ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

พืชสวน	พืชสวน
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ดัชนีการคัดเลือกสำหรับลักษณะทนแล้งในพีช

Selection Index for Drought Tolerant Trait in Peach

นามผู้วิจัย นางสาวศิริวรรณ บุญอนันต์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์กฤษณา กฤษณพุกต์, D.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์อุณารุจ บุญประกอบ, Ph.D)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษณีย์ พิชกรรม, Ph.D)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, Ph.D)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ดัชนีการคัดเลือกสำหรับลักษณะทนแล้งในพีช

Selection Index for Drought Tolerant Trait in Peach

โดย
นางสาวศิริวรรณ บุญอนันต์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
พ.ศ. 2557

ศิริวรรณ บุญอนันต์ 2557: ดัชนีการคัดเลือกสำหรับลักษณะทนแล้งในพืช ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์กฤษณา กฤษณพุกต์, D.Agr. 87 หน้า

พีชเป็นไม้ผลเขตหนาวสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณเขตภูเขาสูงทางภาคเหนือของประเทศไทย เมื่อเข้าสู่หน้าแล้ง พื้นที่ดังกล่าวไม่มีระบบน้ำจึงประสบกับปัญหาขาดแคลนน้ำซึ่งมีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้นทุกปี การแก้ไขปัญหานี้ทางหนึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ต้นตอทนแล้ง งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาตัวชี้วัดเพื่อนำไปใช้คัดเลือกพันธุ์พีชทนแล้งต่อไป โดยทำการศึกษาในต้นพีชพันธุ์พื้นเมือง 'อ่างขางแดง' เปรียบเทียบกับต้นพีชลูกผสมจำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ ลูกผสมรหัส 42047T1 43060T1 และ 43087T2 โดยต้นพีชมีอายุ 2 ปี และปลูกในกระถางขนาด 15 นิ้ว แบ่งต้นพีชแต่ละพันธุ์เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นต้นปกติ (control) ได้รับน้ำปริมาตร 100% ของค่าการคายระเหย กลุ่มที่ 2 จำกัดการให้น้ำโดยให้น้ำเพียง 30% ของค่าการคายระเหยเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ หลังจากนั้นทำการให้น้ำใหม่อีกครั้งแก่ต้นที่จำกัดการน้ำในปริมาณเท่ากับต้นปกติเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design) จัดสิ่งทดลองแบบ factorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ พันธุ์และการจำกัดการให้น้ำ สามารถแบ่งพีชทั้ง 4 พันธุ์ ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกได้แก่ พีชพันธุ์พื้นเมือง 'อ่างขางแดง' มีลักษณะทนทานต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำจัดอยู่ในระดับเดียวกับพีชพันธุ์ลูกผสม 42047T1 โดย 'อ่างขางแดง' มีปริมาณรากเพิ่มมากขึ้น ส่วน 42047T1 มีปริมาณรากเพิ่มขึ้นและมีการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอลเพิ่มสูงขึ้นด้วย กลุ่มที่ 2 ได้แก่ พีชพันธุ์ลูกผสม 43060T1 และ 43087T2 มีลักษณะทนทานต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำต่ำกว่า ทั้งสองพันธุ์นี้ตอบสนองโดยมีปริมาณรากลดลงและไม่มีการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอล จากงานวิจัยครั้งนี้เสนอแนะว่าน่าจะใช้น้ำตาลซอร์บิทอลและน้ำหนักแห้งรากเป็นตัวชี้วัดที่สามารถนำไปใช้ในการคัดเลือกต้นตอลูกผสมที่มีลักษณะทนแล้งได้ในประเทศไทยได้

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Siriwan Boonanunt 2014: Selection Index for Drought Tolerant Trait in Peach Master of Science (Agriculture), Major Field: Horticulture, Department of Horticulture. Thesis advisor: Associate Professor Krisana Krisanapook, D.Agr. 87 pages.

Peach growing in rainfed area on the highland of northern Thailand has been encountered with drought environment which became more severe every year. To alleviate this problem, it could be achieved by using suitable drought tolerant rootstocks. This study aimed to find some parameters for selecting drought-tolerant peach rootstocks. The local peach variety 'Red Angkhang' and 3 new hybrid cultivars 42047T1, 43060T1 and 43087T2 were used in this study. Two-year-old peach seedlings of each cultivar were grown in 15-inch diameter pots and divided into 2 groups. The first group consisted of well watered plants (100% of evapotranspiration) and the second group contained insufficiently watered plants which received only 30% of evapotranspiration for 5 weeks. After that, insufficiently watered plants seedlings were re-watered in the same manner as the well watered plants for 2 weeks. The degree of drought tolerance of peach seedlings in this study could be separated into 2 groups. The first group had better tolerance under water deficit and consisted of 'Red Angkhang', which increased its root dry weight and 42047T1, which increased its root dry weight and also accumulated the highest amount of sorbitol. The second group consisted of 43060T1 and 43087T2 in which the root dry weight decreased and there was no sorbitol accumulation. Compared with the local cultivar 'Red Angkhang' the new hybrid 42047T1 appeared to have better potential for drought tolerance than the other new hybrids 43060T1 and '43087 T2. We also suggest that the root dry weight and the sorbitol concentration can be used for screening drought tolerant peach rootstock in northern Thailand.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. กฤษณา กฤษณพุกต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุษณีย์ พิชกรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รองที่ช่วยเหลือทั้งงานวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำปรึกษาให้กำลังใจและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อุณารุจ บุญประกอบ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ลพ ภวภูตานนท์ ประธานกรรมการในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย รองศาสตราจารย์ ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ธุรการภาควิชาพืชสวน พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และน้องสาวที่ให้การสนับสนุน และกำลังใจในการเรียน และการทำงานวิจัยตลอดมา

ศิริวรรณ บุญอนันต์

กรกฎาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	13
ผลและวิจารณ์	20
ผล	20
วิจารณ์	51
สรุปและข้อเสนอแนะ	54
สรุป	54
ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	56
ภาคผนวก	62
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	87

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความชื้นดินในกระถางต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	23
2	ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืชหลังจำกัดการน้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	26
3	ความยาวของกิ่งหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	29
4	อัตราส่วนน้ำหนักสดลำต้นต่อน้ำหนักสดรากของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	42
5	อัตราส่วนน้ำหนักแห้งลำต้นต่อน้ำหนักแห้งรากของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	43

ตารางผนวกที่		
1	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ณ แปลงทดลองที่ 3 สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง ตำบลแม่งอน อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่เดือนเมษายน – พฤษภาคม พ.ศ. 2554 (สัปดาห์ที่ 0 – 7)	65
2	ค่าความชื้นดิน ความยาวกิ่ง จำนวนใบต่อต้น พื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้น ความสัมพันธ์น้ำในใบ และค่าความเขียวใบในพืช 4 พันธุ์ในวันเริ่มต้นการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0)	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
3	น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดรากทั้งหมด น้ำหนักสดรากขนาดใหญ่ และน้ำหนักสดรากขนาดเล็กในพืช 4 พันธุ์ในวันเริ่มต้นการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0)	67
4	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งรากทั้งหมด น้ำหนักแห้งรากขนาดใหญ่ น้ำหนักแห้งรากขนาดเล็ก และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อยอด ในพืช 4 พันธุ์ในวันเริ่มต้นการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0)	68
5	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (sucrose) ฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) และซอร์บิทอล (sorbitol) ในใบพืช 4 พันธุ์ในวันเริ่มต้นการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0)	69
6	การเปลี่ยนแปลงแต่ละพารามิเตอร์ของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเมื่อเทียบกับต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1	70
7	การเปลี่ยนแปลงแต่ละพารามิเตอร์ของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเมื่อเทียบกับต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 4	71
8	การเปลี่ยนแปลงแต่ละพารามิเตอร์ของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเมื่อเทียบกับต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 5	72
9	การเปลี่ยนแปลงแต่ละพารามิเตอร์ของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเมื่อเทียบกับต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 7	73
10	จำนวนใบต่อต้นของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
11	พื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในในสัปดาห์ที่ 7	75
12	น้ำหนักสดลำต้นส่วนเหนือดินของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในในสัปดาห์ที่ 7	76
13	น้ำหนักแห้งลำต้นส่วนเหนือดินของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในในสัปดาห์ที่ 7	77
14	น้ำหนักสดรากทั้งหมด รากขนาดใหญ่ และรากขนาดเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1 และ 4	78
15	น้ำหนักสดรากทั้งหมด รากขนาดใหญ่ และรากขนาดเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในในสัปดาห์ที่ 7	79
16	น้ำหนักแห้งรากทั้งหมด รากขนาดใหญ่ และรากขนาดเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1 และ 4	80
17	น้ำหนักแห้งรากทั้งหมด รากขนาดใหญ่ และรากขนาดเล็กของต้นพืชหลังการจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในในสัปดาห์ที่ 7	81
18	อัตราส่วนน้ำหนักสดรากใหญ่ต่อน้ำหนักสดรากเล็ก และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากใหญ่ต่อน้ำหนักแห้งรากเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในในสัปดาห์ที่ 7	82
19	ค่าความเขียวใบของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
20	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (sucrose) ฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) และซอร์บิทอล (sorbitol) ในใบพืช4 พันธุ์หลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1	84
21	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (sucrose) ฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) และซอร์บิทอล (sorbitol) ในใบพืช4 พันธุ์หลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 5	85
22	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (sucrose) ฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) และซอร์บิทอล (sorbitol) ในใบพืช 4 พันธุ์เมื่อให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	86

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความชื้นดินในกระถางต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และและเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	22
2	ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	25
3	ความยาวของกิ่งหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	28
4	การเปลี่ยนแปลงจำนวนใบต่อต้นของต้นพืชเมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	31
5	การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นของต้นพืชเมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติหลังจำกัดการน้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	33
6	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดลำต้นส่วนเหนือดินของต้นพืชเมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	35
7	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งลำต้นส่วนเหนือดินของต้นพืชเมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	36
8	อัตราส่วนน้ำหนักสดรากใหญ่ต่อน้ำหนักสดรากเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
9	อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากใหญ่ต่อน้ำหนักแห้งรากเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	40
10	การเปลี่ยนแปลงค่าความเขียวใบของต้นพืชเมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	45
11	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) ซอร์บิทอล (sorbitol) และน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) ในใบพืช 4 พันธุ์เมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติหลังการจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ ที่ 1, 4 และ 5และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	48
12	แผนภูมิแสดงการจัดกลุ่มโดยวิธี Hierachical cluster analysis ของต้นพืชพันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ 43060T1 43087T2 และ 42047T1 โดยใช้ความยาวกิ่งพืช น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งรากทั้งหมด น้ำหนักแห้งรากขนาดใหญ่ น้ำหนักแห้งรากขนาดเล็ก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส และปริมาณน้ำตาลซอร์บิทอล	49
13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและปริมาณน้ำตาลซอร์บิทอลในใบพืชพันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ 43060T1 43087T2 และ 42047T1ในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

1 ต้นพืชพันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ 43060T1 43087T2 และ 42047T1 ที่ได้รับน้ำเต็มที่ (แถวบน) และต้นพืชที่ได้รับการงดน้ำเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ (แถวล่าง) 65

2 รากของต้นพืชพันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ 43060T1 43087T2 และ 42047T1 ที่ได้รับน้ำเต็มที่และต้นพืชที่ได้รับการงดน้ำเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ 66

ดัชนีการคัดเลือกสำหรับลักษณะทนแล้งในพีช

Selection Index for Drouht Tolerant Trait in Peach

คำนำ

พีช หรือ ท้อ *(Prunus persica* (L.) Batsch) เป็นไม้ผลยืนต้นชนิดผลัดใบเขตหนาวที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก ในประเทศไทยมีการปลูกพีชกันมานานแล้ว เชื่อว่าชาวไทยภูเขาที่อพยพมาจากประเทศจีนนำเข้ามาปลูกแต่เป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพต่ำในการรับประทานสด สำหรับพีชพันธุ์ดีนั้นทางมูลนิธิโครงการหลวงได้มีการศึกษาวิจัยปลูกมานานจนสามารถส่งเสริมให้เกษตรกรชาวไทยภูเขาปลูกเพื่อการค้าได้ ผลพีชมีคุณค่าทางอาหารสูง อุดมไปด้วยแร่ธาตุ คาร์โบไฮเดรต และ วิตามิน (Wong, 2009) ซึ่งในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพและบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพกันมากขึ้น พีชจึงเป็นผลไม้อีกชนิดหนึ่งที่ผู้บริโภคให้ความนิยม พีชที่ปลูกบริเวณภูเขาสูงทางภาคเหนือของประเทศไทยจะเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในเดือนเมษายน-พฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่แตกต่างจากประเทศผู้ค้ารายใหญ่ที่สำคัญของโลก ได้แก่ จีน สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย จึงเป็นข้อได้เปรียบทางการค้าที่สำคัญประการหนึ่ง สำหรับพื้นที่ปลูกพีชที่มีความเหมาะสมนั้นต้องมีช่วงความหนาวเย็นยาวนาน มีปริมาณน้ำอย่างเพียงพอ ผลผลิตจึงจะมีคุณภาพ โดยความสูงของพื้นที่ที่เหมาะสมควรสูงตั้งแต่ 1,000 เมตร ขึ้นไป ดังนั้น การปลูกพีชจึงเหมาะกับการส่งเสริมเป็นอาชีพให้แก่ชาวไทยภูเขาที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทย

บริเวณภูเขาสูงทางภาคเหนือของประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสลับร้อนแห้งแล้ง เมื่อเข้าสู่เดือนพฤศจิกายนจะเริ่มเข้าสู่ฤดูแล้ง เรื่อยมาจนถึงเดือนเมษายนของทุกปี จากรายงานอุตุนิยมวิทยาของสถานีเกษตรหลวงอ่างขางระหว่างปี พ.ศ. 2545-2550 พบว่า ในช่วงเดือนพฤศจิกายน-เมษายน มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเพียง 29.9 มิลลิเมตรต่อเดือน ซึ่งทำให้พื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทยประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำ ส่งผลกระทบต่อการทำการเกษตร เนื่องจากทำการเพาะปลูกโดยอาศัยฝน และพื้นที่นี้ไม่มีระบบน้ำชลประทาน จากสภาพแวดล้อมดังกล่าวทางมูลนิธิโครงการหลวงจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงพันธุ์ พีชต้นตอเพื่อให้ได้ลูกผสมลักษณะใหม่ที่ทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งได้ดี เพื่อนำมาเป็นต้นตอให้กับพีชพันธุ์ดีเพื่อใช้ขยายพันธุ์ต่อไป ซึ่งขณะนี้พบว่าลูกผสมที่ได้มีทั้งที่ทนทานและไม่ทนทานต่อสภาวะแห้งแล้ง อย่างไรก็ตาม

ข้อมูลดังกล่าวเป็นเพียงการศึกษาจากลักษณะของการเจริญเติบโตภายนอก และยังไม่ทราบถึงสาเหตุหรือกลไกที่ทำให้ลูกผสมบางพันธุ์สามารถทนต่อสภาวะแห้งแล้ง

จากปัญหาดังกล่าวจึงนำมาสู่งานทดลองนี้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา สัณฐานวิทยา และชีวเคมีที่ช่วยให้กลุ่มพันธุ์ต้นตอพืชที่ทางมูลนิธิโครงการหลวงได้คัดเลือกแล้วว่ามีความสามารถในการทนแล้ง โดยเปรียบเทียบกับต้นตอพันธุ์พื้นเมืองที่มีอยู่แล้ว ซึ่งเป็นต้นตอที่มีความทนทานต่อความแห้งแล้งพอสมควร ผลจากการศึกษาจะทำให้ทราบว่ามีลักษณะใดบ้างที่น่าจะสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดเพื่อคัดเลือกต้นตอพืชที่ทนแล้ง ซึ่งจะมีผลประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์ต้นตอพืชให้ทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งมากยิ่งขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และชีวเคมีในต้นตอพืชระหว่างกลุ่มพันธุ์ทนแล้งและไม่ทนแล้ง เมื่อได้รับสภาพเครียดจากการขาดน้ำ และกลับมาได้รับน้ำตามปกติ เพื่อให้ได้ตัวบ่งชี้ในการคัดเลือกพืชพันธุ์ลูกผสมที่มีลักษณะทนแล้ง

การตรวจเอกสาร

พีช (Peach) หรือ ท้อ

พีช (Peach) หรือที่คนไทยเรียกว่าท้อเป็นไม้ผลยืนต้นชนิดผลัดใบเขตหนาว (temperate zone deciduous fruit tree) ที่มีการปลูกอยู่ทั่วโลก บริเวณระหว่างละติจูดที่ 30 และ 45 องศาเหนือและใต้ มีถิ่นกำเนิดอยู่ทั้งทางตอนเหนือ และตอนใต้ของประเทศจีน (ปวิณ และคณะ, 2525; นพดล, 2537) ซึ่งพีชในกลุ่มตอนเหนือพบการกระจายตัวอยู่ทางแม่น้ำฮวงโห มีลักษณะทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งและความหนาวเย็น ส่วนพีชในกลุ่มตอนใต้พบว่ามีการกระจายตัวอยู่บริเวณตอนใต้ และตะวันตกของแม่น้ำแยงซี ซึ่งในบริเวณนี้อากาศจะอบอุ่นและมีความชื้นมากกว่า พีชที่พบในบริเวณนี้จะมีคุณภาพดีมากหากได้รับอุณหภูมิสูงในช่วงฤดูร้อน การแพร่กระจายของพีชไปยังเปอร์เซีย เมดิเตอร์เรเนียน และกรีก เกิดขึ้นในช่วงระหว่าง 400 ปี ก่อนคริสตกาล จากนั้นจึงแพร่ไปยังอเมริกา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ และยุโรป (Norman and Wayne, 1988) การเพาะปลูกพีชซึ่งมีต้นกำเนิดอยู่ที่ประเทศจีนนั้นได้แพร่กระจายไปยังทั่วโลกโดยการใช้เมล็ดนำไปขยายพันธุ์ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย และไม่ซับซ้อน จนกระทั่งในปีคริสตศักราช 1700-1800 ประเทศแถบอเมริกาเหนือได้มีวิธีการขยายพันธุ์พืชโดยวิธีติดตา (Budding) ซึ่งมีข้อดีตรงการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ จากต้นตอ หลังจากนั้นมาการเพาะปลูกพีชจึงนำวิธีการดังกล่าวมาใช้เพื่อการขยายพันธุ์ การหาต้นตอพีชที่มีคุณสมบัติที่ดีจึงได้รับความสนใจ (Rom and Carlson, 1987) จากรายงานขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2009) พบว่าในปัจจุบันพื้นที่ปลูกพีชทั่วโลกมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 จาก 1,261,923 **เฮคตาร์**เป็น 1,655,285 **เฮคตาร์**ในปี ค.ศ. 2009 (FAO, 2009) แสดงให้เห็นว่าตลาดพีชยังมีโอกาสขยายตัวเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นในแง่ของคุณค่าทางโภชนาการ พีชเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง อุดมไปด้วยแร่ธาตุ คาร์โบไฮเดรต และ วิตามิน (Wong, 2009) พีชจึงเป็นไม้ผลเขตหนาวที่สำคัญทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งของโลก

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

พีช (Peach) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Prunus persica* (L.) Batsch อยู่ในวงศ์ Rosaceae สกุล *Prunus* สกุลย่อย Amygdalus เป็นไม้ผลยืนต้นชนิดผลัดใบตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงปานกลาง ความสูงต้นเต็มที่ประมาณ 8 เมตร ใบเป็นใบเดี่ยวลักษณะใบยาวแหลม กว้างประมาณ 1.5-2.0 เซนติเมตร ยาวประมาณ 5.0-8.0 เซนติเมตร ขอบใบเป็นแบบฟันเลื่อย (serrate) ก้านใบและผิวใบไม่มีขน ก้านใบมีความยาวประมาณ 1.0-1.5 เซนติเมตร ตาเกิดอยู่บริเวณซอกใบบนกิ่งอายุ 1 ปี ดอกเป็นดอกเดี่ยวแบบดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) โดยทั่วไปผสมตัวเองภายในดอก (self fertile) ทำให้ติดผลได้ง่าย การปฏิสนธิจะเกิดขึ้นหลังจากการถ่ายละอองเกสรประมาณ 24-48 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศโดยเฉพาะอุณหภูมิ ผลเป็นแบบผลเดี่ยวพวก drupe ชนิด typical drupe คือ กลุ่มที่มีผนังผลชั้นใน (endocarp) แข็ง จึงมักถูกเรียกว่า stone fruit และการพัฒนาของผลเป็นแบบ double sigmoid curve (Norman and Wayne, 1988)

สภาพอากาศและปัจจัยที่เหมาะสมในการปลูกพีช

พีชต้องการสภาพอากาศอบอุ่นในระหว่างฤดูการเจริญเติบโต และต้องการสภาพอากาศหนาวเย็น (chilling requirement) ในช่วงฤดูหนาวเพื่อทำลายการพักตัวของตาดอกและตาใบ โดยมีระยะเวลาแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ สำหรับพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยเป็นพันธุ์ที่ต้องการระยะเวลาสะสมความหนาวเย็นต่ำ (low chilling requirement cultivar) คือ ไม่เกิน 400 ชั่วโมง โดยพื้นที่ปลูกต้องมีความสูงมากกว่า 1,000 เมตร ขึ้นไป นอกจากสภาพความหนาวเย็นแล้ว ปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกพีชมาก คือ ปริมาณน้ำที่เพียงพอ จึงจะทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดี (นพดล, 2537 ; ปวิณ , 2537)

การปลูกพีชในประเทศไทย

บริเวณภูเขาสูงทางภาคเหนือของประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศที่หนาวเย็นในฤดูหนาวและอากาศค่อนข้างเย็นเกือบตลอดทั้งปี จากสภาพอากาศดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่จะนำไม้ผลเขตหนาวที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมาปลูกเพื่อเป็นอาชีพให้แก่ชาวเขา การส่งเสริมให้ชาวเขาปลูกไม้ผล เพื่อทดแทนฝิ่น มีจุดประสงค์ให้ชาวเขาทำมาหากินอยู่กับที่ เลิกทำไร่เลื่อนลอย ซึ่งช่วยลดการทำลายป่าลงได้ นอกจากนั้นไม้ยืนต้นเหล่านี้ก็ยังให้ประโยชน์ในด้านการอนุรักษ์ดินและน้ำ และเป็นการทดแทนป่าไม้ ทางมูลนิธิโครงการหลวงสามารถหาพันธุ์ไม้ผลเมืองหนาวหลายชนิดที่ให้

ผลผลิตได้ดีบนพื้นที่สูง และได้ทำการวิจัยต่อยอดเรื่องการขยายพันธุ์ การปลูก ขั้นตอนการดูแลรักษา จนกระทั่งการเก็บเกี่ยวผลผลิต ปัจจุบันมีไม้ผลเมืองหนาวหลายชนิดที่สามารถปลูกได้บนพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทย เช่น พีช พลับ บ๊วย พลัม สาลี่เอเชีย สตรอเบอร์รี กีวีฟรุต อโวกาโด และองุ่น เป็นต้น

