยลง จึงได้กำหนดให้จุดก่อนถึงช่วงที่สามเป็นจุดในการให้น้ำแก่พืชในรอบต่อไป แต่การทดลองนี้ ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ของน้ำในใบกับความชื้นในดิน ดังนั้นการแปลผลจึงต่างจากงานทดลองข้างต้น โดยสำหรับการทดลองนี้จุดที่มันสำปะหลังเริ่มลดศักย์ของน้ำในใบลง หมายถึงมีการดูดใช้น้ำจากดินได้ยากขึ้น แรงศักย์ที่มากไม่สามารถดึงน้ำจากช่องว่างระหว่างดินได้ ฉะนั้นจุดที่มันสำปะหลังเริ่มลดศักย์ของน้ำในใบลงอาจเป็นจุดวิกฤติน้ำของพืชได้

การหาจุดวิกฤติของการใช้น้ำจากเส้นความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ของน้ำในใบกับความชื้นดินพบว่า ความชันเส้นกราฟเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในดินทั้งสองชนิดแตกต่างกัน โดยดินทรายร่วนเส้นกราฟลดลงสม่ำเสมอจนถึงความชื้นประมาณ 6.1% vol. เมื่อความชื้นลดลงเส้นความสัมพันธ์มีการเปลี่ยนแปลงของเส้นความชัน แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของศักย์ของน้ำในใบจนถึงความชื้นที่ 5.6% vol. ศักย์ของน้ำในใบมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงจนใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวร จากการเปลี่ยนแปลงของความชันทั้ง 3 ช่วง มาหาจุดตัดของเส้นความสัมพันธ์ได้จุดตัดที่ความชื้น 5.82% vol. และ 5.59% vol. (รูปที่ 18) ส่วนในดินร่วนเหนี่ยวปนทรายพบว่า ความชื้นที่จุดชลประทานมาถึง 22.9% vol. เส้นกราฟลดลงอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นเส้นกราฟมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจนถึงความชื้นที่ 21.1% vol. แต่หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงอย่างมากของเส้นความสัมพันธ์จนใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวร เมื่อหาจุดตัดจาก 3 ช่วงของความชันได้ที่จุดความชื้น 22.82% vol. และ 20.97% vol. (รูปที่ 19) ดังนั้นช่วงระหว่างจุดตัด 2 จุดเป็นช่วงที่มันสำปะหลังดึงน้ำในดินได้ยาก จึงอาจเป็นจุดวิกฤติที่ควรมีการให้น้ำเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

ตารางที่ 17 สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นและลักษณะทางสรีรวิทยาของมันปะหลังในสภาพดินทรายร่วน

Loamy sand	SC	LWP	Chlorophyll	Total dry mater
photosynthesis rate	0.953**	0.900*	0.826*	0.913*
stomatal conductance		0.954**	0.914*	0.960**
leaf water potential			0.989**	0.990**
chlorophyll				0.984**

* สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95% ** สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 91%

SC : Stomatal conductance LWP : leaf water potential LAI: leaf area index

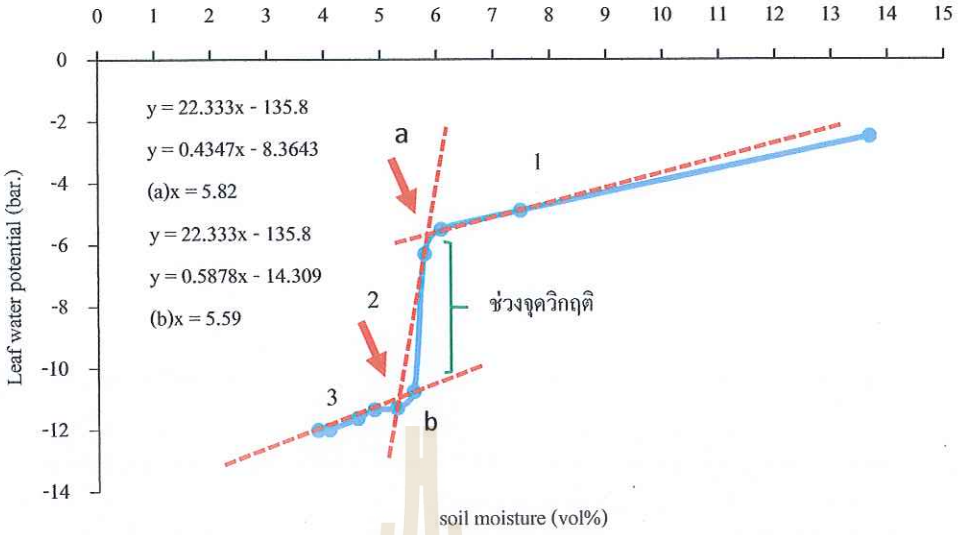
ตารางที่ 18 สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นและลักษณะทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังในสภาพดินร่วนเหนียวปนทราย

Sandy clay loam	SC	LWP	Chlorophyll	Total dry mater
photosynthesis rate	0.858*	0.851*	0.925*	0.686
stomatal conductance		0.947**	0.985**	0.891*
leaf water potential			0.965**	0.961**
chlorophyll				0.878*

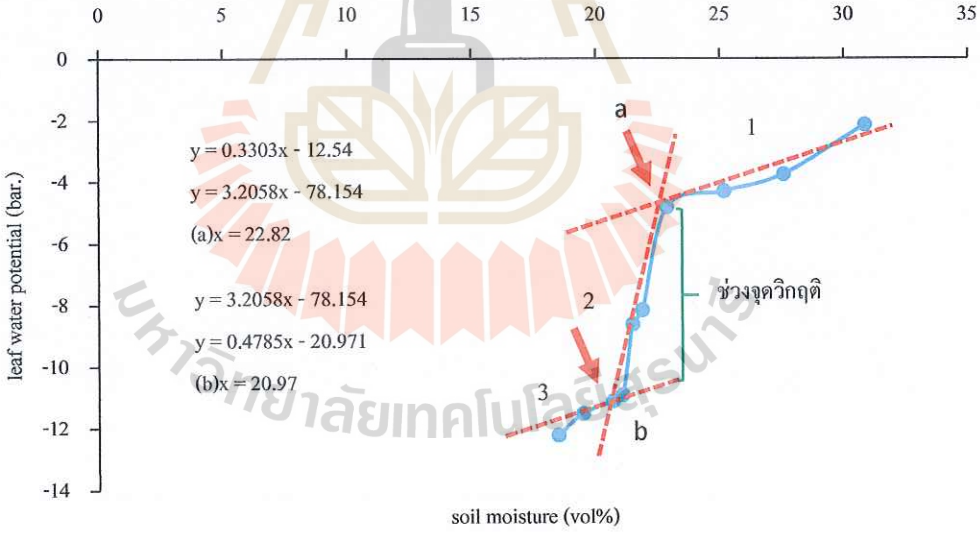
* สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95% ** สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 91%