สำหรับ “พีช” หรือ “ท้อ” นั้นเป็นผลไม้ที่คนไทยรู้จักกันมานาน ตามหมู่บ้านชาวเขาจะมีต้นท้อพื้นเมืองปลูกอยู่ เข้าใจว่าชาวเขาที่อพยพมาจากจีนนำติดตัวมา และท้อเหล่านี้ได้ปรับตัวเข้ากับสภาพดินฟ้าอากาศบนพื้นที่สูงของไทยได้ดี สำหรับท้อพื้นเมืองนี้ โดยทั่วไปชาวบ้านไม่นิยมรับประทานผลสด เนื่องจากผลมีขนาดเล็ก และรสชาติไม่อร่อย แต่มักนิยมแปรรูปเป็นท้อดอง ท้อแช่อิ่ม และแยมท้อ แต่ในปัจจุบันมูลนิธิโครงการหลวงมีพันธุ์ที่ให้ผลขนาดใหญ่ มีคุณภาพดีกว่าท้อพื้นเมืองมาก และเป็นพันธุ์ที่ใช้รับประทานผลสด จึงเรียกชื่อท้อพันธุ์ดีเหล่านี้ใหม่ว่า "พีช" ตามภาษาอังกฤษ พีชที่ส่งเสริมให้ชาวเขาปลูกนี้เป็นพันธุ์ที่ต้องการช่วงอากาศหนาวเย็นสั้น เหมาะกับสภาพพื้นที่สูงของไทย พันธุ์ส่วนใหญ่ที่ส่งเสริมให้ปลูกนั้นเป็นพันธุ์ที่มีเนื้อสีเหลือง ซึ่งทางมูลนิธิโครงการหลวงได้ให้ชาวเขานำพันธุ์พีชที่ส่งเสริมนี้ ไปต่อกิ่งหรือติดตา กับต้นพีชพื้นเมืองที่ปลูกอยู่แล้ว ทำให้สามารถได้ผลผลิตภายในสองปี ผลพีชจะแก่เก็บเกี่ยวได้ในเดือน เมษายน-พฤษภาคม (มูลนิธิ ๕ ธันวามหาราช, 2552)

ในปัจจุบันการทำการเกษตรบริเวณภูเขาสูงของประเทศไทยกำลังประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำ เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกไม่มีระบบน้ำชลประทานสนับสนุน ต้องอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ อีกทั้งสภาวะโลกที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้การขาดแคลนน้ำทวีความรุนแรงขึ้นทุกปี โดยปกติบริเวณภูเขาสูงทางภาคเหนือนั้นจะเริ่มเข้าสู่ฤดูแล้งในช่วงเดือนพฤศจิกายน เรื่อยมาจนถึงเดือนเมษายนของทุกปี สำหรับพีชในช่วงเวลาดังกล่าว คือ เดือนมกราคม จนถึงเดือนเมษายน เป็นช่วงที่ต้นพีช ออกดอกและให้ผลผลิต การขาดแคลนน้ำในช่วงดังกล่าวจึงส่งผลให้การติดผลไม่ดีและผลพีชเจริญเติบโตอย่างจำกัด ดังนั้น การหาพันธุ์ทนแล้งจึงมีความสำคัญมาก และควรรีบทำก่อนที่สภาพแวดล้อมจะยิ่งเลวร้าย ประกอบกับพีชนิยมขยายพันธุ์ด้วยการติดตาหรือต่อกิ่ง การใช้ต้นตอทนแล้งจะเหมาะสมกับวิถีการปฏิบัติของชาวเขาบริเวณภูเขาสูงได้ดี

ผลของสภาวะแห้งแล้งต่อการแสดงออกของพืช

น้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญของพืชโดยมีอยู่ในเซลล์ประมาณ 80 - 90% มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในทั้งด้านฟิสิกส์และเคมี เช่น ช่วยเป็นตัวทำละลายที่เกี่ยวข้องของปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ช่วยในการลำเลียงธาตุอาหารไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช ช่วยรักษาความเต่งของเซลล์ทำให้รักษารูปทรงเอาไว้ได้ และมีส่วนช่วยรักษาระดับอุณหภูมิของพืชให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เป็นต้น (Tiaz and Zeiger, 2002) ดังนั้น อิทธิพลของสภาวะแห้งแล้งจึงส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชในหลายๆ ด้าน ไม่ว่าด้านสัณฐานวิทยา กายวิภาค สรีรวิทยา หรือแม้แต่การเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนเป็นกลไกของพืชในการปรับตัวให้อยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเพื่อให้สามารถเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ได้ต่อไป

1. การเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตด้านสัณฐานวิทยาและกายวิภาค

พืชที่เติบโตในพื้นที่แห้งแล้งจะมีขนาดทรงต้นเล็กกว่าพืชที่เติบโตโดยได้รับน้ำอย่างพอเพียง ลักษณะใบจะเล็ก หนา และมีไขเคลือบอยู่ที่ผิว เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อลำเลียงจะมีขนาดเล็กและที่ผนังเซลล์จะมีลิกนินเคลือบอยู่หนา ในต้นทานตะวันที่ปลูกในสภาพแห้งแล้งพบว่าความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ดอก และน้ำหนักแห้งจะลดลง (Behrouzyar *et al*., 2007) ในต้นแอปเปิลที่ได้รับสภาพแล้งพบว่าจำนวนใบ พื้นที่ใบทั้งต้น และน้ำหนักแห้งใบจะลดลง เมื่อเทียบกับต้นที่ได้รับน้ำอย่างเพียงพอ ในขณะที่ความยาวและน้ำหนักแห้งของรากขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2 มิลลิเมตร) และรากขนาดเล็กหรือรากฝอย (เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร) จะมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ (Atkinson *et al*., 1999) แสดงให้เห็นว่าต้นแอปเปิลจะลดการคายน้ำโดยการลดพื้นที่ใบในทุกพันธุ์ ในต้นอะโวกาโดที่ได้รับสภาพแล้งขนาดของใบจะลดลงเช่นเดียวกัน และเมื่อตัดใบตามขวางจะพบว่าลักษณะทางกายวิภาคของใบเปลี่ยนไป โดยเซลล์ในชั้นสปองจี (spongy) และแพลิเซด (palisade) จะมีการอัดตัวกันแน่นมากขึ้น (Chartzoulakis *et al*., 2002) และใน *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. ค้นพบว่าชั้นสปองจี และพาลิเซดจะมีการอัดตัวกันแน่นมากขึ้นและยังพบว่ามีไขเพิ่มขึ้นที่ผิวใบอีกด้วย (Radwan, 2007) นอกจากนั้นยังพบว่าในต้นยูคาลิปตัสที่เจริญเติบโตภายใต้สภาพเครียดน้ำจะมีการเจริญเติบโตลดลง (Silva *et al.,* 2004) เช่นเดียวกับงานวิจัยในแอปเปิลพันธุ์ ‘Imperial Gala’ (*Malus domestica* **Borkh.**) ที่พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของใบนั้นจะลดลงเมื่ออยู่ภายใต้สภาพเครียดน้ำ (Fernandez *et al.,* 1997)

2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในพืชสกุล *Prunus*

2.1 การเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมน abscisic acid (ABA)

ผลของสภาวะแห้งแล้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของพืช แสดงออกในหลายกระบวนการ เช่น เมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากการขาดน้ำจะพบการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมน abscisic acid (ABA) อวัยวะของพืชที่พบว่ามีปริมาณ ABA สูง ได้แก่ ใบ ตา ผลและเมล็ด ABA เคลื่อนที่ทั้งในท่อลำเลียงน้ำ และอาหาร สามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั้งสองทิศทาง มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ ABA เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะแห้งแล้งของต้นตอพืช พบว่าเมื่อค่า relative water content (RWC) ในใบลดต่ำลง ความเข้มข้นของ ABA ในใบพืชจะสูงขึ้น ชักนำให้เกิดการปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ (Kaynas and Ataturk, 1997)

2.2 การเปลี่ยนแปลงของโพรลีน (proline)

โพรลีนเป็นกรดอะมิโนทำหน้าที่เป็นสารออสโมไลต์ (osmolyte) ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทเกี่ยวกับการปรับค่าออสโมติก (osmotic adjustment) ของเซลล์พืช เมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดและในสภาพที่เซลล์ขาดน้ำ โดยทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เซลล์พืชได้รับอันตรายจากการขาดน้ำ โดยพืชจะสังเคราะห์โพรลีนจากกลูตามีน (glutamine) ในใบ (Hopkins and Hüner, 2004) การศึกษาตอบสนองของโพรลีนต่อสภาวะแห้งแล้งในต้น Ragi *(Eleusine coracana)* ซึ่งเป็นธัญพืชที่นิยมปลูกในพื้นที่แห้งแล้งแถบแอฟริกาและเอเชีย พบว่าระดับโพรลีนที่สะสมในใบนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพืชได้รับสภาวะเครียดจากการขาดน้ำ (Rajendra *et al*., 1981) ในข้าวโพดเมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำระดับโพรลีนมีการสะสมเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนยอดและราก โดยพบปริมาณโพรลีนในยอดสูงกว่าในราก (Mohammadkhani and Heidari, 2008) มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพรลีนและความสัมพันธ์กับผลผลิตข้าวโพดเมื่อขาดน้ำ พบว่าการสะสมโพรลีนมีความสัมพันธ์ในลักษณะผกผันกับผลผลิตข้าวโพดเมื่อยู่ภายใต้สภาวะขาดน้ำ คือ ถ้าปริมาณโพรลีนสะสมสูงขึ้น ต้นข้าวโพดจะให้ผลผลิตต่ำลง ดังนั้น ในข้าวโพดสามารถใช้ปริมาณโพรลีนเป็นตัวชี้วัด ในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดที่มีลักษณะทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งได้ (นวรัตน์ และราเชนทร์, 2537) นอกจากในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวแล้ว มีงานวิจัยศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงโพรลีนต่อสภาวะเครียดน้ำในต้นมะกอกฝรั่ง งานวิจัยนี้ศึกษาในมะกอก 5 พันธุ์ได้แก่ ‘Mary’ ‘Zard’ ‘Roghani’ ‘Bladi’ และ ‘Mission’ ที่ระดับเครียดน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ ให้น้ำปกติ (Ψ_{soil} = -0.03 MPa) เครียดน้ำระดับปานกลาง (Ψ_{soil} = -0.5 MPa) และเครียดน้ำระดับรุนแรง (Ψ_{soil} = -1.5 MPa) ผลการ

ทดลองพบว่า มะกอกทุกพันธุ์มีระดับโพรลีนในใบเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะเครียดน้ำ และเมื่อสภาวะเครียดน้ำรุนแรงขึ้นระดับโพรลีนในใบจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่โพรลีนนั้นจะมีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ โดยพบว่ามะกอกพันธุ์ 'Mary' 'Roghani' และ 'Bladi' มีปริมาณ
โพรลีนเพิ่มขึ้นกว่าพันธุ์อื่น ทั้งยังมีการแสดงออกให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการทนแล้งได้ดีกว่า 'Zard' และ 'Mission' และทั้งสองพันธุ์นี้เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะเครียดน้ำมีระดับโพรลีนสะสมน้อยกว่า (Araji and Arzani, 2008)

2.3 การเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลซอร์บิทอล (sorbitol) ในพืชสกุล *Prunus*

มีรายงานเกี่ยวกับการสะสมของสารออสโมไลต์ เช่น น้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugars alcohol) น้ำตาลแอลกอฮอล์นั้นมีบทบาทสำคัญที่ชัดเจนในพืชสกุล *Prunus* ในการรักษาค่าออสโมติกแอดจัสเมนต์ (osmotic adjustment) เพื่อปกป้องเซลล์ไม่ให้ได้รับอันตรายจากการสูญเสียน้ำ โดยจะมีการสะสมสารเหล่านี้เพิ่มสูงขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น สภาวะเครียดจากความแห้งแล้ง สภาวะเครียดจากความหนาวเย็น สภาวะเครียดจากความเค็ม เป็นต้น เพื่อให้พืชทนต่อสภาพเครียดที่ส่งผลให้เซลล์เกิดการสูญเสียน้ำที่เกิดขึ้นได้ (Loescher and Everard, 1996; Moing *et al.,* 1997) เมื่อพืชอยู่ในสภาพเครียดจากการขาดน้ำ น้ำตาลแอลกอฮอล์ทำหน้าที่เป็นตัวออสโมไลต์ (osmolytes) เมื่อเซลล์มีปริมาณน้ำน้อย ค่าออสโมติกโพเทนเชียล (osmotic potential) ในเซลล์ลดต่ำลง สารออสโมไลต์จะทำหน้าที่เป็นสารออสโมโพรเทคแทนต์ (osmoprotectants) ในการรักษาเสถียรภาพและปกป้องอันตรายให้แก่เซลล์พืช (Cooke *et al*., 2002; Centritto, 2005) ซอร์บิทอล เป็นน้ำตาลแอลกอฮอลล์ 1 ใน 13 ชนิด ที่ถูกค้นพบในพืชกลุ่มที่เมล็ดมีรังไข่ห่อหุ้ม (angiosperms) (Loescher and Everard, 1996) เป็นน้ำตาลหลักที่ได้จากการสังเคราะห์แสง สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยเคลื่อนที่ผ่านทางท่อลำเลียงอาหาร (Moing *et al.,* 1997) มีการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลซอร์บิทอล โดยเอนไซม์ sorbitol-6-phosphate dehydrogenase (S6PDH) (Bohnert *et al.,* 1995)

มีงานวิจัยจำนวนมากที่พบว่าปริมาณน้ำตาลซอร์บิทอลจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพืชวงศ์ Rosaceae อยู่ภายใต้สภาพเครียดจากสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (abiotic stress) ได้แก่ งานวิจัยของ Deguchi และคณะ (2002) มีการศึกษาเพื่ออธิบายกลไกการตอบสนองต่อสภาพเครียดเกลือหรือสภาพเครียดจากอุณหภูมิต่ำในเนื้อเยื่อใบของสาลี่ญี่ปุ่นต่อปริมาณน้ำตาล (sugars content) การเปลี่ยนกลูโคสเป็นซอร์บิทอล และการแสดงออกของ sorbitol-6-phosphate dehydrogenase

(S6PDH) mRNA พบว่าปริมาณซอร์บิทอลมีการสะสมเพิ่มสูงขึ้นในใบสาลี่ญี่ปุ่น เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะเครียดทั้งสองแบบนี้ แสดงให้เห็นว่าสาลี่ญี่ปุ่นตอบสนองต่อสภาพเครียดเกลือและสภาพเครียดจากอุณหภูมิต่ำโดยมีการสังเคราะห์ซอร์บิทอลเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสะสมซอร์บิทอลนั้นถูกชักนำโดยสภาพเครียด โดยการสังเคราะห์ซอร์บิทอลที่เพิ่มขึ้นนั้นมีความเกี่ยวข้องกับการแสดงออกของยีน S6PDH

นอกจากนั้นยังพบว่าสภาวะแห้งแล้งมีผลกระทบต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ของคาร์โบไฮเดรต ในต้นมะกอก (olive) จะพบปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้นในใบเมื่ออยู่ในสภาวะเครียดน้ำที่รุนแรงขึ้น (Araji and Arzani, 2008) Centritto ในปี ค.ศ. 2005 พบว่าหากพืชอยู่ภายใต้สภาพขาดน้ำจะพบปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ และน้ำตาลซูโครสมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในใบ ส่วนน้ำตาลซอร์บิทอลนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นทั้งในใบและราก เช่นเดียวกับ Bainco และคณะ ในปี ค.ศ. 2000 พบว่าพืชที่ได้รับสภาพเครียดน้ำจะมีการสะสมซอร์บิทอลเพิ่มสูงขึ้น แต่ปริมาณน้ำตาลซอร์บิทอลนั้นจะมีการสะสมแตกต่างกันในสภาวะเครียดน้ำที่แตกต่างกัน ดังเช่นในแอปเปิลที่พบว่าการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอลเพิ่มสูงขึ้นในต้นแอปเปิลที่ได้รับสภาวะเครียดน้ำระดับกลาง แต่ในระดับรุนแรงปริมาณน้ำตาลซอร์บิทอลไม่แตกต่างจากต้นที่ได้รับน้ำปกติ (Sircelj *et al.*, 2007)

ต้นตอ (Rootstock)

การขยายพันธุ์พืชสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเพาะเมล็ด การติดตา การต่อกิ่ง และการปักชำ ในปัจจุบันวิธีการขยายพันธุ์ที่นิยมปฏิบัติ คือ การใช้ต้นตอต่อด้วยยอดกิ่งพันธุ์ดี (scion) ที่ต้องการ วิธีการดังกล่าวเป็นการขยายพันธุ์พืชแบบไม่อาศัยเพศ โดยการนำต้นตอมาเชื่อมต่อกับกิ่งพันธุ์ดีให้เจริญเป็นต้นเดียวกัน ส่วนของพืชที่เจริญเป็นรากเรียกว่า ต้นตอ และส่วนที่นำมาต่ออยู่บนต้นตอเป็นส่วนที่เจริญเป็นกิ่งก้าน ออกดอกติดผลต่อไป เรียกว่า กิ่งพันธุ์ดี ส่วนการใช้เมล็ดเพื่อใช้เป็นต้นพันธุ์ใหม่เพื่อให้ออกดอกติดผลจะใช้เวลานานและเกิดกลายพันธุ์ได้ (ปวิณ และคณะ, 2525) การขยายพันธุ์พืชโดยวิธีการใช้ต้นตอนั้นมีหลายวัตถุประสงค์ เช่น เพื่อการเจริญเติบโตที่รวดเร็วของกิ่งพันธุ์ดี เพื่อการทนทานต่อโรคเน่าและไส้เดือนฝอยของระบบราก หลีกเลี่ยงความอ่อนแอของต้นตอและกิ่งพันธุ์ดีบางคู่ที่มีต่อไวรัสบางชนิด หรือต้องการให้อิทธิพลของความแคระมีผลต่อต้นตอหรือกิ่งพันธุ์ดีซึ่งมีอิทธิพลทำให้ขนาดทรงพุ่มเตี้ยลง (Rom and Carlson, 1987)

งานวิจัยของ Reddy และคณะ ในปี ค.ศ. 2003 ทำการศึกษาอิทธิพลของต้นตอที่แตกต่างกัน 8 พันธุ์ต่อการให้ผลผลิตในมะม่วงพันธุ์ 'Alphonso' พบว่าต้นตอพันธุ์ 'Vellaikulamban' และ 'Olour' มีอิทธิพลส่งเสริมให้มะม่วงพันธุ์ 'Alphonso' ให้ผลผลิตสูงกว่าต้นตอพันธุ์อื่น และนอกจากนี้ยังพบว่าต้นตอพันธุ์ 'Muvandan' และ 'Olour' มีอิทธิพลส่งเสริมให้กิ่งพันธุ์ดีมีการติดผลเร็ว จากงานวิจัยนี้จะเห็นว่าต้นตอแต่ละพันธุ์นั้นมีอิทธิพลที่แตกต่างกันต่อกิ่งพันธุ์ดี โดยมีผลส่งเสริมให้กิ่งพันธุ์ดีมีการติดผลเร็ว และส่งเสริมให้มีปริมาณผลผลิตสูงขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของต้นตอที่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์

นอกจากนั้นการใช้ต้นตอยังสามารถเพิ่มความสามารถในการทนทานต่อสภาพดินที่ไม่เหมาะสม เช่น ดินเหนียว ดินมีน้ำขัง สภาพแห้งแล้ง หรือดินมีปริมาณธาตุอาหารบางชนิดหรือเกลือสูง มีงานวิจัยที่ศึกษาการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงด้านสรีรวิทยาต่อสภาวะเครียดเกลือของพืชในกลุ่มแอปเปิลบนต้นตอที่แตกต่างกัน 15 พันธุ์ พบว่าต้นตอ *Malus prunifolia* Borkh cv. Dongbeihuanghaitang, *M. sieboldii* Rehd cv. Daguohongsanyehaitang, *M. prunifolia* Borkh cv. Qiuzi และ *M. xiaojinensis* มีความสามารถในการทนต่อสภาวะเครียดเกลือมากกว่าต้นตอพันธุ์อื่น โดยเกี่ยวข้องกับความแตกต่างกันในกิจกรรมของเอนไซม์ต่อต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidation) และปริมาณของสารออร์แกนิคออสโมติค (organic osmotic) (Yin *et al*., 2010)

การที่พืชจะมีความสามารถทนทานต่อสภาพขาดน้ำได้นั้น อีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญ คือ ระบบราก พืชที่มีระบบรากแข็งแรงจะเป็นการเพิ่ม hydraulic conductance ซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งน้ำ การดูดธาตุอาหาร ในแอปเปิลที่มีความทนทานต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีนั้น ความสามารถในการทนแล้งจะเพิ่มขึ้นได้หากใช้ต้นตอที่มีความแข็งแรงของระบบราก Atkinson และคณะในปี ค.ศ. 1997 ศึกษาการทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งของต้นตอแอปเปิลต่อผลผลิต พบว่าต้นตอที่มีระบบรากใหญ่กว่าทำให้ต้นตอมีความแข็งแรง ส่งผลให้กิ่งพันธุ์ดีเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีกว่าต้นตอที่มีระบบรากเล็ก นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการตอบสนองต่อสภาพขาดน้ำในต้นอัลมอนด์ (*Prunus amygdalus* 'Ferragnes') บนต้นตอ 8 พันธุ์ ประกอบด้วย GF-677, Stylianidis C., GN-15, GN-22, M-51, 3-7, 3-8, และ Drepanoto พบว่ากิ่งพันธุ์ดีบนต้นตอ GN-22 สามารถปรับตัวต่อสภาวะเครียดน้ำได้ดี โดยมีการเจริญเติบโตดีกว่า พบว่ามีค่าศักย์น้ำในใบ (leaf water potential) สูงกว่า และจำนวนใบร่วงน้อยกว่าต้นตอชนิดอื่น (Isaakidis *et al*., 2004)

การขยายพันธุ์พืชโดยการใช้ต้นตอเพื่อให้ได้พืชต้นใหม่ที่มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านไม่ว่าจะเป็นความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วมระหว่างต้นตอกับกิ่งพันธุ์ดี และการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมของต้นตอ จะเห็นว่าต้นตอมีอิทธิพลต่อการเจริญของกิ่งพันธุ์ดีภายใต้สภาพที่ไม่เหมาะสมแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกต้นตอที่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมจึงมีความสำคัญที่ช่วยให้กิ่งพันธุ์ดีสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดี

การแบ่งกลุ่มโดยใช้วิธีคลัสเตอร์ (cluster)

การจัดกลุ่มเป็นวิธีการที่พิจารณาข้อมูลแต่ละแถวเสมือนเป็นวัตถุ (object) ซึ่งจะมีหลักการเหมือนกับการจำแนกประเภทข้อมูล คือจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่ม (คลัสเตอร์) โดยจะจัดให้ข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกันอยู่ในคลัสเตอร์เดียวกัน และข้อมูลที่อยู่ต่างคลัสเตอร์กันจะมีความคล้ายคลึงกันน้อยที่สุด ซึ่งความเหมือนหรือต่างกันสามารถเปรียบเทียบได้กับความใกล้ชิดกันของวัตถุใด ๆ โดยใช้ระยะทางเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของแต่ละคลัสเตอร์ โดยอธิบายได้จากเส้นผ่านศูนย์กลางของคลัสเตอร์ (diameter) ซึ่งแสดงระยะห่างมากสุดของวัตถุสองชิ้นที่อยู่ในคลัสเตอร์เดียวกัน แต่ละคลัสเตอร์จะมีตัวแทนที่สามารถแทนวัตถุทุกชิ้นของคลัสเตอร์นั้นได้ เช่น การใช้จุดศูนย์กลางคลัสเตอร์ (centroid) แทนคลัสเตอร์นั้น สำหรับบางเทคนิคตัวแทนของคลัสเตอร์อาจมีได้หลายตัวแทน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละเทคนิคที่เลือกใช้

เทคนิค Hierarchical Method การจัดกลุ่มข้อมูลประเภทนี้จะอาศัยหลักการแบ่งข้อมูลออกเป็นลำดับชั้นคล้ายกับต้นไม้ ซึ่งวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 แนวทางตามลักษณะการสร้างลำดับชั้น (Chinnapat, 2013)

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมต้นกล้าพืช

ต้นพืชที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 4 พันธุ์ ได้แก่

1. กลุ่มพันธุ์พื้นเมืองภายในประเทศ
   - พันธุ์ 'อ่างขางแดง'

2. พันธุ์คัดเลือก รุ่น F2 จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ไม้ผลเขตหนาวของมูลนิธิโครงการหลวง
   - ลูกผสมรหัส 43060T1 (AK1-1-1-35 x Fla 84-18C)
   - ลูกผสมรหัส 42047T1 (open pollination of AK1-1-14-35)
   - ลูกผสมรหัส 43087T2 (open pollination of AK 1-1-12-35)

เตรียมต้นพืชเพื่อทดลองโดยการเพาะเมล็ดต้นตอพันธุ์ต่างๆ เริ่มต้นด้วยการทำลายการพักตัวของเมล็ดโดยอุณหภูมิต่ำ (stratification) โดยนำเมล็ดมาหุ้มด้วยขุยมะพร้าวที่ชื้นแล้วเก็บไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 5° เซลเซียส ใช้เวลา 2-3 เดือน เมื่อเมล็ดงอกแล้วย้ายปลูกลงในถาดหลุมขนาด 24 หลุม สูง 8 นิ้ว โดยใช้วัสดุปลูก คือ พีทมอส (peat moss) และ ทราย ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร หลังจากย้ายปลูกประมาณ 3-4 เดือน จึงย้ายลงกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นิ้ว ปริมาตร 6,600 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้วัสดุปลูก คือ วัสดุปลูกสำเร็จของบริษัทเพื่อนเกษตรประกอบด้วย ทราย ดินผสม และแกลบดิบ ในอัตราส่วน 1:1:1 โดยปริมาตร จากนั้นเมื่อต้นกล้าพืชปรับตัวได้และมีความสมบูรณ์อายุประมาณ 2 ปี จึงเริ่มทำการทดลอง

การศึกษาอัตราการใช้น้ำของต้นพืชก่อนการทดลอง

ก่อนเริ่มการทดลองทำการศึกษาอัตราการใช้น้ำของต้นกล้าพืชในแต่ละวัน เป็นระยะเวลา 14 วัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับกำหนดปริมาณการให้น้ำแก่ต้นพืชในการทดลอง โดยการสุ่มเลือกต้นพืชทั้ง 4 พันธุ์ ที่ย้ายปลูกลงกระถางขนาด 15 นิ้ว พันธุ์ละ 5 กระถาง รวมทั้งหมดจำนวน 20 กระถาง แล้วนำมาวัดอัตราการใช้น้ำในแต่ละวัน โดยเริ่มจากให้น้ำปริมาตร 1,400 มิลลิลิตร (ปริมาตรน้ำที่กระถางจุได้เต็มที่) จากนั้นนำต้นกล้าพืชชั่งน้ำหนักก่อนรดน้ำ และหลังรดน้ำใน

ช่วงเวลา 7.30 น. ทุกวันเป็นเวลา 14 วัน แล้วบันทึกค่า เพื่อหาอัตราการใช้น้ำในแต่ละวัน และบันทึกข้อมูลสิ่งแวดล้อมในวันที่ศึกษาอัตราการใช้น้ำของต้นกล้าพืช ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ (ตารางผนวกที่ 1) หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาใช้ในการวางแผนการทดลองของแต่ละสิ่งทดลองต่อไป

1. ทำการทดลองจำกัดการให้น้ำ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) จัดสิ่งทดลองแบบfactorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

1) ปัจจัย A: ต้นกล้าพืช 4 พันธุ์ คือ

- พันธุ์‘อ่างขางแดง’
- ลูกผสมรหัส 43060T1
- ลูกผสมรหัส 42047T1
- ลูกผสมรหัส 43087T2

2) ปัจจัย B: สภาวะเครียดน้ำ 2 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 สิ่งทดลองควบคุม (control) ได้รับน้ำปริมาตร 100% ของค่าการคายระเหย (1,100 มิลลิลิตร) ตลอดการทดลอง

ระดับที่ 2 สภาพเครียดน้ำ (water deficit) จำกัดการให้น้ำโดยให้น้ำเพียง 30% ของของค่าการคายระเหยเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ (330 มิลลิลิตร) หลังจากนั้นทำการให้น้ำตามปกติ (1,100 มิลลิลิตร)

การเก็บตัวอย่าง

ใช้ต้นกล้าพืชพันธุ์ละ 20 ต้น ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ตามเวลาที่กำหนดไว้ สิ่งทดลองละ 2 ต้น ระยะเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 5 ครั้ง ได้แก่

ครั้งที่ 1 สัปดาห์ที่ 0 (วันที่เริ่มต้นการทดลอง)
ครั้งที่ 2 จำกัดการให้น้ำ 1 สัปดาห์
ครั้งที่ 3 จำกัดการให้น้ำ 4 สัปดาห์
ครั้งที่ 4 จำกัดการให้น้ำ 5 สัปดาห์
ครั้งที่ 5 ให้น้ำปกติ 2 สัปดาห์ (หลังจากการสิ้นสุดการจำกัดการให้น้ำ 5 สัปดาห์)

โดยทำการบันทึกข้อมูล ได้แก่ ความชื้นดิน ความยาวกิ่ง พื้นที่ใบ จำนวนใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนต้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนราก ปริมาณน้ำในใบพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณน้ำตาลในใบ

การบันทึกข้อมูล

1. ความชื้นในดิน

หลังจากสิ้นสุดระยะการจำกัดการให้น้ำทั้ง 5 ครั้ง เก็บตัวอย่างดินกระถางละ 2 ตำแหน่ง ที่บริเวณรากที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร ปริมาณ 50 กรัม นำมาอบเพื่อหาค่าความชื้นของดินด้วยวิธี Gravimetric method มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาน้ำหนักดินเปียก (น้ำหนักดินก่อนอบ) นำมาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง จากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบไอร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักแห้งของดินคงที่ จึงนำไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{ความชื้นโดยน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักดินเปียก - น้ำหนักดินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักดินอบแห้ง}} \times 100$$

2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

2.1. ความยาวของกิ่ง

ในวันเริ่มต้นการทดลองเลือกกิ่งข้างที่มีความยาวเริ่มต้นประมาณ 20 เซนติเมตร ต้นละ 2 กิ่ง ผูกป้ายแล้วทำการบันทึกความยาวของกิ่งจากโคนกิ่งถึงปลายกิ่งโดยใช้สายวัดมีหน่วยเป็นเซนติเมตร บันทึกข้อมูลทุกสัปดาห์จนสิ้นสุดระยะงดน้ำเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ โดยแสดงผลเป็นความยาวกิ่งที่เพิ่มขึ้น

2.2 พื้นที่ใบและจำนวนใบ

บันทึกจำนวนใบจากการนับ และวัดพื้นที่ใบพืชทั้งหมดต่อต้นในแต่ละพันธุ์ โดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ (leaf area meter) ของบริษัท Li-cor รุ่น Li-3100 ประเทศสหรัฐอเมริกา แสดงผลการวัดด้วยระบบดิจิตอล โดยวัดเป็นพื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้น มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

2.3 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนยอดและราก

ตัดลำต้นสูงจากดิน 10 เซนติเมตร ซึ่งเป็นเฉพาะส่วนเหนือดินแล้วนำมาชั่งน้ำหนักสด ส่วนลำต้นที่เหลือรวมกับส่วนรากใช้เป็นตัวแทนส่วนรากทั้งหมด นำรากทั้งหมดพร้อมวัสดุปลูกไปแช่น้ำล้างวัสดุปลูกออกให้หมด ตัดแบ่งเป็นส่วนรากขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง >2 มิลลิเมตร) และรากขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง $\leq$2 มิลลิเมตร) (Atkinson *et al*., 1999) นำมาชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำส่วนยอดและรากแต่ละขนาดใส่ถุงกระดาษแล้วนำไปอบแห้งในตู้อบไอร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน นำมาคำนวณหาอัตราส่วนของยอกต่อรากของน้ำหนักแห้งเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองโดยมีหน่วยเป็นกรัม

3. ลักษณะทางสรีรวิทยา

3.1 ค่าความเขียวใบ

วัดค่าโดยใช้เครื่อง Chlorophyll meter (Minolta model 502) มีหน่วยเป็น SPAD UNIT ทำการสุ่มเลือกกิ่งข้างจำนวน 2 กิ่งต่อต้น นำไหมพรมมาผูกเป็นสัญลักษณ์ที่คู่ใบตำแหน่งที่ 6 ซึ่งเป็นใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ เพื่อเป็นตัวแทนในการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์

3.2 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (relative water content: RWC)

การวัดปริมาณน้ำในพืชในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ คือ น้ำหนักที่พืชอิ่มตัวด้วยน้ำเต็มที่ (saturated weight) เปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักสด (fresh weight) และน้ำหนักแห้ง (dry weight) ของพืช มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยมีสูตรคำนวณดังนี้ (Gonzalez and Gonzalez-Vilar, 2001)

$$RWC = \frac{(\text{fresh weight} - \text{dry weight})}{(\text{saturated weight} - \text{dry weight})} \times 100$$

4..ลักษณะทางชีวเคมีโดยวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลในใบ

เก็บใบพืชที่เจริญเติบโตเต็มที่โดยเลือกคู่ใบตำแหน่งที่ 6 นับจากยอด เพื่อเป็นตัวแทน จากนั้นนำใบมาวิเคราะห์น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตสรวมกันเป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) และน้ำตาลแอลกอฮอล์ คือ ซอร์บิทอลโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Karkacier *et al.* (2003) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในใบทำโดยนำตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์มาชั่งน้ำหนักสดเริ่มต้น (0.05 g) ใส่ในหลอด eppendorf ขนาด 1.2 มิลลิลิตร ใส่ไนโตรเจนเหลวลงไป บดตัวอย่างให้ละเอียด แล้วใส่ nanopure water ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่อง vortex ประมาณ 1 นาที แล้วนำไปเข้าเครื่อง sonicator ประมาณ 10 นาที แล้วนำไปตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ดูดสารละลายใสที่ได้ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร มาใส่ใน vial ขนาด 2 มิลลิลิตร โดยกรองผ่าน cellulose filter membrane ช่องผ่านขนาด 0.45 ไมโครลิตร

เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร นำตัวอย่างปริมาตร 50 ไมโครลิตร มาฉีดผ่านเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ยี่ห้อ Shimadzu, Japan ต่อกับ RI detector โดยใช้ nanopure water เป็น mobile phase มีอัตราการไหล คือ 0.6 มิลลิลิตร ต่อนาที ใช้ Column CABOSSep coregel-87C อุณหภูมิที่ใช้ 85 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 30 นาทีต่อตัวอย่าง

สูตรคำนวณหาปริมาณน้ำตาล

ปริมาณน้ำตาล = A(0.01)(1000)/FW

A = ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลของตัวอย่างเมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐาน (%W/V)
FW = น้ำหนักสดของตัวอย่างเริ่มต้น (0.05 กรัม)

จากสมการข้างต้นจะคำนวณปริมาณน้ำตาลได้ดังนี้

ปริมาณสาร 100 มิลลิลิตร มีปริมาณน้ำตาล A กรัม * A = ได้จากสมการของกราฟสารละลายมาตรฐาน ปริมาณสาร 50×10^{-3} มิลลิลิตร (ปริมาณสารที่ฉีด 50 ไมโครลิตร) มีปริมาณน้ำตาล A(50×10^{-3})(0.01) กรัม

ปริมาณสาร 1 มิลลิลิตร มีปริมาณน้ำตาล A($\cancel{50 \times 10^{-3}}$)(0.01)/ $\cancel{50 \times 10^{-3}}$ หรือ A(0.01) กรัม จาก น้ำหนักสดของตัวอย่าง 0.05 กรัม มีปริมาณน้ำตาล A(0.01) กรัม

น้ำหนักสดของตัวอย่าง 1 กรัม มีปริมาณน้ำตาล A(0.01)/0.05 กรัม หรือ A(0.01)(1000)/0.05 มิลลิกรัม

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และการจัดกลุ่มโดยวิธีคลัสเตอร์ (Cluster analysis) โดยใช้โปรแกรม สำเร็จรูป Statistical Analysis System (SAS Institute, 1989)

สถานที่ทำการทดลอง

1. สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง ตำบลแม่งอน อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่
2. ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืช ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2553 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การศึกษาการใช้น้ำของต้นพืชก่อนการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าอัตราการใช้น้ำของต้นพืชที่ย้ายปลูกลงกระถางขนาด 15 นิ้ว พันธุ์ละ 5 กระถาง รวมทั้งหมดจำนวน 20 กระถาง พบว่าอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยของต้นพืชทั้ง 4 พันธุ์ คือ 1,100 มิลลิลิตร ดังนั้นในการทดลองนี้จึงออกแบบสิ่งทดลองดังนี้

ระดับที่ 1 สิ่งทดลองควบคุม (control) ได้รับน้ำปริมาตร 100% ของค่าการคายระเหย คือ 1,100 มิลลิลิตร ตลอดการทดลอง

ระดับที่ 2 สภาพเครียดน้ำ (water deficit) จำกัดการให้น้ำโดยให้น้ำเพียง 30% ของของค่าการคายระเหย คือ 330 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์

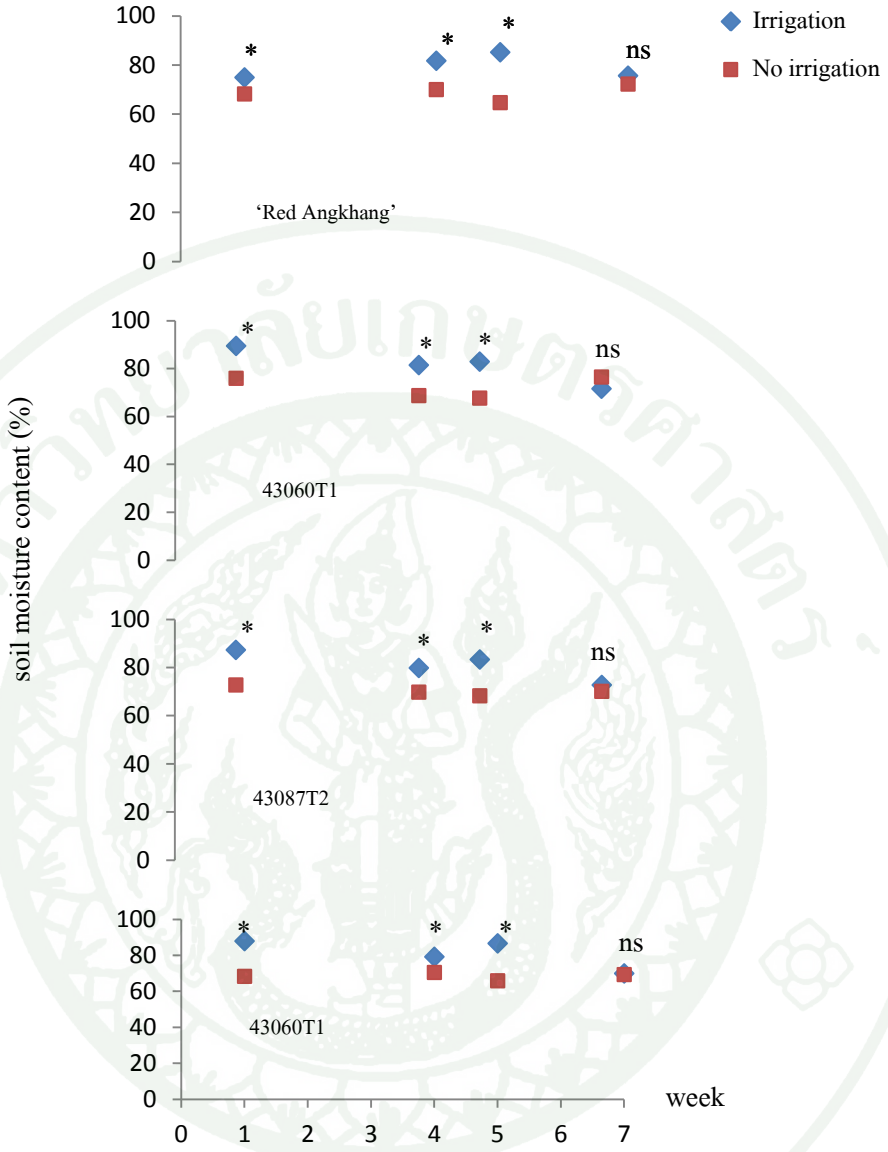
หลังจากนั้นในสิ่งทดลองที่จำกัดการให้น้ำโดยให้น้ำเพียง 30% ของของค่าการคายระเหย เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ จะทำการให้น้ำตามปกติต่อไปอีก 2 สัปดาห์ เพื่อศึกษาการฟื้นตัวโดยให้น้ำแก่ส่งทดลองนี้ปริมาตร 1,100 มิลลิลิตร

2. ความชื้นดินในกระถาง

หลังจากจำกัดการให้น้ำเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าค่าความชื้นดินในกระถางของต้นพืชทุกพันธุ์เปลี่ยนแปลงตามพันธุ์ โดยส่งผลให้ดินในกระถางของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำมีค่าความชื้นต่ำกว่าต้นปกติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์เรียงลำดับการลดลงของความชื้นดินในกระถางจากน้อยไปมากได้ดังนี้ อันดับ 1 คือ พันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ อันดับ 2 ลูกผสมรหัส 43060T1 อันดับ 3 ลูกผสมรหัส 43087T2 และอันดับ 4 ลูกผสมรหัส 42047T1 (ตารางที่ 1)

เมื่อจำกัดการให้น้ำยาวนานขึ้นถึงสัปดาห์ที่ 4 และ 5 พบว่ามีเพียงการจำกัดการให้น้ำเป็นเพียงปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดิน โดยต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำจะมีค่าความชื้นในดินลดลงต่ำกว่าต้นที่ได้รับน้ำปกติ ทำให้เห็นว่าการงดน้ำมีอิทธิพลต่อความชื้นดินชัดเจนมากขึ้น (ภาพที่ 1 และตารางที่ 1)

ช่วงที่กลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้ง คือ ในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 ค่าความชื้นดินกลับมาเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกับสิ่งทดลองควบคุม และพบว่าค่าความชื้นในดินระหว่างต้นปกติและต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 7 นั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่พบว่าพันธุ์มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินในกระถางแตกต่างกัน (ภาพที่ 1 และตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 ความชื้นดินในกระถางต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

ตารางที่ 1 ความชื้นดินในกระถางต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

Cultivars	Treatments	Soil moisture content (%)							
		No irrigation 1 week	t-test	No irrigation 4 weeks	t-test	No irrigation 5 weeks	t-test	Rewatering 2 weeks	t-test
'Red Anghkang'	Irrigation	74.91	*	81.7	*	85.17	*	75.62	ns
	No irrigation	68.2		69.97		64.66		72.22	
43060T1	Irrigation	89.45	*	81.45	*	82.89	*	71.59	ns
	No irrigation	75.94		68.71		67.66		76.46	
43087T2	Irrigation	87.34	*	79.85	*	83.35	*	72.77	ns
	No irrigation	72.78		69.8		68.28		70.13	
42047T1	Irrigation	87.99	*	79.25	*	86.71	*	70.01	ns
	No irrigation	68.39		70.55		65.92		69.38	
Significance									
CV		3.96		5.20		5.81		4.68	
Cultivars		*		ns		ns		*	
Water deficit		*		*		*		ns	
Interaction		ns		ns		ns		ns	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

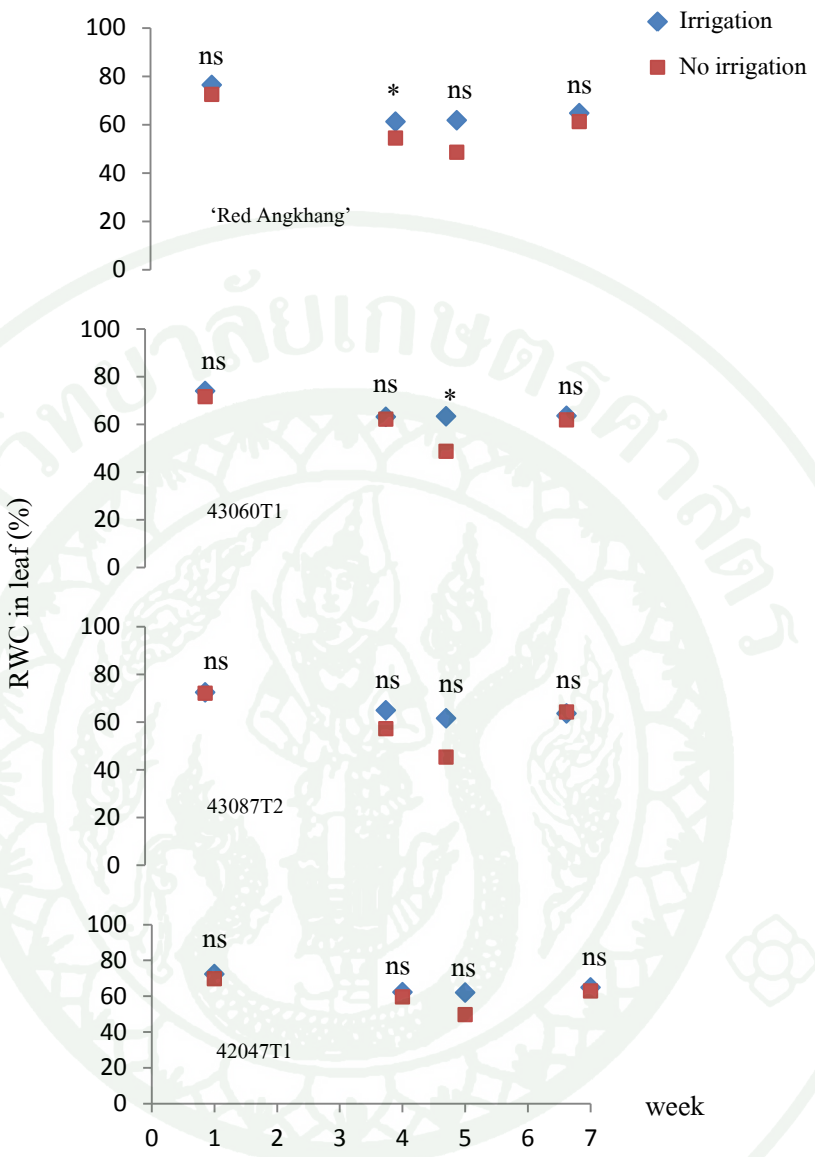
* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

3. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ

ในวันเริ่มต้นการทดลองพบว่าค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืชทุกพันธุ์อยู่ระหว่าง 81.77 – 91.44 % และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 2) แต่เมื่อเริ่มจำกัดการให้น้ำแก่ต้นพืชในสัปดาห์แรกพบว่าพันธุ์ และการจำกัดการให้น้ำมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าอิทธิพลของการจำกัดการให้น้ำนั้นส่งผลให้ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบน้อยกว่าต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติและเรียงลำดับพันธุ์ตามการตอบสนองต่อสภาพแล้งจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ อันดับ 1 คือ ลูกผสมรหัส 43087T2 อันดับ 2 ลูกผสมรหัส 43060T1 อันดับ 3 ลูกผสมรหัส 42047T1 และอันดับ 4 พันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ (ภาพที่ 2 และตารางที่ 2)

ระยะเวลาที่ยาวนานจะทำให้อิทธิพลของการจำกัดการให้น้ำมีผลต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบชัดเจนยิ่งขึ้น เห็นได้จากเมื่องดน้ำเป็นระยะเวลา 4 และ 5 สัปดาห์ ต้นพืชจำกัดการให้น้ำนั้นมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบน้อยกว่าต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติชัดเจนกว่าระยะเวลาเพียงหนึ่งสัปดาห์ (ภาพที่ 2 และภาพผนวกที่ 1)

ในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 เป็นช่วงที่กลับมาทำการให้น้ำแก่ต้นพืชตามปกติอีกครั้ง โดยให้น้ำในปริมาณเท่ากับสิ่งทดลองควบคุม คือ 1,100 มิลลิลิตร/ต้น/วัน พบว่าค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบในสิ่งทดลองควบคุมและสิ่งทดลองที่จำกัดการให้น้ำกลับมามีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในต้นพืชทุกพันธุ์ (ภาพที่ 2 และตารางที่ 2)



ภาพที่ 2 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำปกติแก่ต้นพืชอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

Cultivars		No irrigation 1 week	t-test	No irrigation 4 weeks	t-test	No irrigation 5 weeks	t-test	Rewatering 2 weeks	t-test
'Red Anghkang'	Irrigation	76.39	ns	61.22	*	61.79	ns	64.73	ns
	No irrigation	72.48		54.44		48.57		61.24	
43060T1	Irrigation	73.99	ns	63.17	ns	63.39	*	63.6	ns
	No irrigation	71.62		62.19		48.72		61.88	
43087T2	Irrigation	72.5	ns	64.97	ns	61.62	ns	63.65	ns
	No irrigation	72.13		57.26		45.35		64.26	
42047T1	Irrigation	72.34	ns	62.23	ns	62.01	ns	64.87	ns
	No irrigation	69.73		59.59		49.69		62.9	
Significance									
CV		1.90		14.03		7.32		4.12	
Cultivars		*		ns		ns		ns	
Water deficit		*		*		*		ns	
Interaction		ns		ns		ns		ns	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

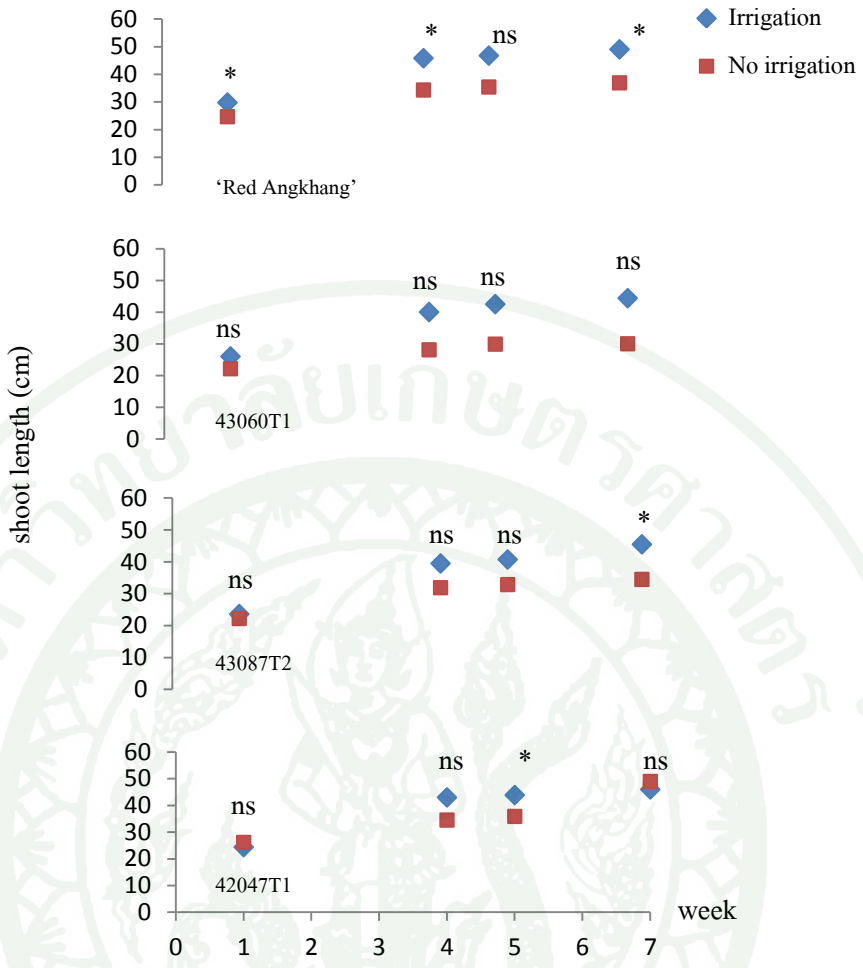
4. การเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ของต้นพืช

4.1 ความยาวของกิ่งที่เพิ่มขึ้น

เมื่อเริ่มจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์แรกพบปัจจัยของพันธุ์และอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และการจำกัดการให้น้ำมีผลต่อการเพิ่มของกิ่งพืชแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ พบว่า พันธุ์ 'อ่างขางแดง' ที่จำกัดการให้น้ำมีความยาวกิ่งเพิ่มขึ้นน้อยกว่าต้นปกติ แต่ความยาวของลูกผสมอีก 3 พันธุ์ไม่แตกต่างจากต้นปกติ (ภาพที่ 3 และตารางที่ 3)

หลังจำกัดการให้น้ำนาน 4 สัปดาห์ พบว่าการจำกัดการให้น้ำเป็นเพียงปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลทำให้การเจริญเติบโตของต้นพืชลดลง โดยความยาวของกิ่งที่วัดได้ในต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำสั้นกว่าต้นปกติในพันธุ์ 'อ่างขางแดง' (ภาพที่ 3 และตารางที่ 3) ต่อมาในสัปดาห์ที่ 5 พบว่าทั้งปัจจัยการให้น้ำและพันธุ์มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของต้นพืช โดยพันธุ์ 42047T1 ที่จำกัดการให้น้ำมีความยาวกิ่งสั้นกว่าต้นปกติ แต่ในพันธุ์อื่นๆ ไม่พบความแตกต่างของความยาวกิ่งระหว่างต้นปกติกับต้นที่ทำการจำกัดการให้น้ำ

ในสัปดาห์ที่ 7 ของการทดลองหลังจากให้น้ำใหม่อีกครั้งเป็นเวลา 2 สัปดาห์พบว่าพันธุ์ 42047T1 ที่จำกัดการให้น้ำปรากฏการเจริญเติบโตกลับมาใกล้เคียงกับต้นปกติ แต่อีก 3 พันธุ์ความยาวกิ่งยังคงสั้นกว่าต้นปกติ ได้แก่ พันธุ์'อ่างขางแดง'ลูกผสมรหัส 43060T1 และ 43087T2 ความยาวกิ่งของต้นที่จำกัดการให้น้ำยังคงสั้นกว่าต้นที่ได้รับน้ำปกติ (ภาพที่ 3 และตารางที่ 3)



ภาพที่ 3 ความยาวของกิ่งหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

ตารางที่ 3 ความยาวของกิ่งหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

Cultivars	Treatments	New shoot length (cm)							
		No irrigation 1 week	t-test	No irrigation 4 weeks	t-test	No irrigation 5 weeks	t-test	Rewatering 2 weeks	t-test
'Red Anghkang'	Irrigation	29.7	*	45.8	*	46.8	ns	49.0	*
	No irrigation	24.6		34.3		35.4		36.9	
43060T1	Irrigation	26.0	ns	40.0	ns	42.5	ns	46.4	ns
	No irrigation	22.1		27.1		29.88		31.0	
43087T2	Irrigation	23.6	ns	39.5	ns	40.8	ns	45.5	*
	No irrigation	22.3		31.9		32.9		34.5	
42047T1	Irrigation	24.4	ns	43.0	ns	43.9	*	46.0	ns
	No irrigation	26.1		34.5		35.9		49.0	
Significance									
CV		9.66		16.26		12.83		8.42	
Cultivars		*		ns		*		*	
Water deficit		ns		*		*		*	
Interaction		*		ns		ns		ns	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

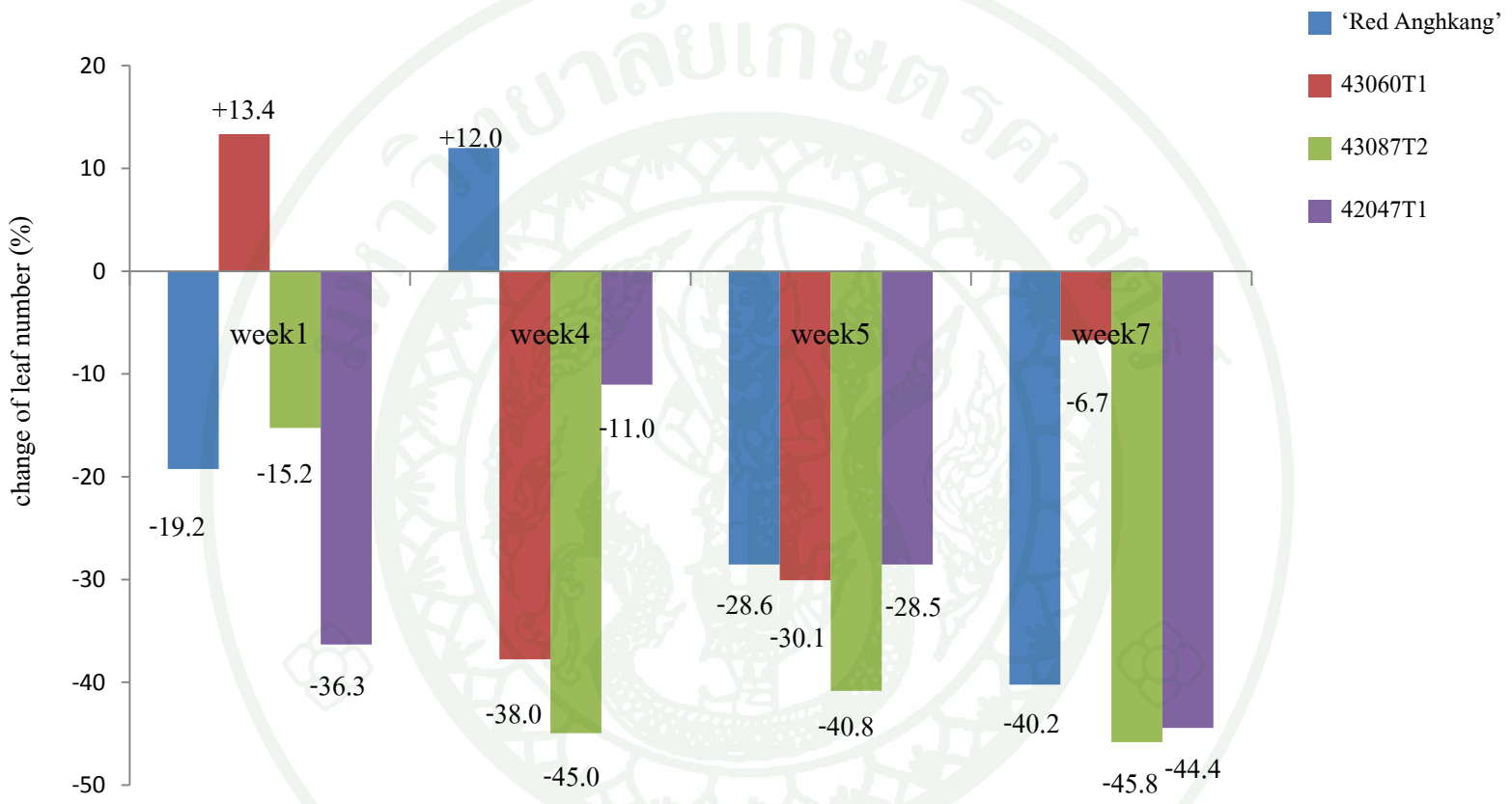
4.2 จำนวนใบต่อต้น

การจำกัดการให้น้ำเป็นระยะเวลา 1, 4 และ 5 สัปดาห์ พบว่าการให้น้ำเป็นเพียงปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อการลดลงของจำนวนใบต่อต้นในพืชทุกพันธุ์ (ตารางผนวกที่ 10)

พันธุ์ 'อ่างขางแดง' จำนวนใบเริ่มลดลงหลังจากงดน้ำสัปดาห์ที่ 1 และลดลงในสัปดาห์ที่ 5 สำหรับ 43060T1 ในสัปดาห์ที่ 1 หลังงดน้ำ จำนวนใบคงที่ และลดลงในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ส่วน 43087T2 และ 42047T1 มีการลดลงของจำนวนใบเหมือนกัน คือ เริ่มลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 (ภาพที่ 4)

ในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 เป็นช่วงที่ทำการให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่งดน้ำอีกครั้ง ยังคงพบว่าอิทธิพลของการงดน้ำนั้นมีผลกระทบต่อจำนวนใบต่อต้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยสิ่งทดลองที่ได้รับการจำกัดน้ำนั้นมีจำนวนใบต่อต้นน้อยลงในพืชทุกพันธุ์ (ตารางผนวกที่ 10)

เมื่อดูจากภาพที่ 4 พบว่าพันธุ์ 43060T1 และ 43087T2 มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงจำนวนใบทั้งหมดต่อต้นที่คล้ายกัน คือ ลดลงในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำปกติค่อยฟื้นตัวเพิ่มจำนวนใบขึ้นได้ แต่ในทางกลับกันพันธุ์ 'อ่างขางแดง' และ 42047T1 ในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 พบว่าต้นพืชที่งดน้ำมีรูปแบบการเจริญเติบโตที่เหมือนกับต้นปกติ คือ มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบทุกสัปดาห์เพียงแต่ต้นพืชงดน้ำนั้นมีจำนวนใบน้อยกว่า (ตารางผนวกที่ 10) และเมื่อให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่งดน้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 การเจริญเติบโตยังคงเป็นไปอย่างช้าๆ จะเห็นได้จากจำนวนใบของต้นที่งดน้ำยังคงน้อยกว่าต้นปกติในทุกพันธุ์



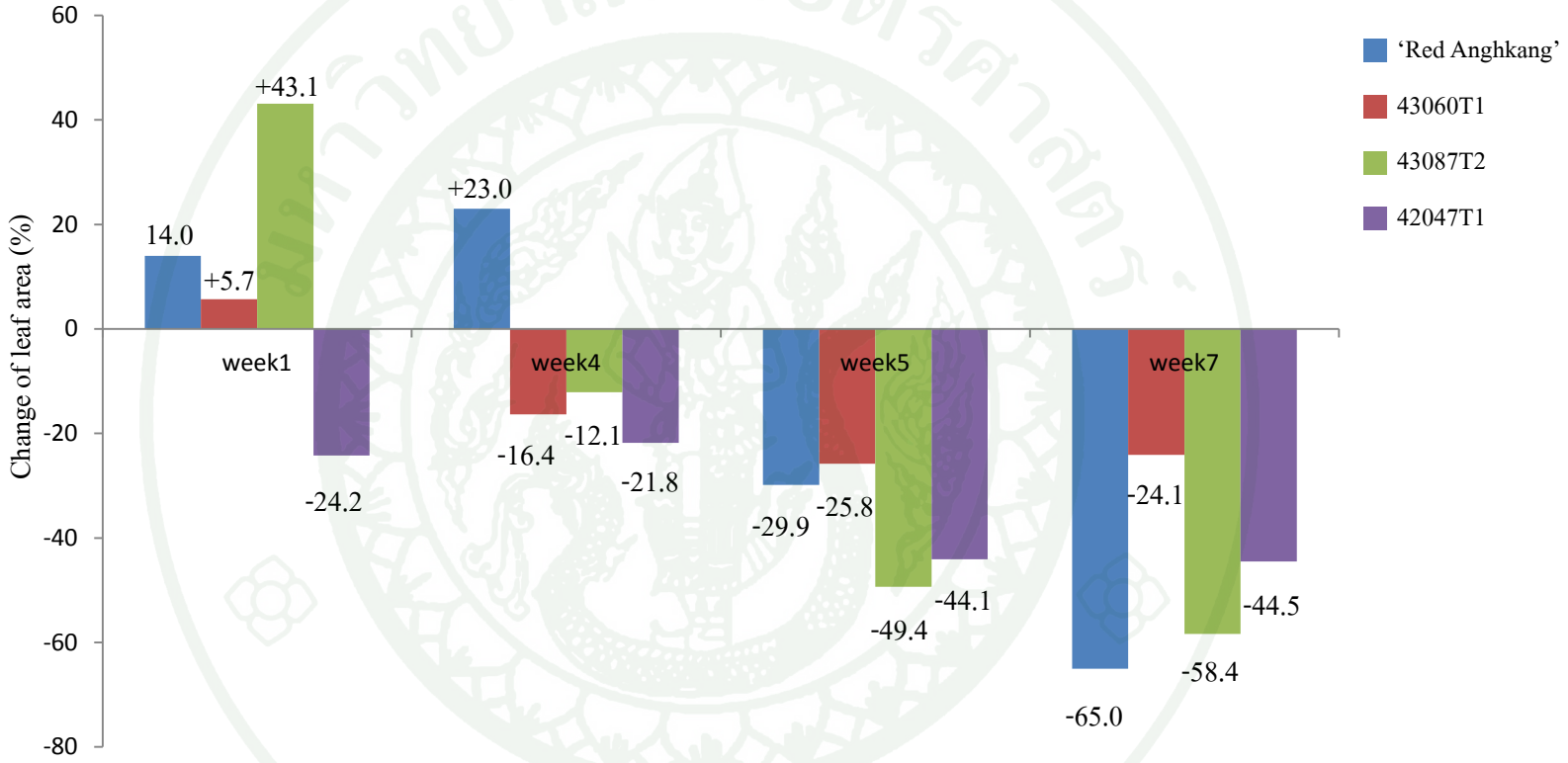
ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงจำนวนใบต่อต้นของต้นพืชเมื่อเทียบกับต้นปกติในแต่ละสัปดาห์หลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

4.3 พื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้น

ในสัปดาห์ที่ 1 และ 4 นั้นอิทธิพลของการจำกัดการให้น้ำไม่มีผลกระทบต่อพื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้น แต่พบว่าในสัปดาห์ที่ 5 ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำมีพื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นลดลงน้อยกว่าต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติ และอิทธิพลของการจำกัดการให้น้ำทำให้พื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางผนวกที่ 11)

เมื่อดูจากภาพที่ 5 พบว่า ‘อ่างขางแดง’ มีการปรับตัวโดยการลดพื้นที่ใบลงเห็นได้ชัดเจนในสัปดาห์ที่ 5 หลังการจำกัดการให้น้ำ ซึ่งมีการปรับตัวเช่นเดียวกับ พันธุ์ 42047T1 ในขณะที่ลูกผสมรหัส 43060T1 พื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และมีการปรับตัวต่อการได้รับน้ำใหม่ในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 ได้ดีสามารถฟื้นตัวได้เร็วกว่าพันธุ์อื่น (ภาพที่ 5 และตารางผนวกที่ 11)ส่วนลูกผสมรหัส 43087T2 ในสัปดาห์ที่ 1 และ 4 พื้นที่ใบไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่พบว่าในสัปดาห์ที่ 5 พื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นของต้นพืชที่การจำกัดการให้น้ำนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 5)

ในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 เป็นช่วงที่ทำการให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่การจำกัดการให้น้ำอีกครั้งพบว่าอิทธิพลของการจำกัดการให้น้ำนั้นมีผลกระทบต่อพื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางผนวกที่ 9) และพบว่า พันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ มีจำนวนใบน้อยกว่าต้นปกติอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 4)โดยต้นพืชที่การจำกัดการให้น้ำนั้นมีพื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นน้อยกว่าต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติ โดยเรียงลำดับพันธุ์ที่มีการลดลงของพื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นจากน้อยไปมากได้ดังนี้ อันดับ 1 คือ ลูกผสมรหัส 43060T1 อันดับ 2 ลูกผสมรหัส 42047T1 อันดับ 3 ลูกผสมรหัส 42047T1 และ อันดับ 4 พันธุ์ ‘อ่างขางแดง’



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นของต้นพืชเมื่อเทียบกับต้นปกติในแต่ละสัปดาห์หลังจำกัดการน้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