SC : Stomatal conductance LWP: leaf water potential LAI: leaf area index

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 18 จุดวิกฤติจากเส้นความสัมพันธ์ของศักย์ของน้ำในใบ และความชื้นดิน ในสภาพดินทรายร่วน



รูปที่ 19 จุดวิกฤติจากเส้นความสัมพันธ์ของศักย์ของน้ำในใบ และความชื้นดิน ในสภาพดินร่วนเหนียวปนทราย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.4 ปริมาณการให้น้ำ และประสิทธิภาพการใช้น้ำของมันสำปะหลัง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า กรรมวิธีให้น้ำส่งผลให้ปริมาณน้ำแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 19) โดยในสภาพดินทรายร่วนการให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC ส่งผลให้มีปริมาณน้ำสูงสุด รองลงมาคือระดับ 40% 30% 20% AWHC และการไม่น้ำ ส่วนในสภาพดินร่วนเหนียวปนทรายพบว่าปริมาณน้ำลดลงตามกรรมวิธีเช่นเดียวกับสภาพดินทรายร่วน แต่มีปริมาณน้ำที่น้อยกว่า

แม้ว่าการให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC ส่งผลให้ปริมาณการให้แต่ละครั้งน้อยกว่าการให้น้ำที่ระดับอื่น ๆ แต่มีข้อสังเกตว่าพืชใช้น้ำจากระดับชลประทานมาถึงระดับ 50% AWHC อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความถี่ในการให้น้ำมากขึ้น และมีปริมาณการให้น้ำสะสมจึงมากขึ้นไปด้วย ซึ่งแตกต่างจากระดับการให้น้ำอื่น ๆ ที่มีปริมาณน้ำมากกว่า แต่มีความถี่ในการให้น้ำน้อยกว่า ส่งผลให้ระยะเวลาในการให้น้ำที่ระดับ 40% AWHC จนถึงระดับ 20% AWHC มีระยะเวลาห่างเพิ่มมากขึ้น ปริมาณการให้น้ำสะสมจึงน้อยกว่าเมื่อเทียบระดับการให้น้ำที่สูงกว่า แสดงให้เห็นว่าเมื่อความชื้นในดินเข้าใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวรมากขึ้นทำให้การดึงน้ำออกจากช่องว่างระหว่างดินของรากยากยิ่งขึ้นส่งผลให้พืชใช้น้ำได้น้อยลงกว่าเดิม และอัตราการลดลงของความชื้นในดินน้อยลงทำให้ความถี่ในการให้น้ำที่ระดับ 20% AWHC มีระยะความถี่มากกว่าเมื่อเทียบกับระดับการให้น้ำที่สูงกว่า

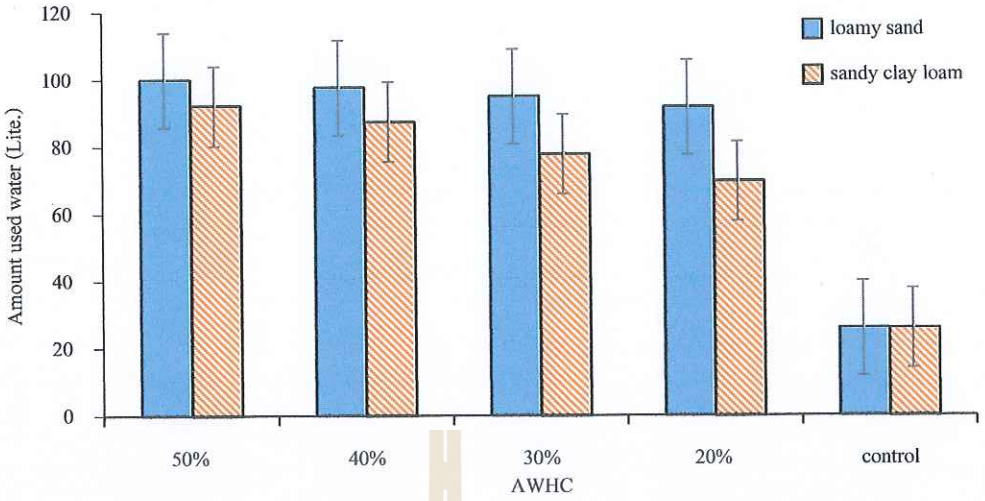
สำหรับประสิทธิภาพการใช้น้ำ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างกรรมวิธีไม่ให้น้ำกับกรรมวิธีให้น้ำ (ตารางที่ 19) โดยในสภาพดินทรายร่วนการให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุด รองลงมาที่ระดับ 40%, 30%, 20% AWHC และการไม่ให้น้ำ (2.73, 2.70, 2.33, และ 1.12 กรัม/ลิตร ตามลำดับ) ในส่วนของสภาพดินร่วนเหนียวปนทรายการให้น้ำที่ระดับ 50% AWHC มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุด รองลงมาที่ระดับ 20%, 40%, 30% AWHC และการไม่ให้น้ำมีค่าต่ำสุด (2.01, 1.89, 1.83, 1.76, และ 0.91 กรัม/ลิตร ตามลำดับ)

สำหรับในสภาพดินทรายร่วน พบว่าประสิทธิภาพการใช้น้ำของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการให้น้ำที่ระดับ 20% AWHC มีประสิทธิภาพการใช้น้ำที่น้อยที่สุด แต่ให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับระดับการให้น้ำที่สูงกว่า เนื่องจากระดับความชื้นในการให้น้ำที่ระดับ 20% AWHC ส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตเพียงระยะเวลาสั้น ๆ เมื่อมีการให้น้ำตามรอบเวรให้กลับไปที่ระดับชลประทาน มีผลทำให้อัตราการใช้น้ำหรือการดูดน้ำของราก และกระบวนการทางกลับสู่สภาวะปกติอย่างรวดเร็วภายหลังการให้น้ำ