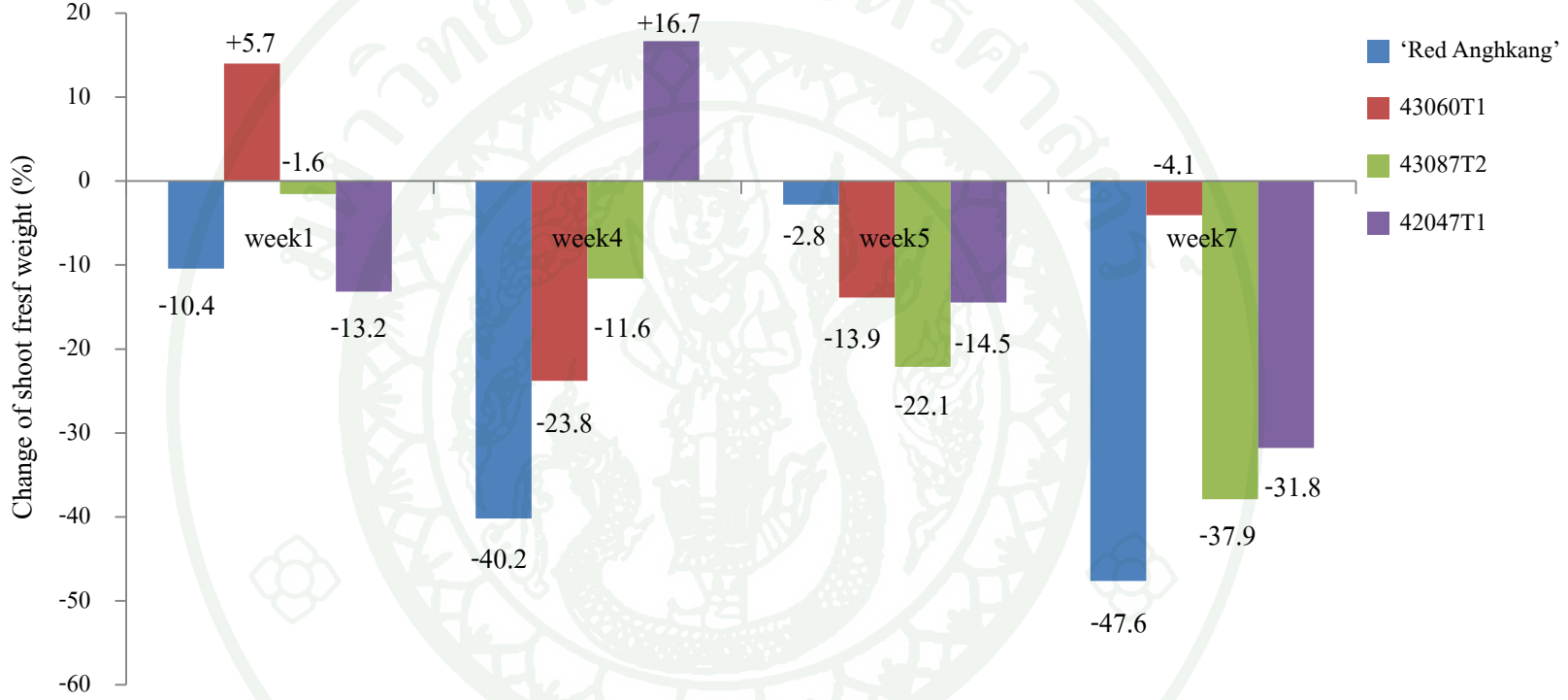
4.4 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนลำต้นต้นพืช

เมื่อผ่านไป 1 สัปดาห์หลังจำกัดการให้น้ำแก่ต้นพืชพบว่าอิทธิพลของการจำกัดการให้น้ำยังไม่ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน แต่เมื่อจำกัดการให้น้ำนานขึ้นเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าอิทธิพลของการจำกัดการให้น้ำส่งผลกระทบต่อน้ำหนักสดส่วนเหนือดินของพืชทุกพันธุ์ โดยต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำนั้นมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดินน้อยกว่าต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติ (ตารางผนวกที่ 12) อย่างไรก็ตามการจำกัดน้ำไม่แสดงอิทธิพลต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ตารางผนวกที่ 13)

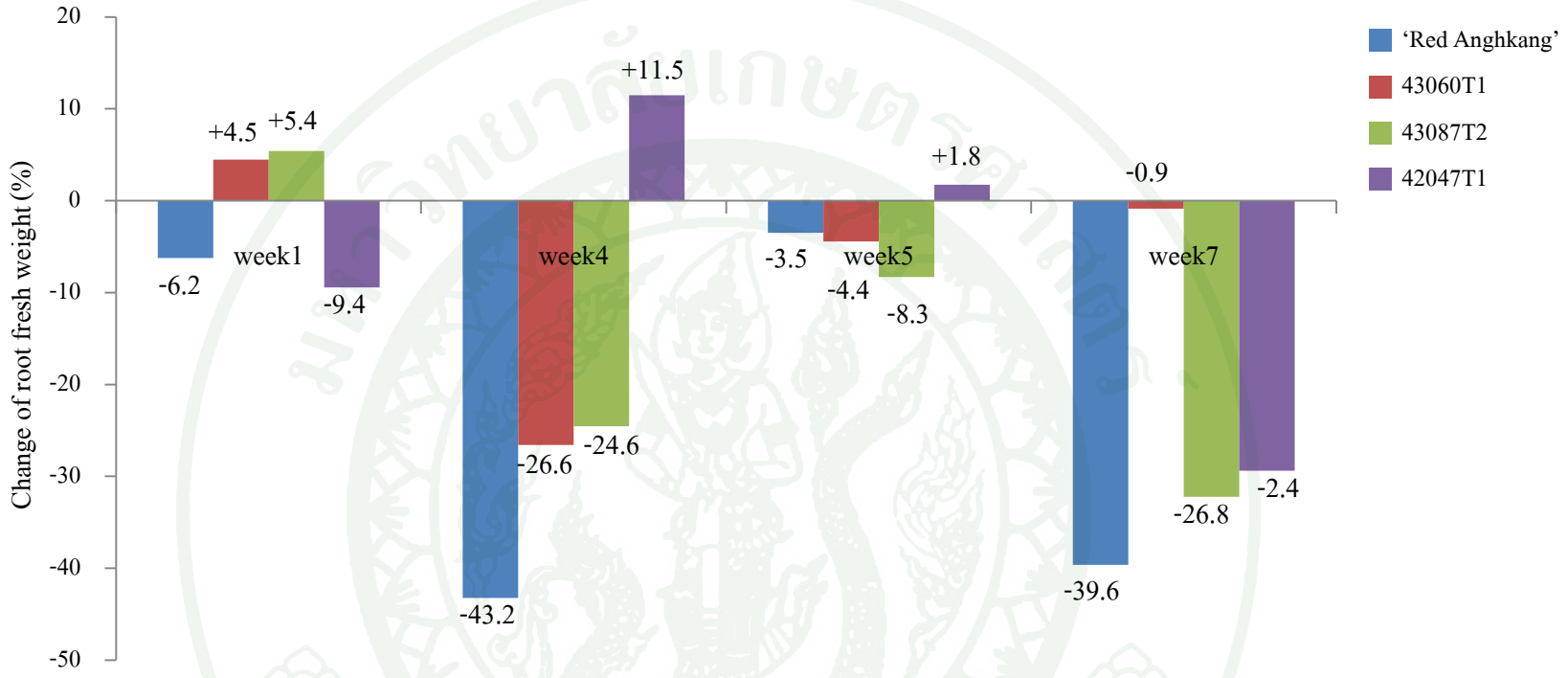
ต้นพืชที่ทำการจำกัดการให้น้ำ พันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ มีการเจริญเติบโตอย่างช้าๆ ในสัปดาห์ที่ 1 ถึง 4 และเพิ่มขึ้นใน สัปดาห์ที่ 5 (ตารางผนวกที่ 12) ส่วนต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำในลูกผสมรหัส 43060T1 42047T1 และ 43087T2 ไม่ค่อยการมีเปลี่ยนแปลงมากนัก เห็นได้จากน้ำหนักสดค่อนข้างคงที่ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึง 5 (ตารางผนวกที่ 12)

เมื่อทำการให้น้ำใหม่อีกครั้งในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 พบว่าพันธุ์ 43060T1สามารถฟื้นตัวได้ดีโดยดูได้จากน้ำหนักลำต้นของต้นที่ทำการงดน้ำ (ภาพที่ 6 และตารางผนวกที่ 12)

สำหรับน้ำหนักแห้งพบว่าทั้งต้นปกติและต้นที่จำกัดการให้น้ำมีรูปแบบการเจริญเติบโตเหมือนกัน คือ ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 1 ถึง 5 และยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อทำการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 6 และ7 (ตารางผนวกที่ 13)



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดลำต้นส่วนเหนือดินของต้นพืชเมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติในแต่ละสัปดาห์หลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งลำต้นส่วนเหนือดินของต้นพืชเมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติในแต่ละสัปดาห์หลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

4.5 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดของรากขนาดใหญ่และเล็ก

หลังการจำกัดการให้น้ำนาน 4 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นปกติกับต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำพบว่าอัตราส่วนของ รากใหญ่ต่อรากเล็ก เพิ่มขึ้นในต้นพืชพันธุ์ 'อ่างขางแดง' เป็น 5: 1 และ 7: 1 ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 18) ซึ่งพบว่าน้ำหนักสดปริมาณรากทั้งหมดเพิ่มขึ้น +34.4 โดยที่น้ำหนักสดปริมาณรากขนาดใหญ่ของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นปกติ +41.6 (ภาพที่ 8 และตารางผนวกที่ 7) ในสัปดาห์ที่ 5 ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำกลับมามีอัตราส่วนของรากทั้งสองขนาดเหมือนต้นปกติ คือ มีอัตราส่วนของรากใหญ่ต่อรากเล็ก เท่ากัน คือ 6: 1 และ 6: 1 (ตารางผนวกที่ 18)

ลูกผสมรหัส 43060T1 อัตราส่วนของรากใหญ่ต่อรากเล็กของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเพิ่มขึ้นหลังการงดน้ำ 4 สัปดาห์ (3: 1 กับ 6: 1) แต่กลับมีน้ำหนักสดปริมาณรากใหญ่ลดลง -12.3% (ตารางผนวกที่ 7) สำหรับในสัปดาห์ที่ 5 ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำกลับมามีอัตราส่วนของรากทั้งสองขนาดเหมือนต้นปกติ คือ มีอัตราส่วนของ รากใหญ่ต่อรากเล็ก เท่ากัน คือ 5: 1 และ 5: 1 (ตารางผนวกที่ 18)

ลูกผสมรหัส 43087T2 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 อัตราส่วนของรากใหญ่ต่อรากเล็กของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเพิ่มขึ้น (ตารางผนวกที่ 18) โดยที่ปริมาณรากใหญ่ลดลงน้อยกว่าต้นปกติ -9.67% (ตารางผนวกที่ 6) -19.08% (ตารางผนวกที่ 7) และ -24.24% (ตารางผนวกที่ 8)

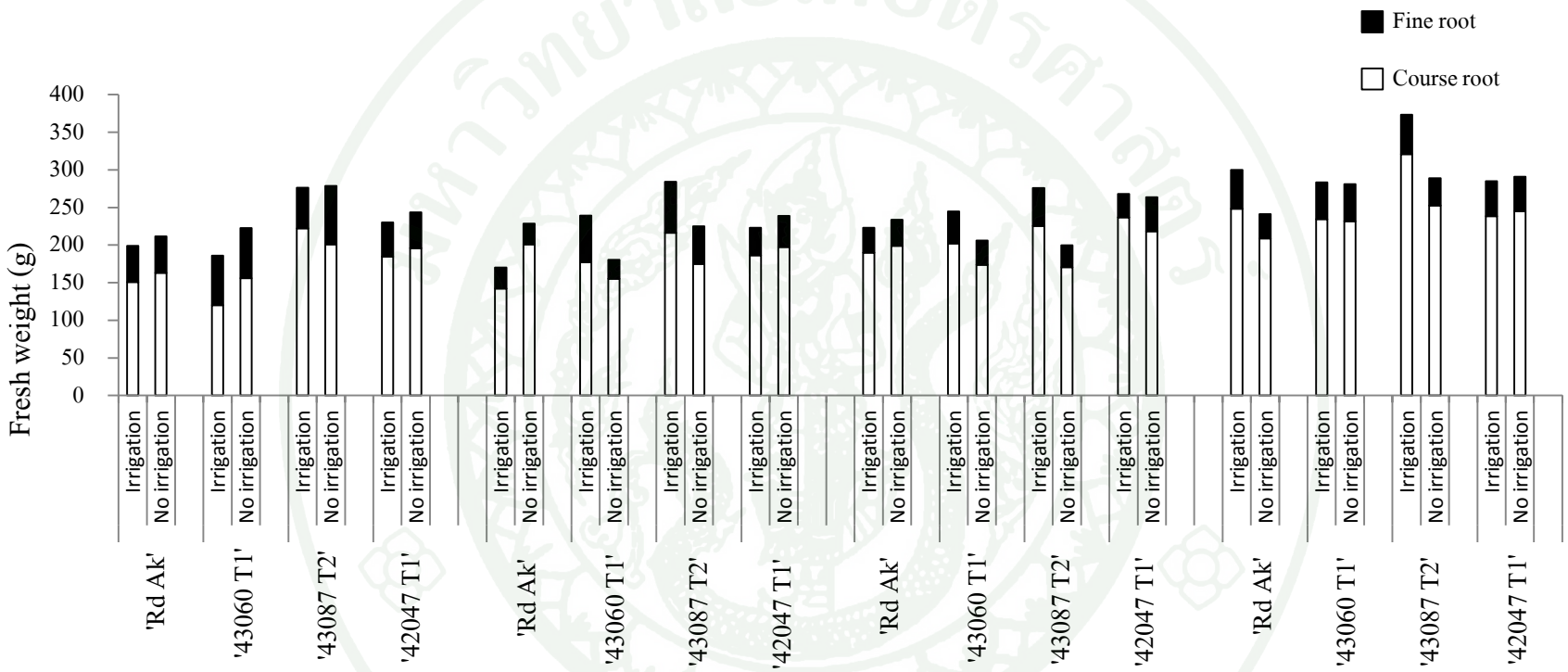
ลูกผสมรหัส 42047T1 หลังจำกัดการให้น้ำเป็นเวลา 1 และ 4 สัปดาห์ พบว่าอัตราส่วนของรากใหญ่ต่อรากเล็กของต้นปกติและต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำไม่แตกต่างกัน (4: 1 กับ 4: 1 และ 5: 1 กับ 5:1) (ตารางผนวกที่ 18) แต่ในสัปดาห์ที่ 5 พบว่าอัตราส่วนของรากใหญ่ต่อรากเล็กของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำน้อยกว่าต้นปกติ (8:1 กับ 5: 1) (ตารางผนวกที่ 18) โดยพบว่าปริมาณรากขนาดเล็กของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นปกติ +44.32% (ภาพที่ 8 และตารางผนวกที่ 8)

หลังจากการให้น้ำใหม่อีกครั้งในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 พบว่าต้นพืชทุกพันธุ์มีอัตราส่วนของ รากใหญ่: รากเล็ก ไม่แตกต่างระหว่างต้นปกติและต้นพืชจำกัดการให้น้ำ (ภาพที่ 8 และตารางผนวกที่ 18)

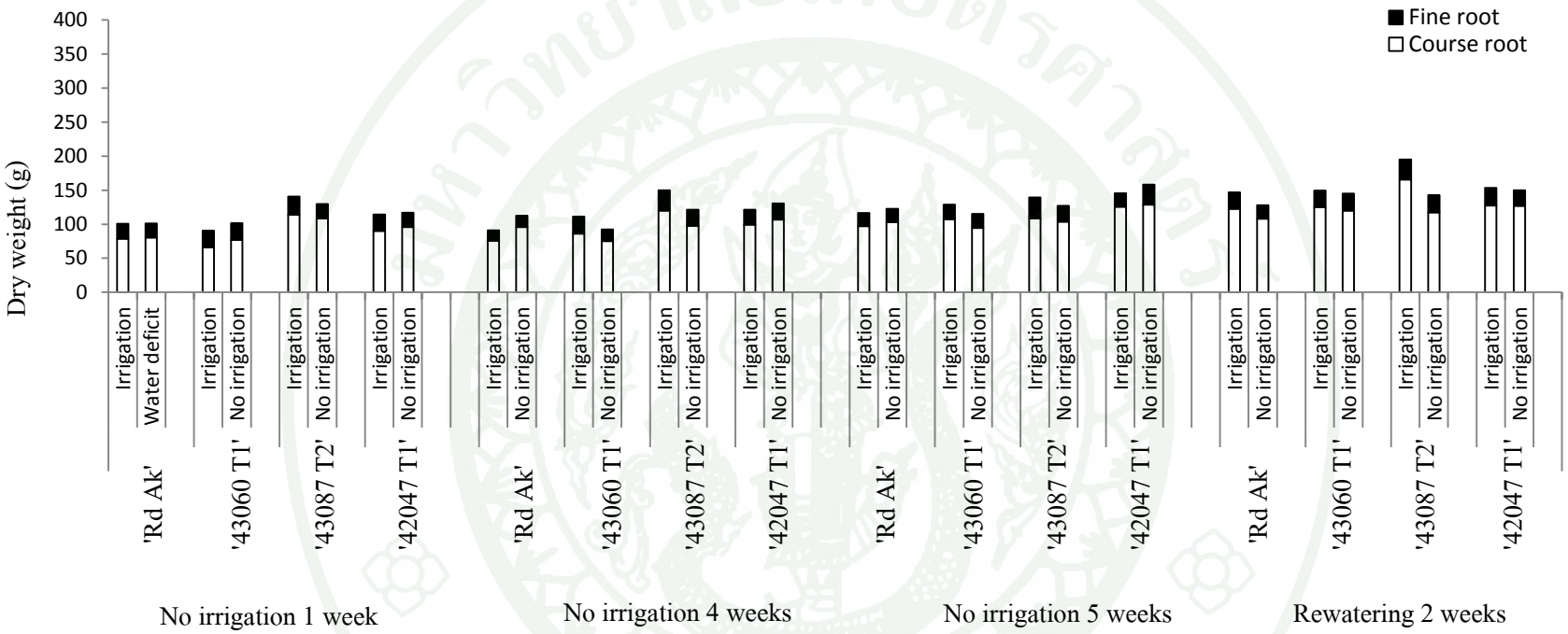
เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งรากของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 5 พบว่า พันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ และลูกผสมรหัส 42047T1 มีน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้น +5.21% (รากขนาดใหญ่ +5.87% และรากขนาดเล็ก +1.89%) (ตารางผนวกที่ 8) แต่อัตราส่วนของยอดต่อรากไม่แตกต่างกันกับต้นปกติ (ตารางผนวกที่ 18) ในขณะที่ลูกผสมรหัส 42047T1 มีน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้น 8.78% (รากขนาดใหญ่ +2.25% และรากขนาดเล็ก +50.20%) (ตารางผนวกที่ 8) เมื่อดูอัตราส่วนของยอดต่อรากพบว่าอัตราส่วนนั้นลดลงเมื่อเทียบกับต้นปกติ (ตารางผนวกที่ 18)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำหนักสดและแห้งของยอดต่อรากและอัตราส่วนน้ำหนักสดและแห้งของรากใหญ่ต่อรากเล็กในต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำ พันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ และลูกผสมรหัส 42047T1 พบว่ามีการปรับตัวต่อสภาพการขาดน้ำในแนวทางเดียวกัน คือ การเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินลดลงแต่การเจริญของส่วนใต้ดิน คือ ราก นั้นยังดำเนินได้ต่อไป (ตารางผนวกที่ 18)

สำหรับต้นพืชลูกผสมรหัส 43060T1 และ 43087T2 ที่จำกัดการให้น้ำนั้นการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินนั้นเป็นไปตามปกติ แต่การเจริญเติบโตของส่วนใต้ดินพบว่าหลังการงดน้ำในสัปดาห์ที่ 4 ลูกผสมรหัส 43060T1 มีอัตราส่วนของรากใหญ่ต่อรากเล็กของต้นงดน้ำเพิ่มขึ้น แต่ลูกผสมรหัส 43087T2 นั้นเพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 (ตารางผนวกที่ 6, 7 และ 8)



ภาพที่ 8 อัตราส่วนน้ำหนักสดรากใหญ่ต่อน้ำหนักสดรากเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1,4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7



ภาพที่ 9 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากใหญ่ต่อน้ำหนักแห้งรากเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1,4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

4.6 อัตราส่วนน้ำหนักสดยอดต่อน้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งยอดต่อน้ำหนักแห้งราก

อัตราส่วนน้ำหนักสดยอดต่อน้ำหนักสดรากหลังการจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1 ของต้นพืชพันธุ์ 'อ่างขางแดง' เปรียบเทียบต้นที่มีการจำกัดการให้น้ำกับต้นปกติพบว่ามีการลดขนาดของลำต้นส่วนเหนือดินลง (1.1: 1.0 กับ 0.9: 1.0) และยังลดลงต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 4 (1.8: 1.0 กับ 0.8:1.0) และ 5 (1.3: 1 กับ 1.2: 1.0) เมื่อทำการให้น้ำใหม่อีกครั้งในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 พบว่าน้ำหนักลำต้นส่วนเหนือดินในต้นที่ทำการงดน้ำยังคงน้อยกว่าต้นปกติ จะเห็นว่าต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำปรับตัวต่อสภาพที่ได้รับน้ำน้อย โดยการลดการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน เช่นเดียวกับลูกผสมรหัส 42047T1 ซึ่งอัตราส่วนน้ำหนักสดยอดต่อน้ำหนักสดรากลดลงเช่นกัน (1.0: 1.0 กับ 0.8: 1.0) ในสัปดาห์ที่ 1 หลังจากการจำกัดการให้น้ำ แต่ในสัปดาห์ที่ 2 การเจริญเติบโตกลับมาใกล้เคียงกับต้นปกติ (1.0: 1.0 กับ 1.1: 1.0) และลดลงอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 5 (1.2: 1.0 กับ 1.1: 1.0) (ตารางที่ 4 และ 5)

สำหรับลูกผสมรหัส 43060T1 และ 43087T2 ในต้นที่จำกัดการให้น้ำพบว่าอัตราส่วนน้ำหนักสดยอดต่อน้ำหนักสดรากหลังการงดน้ำตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึง 5 นั้น เท่ากันกับต้นปกติ (ตารางที่ 4 และ 5) เมื่อลำต้นส่วนเหนือดินของต้นที่จำกัดการให้น้ำและต้นปกติมีอัตราส่วนแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าทั้ง 2 พันธุ์นี้ไม่ได้ปรับตัวต่อสภาพการขาดน้ำโดยลดการเจริญเติบโตของลำต้นส่วนเหนือดิน มีเพียง พันธุ์ 'อ่างขางแดง' กับลูกผสมรหัส 42047T1 ที่ปรับตัวต่อการงดน้ำโดยการลดการเจริญเติบโตของลำต้นส่วนเหนือดิน (ตารางที่ 4 และ 5)

ตารางที่ 4 อัตราส่วนน้ำหนักสดลำต้นต่อน้ำหนักสดรากของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

Cultivar	Treatment	Shoot: root fresh weight				
		Week beginning	No irrigation 1 week	No irrigation 4 weeks	No irrigation 5 weeks	Rewatering 2 weeks
'Red Ak'	Irrigation	0.7: 1	1.1: 1	1.8: 1	1.3: 1	1.5: 1
	No irrigation		0.9: 1	0.8: 1	1.2: 1	1.0: 1
43060T1	Irrigation	0.4: 1	1.1: 1	1.4: 1	1.2: 1	1.2: 1
	No irrigation		1.1: 1	1.4: 1	1.3: 1	1.2: 1
43087T2	Irrigation	0.6: 1	0.9: 1	0.9: 1	1.2: 1	1.1: 1
	No irrigation		1.1: 1	1.0: 1	1.2: 1	0.9: 1
42047T1	Irrigation	0.6: 1	1.0: 1	1.0: 1	1.2: 1	1.3: 1
	No irrigation		0.8: 1	1.1: 1	1.1: 1	0.9: 1

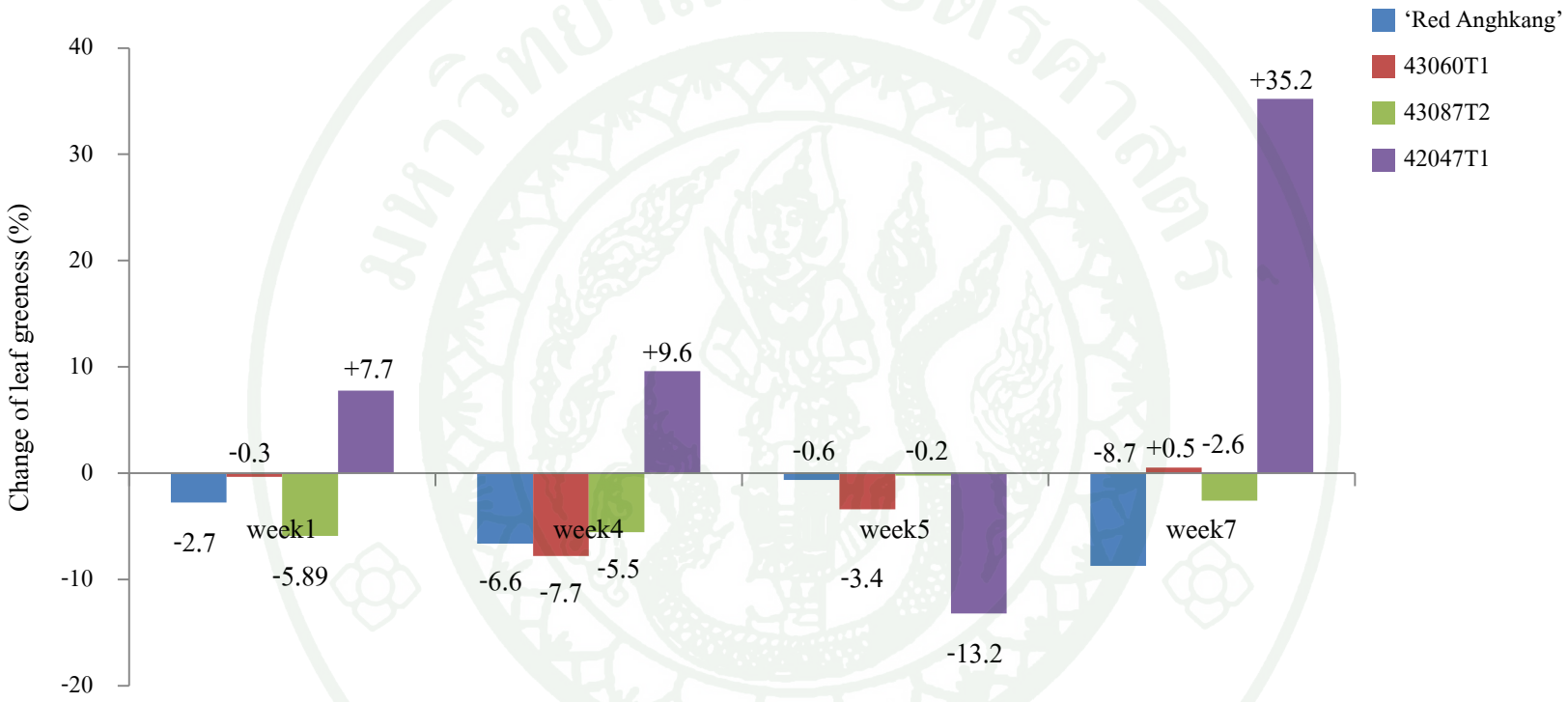
ตารางที่ 5 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งลำต้นต่อน้ำหนักแห้งรากของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่

จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

Cultivar	Treatment	Shoot: root dry weight				
		Week beginning	No irrigation 1 week	No irrigation 4 weeks	No irrigation 5 weeks	Rewatering 2 weeks
'Red Ak'	Irrigation	0.7: 1	1.1: 1	1.8: 1	1.3: 1	1.5: 1
	No irrigation		0.9: 1	0.8: 1	1.2: 1	1.0: 1
43060T1	Irrigation	0.5: 1	1.1: 1	1.4: 1	1.2: 1	1.2: 1
	No irrigation		1.1: 1	1.4: 1	1.3: 1	1.2: 1
43087T2	Irrigation	0.6: 1	0.9: 1	0.9: 1	1.2: 1	1.1: 1
	No irrigation		1.1: 1	1.0: 1	1.2: 1	0.9: 1
42047T1	Irrigation	0.6: 1	1.0: 1	1.0: 1	1.2: 1	1.3: 1
	No irrigation		0.8: 1	1.1: 1	1.1: 1	0.9: 1

4.7 ค่าความเขียวของใบ (SPAD UNIT)

หลังการจำกัดการให้น้ำเป็นระยะเวลา 1, 4 และ 5 สัปดาห์และในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 ซึ่งเป็นช่วงที่กลับมาให้น้ำแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในปริมาณเท่ากับต้นปกติเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ ไม่พบความแตกต่างค่าความเขียวของใบระหว่างต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติและต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำในต้นพืชลูกผสมรหัส 43060T1 และ 43087T2 (ภาพที่ 10 และตารางผนวกที่ 19)



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าความเขียวใบของต้นพืชเมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติในแต่ละสัปดาห์หลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

4.8 ปริมาณน้ำตาลซูโครส (sucrose) ฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) และซอร์บิทอล (sorbitol) ในใบพืช

น้ำตาลชนิดต่าง ๆ มีการเปลรายนแปลงเมื่อจำกัดการให้น้ำกับพืช (ภาพที่ 11)โดยในสัปดาห์แรก ไม่พบความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลซูโครส ฟรุกโตส กลูโคส ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ และน้ำตาลซอร์บิทอล ในต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำทั้ง 4 พันธุ์ (ตารางผนวกที่ 5) หลังจากผ่านไป 1 สัปดาห์อิทธิพลของการจำกัดการให้น้ำยังคงไม่ส่งผลให้ต้นที่จำกัดการให้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลแตกต่างจากต้นปกติในพืชทุกพันธุ์ (ตารางผนวกที่ 20)

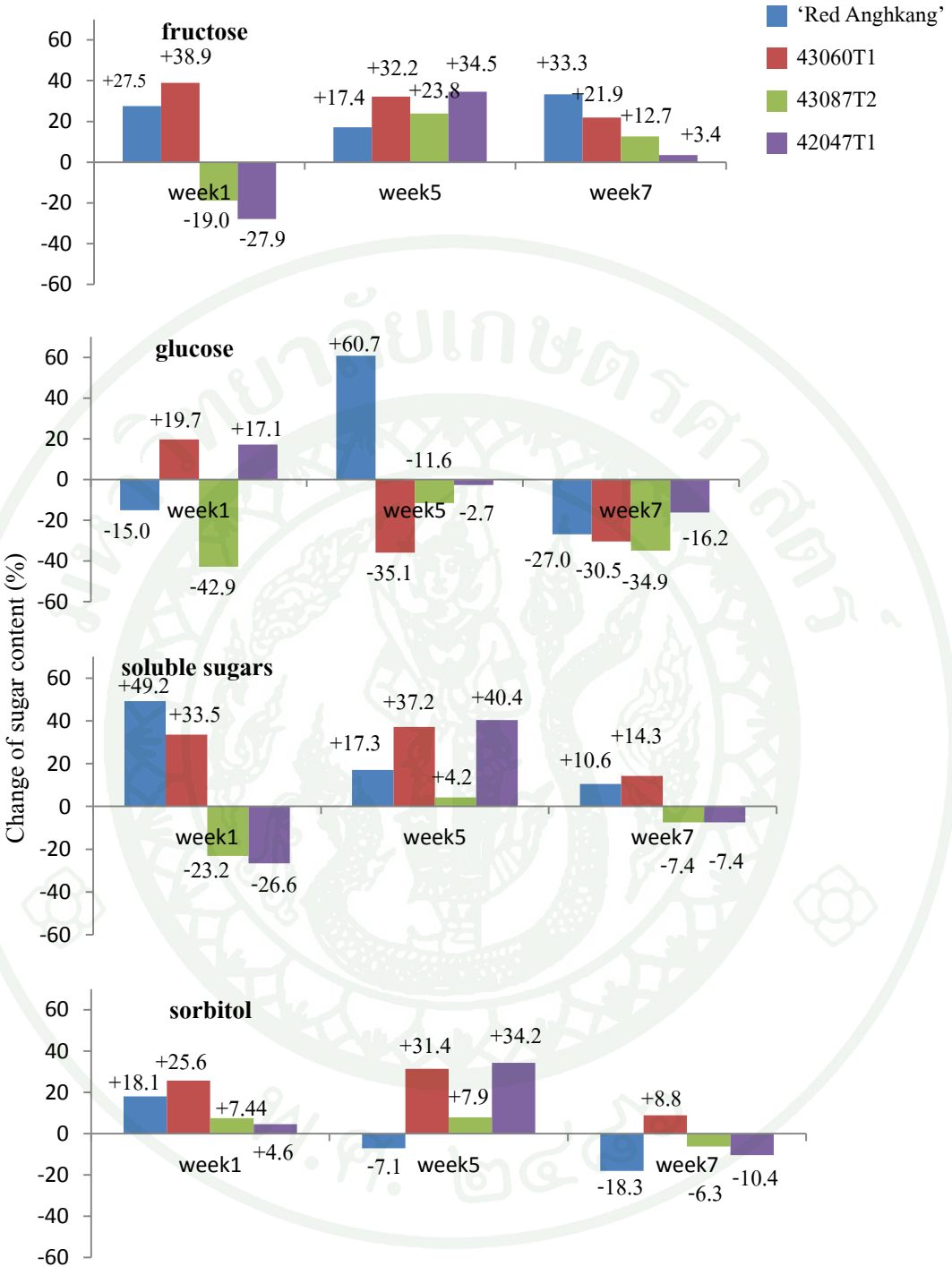
หลังจากจำกัดการให้น้ำเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าพันธุ์เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ ในขณะที่การจำกัดการให้น้ำและพันธุ์มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสและซอร์บิทอล และนอกจากนั้นยังพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และการจำกัดการให้น้ำนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลซอร์บิทอล (ตารางผนวกที่ 21)

เมื่อเรียงลำดับพันธุ์พืชที่มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสเพิ่มขึ้นจากมากไปน้อยได้ดังนี้ อันดับ 1 คือ ลูกผสมรหัส 42047T1 อันดับ 2 ลูกผสมรหัส 43060T1 อันดับ 3 ลูกผสมรหัส 43087T2 และอันดับ 4 พันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ (ตารางผนวกที่ 21)

สำหรับปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ เมื่อเรียงลำดับพันธุ์พืชที่มีปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นจากมากไปน้อยได้ดังนี้ อันดับ 1 คือ ลูกผสมรหัส 42047T1 อันดับ 2 ลูกผสมรหัส 43060T1 อันดับ 3 พันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ และอันดับ 4 ลูกผสมรหัส 43087T2 (ภาพที่ 11 และตารางผนวกที่ 21)

ส่วนเมื่อเรียงลำดับพันธุ์พืชที่มีปริมาณน้ำตาลซอร์บิทอลเพิ่มขึ้นจากมากไปน้อยในต้นที่ทำการจำกัดการให้น้ำ ได้ดังนี้ อันดับ 1 คือ ลูกผสมรหัส 42047T1 อันดับ 2 ลูกผสมรหัส 43060T1 และอันดับ 3 ลูกผสมรหัส 43087T2 ในขณะที่พันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ มีปริมาณน้ำตาลซอร์บิทอลไม่แตกต่างจากต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติ (ภาพที่ 11 และตารางผนวกที่ 21)

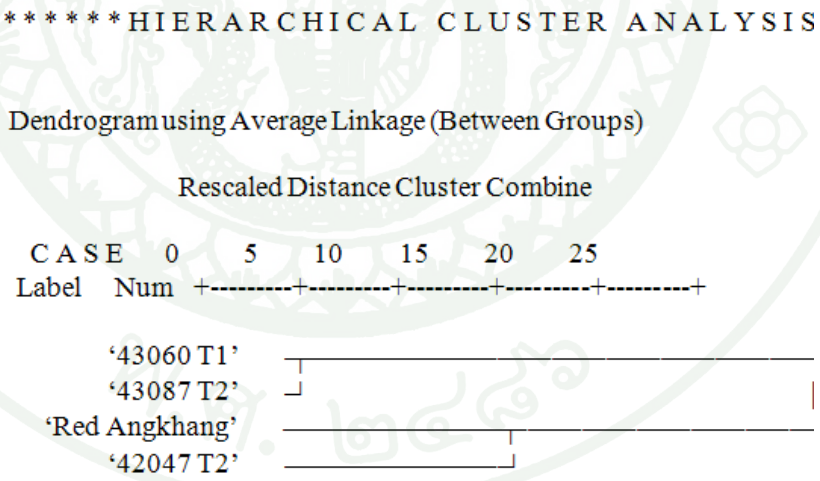
ในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 ซึ่งเป็นช่วงที่กลับมาทำการให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้ง โดยให้น้ำปริมาณเท่ากับต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติ คือ 1,100 มิลลิลิตร/ต้น/วัน ไม่พบความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลทั้ง 4 ชนิด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในต้นพืชทั้ง 4 พันธุ์ (ภาพที่ 11 และตารางผนวกที่ 22)



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงน้ำตาลซูโครส (sucrose) ฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) ซอร์บิทอล (sorbitol) และน้ำตาลที่ละลายน้ำ (soluble sugars) เมื่อเทียบกับต้นปกติในพืช 4 พันธุ์หลังจัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

5. ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคลัสเตอร์

เมื่อทำการจัดกลุ่มต้นพืชที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ด้วยวิธีคลัสเตอร์ (cluster analysis) โดยการเลือกข้อมูลที่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างต้นพืชปกติที่ให้น้ำตลอดการทดลอง และต้นพืชที่ทำการจำกัดการให้น้ำ โดยเลือกตัวชี้วัดที่ปัจจัยการให้น้ำ และพันธุ์มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแต่ละด้านในสัปดาห์ที่ 5 ซึ่งมีทั้งหมด 8 ค่า ได้แก่ ความยาวกิ่ง น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งรากทั้งหมด น้ำแห้งรากขนาดใหญ่ น้ำหนักแห้งรากขนาดเล็ก น้ำตาลฟรุกโตส น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ และน้ำตาลซอร์บิทอล ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถแบ่งพืชทั้ง 4 พันธุ์ ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกได้แก่ ต้นพืชพันธุ์พื้นเมือง ‘อ่างขางแดง’ และลูกผสมรหัส 42047T1 มีความสามารถในการทนแล้งใกล้เคียงกัน แต่มีการตอบสนองต่อสภาพเครียดน้ำแตกต่างกัน โดย ‘อ่างขางแดง’ มีปริมาณรากเพิ่มมากขึ้น แต่ลูกผสมรหัส 42047T1 นั้นมีทั้งปริมาณรากเพิ่มขึ้นและมีการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอลเพิ่มสูงขึ้นด้วย ส่วนกลุ่มที่ 2 ได้แก่ ลูกผสมรหัส 43060T1 และ 43087T2 ซึ่งมีความสามารถในการทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งได้น้อยกว่า ทั้งสองพันธุ์นี้ตอบสนองโดยมีปริมาณรากลดลงและไม่มีการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอล



ภาพที่ 12 แผนภูมิแสดงการจัดกลุ่มโดยวิธี Hierachical cluster analysis ของต้นพืชพันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ 43060T1 43087T2 และ 42047T1 โดยใช้ข้อมูลความยาวกิ่งพืช น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งรากทั้งหมด น้ำหนักแห้งรากขนาดใหญ่ น้ำหนักแห้งรากขนาดเล็ก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส และปริมาณน้ำตาลซอร์บิทอล

วิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงทางด้านการเจริญเติบโต ได้แก่ ความยาวกิ่งพืช น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนลำต้นในต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำนั้น พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ได้รับน้ำปกติจะมีค่าน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการตอบสนองต่อสภาวะเครียดน้ำในต้นยูคาลิปตัส (Silva, 2004) และงานในต้นแอปเปิล 'Imperial Gala' (Fernadez, 1997) ที่พบว่าสภาวะเครียดน้ำทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง

สำหรับการเจริญของส่วนใต้ดิน คือ ราก ในลูกผสมรหัส 43060T1 และ 43087T2 พบว่ามีการเจริญเติบโตของรากลดลงเมื่อดูจากน้ำหนักแห้งราก ในขณะ 'อ่างขางแดง' และ ลูกผสมรหัส 42047T1 การเจริญเติบโตของรากนั้นยังดำเนินได้ต่อไป และน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ต้นที่จำกัดการให้น้ำมีปริมาณรากเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ได้รับน้ำปกติ ซึ่งการที่น้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นในพันธุ์ 'อ่างขางแดง' และ พันธุ์ 42047T1สอดคล้องกับงานของ Atkinson *et al.* (1999) ที่ศึกษาความทนทานของต้นตอต่อสภาวะแห้งแล้งในต้นแอปเปิล (*Malus domestica*) โดยเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งรากในต้นตอพันธุ์ใหม่ ได้แก่ AR69-7, AR360-19,AR628-2, AR295-6 และ AR486-1 กับต้นตอพันธุ์ M27, M9, M26 และ MM111 ซึ่งเป็นต้นตอที่มีความทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งเกิดขึ้นได้จากการเจริญเติบโตของรากเป็นไปได้ดี และพบว่าต้นตอพันธุ์ AR295-6 and AR486-1 มีปริมาณรากแห้งเพิ่มมากขึ้นกว่า M26 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า AR295-6 และ AR486-1 เป็นต้นตอที่น่าจะมีความทนแล้งได้ดี ดังนั้น ค่าน้ำหนักแห้งรากน่าจะเป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่นำมาพิจารณาเกี่ยวกับระบบรากที่เหมาะสมต่อสภาวะขาดน้ำของต้นตอพืช ในงานทดลองนี้พบว่า 'อ่างขางแดง' และลูกผสม 42047T1 มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งรากจึงอาจเป็นกลไกหนึ่งที่ต้นพืชทั้งสองพันธุ์นี้ใช้เพื่อปรับตัวต่อสภาวะขาดน้ำ เช่นเดียวกับในต้นแอปเปิล

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำหนักสดและแห้งของยอดต่อราก และอัตราส่วนน้ำหนักสดและแห้งของรากใหญ่ต่อรากเล็ก ในต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำ 'อ่างขางแดง' และลูกผสม 42047T1 พบว่ามีการปรับตัวต่อสภาพการขาดน้ำในแนวทางเดียวกัน คือ การเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินลดลง (ตารางที่ 1 และ ตารางผนวกที่ 14) และเมื่อพิจารณาจำนวนใบและพื้นที่ใบของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำพบว่าทุกระยะที่ทำการเก็บข้อมูล คือ ในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 ปริมาณน้ำที่พืชได้รับนั้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ต้นพืชจำกัดการให้น้ำมีจำนวนใบต่อต้นน้อยกว่าต้นปกติ ซึ่งสอดคล้องกับในต้นยูคาลิปตัสที่เจริญเติบโตภายใต้สภาพเครียดน้ำพบว่ามีการ

เจริญเติบโตลดลง (Silva *et al.,* 2004) เช่นเดียวกับงานวิจัยในแอปเปิล 'Imperial Gala' (*Malus Domestica* **Borkh.**) ที่พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของใบลดลงเมื่ออยู่ภายใต้สภาพเครียดน้ำ (Fernandez *et al.,* 1997)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีโดยการวัดปริมาณน้ำตาลในใบพบว่าน้ำตาลซูโครสและกลูโคสไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสเพิ่มสูงขึ้น แตกต่างกับงานทดลองของ Bainco และคณะในปี ค.ศ. 2000 ที่พบว่าไม่มีการสะสมฟรุกโตสเพื่อตอบสนองต่อสภาพเครียด แต่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rodrigues และคณะ (1993) ที่ศึกษาสภาวะเครียดน้ำในต้นองุ่น และ Arndt และคณะ (2000) ที่ทำการศึกษาสภาวะเครียดน้ำในต้นพีช พันธุ์ 'Ingwe' และพุทราอินเดีย พบว่าในสภาวะเครียดจากการขาดน้ำนั้นพืชจะมีการสะสมฟรุกโตสและน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น

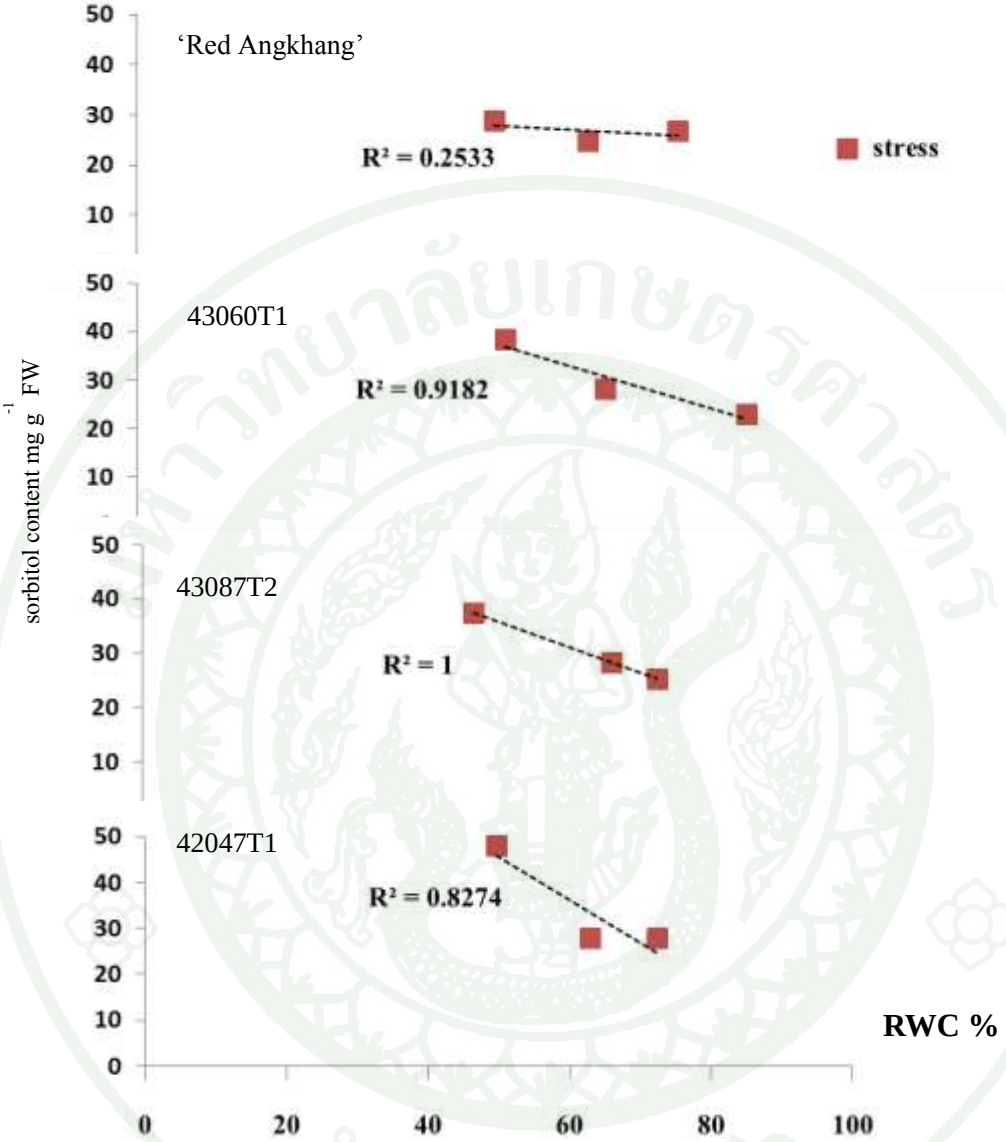
การศึกษาครั้งนี้พบว่าอิทธิพลของการงดน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในใบพืชที่ถูกจำกัดการให้น้ำทั้ง 4 พันธุ์ เช่นเดียวกับที่พบในข้าวโพดเมื่ออยู่ภายใต้สภาพขาดน้ำจะมีการสะสมน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น (Mohammadkhani and Heidari, 2008) และพบว่าต้นพีช 2 พันธุ์ คือ 'อ่างขางแดง' และลูกผสมรหัส 42047T1 สะสมน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้นกว่าต้นปกติ