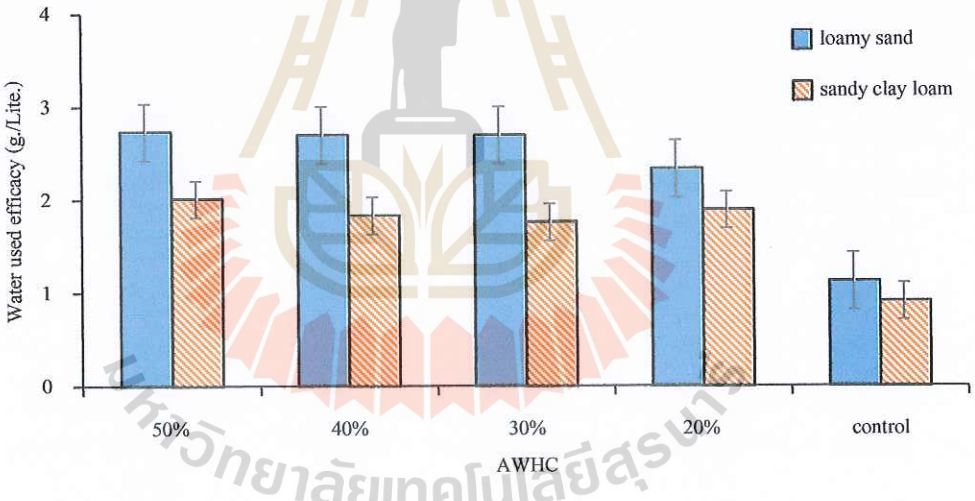
สำหรับในสภาพดินร่วนเหนียวปนทราย มีข้อสังเกตว่าการให้น้ำที่ระดับ 20% AWHC มีค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำมากกว่าระดับ 40% และ 30% AWHC เนื่องจากมีการให้น้ำต่อครั้งมากกว่าระดับอื่น น้ำที่ให้จะซึมลึกเกินกว่า 30 ซม.ในถังปลูก ช่วยให้ไม่สูญเสียน้ำจากการระเหยหน้าดิน ส่งผลให้รากสามารถดูดใช้น้ำได้นานออกไปก่อนที่จะถึงระดับ 20% AWHC มีผลทำให้น้ำหนักแห้งมีค่าเฉลี่ยไม่ต่างกันจากระดับการอุ้มน้ำอื่น ๆ และค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำจึงสูงกว่าระดับ 40%

AWHC และ 30% AWHC การศึกษาของ สุมิตรา จันไทย (2555) พบว่า ความถี่ในการให้น้ำมะเขือเทศที่ ETc 15, 25 และ 35 มม. มีประสิทธิภาพการใช้น้ำแตกต่างกันทางสถิติ แต่ค่าเฉลี่ยของ ETc 35 มม. ประสิทธิภาพต่ำที่สุด เนื่องจากความถี่ที่ ETc 35 มม. เพียงความถี่เดียวที่มีปริมาณความชื้นในดินต่ำกว่าระดับ 50% AWHC และประสิทธิภาพการใช้ของมะเขือเทศเองอาจไม่สามารถปรับตัวเพื่อที่ใช้น้ำในดินที่ระดับต่ำกว่าระดับ 50% AWHC ได้ ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของมะเขือเทศลดลง อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้พบว่าประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ระดับ 40-20% AWHC มีค่าใกล้เคียงกัน ระดับการให้น้ำดังกล่าวเริ่มส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา และการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 20 ปริมาณการให้น้ำของมันสำปะหลังในสภาพดินทรายร่วน และสภาพดินร่วนเหนียวปนทราย



รูปที่ 21 ประสิทธิภาพการใช้น้ำของมันสำปะหลังในดินทรายร่วน และดินร่วนเหนียวปนทราย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 19 ปริมาณการให้น้ำและประสิทธิภาพการใช้น้ำของมันสำปะหลัง

กรรมวิธี	ปริมาณการใช้น้ำ (ลิตร)	ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (กรัม/ลิตร)
ทรายร่วน		
50% AWHC	99.95a	2.73a
40% AWHC	97.71b	2.70a
30% AWHC	95.07c	2.70a
20% AWHC	91.85d	2.33b
control	26.00e	0.62c
F-test	**	*
CV%	1.22	14.05
ร่วนเหนียวปนทราย		
50% AWHC	92.38a	2.01a
40% AWHC	87.55b	1.83a
30% AWHC	77.92c	1.76a
20% AWHC	69.77d	1.89a
control	26.00e	0.64b
F-test	**	*
CV%	1.41	17.35

หมายเหตุ 1 AWHC: available water holding capacity (ความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์)

*, ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p< 0.05$ และ 0.01 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันของดินแต่ละชนิด ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีวิเคราะห์แบบ DMRT

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
บทสรุป

จากการศึกษาการกระจายของรากมันสำปะหลังด้วยวิธีการให้น้ำหยด และการตอบสนองทางสรีรวิทยาด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังที่มีต่อระดับความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์โดยเปรียบเทียบกับการไม่ให้น้ำ (อาศัยความชื้นในดินที่มีอยู่ หรืออาศัยน้ำฝน) สรุปได้ดังนี้

การทดลองที่ 1 การตอบสนองของการกระจายรากของมันสำปะหลังต่อการให้น้ำระบบน้ำหยด

1) การให้น้ำตามความต้องการน้ำของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 โดยระบบน้ำหยด มีผลทำให้การกระจายตัวของรากอยู่ในช่วงความลึกแต่ละชั้นที่แตกต่างกัน และมีความหนาแน่นมากในระดับใกล้ผิวดิน ส่วนการไม่ให้น้ำส่งผลให้มันสำปะหลังมีความหนาแน่นของรากน้อยกว่าในทุกระดับความลึกของดินโดยเฉพาะระดับใกล้ผิวดินเมื่อเทียบกับการให้น้ำ

2) เมื่อมันสำปะหลังในสภาพไม่ให้น้ำนั้น ได้รับความชื้นในดินเพิ่มขึ้นจากการมีฝนตก ส่งผลทำให้รากมีการพัฒนาการเจริญเติบโตกระจายไปสู่ผิวดินที่มีความชื้นได้ อีกทั้งยังมีความหนาแน่นของรากยังเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งถือเป็นความสามารถของมันสำปะหลังในการปรับตัวต่อสภาวะความชื้นในดินมีจำกัด