มีรายงานจำนวนมากศึกษาเกี่ยวกับการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอลในพืชวงศ์ Rosaceae เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะเครียดจากการขาดน้ำ เพื่อช่วยในการรักษาความเต่งของเซลล์ในสภาพขาดน้ำ เช่น แอปเปิล (Wang and Stutte 1992) เชอร์รี่ (Ranney *et al*., 1991) และพีช (Bainco *et al*., 2000; Cui *et al*., 2004) ผลการทดลองนี้พบว่าเมื่องดน้ำเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ต้นพืชแต่ละพันธุ์มีการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอลแตกต่างกัน พบอิทธิพลของการงดน้ำต่อการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอล รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์ และการจำกัดการให้น้ำต่อการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอล เมื่อเปรียบเทียบกับต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติพบว่าพันธุ์ 42047T1 สะสมน้ำตาลซอร์บิทอลสูงที่สุดแสดงให้เห็นว่ามีการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอลเพื่อช่วยรักษาความเต่งของเซลล์ในสภาพขาดน้ำ สำหรับการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอลระหว่างสภาวะเครียดนั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุกรรมที่แตกต่างกันออกไปด้วย (Wang and Stutte, 1992; Wang *et al*., 1996; Sircelj *et al.*, 2005) สอดคล้องกับงานวิจัยในพีช (*Prunus persica*) พันธุ์ 'Nemaguard' พบว่าระหว่างสภาวะเครียดน้ำจะมีการสะสมของน้ำตาลซอร์บิทอลเพิ่มสูงขึ้นในใบเพื่อช่วยคงสภาพความเต่งของเซลล์ (Bainco

et al., 2000) เช่นเดียวกับพืชพันธุ์ ‘Ohatsumomo’ (Cui *et al.,* 2004) และในสาลี่ญี่ปุ่นเมื่อได้รับความเครียดจากอุณหภูมิต่ำพบว่าในใบมีการสังเคราะห์ซอร์บิทอลเพิ่มสูงขึ้น (Deguchi *et al.,* 2002)

นอกจากนี้พบความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำในใบกับปริมาณน้ำตาลซอร์บิทอลในต้นพืช 3 พันธุ์ คือ 43087T2 43060T1 และ 42047T1 (ภาพที่ 13) แสดงให้เห็นว่าน้ำตาลซอร์บิทอลสะสมเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำในใบลดลง แต่ในทางตรงข้ามพันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ มีค่า R^2 ค่อนข้างต่ำ (0.25) (ภาพที่ 13) ไม่แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำในใบและน้ำตาลซอร์บิทอล ซึ่งแตกต่างกับพืชลูกผสมทั้ง 3 พันธุ์ข้างต้น อาจเป็นไปได้ว่าระดับความเครียดน้ำในการทดลองนี้เป็นเพียงแค่ระดับต่ำ จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลซอร์บิทอลของ ‘อ่างขางแดง’ในต้นปกติและต้นที่ทำจำกัดการให้น้ำไม่แตกต่างกัน เนื่องจาก ‘อ่างขางแดง’ เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกมานานในพื้นที่สูงบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยจึงอาจปรับตัวต่อสภาวะแวดล้อมบริเวณดังกล่าวได้ดี (มูลนิธิ ๕ ธันวามหาราช, 2552) สอดคล้องกับงานทดลองในต้นแอปเปิลที่พบว่าสภาวะเครียดน้ำเพียงเล็กน้อย (mild water stress) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณซูโครสกับซอร์บิทอล (Sircelj, 2005) Wang และ Stutte (1992) และ Wang และคณะ (1996) รายงานการเปลี่ยนแปลงปริมาณซูโครสกับซอร์บิทอลต่อสภาวะเครียดน้ำว่าจะมีความแตกต่างกันไปตามแต่ระดับของสภาพเครียด จากข้อมูลดังกล่าวการเพิ่มขึ้นของปริมาณซอร์บิทอลเกิดขึ้นใน 3 พันธุ์ คือ 43087T2, 43060T1และ 42047T1 แสดงให้เห็นว่าลูกผสมทั้ง 3 พันธุ์นั้นใช้กลไกการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลในการตอบสนองต่อสภาพการขาดน้ำ ในขณะที่พันธุ์ ‘อ่างขางแดง’ ใช้กลไกอื่นแทน

เมื่อทำการจัดกลุ่มต้นพืชที่พันธุ์ต่าง ๆ จากลักษณะการตอบสนองที่แสดงออกมาด้วยวิธี cluster analysis การวิเคราะห์สามารถแบ่งพืชทั้ง 4 พันธุ์ ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกได้แก่ ต้นพืชพันธุ์พื้นเมือง “อ่างขางแดง” และลูกผสมรหัส 42047T1 มีความสามารถในการทนแล้งใกล้เคียงกัน แต่มีการตอบสนองต่อสภาพเครียดน้ำแตกต่างกัน โดยพันธุ์ “อ่างขางแดง” มีปริมาณรากเพิ่มมากขึ้น แต่ 42047T1 นั้นมีทั้งปริมาณรากเพิ่มขึ้นและมีการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอลเพิ่มสูงขึ้นด้วย ส่วนกลุ่มที่ 2 ได้แก่ ลูกผสมรหัส 43060T1 และ 43087T2 ซึ่งมีความสามารถในการทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งได้น้อยกว่า ทั้งสองพันธุ์นี้ตอบสนองโดยพบปริมาณรากลดลงและไม่พบการสะสมของน้ำตาลซอร์บิทอล จากงานวิจัยครั้งนี้จึงเห็นว่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 คือ น้ำตาลซอร์บิทอลและปริมาณรากโดยการหาน้ำหนักแห้งนั้นน่าจะเหมาะสมที่นำไปใช้เป็นตัวชี้วัดในการคัดเลือกต้นตอลูกผสมที่มีลักษณะทนแล้ง สำหรับสภาพภูมิอากาศบนที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทยต่อไป



ภาพที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสัมพันธ์น้ำใบใบและปริมาณน้ำตาลซอร์บิทอล ในใบพืชพันธุ์ 'อ่างขางแดง' 43060T1 43087T2 และ 42047T1 ในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 หลังการงดน้ำและเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่งดน้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และชีวเคมีในต้นตอพืชกลุ่มพันธุ์คัดเลือกเมื่อได้รับสภาพเครียดหลังจากการขาดน้ำ และกลับมาได้รับน้ำตามปกติ เพื่อให้ได้ตัวบ่งชี้ในการคัดเลือกพืชพันธุ์ลูกผสมที่มีลักษณะทนแล้งพบว่า

1. การจำกัดการให้น้ำที่ 30% ของค่าการคายระเหย มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นพืช ด้านสัณฐานวิทยา ได้แก่ น้ำหนักลำต้นและราก ความยาวกิ่ง พื้นที่ใบ และจำนวนใบต่อต้นมีค่าลดลง ด้านสรีรวิทยา ได้แก่ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ ค่าความเขียวของใบมีค่าลดลง ด้านชีวเคมี ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลซอร์บิทอล จะมีการสะสมสูงขึ้นหรือลดลงแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์

2. พืชพันธุ์พื้นเมือง ‘อ่างขางแดง’ มีการเจริญเติบโตของรากเพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว แต่พันธุ์ลูกผสม 42047T1 มีการเจริญเติบโตของรากเพิ่มขึ้นและมีการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอลเพื่อช่วยให้สามารถดำรงชีวิตในสภาพขาดน้ำ ส่วนพันธุ์ลูกผสม 43060T1 และ 43087T2 มีการเจริญเติบโตของรากลดลงและไม่มีการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอลเหมือนกัน

3. สามารถแบ่งพืชพันธุ์ทดลองทั้ง 4 พันธุ์ ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกได้แก่ พืชพันธุ์พื้นเมือง ‘อ่างขางแดง’ มีลักษณะทนทานต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำจัดอยู่ในระดับเดียวกับพืชพันธุ์ลูกผสม 42047T1 กลุ่มที่ 2 ได้แก่ พืชพันธุ์ลูกผสม 43060T1 และ 43087T2 มีลักษณะทนทานต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำได้น้อยกว่า ถึงแม้ว่าพืชพันธุ์พื้นเมือง ‘อ่างขางแดง’ ถูกจัดอยู่กลุ่มเดียวกับพืชพันธุ์ลูกผสม 42047T1 แต่มีการใช้กลไกการปรับตัวต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำแตกต่างกัน

4. ตัวชี้วัดที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้คัดเลือกพืชที่มีความทนทานต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำ คือ ปริมาณรากหรือใช้น้ำหนักแห้งรากและการสะสมน้ำตาลซอร์บิทอลในใบ

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองนี้ตัวชี้วัดที่เหมาะในการนำมาใช้คัดเลือกพืชที่มีความทนทานต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำ คือ ปริมาณรากโดยการใช้น้ำหนักแห้งรากและการสะสมน้ำตาล ซอร์บิทอลในใบ แต่ควรทำการทดลองซ้ำอีก 1 ฤดูกาล เนื่องจากการทดลองนี้ทำเพียง 1 ฤดู อีกทั้งหากเป็นไปได้คสรเพิ่มจำนวนตัวอย่างทดลอง เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูล

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

นพดล จรัสสัมฤทธิ์. 2537. **ไม้ผลเขตหนาว.** สำนักพิมพ์รั้วเขียว, กรุงเทพฯ.

นวรัตน์ อุดมประเสริฐ และราเชนทร์ ถิรพร. 2537. ความสัมพันธ์ของการสะสมโพรลีนเนื่องจากสภาวะขาดน้ำและผลผลิตของข้าวโพด. **ว. เกษตรศาสตร์ (วิทย.)** (28): 340-347.

ปวิณ ปุณศรี, สุรนันต์ สุภัทรพันธุ์, โอฬาร ตัณฑวิรุฬห์, นพชัย ธำรงเลาหะพันธุ์ และสิริกุล วะสี. 2525. **โครงการหลวงคู่มือนักส่งเสริมเรื่องไม้ผลสำหรับที่สูง**. งานเกษตรที่สูง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปวิณ ปุณศรี. 2537. **20 ปีแห่งการบุกเบิกพัฒนาพื้นที่สูงภาคเหนือของประเทศไทย**. สำนักพิมพ์อมรินทร์พริ้นติ้ง, กรุงเทพฯ.

มูลนิธิ ๕ ธันวามหาราช. **พระราชกรณียกิจ. 2552.** แหล่งที่มา : http://www.belovedking.com/, 30 กันยายน 2553.

Araji, I. and K. Arzani. 2008. Effect of water stress on some biochemical changes in leaf of five olive (*Olea europaea* L.) cultivars. **Acta Horticulturae** 791: 523-526.

Arndt, S.K., W. Wanek, S.C. Clifford and M. Popp. 2000. Contrasting adaptations to drought stress in field-grown *Ziziphus mauritiana* and *Prunus persica* trees: water relations, osmotic adjustment and carbon isotope composition. **Aust. J. Plant Physiol**. 27: 985–996.

Atkinson, C.J., M. Policarpo, A.D. Webster and A. Kuden. 1997. Drought sensitivity of apple rootstocks. **Acta Horticulturae** 451: 171-178.

Atkinson, C. J., M. Policarpo, A.D. Webster and A.M. Kuden. 1999. Drought tolerance of apple rootstocks: production and partitioning of dry matter. **Plant and Soil** 206: 223–235.

Behrouzyar, E.K., M. Yarnia, S. Darbandi and H. Alyari. 2007. Effect of drought stress on some morphological characteristics of two sunflower (*Helianthus annuus*) hybrids at different planting densities. **Journal of New Agricultural Science** 3(8)

Bianco, R.L., M. Rieger and S.S. Sung. 2000. Effect of drought on sorbitol and sucrose metabolism in sinks and sources of peach. **Physiologia Plantarum** 108: 71–78.

Bohnert, H.J., D.E. Nelson, and R.G. Jensen. 1995. Adaptation to environmental stresses. **The Plant Cell** 7: 1099-1 11 1.

Centritto, M. 2005. Photosynthetic limitations and carbon partitioning in cherry in response to water deficit and elevated [CO_2]. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 106 : 233–242.

Chartzoulakis, K., A. Patakas, G. Kofidis, A. Bosabalidis and A. Nastou. 2002. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. **Scientia Horticulturae** 95: 39–50.

Chinnapat K. 2013. **Knowledge Discovery in Database and Data Meanning**. Available Source: http://scriptslines.com/blog/what-is-clustering/

Cooke, S.A., S.O. Jonsdottir, and P. Westh. 2002. The vapour pressure of water as a function of solute concentration above aqueous solutions of fructose, sucrose, raffinose, erythritol, xylitol, and sorbitol. **J. Chem. Thermodyn.** 34: 1545–1555.

Cui S.M., K. Sadayoshi, Y. Ogawa and N. Nii. 2004. Effect of water stress on sorbitol content in leaves and roots, anatomical change in cell nuclei and starch accumulation in leaves of young peach trees. **J. Japan Soc. Hort. Sci.** 73(1): 25-30.

Deguchi, M., M. Watanabe and Y. Kanayama. 2002. Increase in sorbitol biosynthesis in stressed Japanese pear leaves. **Acta Horticulturae** 587: 511-517.

Fernandez R. T., R. L. Perry and J. A. Flore. 1997. Drought response of young apple trees on three rootstocks: growth and development. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 122: 14-19.

Food and Agriculture Oganization of The United Nations. 2009. Available Source: http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor/, Mar 20, 2010.

Gonzalez, L. and M. Gonzalez-Vilar. 2001. **Handbook of Plant Ecophysiology Techniques.** Kluwer Academic Publishers, the Netherland.

Hopkins, W.G. and N.P.A. Huner. 2004. **Introduction to Plant Physiology**. 3rd Ed. John John Wiley & Sons Publishers, Hoboken, NJ.

Isaakidis, A., T. Sotiropoulost, D. Almaliotis, I. Therios and D. Stylianidis. 2004. Response to severe water stress of the almond *(Prunus amygdalus)* 'Ferragnès' grafted on eight rootstocks. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Scienc** 32: 355-362.

Jie, Z., Y. Yuncong and Z. Yuping. 2008. Effect of drought stress on the photosynthesis of wild apricot. **Acta Horticulturae** 772: 287-290.

Kanayama, Y. 1998. Molecular biology of sugars metabolism and its regulation in fruit. **J. Japan Soc. Hort. Sci.** 67:1203-1208.

Kanayama, Y., R. Moriguchi, M. Deguchi, K. Kanahama and S.Yamaki. 2007. Effect of environmental stress and abscisic acid on sorbitol-6-phosphate dehydrogenase expression in Rosaceae fruit trees. **Acta Horticulturae** 738: 375-381.

Kandpa, R. P., C. S. Vaidyanathan, M.U. Kumar., K.S.K. Sastry and N. Appajirao. 1981. Alterations in the activities of the enzymes of proline metabolism in Ragi *(Eleusine coracana)* leaves during water stress. **J. Biosci**. 4(3): 361-370.

Karkacier, M., M. Erbas, M.K. Uslu and M. Aksu. 2003. Comparison of different extraction and detection methods for sugarss using amino-bonded phase HPLC. **Journal of Chromatographic Science** 41: 331-333.

Kaynas, N. and K.K. Ataturk. 1997. Changes in abscisic acid concentrations under extreme drought conditions in some peach cultivars. **Acta Horticulturae** 463: 121-125.

Loescher, W.H., and J.D. Everard. 1996. Metabolism of carbohydrates in sinks and sources: sugars alcohols. Distribution of photoassimilates in plants and crops: source-sink relationships. **Marcel Dekker, Inc.** Publishers. New York.

Mohammadkhani, N. and R. Heidari. 2008. Drought-induced accumulation of soluble sugarss and proline in two maize varieties. **World Applied Science Journal** 3(3): 448-453.

Moing, A., N. Langlois, L. Svanella,. A. Zanetto and J.P. Gaudillere. 1997. Variability in sorbitol: sucrose ratio in mature leaves of different *Prunus* species. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 122: 83-90.

Norman, F.C. and B.S. Wayne. 1988. **The Peach**. Horticultural publications. Gainesville.

Ranney, T.G., N.L. Bassuk and T.H. Whitlow. 1991. Osmotic adjustment and solute constituents in leaves and roots of water-stressed cherry (*Prunus*) trees. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 116: 684-688.

Reddy Y.T.N., R.M. Kurian, P.R. Ramachander, G. Singh and R.R. Kohli. 2003. Long-term effects of rootstocks on growth and fruit yielding patterns of 'Alphonso' mango (*Mangifera indica* L.). **Scientia Horticulturae** 97: 95–108

Rodrigues, M.L., M.M. Chaves, R. Wendler, M.M. David, W.P.Quick, R.C. Leegood, M. Stitt and J.S. Pereira. 1993. Osmotic adjustment in water stressed grapevine leaves in relation to carbon assimilation. **Aust. J. Plant Physiol.** 20: 309–321.

Rom R.C. and R.F. Carlson. 1987. **Rootstock for Fruit Crops.** John Wiley & Sons publications. New York.

Silva F.C., A. Shavaleva, J.P. Maroco, M.H. Almeida, M.M. Chaves and J.S. Pereira. 2004. Responses to water stress in two *Eucalyptus globulus* clones differing in drought tolerance. **Tree Physiol** 24: 1165-1172.

Sircelj, H., M. Tausz, D. Grill and F. Batic. 2005. Biochemical responses in leaves of two apple tree cultivars subjected to progressing drought. **Journal of Plant Physiology** 162: 1308-1318.

Sircelj, H., M. Tausz, D. Grill and F.Batic. 2007. Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. **Scientia Horticulturae** 113: 362–369.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. **Plant Physiology.** Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland.

Wang, Z. and G.W. Stutte. 1992. The role of carbohydrates in active osmotic adjustment in apple under water stress. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 117: 816-823.

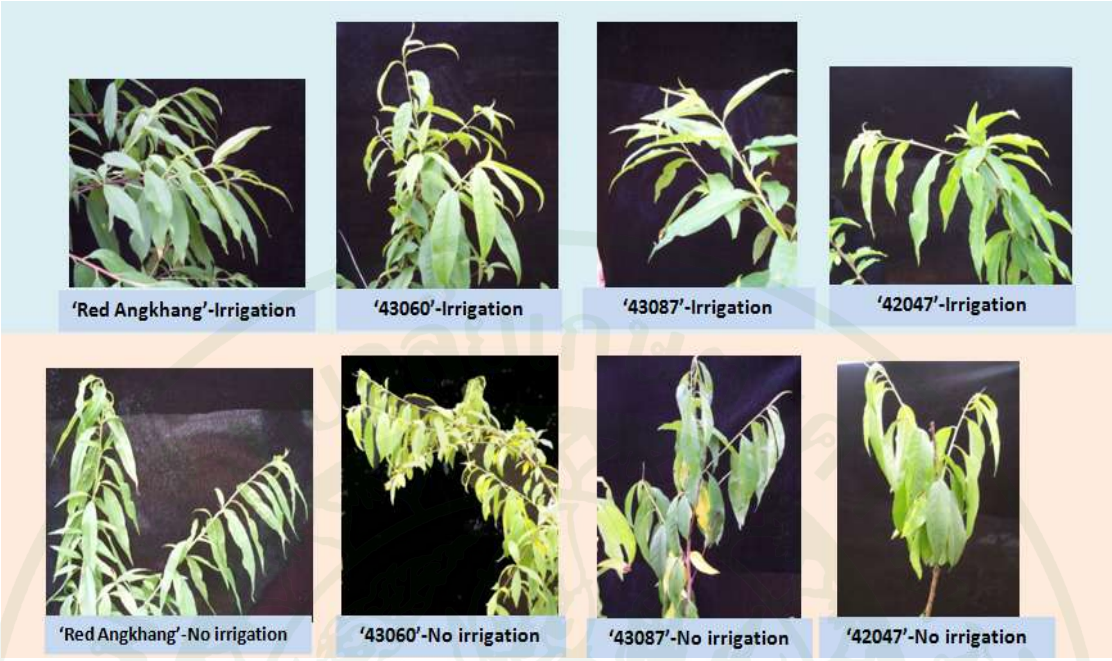
Wang, Z., B. Quebedeaux and G.W. Stutte. 1996. Partitioning of ($_{14}$C) glucose and other carbohydrates in apple under water stress. **Aus. J. Plant Physiol.** 23: 245-251.

William, G.H. and P.A.H. Norman. 2009. **Introduction to Plant Physiology.** 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., the United States of America.

Wong D. 2009. **Peach Benefit-The Bomb of Antioxidants.** Available Source: http://www.zhion.com/herb/Peach.html/, Sep 30, 2009.

Yin R., T. Bai, F. Ma, X. Wang, Y. Li and Z. Yue. 2010. Physiological responses and relative tolerance by Chinese apple rootstocks to NaCl stress. **Scientia Horticulturae** 126(2):247- 252.