จะเห็นว่า รูปแบบการกระจายของรากมันสำปะหลังในสภาพให้น้ำหยดและอาศัยน้ำฝนนี้ถือว่าเป็นข้อมูลสำคัญในการจัดการให้น้ำและปุ๋ยในแปลงปลูกกล่าวคือ การใส่ปุ๋ยในแปลงที่ปลูกอาศัยน้ำฝนนั้น ควรให้ปุ๋ยลงดินในระดับที่ลึกกว่ากว่าผิวดิน เนื่องเพราะความชื้นที่ผิวดินที่มีการสูญเสียเร็ว ทำให้ปุ๋ยอาจยังไม่ละลาย หรือไม่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ อีกทั้งการกระจายของรากส่วนใหญ่อยู่ในระดับความลึกลงไปมากกว่า ในขณะที่การปลูกมันสำปะหลังแบบให้น้ำระบบน้ำหยดนั้น สามารถใส่ปุ๋ยได้ทั้งใกล้ผิวดิน และลึกลงไป เนื่องจากระบบน้ำหยดเป็นการให้น้ำโดยอาศัยการซึมผ่านชั้นดินส่งผลให้ลดการสูญเสียปุ๋ยจากการไหล หรือซึมลึกลงไปในชั้นดิน และมีระบบรากที่กระจายอยู่ในชั้นดินระดับไม่ลึกเกินไป

นอกจากนี้ ยังเป็นข้อมูลในการกำหนดตำแหน่งการใช้เทคโนโลยีเครื่องวัดความชื้นในดินได้ด้วย โดยสามารถกำหนดระดับความลึกในการวัดความชื้นดินเพื่อให้ครอบคลุมทั้งบริเวณรากและความชื้นในดินบริเวณเขตราก ส่งผลให้ค่าความชื้นที่ได้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

การทดลองที่ 2 การตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังต่อความชื้นในดินที่แตกต่างกัน

1) ในสภาพดินเนื้อละเอียด (ร่วนเหนียวปนทราย) และดินเนื้อหยาบ (ทรายร่วน) มีผลทำให้การตอบสนองทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับการให้น้ำ โดยในดินเนื้อละเอียด (ร่วนเหนียวปนทราย) มีการตอบสนองที่มากกว่าในระดับการให้น้ำที่ต่ำกว่าระดับ 50% AWHC ส่วนในดินเนื้อหยาบ (ทรายร่วน) มันสำปะหลังมีการตอบสนองมากกว่าที่ระดับใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวร ดังนั้น สภาพเนื้อดินในแปลงปลูกมันสำปะหลังที่ต่างกัน จึงถือเป็นเงื่อนไขหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของมันสำปะหลัง

2) ศักย์ของน้ำในใบพืช เป็นลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมากกับลักษณะน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้น เมื่อเทียบกับลักษณะอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การเหนี่ยวนำปากใบ และประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ที่ใบพืช ดังนั้นจึงควรใช้ศักย์ของน้ำในใบ ในการประเมินจุดวิกฤติของการให้น้ำของมันสำปะหลัง โดยดินทรายร่วนมีจุดวิกฤติการใช้น้ำที่เข้าใกล้ระดับจุดเหี่ยวเฉาถาวรมากกว่าดินร่วนเหนียวปนทรายคืออยู่ในช่วงความชื้นที่ 5.59-5.82% โดยปริมาตร ในขณะที่ดินร่วนเหนียวปนทราย มีจุดวิกฤติพบที่ช่วง 20.97-22.82% โดยปริมาตร

ผลการศึกษานี้บ่งชี้ว่า ลักษณะทางสรีรวิทยาหลายลักษณะมีค่าสหสัมพันธ์ทางบวกสูงกับลักษณะน้ำหนักแห้ง โดยเฉพาะลักษณะศักย์ของน้ำในใบ ซึ่งสามารถนำค่าเหล่านี้ไปใช้เพื่อเป็นดัชนีบ่งชี้ระดับความต้องการน้ำของมันสำปะหลังได้เช่นเดียวกัน อาจพิจารณาเลือกใช้เพียงบางลักษณะได้ตามความเหมาะสม สถานที่ทำการศึกษา ระยะเวลา ชนิดพืชและเครื่องมือที่มีอยู่

ระดับการให้น้ำมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณจุดวิกฤติการใช้น้ำนั้น ในสภาพดินทรายร่วนมีระดับการให้น้ำต่ำสุดที่ระดับ 20% AWHC หรือที่ความชื้น 5.59% โดยปริมาตร ส่วนในสภาพดินร่วนเหนียวปนทรายมีระดับการให้น้ำต่ำสุดที่ระดับ 40% AWHC หรือที่ความชื้น 20.97% โดยปริมาตร ซึ่งหากควบคุมความชื้นในดินให้อยู่สูงกว่าระดับดังกล่าวแล้ว จะส่งผลให้พืชมันสำปะหลังยังคงมีการเจริญเติบโตที่ดี และมีการสะสมน้ำหนักแห้งรวมสูง

นอกจากนี้การควบคุมระดับความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 20% -50% AWHC นั้น แม้ว่าส่งผลให้มันสำปะหลังมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาด้านการเจริญเติบโต และการสร้างน้ำหนักแห้งที่แตกต่างกัน บ่งชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการปรับตัวต่อสภาวะความชื้นในดินที่มีจำกัดของมันสำปะหลังได้อย่างดี

รายการอ้างอิง

กรมสงเสริมการเกษตร. (2556). **การลดต้นทุนการผลิตมันสำปะหลัง.** กรุงเทพฯ.

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, วลัยพร ศะศิประภา, นาวี จินะชีวี, ก้อนทอง พัวระโคน, โสภิตา สมคิด, นาฏญา โสภา, รังสี เจริญสถาพร, เบญจมาศ คำสืบ, นรีลักษณ์ วรรณสาย และอนุชิต ฉ่ำสิงห์. (2554). **ดิน น้ำ และการจัดการปลูกมันสำปะหลัง.** สถาบันวิจัยพืชไร่. 48 หน้า.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2541). **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย. (2557). **สรีรวิทยาพืชไร่.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งก่อสกุล, นาวี จิระชีวี และอิทธิสุนทร นันทกิจ. (2545). **การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.

นพศูล สมุทรทอง. (2549). ผลของปริมาณและอัตราการให้น้ำต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของมันสำปะหลัง. มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย.

นวรัตน์ อุดมประเสริฐ. (2558). **สรีรวิทยาของพืชภายใต้สภาวะเครียด.** สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ.

บุญมา ป้านประดิษฐ์. (2546). **หลักการชลประทาน.** ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. กรุงเทพฯ.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. (2552). กระบวนการเมแทบอลิซึม. **สรีรวิทยาของพืช.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. หน้า 81-96.

สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย. (2559). **ราคามันสำปะหลังตกต่ำ.** กรุงเทพฯ.

สายัณห์ สดุดี. (2537). **สภาวะขาดน้ำในการผลิตพืช.** ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่. พิมพ์ครั้งที่ 2. 202 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2556). **ประเมินผลผลิตมันสำปะหลังประจำปี 2556.** กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2557). **ผลผลิตมันสำปะหลังปี 2556.** กรุงเทพฯ.

สุดชล วุ้นประเสริฐ. (2558). **ระบบน้ำหยดสำหรับมันสำปะหลัง.** สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 57 หน้า.

สุดชล รุ้นประเสริฐ. (2552). **การวิเคราะห์ดินและพืช** สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. หน้า 95.

สุมิตรา จันไทย. (2555). ผลของความถี่ของการให้น้ำ ปุ๋ยทางระบบน้ำ และวัสดุปรับปรุงดินต่อการผลิตมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculuentum* Mill.) ในระบบน้ำหยด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อัญชลี สุทธิประการ และชวลิต ฮงประยูร. (2548). **สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 10 กรุงเทพฯ. หน้า 55-96.

Bassoi, L.H., Hopmans, J.W., de Castro Jorge, L.A., de Alencer, C.M. and de Silva, J.A.M. (2003). Grapevine root distribution in drip and microsprinkler irrigation. **Scientia Agricola.** 60: 377-387.

Bielorai, H., Yaron, B., Danfos, E. and Vaadia, Y. (1973). Prediction of irrigation needs. **Arid zone irrigation.** pp. 359-368.

Blizzard, W.E. and Boyer J.S. (1980). Comparative resistance of the soil and plant to water transport. **Plant Physiol.** 66: 809-814.

Bohm, W. (1979) In situ estimation of root length at natural soil profiles. **J. Agric. Sci.** 87: 365-368.

Coelho, E.F. (1999). Root distribution and water uptake patterns of corn under surface and subsurface drip irrigation. **Plant Soil.** 164: 299-314.

Connor, D.J and Cock, J.H (1981). Response of cassava to water shortage.2.Canopy dynamics. **Field Crop Res.** 4:285–296.

Cornish, K. and Zeevart, J.A.D. (1985). Movement of abscisic acid into the apoplast in response to water stress in *Xanthium strumarium* L. **Plant Physiol.** 78: 623-626.

Duque, L.O. and Setter, T.L. (2013). Cassava response to water deficit in deep pots: root and shoot growth, ABA, and carbohydrate reserves in stems, leaves and storage roots. **Tropical Plant Biol.** 6: 199–209.

El-Sharkawy M.A. and Cock, J.H. (1987). Response of cassava to water stress. **Plant Soil.** 100: 345-360.

El-Sharkawy, M.A. (1997). Response of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to water stress and fertilization. **Photosynthetica.** 34 (2): 233-239.

El-Sharkawy, M.A. (2007). Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought

in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. **Plant Physiol.** 19(4): 257-286.

El-Sharkawy, M.A. (2012). Stress-Tolarent Cassava: The Role of Integrative Ecophysiology-Breeding Research in Crop Improvement. **Soil Sci.** 2: 162-186.

El-Sharkawy, M.A. and Cock, J.H. (1990). Photosynthesis of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Exp Agr.** 26: 325-340.

Hanscom, Z. (1978). Response of succulents to plant water stress. **Plant Physiol.** 61: 327-330.

Hartung, W., Radin, J.W. and Hendrix, D.L. (1988). Abscisic acid movement into the apoplastic solution of water stress cotton leaves. role of apoplastic pH. **Plant Physiol.** 86: 908-913.

Hillocks, R.J., Thresh, J.M. and Bellotti, A.C. (2001). Cassava Botany and Physiology. **Cassava : Biology, Production and Utilization.** pp. 65-75.

Hsiao, T.C. (1993). Effect of drought and elevated CO_2 on plant water use efficiency and productivity. **Interacting Stresses on Plants in a Changing Climate.** pp. 435-465.

Hsiao, T.C. (1973). Plant responses to water stress. **Annu. Rev. Plant Physiol.** 24: 519-570.

Jordan, W.R. and Ritchie, J.T. (1971). Influence of soil water stress on evaporation, root absorption, and internal water status of cotton. **Plant Physiol.** 48: 783-788.

Kaspar, T.C. and Ewing, R. P. (1997). Software for measuring root length from desktop scanner images. **Rootedge.** 89: 932-940.

Locascio, S.J. (2005). Management of irrigation for vegetables: past, present, and future. **HortTechnology.** 15: 447-481.

Ludlow, M.M., Fisher, M.J. and Wilson, J.R. (1985). Stomatal adjustment to water deficits in three tropical grasses and a tropical legume grown in controlled conditions in the field. **Aust. J. Plant Physiol.** 12: 131-149.

Lyford, W H., Torrey, J. G. and Clarkson, D. T. (1975). Rhizography of non-woody roots of trees the forest floor. **The Development and Function of Roots.** pp. 179-196.

Mabrouka, A., El-sharkawy, M.A. and James, H.C. (1987). Response of cassava to water stress. **Plant Soil.** 100: 345-360.

Machado, R.M.A., Maria, D.R., Oliveira, G. and Portas, C.A.M. (2003). Tomato root distribution, yield and fruit quality under subsurface drip irrigation. **Plant Soil.** 255: 333-341.

Malamy, J.E. (2005). Intrinsic and environmental response pathways that regulate root system architecture. **Plant Cell Environ.** 28: 67–77.

Matthews, R.B. and Hunt, L.A. (1994). GUMCAS: A model describing the growth of cassava (*Manihot esculanta* L. Crantz). **Field Crop Res.** 36: 69-84.

McCree, K.J. (1974). Changes in the stomatal response characteristics of grain sorghum produced by water stress during growth. **Crop Sci.** 14: 273-278.

Merta, M., Seidler, C.H. and Fjodorowa, T. (2006). Estimation of evaporation components in agricultural crops. **Biologia.** 19: 280-283.

Mitchell, W.H. (1981). Subsurface irrigation and fertilization of field corn. **Agron. J.** 73(6): 913-916.

Morison, J.I.L. (1987). Intercellular CO_2 concentration and stomata response to CO_2. Stanford University Press. **Stomatal function.** pp. 272-287.

Perry, T. O. (1972). Dormancy of trees in winter. **Science.** 121: 29-36.

Phene, C.J., Davis, K.R., Hutmacher R.B., Bar-Yosef, B., Meek, D.W. and Misaki, J. (1991). Effect of high frequency surface and subsurface drip irrigation on root distribution of sweet corn. **Irrigation Sci.** 12(2): 135-140.

Plaut, Z., Carmi, A. and Grava, A. (1996). Cotton root and shot responses to subsurface drip irrigation and partial wetting of the upper soil profile. **Irrigation Sci.** 16(3): 107-113.

Polak, A. and Wallach, R. (2001). Analysis of soil moisture variation in an irrigated orchard root zone. **Plant Soil.** 233: 145-159.