ภาคผนวก



ภาพผนวกที่ 1 ต้นพืชพันธุ์ 'อ่างขางแดง' 43060T1 43087T2 และ 42047T1 ที่ได้รับน้ำเต็มที่ (แถวบน) และต้นพืชที่งดน้ำเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ (แถวล่าง)

ภาพผนวกที่ 2 รากของต้นพืชพันธุ์ 'อ่างขางแดง' 43060T1 43087T2 และ 42047T1 ที่ได้รับน้ำเต็มที่ (แถวบน) และต้นพืชที่งดน้ำเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ (แถวล่าง)

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ณ แปลงทดลองที่ 3 สถานีสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง ตำบลแม่งอน อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ตั้งแต่เดือนเมษายน – พฤษภาคม 2554 (สัปดาห์ที่ 0 - 7)

	ระยะเวลา	อุณหภูมิเฉลี่ย	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย
		(°C)	(%)
(สัปดาห์ที่ 0)	23 เมษายน 54	24.31	65.91
(สัปดาห์ที่ 1)	23-30 เมษายน 54	18.99	94.63
(สัปดาห์ที่ 2)	30 เมษายน – 7 พฤษภาคม 54	22.66	79.04
(สัปดาห์ที่ 3)	7 – 14 พฤษภาคม54	21.40	89.84
(สัปดาห์ที่ 4)	14 – 21 พฤษภาคม54	21.42	85.03
(สัปดาห์ที่ 5)	21 - 28 พฤษภาคม54	20.14	94.14
(สัปดาห์ที่ 6)	28 พฤษภาคม – 4 มิถุนายน 54	20.81	94.38
(สัปดาห์ที่ 7)	4 - 11 มิถุนายน 54	22.23	88.09

ตารางผนวกที่ 2 ความชื้นดิน ความยาวกิ่ง จำนวนใบทั้งต้น พื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้น ความสัมพันธ์น้ำในใบ และค่าความเขียวใบในพืช 4 พันธุ์ในวันเริ่มต้นการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0)

Cultivars	Soil moisture content (%)	New shoot length (cm)	Leaf number/tree (leaf)	Leaf area/tree (cm^2)	Leaf relative water content (%)	Chlorophyll content (SPAD UNIT)
'Red Anghkang'	88.39	24.6	634.5	5961.9	81.77	37.33
43060T1	88.05	22.1	322	2795.74	88.8	36.10
43087T2	88.39	21.6	518	3722.32	88.36	41.30
42047T1	87.55	22.9	371.5	3559.87	91.44	36.85
f-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV	15.49	59.23	71.02	83.93	16.84	27.45

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 3 น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดรากทั้งหมด น้ำหนักสดรากขนาดใหญ่ และน้ำหนักสดรากขนาดเล็กในพืช 4 พันธุ์ในวันเริ่มต้นการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0)

Cultivars	Fresh weight (g)			
	Shoot	Total root	Coarse root	Fine root
'Red Anghkang'	210.5	298.3	244.4	53.9
43060T1	150.5	376	274.75	101.25
43087T2	204.5	354.75	288.05	66.7
42047T1	247.5	386.8	332.9	53.9
f-test	ns	ns	ns	ns
CV	56.89	76.94	67.37	30.76

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 4 น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งรากทั้งหมด น้ำหนักแห้งรากขนาดใหญ่ น้ำหนักแห้งรากขนาดเล็ก และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งราก: ยอด ในพืช 4 พันธุ์ ในวันเริ่มต้นการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0)

Cultivars	Dry weight (g)				
	Shoot	Total root	Coarse root	Fine root	Shoot:Root
'Red Anghkang'	99.66	139.94	118.76	21.19	0.71
43060T1	70.56	135.41	108.81	26.6	0.52
43087T2	95.94	167.13	140.93	26.2	0.57
42047T1	122.25	203.69	171.94	31.75	0.6
f-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV	33.89	40.92	40.18	63.65	164.13

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ผนวกที่ 5 ปริมาณน้ำตาลซูโครส (sucrose) ฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) และซอร์บิทอล (sorbitol) ในใบพืช 4 พันธุ์ ในวันเริ่มต้นการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0)

Cultivars	Sugars content (mg g^{-1} fw)				
	sucrose	fructose	glucose	Soluble sugars	sorbitol
'Red Anghkang'	0	11.32	18.78	30.10	26.88
43060T1	0	7.21	18.34	25.55	23.15
43087T2	0.75	7.91	18.20	26.86	25.31
42047T1	3.04	14.61	23.36	41.10	28.02
f-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV	160.21	121.26	83.35	34.20	68.27

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 6 การเปลี่ยนแปลงแต่ละพารามิเตอร์ของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเมื่อเทียบกับต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1

cultivars	percent different (%)									
	Leaf number/tree	Leaf area/tree	fresh weigth				dry weight			
			Shoot	total root	Coarse root	Fine root	Shoot	total root	Coarse root	Fine root
'Red Anghkang'	-19.2	14.0	-10.4	+6.5	+8.0	+1.8	-6.2	+0.1	+2.2	-7.6
43060T1	+13.4	+5.7	+14.0	+19.8	+30.0	+1.3	+4.5	+12.2	+16.6	+0.2
43087T2	-15.2	+43.1	-1.6	-17.3	-9.7	-48.7	+5.4	-7.7	-4.8	-20.6
42047T1	-36.3	-24.2	-13.2	5.7	+6.1	+4.4	-9.4	+2.6	+6.4	-11.9
significance	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
propability	0.475	0.357	0.439	0.197	0.588	0.004	0.296	0.308	0.392	0.594
CV	21.41	19.69	23.02	23.95	24.04	43.59	26.68	21.89	25.17	17.61

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 7 การเปลี่ยนแปลงแต่ละพารามิเตอร์ของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเมื่อเทียบกับต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 4

cultivars	percent different (%)									
	Leaf number/tree	Leaf area/tree	fresh weigth				dry weight			
			Shoot	total root	Coarse root	Fine root	Shoot	total root	Coarse root	Fine root
'Red Anghkang'	+12	+23.0	-40.2	34.4	+41.6	-0.3	-43.2	+24.4	+26.8	+9.4
43060T1	-38	-16.4	-23.8	-24.5	-12.3	-59.3	-26.6	-17.0	-12.7	-31.7
43087T2	-45	-12.1	-11.6	-20.8	-19.1	-26.3	-24.6	-19.0	-18.7	-20.2
42047T1	-11	-21.8	+16.7	+6.5	+5.8	+13.0	+11.5	+7.6	+8.4	+8.8
significance	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	*	ns
propability	0.232	0.904	0.112	0.018	0.172	0.027	0.357	0.038	0.012	0.298
CV	24.54	21.45	20.96	20.72	19.77	41.87	22.57	21.40	22.16	26.82

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 8 การเปลี่ยนแปลงแต่ละพารามิเตอร์ของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเมื่อเทียบกับต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 5

cultivars	percent different (%)									
	Leaf number/tree	Leaf area/tree	fresh weigth				dry weight			
			Shoot	total root	Coarse root	Fine root	Shoot	total root	Coarse root	Fine root
'Red Anghkang'	-28.6	-29.9	-2.8	4.8	4.8	4.9	-3.5	5.2	5.9	1.9
43060T1	-30.1	-25.8	-13.9	-15.9	-14.1	-24.4	-4.4	-10.5	-11.8	-4.4
43087T2	-40.8	-49.4	-22.1	-27.5	-24.2	-42.3	-8.3	-8.9	-4.1	-25.5
42047T1	-28.5	-44.1	-14.5	-1.7	-7.8	44.3	1.8	8.8	2.3	50.2
significance	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
propability	0.248	0.868	0.186	0.1	0.292	0.678	0.561	0.299	0.129	0.321
CV	5.10	0.61	10.39	13.92	15.51	86.41	23.88	27.82	31.81	156.94

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 9 การเปลี่ยนแปลงแต่ละพารามิเตอร์ของต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำเมื่อเทียบกับต้นพืชที่ได้รับน้ำปกติหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 7

cultivars	percent different (%)									
	Leaf number/tree	Leaf area/tree	fresh weigth				dry weight			
			Shoot	total root	Coarse root	Fine root	Shoot	total root	Coarse root	Fine root
'Red Anghkang'	-40.2	-65.0	-47.6	-19.6	-15.9	-37.0	-39.6	-12.7	-11.8	-17.3
43060T1	-6.7	-24.1	-4.1	-0.8	-1.2	1.5	-0.9	-2.9	-4.3	4.2
43087T2	-45.8	-58.4	-37.9	-22.6	-21.3	-30.3	-32.2	-26.8	-29.0	-14.4
42047T1	-44.4	-44.5	-31.8	2.0	2.8	-2.0	-29.4	-2.4	-0.2	-13.1
significance	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
propability	0.108	0.003	0.011	0.072	0.33	0.04	0.163	0.34	0.386	0.974
CV	5.77	0.69	12.26	15.13	17.10	95.31	27.01	31.95	36.59	192.13

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 10 จำนวนใบต่อต้นของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

Cultivars	Treatments	Leaf number/tree (leaf)							
		No irrigation 1 week	t-test	No irrigation 4 weeks	t-test	No irrigation 5 weeks	t-test	Rewatering 2 weeks	t-test
'Red Anghkang'	control	343	ns	475	ns	732	ns	927	*
	drought	277		532		523		554	
43060T1	control	337	ns	644.5	ns	665	ns	729.5	ns
	drought	382		401		465		680.5	
43087T2	control	410	ns	569.5	ns	617	ns	950.5	ns
	drought	347.5		313.5		365		515	
42047T1	control	455.5	ns	539.5	ns	625.5	ns	706.5	ns
	drought	290		478		447		392.5	
Significance									
CV		17.08		22.18		26.12		29.54	
Cultivars		ns		ns		ns		ns	
Water deficit		ns		ns		*		*	
Interaction		ns		ns		ns		ns	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 11 พื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

Cultivars	Traetments	Leaf area/tree (cm^2)							
		No irrigation 1 week	t-test	No irrigation 4 weeks	t-test	No irrigation 5 weeks	t-test	Rewatering 2 weeks	t-test
'Red Angkhang'	control	2816.41	ns	4081.72	ns	6468.56	ns	9822.87	*
	drought	3210.96		5020.52		4537.27		3435.47	
43060T1	control	2709.66	ns	4978.24	ns	5940.59	ns	7659.79	ns
	drought	2863.71		4163.67		4410.31		5814.21	
43087T2	control	2438.38	ns	4313.82	ns	5224.63	ns	7596.74	ns
	drought	3490.35		3792.91		2645.25		3160.89	
42047T1	control	3141.21	ns	5216.31	ns	6098.49	*	6022.98	ns
	drought	2379.69		4080.88		3408.97		3342.42	
Significance									
CV		18.69		23.67		31.12		25.67	
Cultivars		ns		ns		ns		ns	
Water deficit		ns		ns		*		*	
Interaction		ns		ns		ns		ns	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราผนวกที่ 12 น้ำหนักสดลำต้นส่วนเหนือดินของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1,4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

		Shoot fresh weight							
Cultivars	**Treatments**	**No irrigation 1 week**	**t-test**	**No irrigation 4 weeks**	**t-test**	**No irrigation 5 weeks**	**t-test**	**Rewatering 2 weeks**	**t-test**
'Red Anghkang'	Irrigation	211	ns	314.45	*	300.1	ns	456.04	ns
	No irrigation	189		188.05		291.65		240.96	
43060T1	Irrigation	207	ns	339	ns	305.05	ns	351.78	ns
	No irrigation	236		258.4		262.7		337.46	
43087T2	Irrigation	257	ns	246.8	ns	320.3	ns	425.03	ns
	No irrigation	253		218.1		249.4		294.03	
42047T1	Irrigation	228	ns	221.6	ns	326.05	ns	369.43	ns
	No irrigation	198		259		278.95		252.06	
Significance									
CV		26.08		14.08		13.95		16.30	
Cultivars		ns		ns		ns		ns	
Water deficit		ns		*		*		*	
Interaction		ns		ns		ns		ns	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 13 น้ำหนักแห้งลำต้นส่วนเหนือดินของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1,4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

		Shoot dry weight							
Cultivars	**Treatments**	**No irrigation 1 week**	**t-test**	**No irrigation 4 weeks**	**t-test**	**No irrigation 5 weeks**	**t-test**	**Rewatering 2 weeks**	**t-test**
'Red Ang khang'	Irrigation	87.87	ns	140.59	ns	133.96	ns	215.23	ns
	No irrigation	82.4		79.82		129.26		129.92	
43060T1	Irrigation	93.69	ns	133.42	ns	140.51	ns	170.51	ns
	No irrigation	97.88		97.95		134.29		169.04	
43087T2	Irrigation	113.3	ns	149.37	ns	154.7	ns	206.43	ns
	No irrigation	119.42		112.7		141.84		157.87	
42047T1	Irrigation	101.31	ns	112.69	ns	156.27	ns	182.59	ns
	No irrigation	91.76		125.62		159		128.94	
Significance									
CV		30.58		17.40		17.42		11.52	
Cultivars		ns		ns		ns		ns	
Water deficit		ns		*		ns		ns	
Interaction		ns		ns		ns		ns	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 14 น้ำหนักสดรากทั้งหมด รากขนาดใหญ่ และรากขนาดเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1 และ 4

		No irrigation 1 week			No irrigation 4 weeks		
Cultivars	**Treatments**	**Total Root**	**Tap Root**	**Fine Root**	**Total Root**	**Tap Root**	**Fine Root**
'Red Anghkang'	Irrigation	198.79	150.85	47.94	170.17	142.115	28.05
	No irrigation	211.75	162.97	48.78	228.71	200.75	27.96
43060T1	Irrigation	185.98	119.94	66.04	239.16	177.11	62.05
	No irrigation	222.77	155.88	66.89	180.51	155.28	25.23
43087T2	Irrigation	276.16	222.43	53.74	284.03	216.32	67.71
	No irrigation	228.48	200.92	27.56	224.97	175.05	49.93
42047T1	Irrigation	230.22	184.76	45.47	224.17	186.47	36.7
	No irrigation	243.39	195.93	47.46	238.71	197.24	41.47
Significance							
CV		17.27	19.07	50.53	6.49	9.09	27.76
Cultivars		ns	ns	ns	*	*	*
Water deficit		ns	ns	ns	ns	ns	*
Interaction		ns	ns	ns	*	*	ns

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 15 น้ำหนักสดรากทั้งหมด รากขนาดใหญ่ และรากขนาดเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำให้กัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

Cultivars	Treatments	No irrigation 5 weeks			Rewatering		
		Total Root	Tap Root	Fine Root	Total Root	Tap Root	Fine Root
'Red Anghkang'	Irrigation	223.07	189.79	33.28	299.84	248.18	51.66
	No irrigation	233.67	198.81	34.87	241.19	208.65	32.54
43060T1	Irrigation	244.89	202.15	42.75	283.26	234.58	48.69
	No irrigation	206.04	173.71	32.33	281.13	231.73	49.41
43087T2	Irrigation	275.79	225.37	50.42	373.15	320.67	52.48
	No irrigation	199.83	170.75	29.08	289.02	252.42	36.6
42047T1	Irrigation	268.04	236.7	31.34	284.95	238.33	46.62
	No irrigation	263.59	218.36	45.23	290.75	245.08	45.67
Significance							
CV		17.42	18.09	22.58	11.51	11.89	27.73
Cultivars		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Water deficit		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Interaction		ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 16 น้ำหนักแห้งรากทั้งหมด รากขนาดใหญ่ และรากขนาดเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1 และ 4

		No irrigation 1 week			No irrigation 4 weeks		
Cultivars	**Treatments**	**Total Root**	**Tap Root**	**Fine Root**	**Total Root**	**Tap Root**	**Fine Root**
'Red Angkhang'	Irrigation	100.88	78.73	22.15	90.42	75.46	15.38
	No irrigation	100.93	80.46	20.47	112.49	95.67	16.83
43060T1	Irrigation	90.62	66.06	24.57	111.31	86.31	25
	No irrigation	101.66	77.03	24.63	92.41	75.34	17.07
43087T2	Irrigation	140.57	114.03	26.55	149.92	119.99	29.94
	No irrigation	129.69	108.61	21.09	121.47	97.57	23.9
42047T1	Irrigation	114.19	90.3	23.89	121.34	99.54	21.79
	No irrigation	117.1	96.05	21.05	130.6	106.99	23.61
Significance							
CV		20.57	21.89	19.24	9.58	9.91	20.29
Cultivars		ns	ns	ns	*	*	*
Water deficit		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Interaction		ns	ns	ns	*	*	ns

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 17 น้ำหนักแห้งรากทั้งหมด รากขนาดใหญ่ และรากขนาดเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

		No irrigation 5 weeks			Rewatering		
Cultivars	**Treatments**	**Total Root**	**Tap Root**	**Fine Root**	**Total Root**	**Tap Root**	**Fine Root**
'Red Angkhang'	Irrigation	116.58	97.06	19.53	146.61	122.46	24.15
	No irrigation	122.66	102.76	19.9	127.99	108.01	19.98
43060T1	Irrigation	128.84	107.19	21.65	149.25	125.18	24.07
	No irrigation	115.28	94.58	20.7	144.92	119.84	25.09
43087T2	Irrigation	139.23	108.42	30.81	195.2	165.47	29.73
	No irrigation	126.89	103.93	22.96	142.91	117.47	25.45
42047T1	Irrigation	145.6	125.76	19.84	153.35	127.36	26
	No irrigation	158.38	128.58	29.8	149.66	127.06	22.6
Significance							
CV		14.44	15.73	16.01	16.99	18.4	16.32
Cultivars		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Water deficit		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Interaction		ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 18 อัตราส่วนน้ำหนักสดรากใหญ่ต่อน้ำหนักสดรากเล็ก และอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากใหญ่ต่อน้ำหนักแห้งรากเล็กของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

Cultivars	Treatments	Coarse root: fine root fresh weight					Coarse root: fine root dry weight				
		Week beginning	No irrigation 1 week	No irrigation 4 weeks	No irrigation 5 weeks	Rewatering 2 weeks	Week beginning	No irrigation 1 week	No irrigation 4 weeks	No irrigation 5 weeks	Rewatering 2 weeks
'Red Angkhang'	Irrigation	5: 1	3: 1	5: 1	6: 1	5: 1	6: 1	4: 1	5: 1	5: 1	5: 1
	No irrigation		3:1	7: 1	6: 1	6: 1		4: 1	6: 1	5: 1	5: 1
43060T1	Irrigation	3: 1	2: 1	3: 1	5: 1	5: 1	4: 1	3: 1	3: 1	5: 1	5: 1
	No irrigation		2:1	6: 1	5: 1	5: 1		3: 1	4: 1	5: 1	5: 1
43087T2	Irrigation	4: 1	4: 1	3: 1	6: 1	6: 1	5: 1	4: 1	4: 1	4: 1	6: 1
	No irrigation		7:1	4: 1	7: 1	7: 1		5: 1	4: 1	5: 1	5: 1
42047T1	Irrigation	6: 1	4: 1	5: 1	5: 1	5: 1	5:1	4: 1	5: 1	6: 1	5: 1
	No irrigation		4:1	5: 1	5: 1	5: 1		5: 1	5: 1	4: 1	6: 1

ตารางผนวกที่ 19 ค่าความเขียวใบของต้นพืชหลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1, 4 และ 5 และเมื่อกลับมาให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

Cultivars	Treatments	Leaf greeness (SPAD UNIT)							
		No irrigation 1 week	t-test	No irrigation 4 weeks	t-test	No irrigation 5 weeks	t-test	Rewatering 2 weeks	t-test
'Red Anghkang'	control	49.25	ns	50.50	ns	51.78	ns	49.63	*
	drought	47.90		47.15		51.45		45.30	
43060T1	control	45.70	ns	46.95	ns	50.10	ns	46.63	ns
	drought	45.55		43.30		48.40		46.88	
43087T2	control	48.83	ns	47.33	ns	46.73	ns	51.50	ns
	drought	45.95		44.70		46.63		50.18	
42047T1	control	44.78	ns	44.78	ns	50.63	*	34.70	*
	drought	48.25		49.08		43.95		46.93	
Significance									
CV		12.94		12.58		8.76		9.01	
Cultivars		ns		ns		ns		ns	
Water deficit		ns		ns		ns		ns	
Interaction		ns		ns		ns		ns	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 20 ปริมาณน้ำตาลซูโครส (sucrose) ฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) และซอร์บิทอล (sorbitol) ในใบพืช 4 พันธุ์หลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1

Cultivars	Treatments	Sugars content (mg g^{-1} fw)									
		sucrose	t-test	fructose	t-test	glucose	t-test	soluble sugars	t-test	sorbitol	t-test
'Red Angkhang'	Irrigation	2.9	ns	18.95	ns	6.25	ns	22.25	ns	18.86	ns
	No irrigation	1.17		24.17		5.31		33.20		22.27	
43060T1	Irrigation	non detected	ns	18.81	ns	6.51	ns	24.53	ns	18.08	ns
	No irrigation	1.46		26.13		7.79		32.75		22.71	
43087T2	Irrigation	8.38	ns	22.03	ns	6.27	ns	35.37	ns	22.86	ns
	No irrigation	2.32		17.85		3.58		27.18		24.56	
42047T1	Irrigation	1.46	ns	21.68	ns	4.32	ns	25.46	ns	21.07	ns
	No irrigation	2.55		15.63		5.06		18.69		22.04	
Significance											
CV		114.03		22.51		46.50		51.78		14.82	
Cultivars		ns		ns		ns		ns		ns	
Water deficit		ns		ns		ns		ns		ns	
Interaction		ns		ns		ns		ns		ns	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 21 ปริมาณน้ำตาลซูโครส (sucrose) ฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) และซอร์บิทอล (sorbitol) ในใบพืช 4 พันธุ์หลังจำกัดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 5

Cultivars	Treatments	Sugars content (mg g^{-1} fw)									
		Sucrose	t-test	Fructose	t-test	Glucose	t-test	Soluble sugars	t-test	Sorbitol	t-test
'Red Angkhang'	Irrigation	2.22	ns	15.11	ns	5.96	ns	23.29	ns	31.14	ns
	No irrigation	non detected		17.70		9.58		27.28		28.93	
43060T1	Irrigation	non detected	ns	18.47	ns	7.13	ns	25.60	ns	29.26	ns
	No irrigation	6.12		24.42		4.57		35.11		38.45	
43087T2	Irrigation	5.06	ns	17.92	ns	8.39	ns	31.37	ns	34.77	ns
	No irrigation	3.27		22.19		7.42		32.88		37.51	
42047T1	Irrigation	non detected	ns	25.79	ns	8.86	ns	34.65	*	35.88	*
	No irrigation	3.35		34.69		8.62		48.66		48.18	
Significance											
CV		165.86		18.88		29.29		18.44		7.98	
Cultivars		ns		*		ns		*		*	
Water deficit		ns		*		ns		ns		*	
Interaction		ns		ns		ns		ns		*	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 22 ปริมาณน้ำตาลซูโครส (sucrose) ฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugars) และซอร์บิทอล (sorbitol) ในใบพืช 4 พันธุ์เมื่อทำการให้น้ำตามปกติแก่ต้นพืชที่จำกัดการให้น้ำอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 7

Cultivars	Treatments	Sugars content (mg g^{-1} fw)									
		Sucrose	t-test	Fructose	t-test	Glucose	t-test	Soluble sugars	t-test	Sorbitol	t-test
'Red Angkhang'	Irrigation	non detected	ns	15.68	ns	11.02	ns	26.70	ns	30.28	ns
	No irrigation	0.57		20.9		8.05		29.52		24.79	
43060T1	Irrigation	non detected	ns	12.15	ns	8.33	ns	20.89	ns	25.97	ns
	No irrigation	3.27		14.81		5.79		23.87		28.27	
43087T2	Irrigation	2.51	ns	16.4	ns	8.36	ns	27.27	ns	30.3	ns
	No irrigation	1.33		18.47		5.44		25.24		28.4	
42047T1	Irrigation	1.4	ns	20.28	ns	7.58	ns	29.26	ns	31.28	ns
	No irrigation	1.33		19.59		6.35		27.07		28.03	
Significance											
CV		24.33		14.89		31.84		12.78		10.77	
Cultivars		ns		ns		ns		ns		ns	
Water deficit		ns		ns		ns		ns		ns	
Interaction		ns		ns		ns		ns		ns	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวศิริวรรณ บุญอนันต์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	9 มกราคม 2530
สถานที่เกิด	พระนครศรีอยุธยา
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (พฤกษศาสตร์)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-