Radin, J.W. and Hendrix, D.L. (1988). The apoplastic pool of abscisic acid in cotton leaves in relation to stomatal closure. **Planta.** 174: 180-186.

Rao, I.M., Sharp, R.E. and Boyer, J.S. (1987). Leaf magnesium alters photosynthetic response to low water potentials in sunflower. **Plant Physiol.** 84: 1,214-1,219.

Redin, J.W. and Amundson. R.G. (1985). Ambient levels of ozone reduce net photosynthesis in tree and crop species. **JSTOR. Science.** 230: 566-570.

Salisbury, F.B. and Ross, C.W. (1978). **Plant physiology.** 2nd ed. Wadsworth Publishing Company, inc. Belmont, California. 422 p.

Schulze, E.D. (1986). Carbon dioxide and water vapor exchange in responses to drought in the atmosphere and in the soil. **Annu. Rev. Plant Physiol.** 37: 257-274.

Smith, D.M., Inman-Bamber, N.G., Thorburn, P.J. (2005). Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crop Res.** 92: 169–183.

Soar, C.J. and Loveys, B.R. (2007). The effect of changing patterns in soil-moisture availability on grapevine root distribution, and viticulture implications for converting full-cover irrigation into a point-source irrigation system. **Irrigation and root distribution.** 13: 1-13.

Sokalska, D.I., Haman, D.Z., Szewczuk, A., Sobota, J. and Deren, D. (2009). Spatial root distribution of mature apple trees under drip irrigation system. **Agr Water Manage.** 96: 917–924.

Tafur, S.M., El-Sharkawy, M.A. and Calle, F. (1997). Photosynthesis and yield performance of cassava in seasonally dry and semiarid environments. **Photosynthetica.** 33: 249-257.

Taiz, L. and Zeiger, E. (1991). **Plant Physiology.** The benjamin/Cummings publishing company, Inc. Redwood city. California. 565 p.

Tanasescu, N. and Paltineanu, C. (2004). Root distribution of apple tree under various irrigation systems within the hilly region of Romania. **Int. Agrophysics**. 18: 175–180.

Tanner, C.B. (1963). Membrane-covered electrode for oxygen concentration in soil. Plant temperatures. **Agron. J.** 55: 210-211.

Tennant, D. (1975). A test of a modified line intersection method of estimating root length. J. Ecol. 63: 995-1,001.

Vidovic, J. and Novak, V. (1987). The relation between maize yield and measurement of canopy evapotranspiration. **Rostlinna vyroba.** 33: 663-670.

Yang, G., Aiwang, D., Xinqiang, Q., Zugui, L., Jingsheng, S., Junpeng, Z. and Hezhou W. (2010). Distribution of roots and length density in a maize/soybean strip intercropping system. **Agr Water Manage.** 98: 199-212.

Yuhong, G., Yaping. X., Hanyu, J., Bing, W., Junyi, N. (2014). Soil water status and root distribution across the rooting zone in maize with plastic film mulching. **Field Crop Res.** 156: 40–47.

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1 แสดงขั้นตอนการเก็บตัวอย่างรากมันสำปะหลังและแปลผล

รูปที่ 1 การเก็บตัวอย่างรากมันสำปะหลังที่ความลึก 40 ซม.

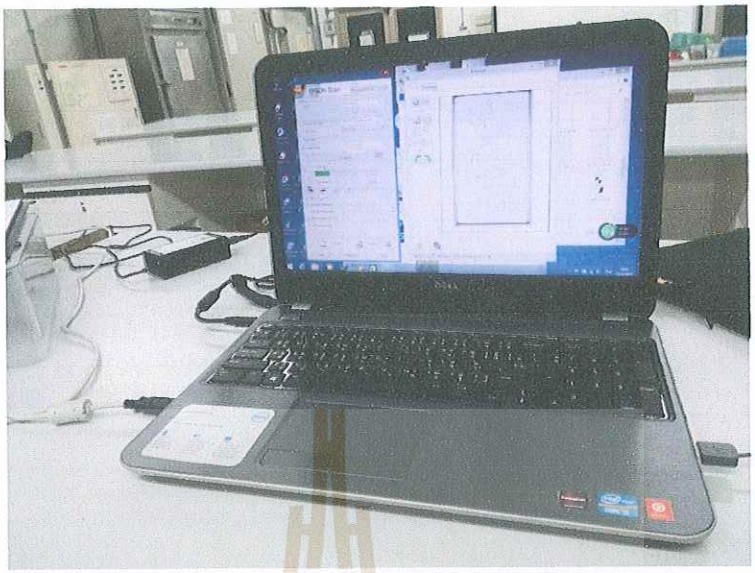
รูปที่ 2 แบ่งตัวอย่างรากตามระยะความลึก 10 ซม.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3 การล้างตัวอย่างรากมันสำปะหลังด้วยตะแกรงขนาดรู 2 มม.

รูปที่ 4 เตรียมตัวอย่างรากเข้าเครื่องสแกน

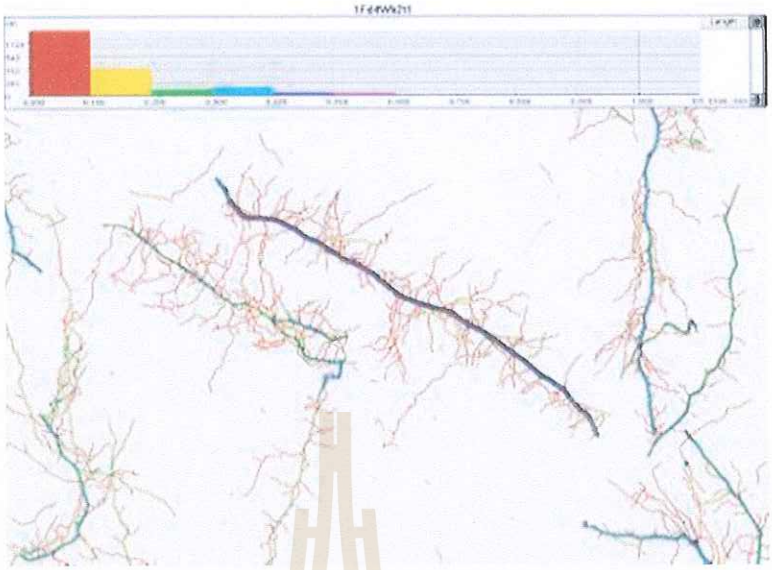
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 5 สแกนตัวอย่างรากมันสำปะหลัง

รูปที่ 6 ไฟล์ภาพตัวอย่างรากมันสำปะหลังที่ได้จากการสแกน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 7 ตัวอย่างการแปลผลข้อมูลรากจากไฟล์ภาพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวกที่ 2 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (potential evapotranspiration, ETp) ของแต่ละจังหวัด (หน่วย: มม./วัน)

ที่	สถานี	เดือน											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	เชียงราย	2.99	4.46	4.88	5.63	5.08	4.75	4.35	4.01	4.27	3.92	3.49	2.92
2	แม่ฮ่องสอน	3.30	4.79	5.35	6.16	5.20	4.62	4.23	3.95	4.15	3.95	3.73	3.12
3	เชียงใหม่	3.34	4.47	5.29	5.98	5.16	4.79	4.34	3.93	4.13	3.95	3.65	3.11
4	แม่สะเรียง	3.46	4.96	5.75	6.36	5.34	4.49	4.08	3.85	4.17	4.11	3.90	3.32
5	ลำปาง	3.50	4.96	5.37	6.14	5.39	5.04	4.63	4.26	4.33	4.03	3.76	3.22
6	น่าน	3.28	4.75	5.22	5.88	5.10	4.78	4.37	4.00	4.20	4.05	3.71	3.12
7	แพร่	3.48	4.89	5.48	6.26	5.42	4.82	4.58	4.18	4.26	4.03	3.84	3.31
8	อุตรดิตถ์	3.67	5.00	5.31	6.01	5.17	4.66	4.30	3.99	4.26	4.26	4.09	3.52
9	ตาก	3.71	5.25	5.87	6.58	5.37	5.0	4.64	4.33	4.26	3.90	3.73	3.33
10	พิษณุโลก	3.63	4.93	5.31	5.83	5.13	4.77	4.38	4.05	4.27	4.16	4.02	3.48
11	แม่สอด	3.76	5.21	5.70	6.31	5.26	4.51	4.12	3.80	4.22	4.20	4.10	3.56
12	เพชรบูรณ์	3.81	5.11	5.67	6.00	5.15	4.67	4.25	3.93	4.09	4.22	4.13	3.60
13	เขื่อนภูมิพล	3.75	5.46	5.99	6.57	5.36	4.93	4.60	4.53	4.33	4.04	3.86	3.40
14	เลย	3.82	5.21	5.53	6.09	5.38	5.16	4.93	4.59	4.64	4.49	4.13	3.53
15	อุดรธานี	3.61	4.89	5.32	5.79	5.08	4.81	4.50	4.13	4.37	4.31	4.04	3.43
16	นครพนม	3.66	4.75	5.05	5.53	4.98	4.47	4.24	3.92	4.24	4.25	4.02	3.46
17	สกลนคร	3.68	4.93	5.26	5.75	4.97	4.76	4.55	4.16	4.40	4.35	4.08	3.48
18	มุกดาหาร	3.82	5.00	5.37	5.74	5.02	4.71	4.37	4.13	4.50	4.36	4.24	3.67
19	ขอนแก่น	3.78	5.11	5.41	5.90	5.22	4.93	4.72	4.29	4.39	4.22	4.19	3.63
20	ร้อยเอ็ด	3.83	5.00	5.32	5.69	5.11	4.90	4.62	4.18	4.30	4.26	4.19	3.69
21	อุบลราชธานี	4.02	5.18	5.35	5.59	5.01	4.66	4.52	4.15	4.30	4.32	4.40	3.87
22	สุรินทร์	3.85	4.96	5.22	5.39	4.83	4.56	4.36	4.04	4.13	4.06	3.97	3.56
23	นครราชสีมา	3.86	5.11	5.25	5.61	5.10	5.03	4.71	4.32	4.40	4.10	4.05	3.62
24	ชัยภูมิ	3.64	4.68	4.74	5.09	4.68	4.72	4.41	4.03	4.17	3.84	3.72	33.7
25	ชัยภูมิ	4.04	5.36	5.55	5.97	5.54	4.99	4.63	4.30	4.33	4.34	4.32	3.84
26	นครสวรรค์	3.95	5.32	5.78	6.22	5.37	5.07	4.63	4.31	4.23	4.06	4.04	3.65
27	ลพบุรี	4.23	5.43	5.70	5.95	5.20	4.94	4.56	4.25	4.38	4.29	4.35	4.12
28	สุพรรณบุรี	4.14	5.25	5.60	6.08	5.41	5.16	4.81	4.57	4.47	4.26	4.25	3.19
29	ปราจีนบุรี	4.27	5.25	5.19	5.39	4.90	4.52	4.25	5.08	4.23	4.23	4.47	4.11
30	กาญจนบุรี	4.20	5.39	5.69	6.07	5.27	4.92	4.64	4.36	4.43	4.09	4.04	3.75
31	ดอนเมือง	4.20	5.29	5.43	5.64	5.10	4.99	4.67	4.29	4.41	4.22	4.21	3.82
32	กรุงเทพ	3.85	4.86	4.92	5.19	4.65	4.57	4.27	4.06	4.09	3.86	3.95	3.63
33	อรัญประเทศ	4.07	5.29	5.37	5.53	5.08	4.80	4.43	4.16	4.38	4.19	4.18	3.77
34	ชลบุรี	4.23	5.00	5.40	5.69	4.94	4.97	4.62	4.38	4.37	4.23	4.35	4.18
35	สัตหีบ	4.25	5.57	5.52	5.68	4.88	5.25	4.88	4.69	4.61	4.29	4.57	4.47
36	จันทบุรี	4.13	4.79	4.49	4.85	4.27	4.09	3.90	3.72	3.90	3.98	4.26	4.08
37	คลองใหญ่	3.99	4.64	4.42	4.56	4.16	4.00	3.84	3.59	3.88	3.90	4.07	3.97
38	เกาะสีชัง	4.30	5.36	5.36	5.69	5.01	5.06	4.70	4.47	4.46	4.42	4.49	4.24

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวกที่ 2 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (potential evapotranspiration, ETp) ของแต่ละจังหวัด (ต่อ)

(หน่วย: มม./วัน)

ที่	สถานี	เดือน											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
39	หัวหิน	4.09	5.18	5.31	5.58	4.90	4.85	4.47	4.27	4.39	4.09	4.16	3.97
40	ประจวบคีรีขันธ์	4.03	5.04	5.13	5.47	4.96	4.83	4.58	4.41	4.65	4.17	4.27	4.10
41	ชุมพร	3.77	4.75	4.89	5.13	4.47	4.33	4.10	4.83	4.25	3.91	3.77	3.57
42	สุราษฎธานี	3.88	5.11	5.11	5.16	4.57	4.53	4.34	4.32	3.79	3.95	3.67	3.45
43	นครศรีธรรมราช	3.74	4.89	5.06	5.08	4.60	4.67	4.56	4.36	3.35	3.99	3.65	3.45
44	สงขลา	4.18	5.14	4.94	4.90	4.35	4.42	4.36	4.30	2.64	4.00	3.77	3.73
45	นราธิวาส	3.89	4.86	4.88	5.14	4.46	4.49	4.36	4.24	3.89	4.08	3.82	3.56
46	ระนอง	4.18	5.18	5.10	5.09	4.17	3.92	3.78	3.65	3.63	3.70	3.59	3.86
47	ภูเก็ต	4.61	5.68	5.38	5.17	4.26	4.40	4.27	4.27	2.72	4.06	4.13	4.26
48	สนามบินภูเก็ต	4.32	5.36	5.07	4.93	4.40	4.24	4.12	4.03	2.92	3.88	4.00	3.95
49	ตรัง	4.50	5.64	5.35	5.16	4.23	4.03	4.12	3.97	2.41	3.92	3.89	3.95

ที่มา : ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545

ภาคผนวกที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (crop coefficient; Kc) และความต้องการน้ำของมันสำปะหลัง

เดือน	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Kc)[1]	ความต้องการน้ำต่อวัน; ETc (มม.)[2]
ม.ค.	0.30	1.01
ก.พ.	0.45	1.78
มี.ค.	0.65	2.85
เม.ย.	1.10	5.10
พ.ค.	1.10	4.62
มิ.ย.	1.10	4.35
ก.ค.	1.10	4.28
ส.ค.	1.10	4.17
ก.ย.	0.90	3.02
ต.ค.	0.70	2.39
พ.ย.	0.50	1.76
ธ.ค.	0.00	0.00

ที่มา : สุดชล วุ้นประเสริฐ, 2558

1 : ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำตามอายุปลูกของมันสำปะหลัง 2: ความต้องการน้ำได้จากค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ(Kc) x ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของพืชจังหวัดนครราชสีมา (ETp)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวกที่ 4 แสดงการเจริญเติบโต และการเก็บข้อมูลทางสรีรวิทยาของมันสำปะหลัง

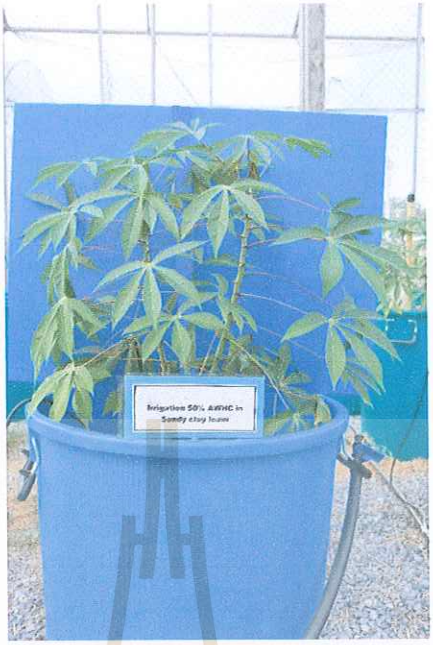
รูปที่ 8 การปลูก และการให้น้ำ

รูปที่ 9 control ในดินทรายร่วนหลังเริ่มควบคุมน้ำ 2 เดือน

รูปที่ 10 50% AWHC ในดินทรายร่วนหลังเริ่มควบคุมน้ำ 2 เดือน

รูปที่ 11 control ในดินร่วนเหนียวปนทรายหลังเริ่มควบคุมน้ำ 2 เดือน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 12 50% AWHC ในดินร่วนเหนียวปนทรายหลังเริ่มควบคุมน้ำ 2 เดือน

รูปที่ 13 การเก็บข้อมูลการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยเครื่อง LCi รุ่น SD

รูปที่ 14 การเก็บข้อมูลศักย์ของน้ำในใบด้วยเครื่อง presser bomb

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวกที่ 5 แสดงการหาจุดวิกฤติในดินทรายร่วนและดินร่วนเหนียวปนทราย

1. การคำนวณหาค่าจุดความชื้นวิกฤติในดินทรายร่วน

จากสมการ A = B

เมื่อ A_y = ค่าของชันของเส้นกราฟที่ลดลงอย่างรวดเร็ว

B_y = ค่าของชันของเส้นกราฟที่ลดลงช้า หรือคงที่

จุดที่ 1 $A_y = B_y$: 22.333x-135.8 = 0.4347x-8.3643

X = 127.4357/21.8983

X = 5.82 %vol.

จุดที่ 2 $A_y = B_y$: 22.333x-135.8 = 0.5878x-14.309

X = 121.491/21.7422

X = 5.59 %vol.

2. การคำนวณหาค่าจุดความชื้นวิกฤติในดินร่วนเหนียวปนทราย

จากสมการ A = B

เมื่อ A_y = ค่าของชันของเส้นกราฟที่ลดลงอย่างรวดเร็ว

B_y = ค่าของชันของเส้นกราฟที่ลดลงช้า หรือคงที่

จุดที่ 1 $A_y = B_y$: 3.2058x-78.154 = 0.3303x-12.54

X = 65.614/2.8755

X = 22.82 %vol.

จุดที่ 2 $A_y = B_y$: 3.2058x-78.154 = 0.4785x-20.971

X = 57.183/2.7273

X = 20.96689 %vol.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายธีระศักดิ์ ตองอบ เกิดเมื่อวันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2534 ที่บ้านภูมิศาลา ตำบลโคกเพชร อำเภอขุขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ เริ่มศึกษาชั้นประถมปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนบ้านกราม ตำบลไพร อำเภอขุนหาญ จังหวัดศรีสะเกษ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ที่โรงเรียนไพรธรรมคุณวิทยา อำเภอขุนหาญ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ที่โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ และเมื่อปี พ.ศ. 2557 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตพืช) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

ปี พ.ศ. 2557 ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนจาก วช. ระดับบัณฑิตศึกษา และได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา ระหว่างที่ศึกษาเป็นผู้ช่วยวิจัยโครงการวิจัย เรื่องการพัฒนาการให้น้ำระบบน้ำหยดและปุ๋ยในระบบน้ำสำหรับการผลิตอ้อย และเป็นวิทยากรบรรยายให้ความรู้แก่เกษตรกร เรื่องการจัดการการให้น้ำระบบน้ำหยดและปุ๋ยทางน้ำในมันสำปะหลังและอ้อย พร้อมทั้งได้เข้าร่วมประชุมในการประชุมวิชาการ International Conference on Sustainable Agriculture and Bioeconomy 2017 ระหว่างวันที่ 27 กุมภาพันธ์ ถึงวันที่ 2 มีนาคม 2560 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา กรุงเทพฯ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี