

ความสัมพันธ์ของเอกทวิติของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส
ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตในถั่วเหลือง
Glycine max (L.) Merrill ภายใต้ภาวะแล้ง



นางสาวอัญชลี ร่มพา

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-658-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**RELATIONSHIP OF SUPEROXIDE DISMUTASE ACTIVITY, PHOTOSYNTHETIC
PIGMENT CONTENT AND GROWTH IN SOYBEAN *Glycine max* (L.) Merrill
UNDER DROUGHT CONDITION**



Miss Unchalee Rompa

**สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**
**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Plant Science in Botany**

Department of Botany

Faculty of Science Chulalongkorn University

Academic year 2000

ISBN 974-346-658-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ของเอกทิวติของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส ปริมาณ รงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตในถั่วเหลือง <i>Glycine max</i> (L.) Merrill ภายใต้ภาวะแล้ง
โดย	นางสาวอัญชลี ร่มพา
ภาควิชา	พฤกษศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์สุมิตรา คงชื่นสิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์นันทนา อังกินันท์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.กนกวรรณ เกิดในมงคล)

อัญชลี ร่มพา : ความสัมพันธ์ของแอกทิวิตีของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตในถั่วเหลือง *Glycine max* (L.) Merrill ภายใต้ภาวะแล้ง (RELATIONSHIP OF SUPEROXIDE DISMUTASE ACTIVITY, PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONTENT AND GROWTH IN SOYBEAN *Glycine max* (L.) Merrill UNDER DROUGHT CONDITION) อ.ที่ปรึกษา : อ. ดร. สุภจิตรา ชัชวาลย์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร. ปรีดา บุญ-หลง, 84 หน้า. ISBN 974-346-658-4

ศึกษาการตอบสนองต่อภาวะแล้งในถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ในระยะต้นกล้า โดยการให้ต้นกล้าได้รับภาวะแล้งจากสารละลายธาตุอาหารที่มีโพลิเอทธิลีน ไกลคอล 4000 ความเข้มข้น 0 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และหลังจากกลับมาได้รับน้ำ 3 วัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อได้รับภาวะแล้ง 3 วัน ถั่วเหลือง พันธุ์ นว.1 เท่านั้นที่ยังคงมีปริมาณน้ำสัมพันธ์และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ไม่ต่างจากชุดควบคุม แต่หลังจากได้รับภาวะแล้ง 6 วัน ที่ภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับ ทำให้ถั่วเหลืองทุกพันธุ์มีปริมาณน้ำสัมพันธ์ น้ำหนักแห้งของรากและต้นรวมทั้งปริมาณรงควัตถุลดลง โดยหลังจากกลับมาได้รับน้ำ 3 วัน ใบแก่ของ สจ.5 สามารถฟื้นตัวกลับไปสร้างรงควัตถุได้ดีกว่าอีก 2 พันธุ์ ในขณะที่ใบอ่อนของทั้ง สจ.5 และ มข.35 สามารถฟื้นตัวกลับไปสร้างรงควัตถุได้ดีกว่า นว.1 สำหรับแอกทิวิตีของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส พบว่าที่ระดับโพลิเอทธิลีน ไกลคอล 2.5 เปอร์เซ็นต์ของถั่วเหลืองทุกพันธุ์มีแอกทิวิตีของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสเพิ่มขึ้น โดยหลังจากกลับมาได้รับน้ำ สจ.5 และ มข.35 ยกเว้น นว.1 มีแอกทิวิตีของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสลดลงไปเท่ากับชุดควบคุม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ภาวะแล้งที่ระดับโพลิเอทธิลีน ไกลคอล 2.5 เปอร์เซ็นต์ อาจจะทำให้มีการสร้างซูเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นแอกทิวิตีของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสจึงเพิ่มขึ้นเพื่อกำจัดซูเปอร์ออกไซด์ดังกล่าว โดยหลังจากกลับมาได้รับน้ำ พบว่า สจ.5 และ มข.35 มีแอกทิวิตีของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสลดลงมาเท่ากับชุดควบคุม อาจจะได้กล่าวได้ว่ามีการสร้างซูเปอร์ออกไซด์ลดลง ในขณะที่ นว.1 ยังคงมีแอกทิวิตีของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งอาจเกิดจากซูเปอร์ออกไซด์ที่ยังมีระดับสูง จากการศึกษาการตอบสนองของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์เสนอได้ว่า สจ.5 น่าจะมีความสามารถในการทนแล้งมากที่สุด ในขณะที่ นว.1 น่าจะมีความทนแล้งน้อยที่สุด

ภาควิชา พฤกษศาสตร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา พฤกษศาสตร์.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2543.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4072465123 : MAJOR BOTANY

KEY WORD : DROUGHT / GROWTH / RELATIVE WATER CONTENT / CHLOROPHYLL /
CAROTENOIDS / SUPEROXIDE DISMUTASE / SOYBEAN

UNCHALEE ROMPA : RELATIONSHIP OF SUPEROXIDE DISMUTASE ACTIVITY,
PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONTENT AND GROWTH IN SOYBEAN *Glycine max*
(L.) Merrill UNDER DROUGHT CONDITION. THESIS ADVISOR : SUPACHITRA
CHADCHAWAN, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASSO. PROF. PREEDA BOON- LONG,
Ph.D. 84 pp. ISBN 974-346-658-4

Drought responses in three soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars, NS.1, SJ.5 and KKKU.35 were investigated. Polyethylene glycol (PEG) 4000 at the concentration of 0% 2.5% and 5% added into the nutrient solution was used for drought treatment. The responses were detected on day 0, 3 and 6 after drought stress and day 3 after rewatering. The results showed that after 3 days of drought treatment only NS.1 could maintain relative water content (RWC) and photosynthetic pigments ; chlorophyll a , chlorophyll b and carotenoids, at the level of non-stressed controls, but after 6 days of drought condition, all parameters, i.e., RWC, shoot dry weight, root dry weight and photosynthetic pigment contents, were decreased in all cultivars. After 3 days of rewatering, old leaves of SJ.5 showed the best in photosynthetic pigment content recovery ability, compared to the other two cultivars, while young leaves of SJ.5 and KKKU.35 showed a similar ability in photosynthetic pigment recovery, which was better than young leaves of NS.1. 2.5% PEG in nutrient solution induced the increase of SOD activity in all three cultivars, but after rewatering SOD activity was similar to what found in the non-stress controls, except for NS.1. These data suggested that the stress at 2.5% PEG may increase the superoxide radicals in these plants. Therefore, SOD activity was increased for scavenging purpose. After rewatering the decrease in SOD activity to the non-stress control's level of SJ.5 and KKKU.35 suggested that the superoxide radicals was minimized to the normal level, while the higher SOD activity level in NS.1 suggested the high level of superoxide radicals still exist after rewatering. Based on these data, it was suggested that SJ.5 was the most resistant, while NS.1 was the least resistant to drought stress among three soybean cultivars used in this study.

Department Botany..... Student's signature.....

Field of study Botany..... Advisor's signature.....

Academic year 2000..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปริดา บุญ-หลง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาและ
ให้คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดการทำวิจัย และตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์สุมิตรา คงชื่นสิน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
รองศาสตราจารย์นันทนา อังกินันท์ อาจารย์ ดร.กนกวรรณ เกิดในมงคล กรรมการสอบวิทยา
นิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ และอาจารย์วราลักษณ์ ดันติ
บรรพกุล สำหรับคำปรึกษาด้านสถิติในงานวิจัย

ขอขอบคุณอาจารย์ศุภชัย แก้วมีชัย ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อาจารย์สนิท ลวดทอง ศูนย์
วิจัยพืชไร่ขอนแก่น และศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ที่สนับสนุนเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ขอขอบคุณ
โครงการการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.)
สำหรับโอกาสทางการศึกษารวมทั้งการสนับสนุนเงินทุนในการศึกษาและวิจัยมาโดยตลอด และ
บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย

ขอขอบคุณ คุณอัญชลี ใจดี คุณจุฑามาศ คุ่มครอง คุณฐปนา อัครเอกปัญญา
คุณศิริพรรณ บรรหาร คุณวัชรารัตน์ บวรวิชัยพันธุ์ สำหรับความช่วยเหลือในการทำวิจัยและกำลัง
ใจที่มีให้กันเสมอมา คุณวัฒนา พัฒนากุล ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยและการค้น
เอกสารอ้างอิง รวมทั้งบุคคลอื่น ๆ ในภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย

ท้ายที่สุด ขอขอบคุณบิดา มารดาและทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจให้ผู้เขียนเสมอมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 การตรวจเอกสาร	4
ลักษณะของถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลอง.....	4
บทบาทของ ROS ในการตอบสนองต่อภาวะแล้ง.....	5
ผลกระทบของ ROS ต่อพืช.....	6
ระบบการป้องกันตัวของพืช.....	11
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	19
อุปกรณ์การศึกษา.....	19
วิธีการทดลอง.....	21
4 ผลการศึกษา.....	26
ผลของภาวะแล้งต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์และการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง.....	26
ผลของภาวะแล้งต่อปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลือง.....	34
ผลของภาวะแล้งต่อแอกทิวิตีของ SOD.....	44
ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น ปริมาณ total Chl ปริมาณ carotenoids และแอกทิวิตีของ SOD.....	47
5 วิจัยผลการศึกษา.....	52
ผลของภาวะแล้งต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ความสูง พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งต้นและราก.....	52
ผลของภาวะแล้งต่อปริมาณ Chl <i>a</i> Chl <i>b</i> total Chl และ carotenoids.....	54
ผลของภาวะแล้งต่อแอกทิวิตีของ SOD.....	56
ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น ปริมาณ total Chl ปริมาณ carotenoids และแอกทิวิตีของ SOD.....	59
6 สรุปผลการทดลอง.....	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก.....	68
ภาคผนวก ก.....	69
ภาคผนวก ข.....	71
ภาคผนวก ค.....	78
ประวัติผู้เขียน.....	83



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error).....	28
2 ความสูง (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error).....	32
3 พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error).....	32
4 น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error).....	33
5 น้ำหนักแห้งราก (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error).....	33
6 ปริมาณ Chl <i>a</i> ในใบแก่ (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error).....	37
7 ปริมาณ Chl <i>a</i> ในใบอ่อน (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน) (mean \pm standard error).....	37
8 ปริมาณ Chl <i>b</i> ในใบแก่ (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error).....	38
9 ปริมาณ Chl <i>b</i> ในใบอ่อน (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน) (mean \pm standard error).....	38

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
10	ปริมาณ total Chl ในใบแก่ (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean ±standard error).....	42
11	ปริมาณ total Chl ในใบอ่อน (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน) (mean ±standard error).....	42
12	ปริมาณ carotenoids ในใบแก่ (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean ±standard error).....	43
13	ปริมาณ carotenoids ในใบอ่อน (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน) (mean ±standard error).....	43
14	แอกทิวิตีของ SOD ในใบแก่ (units mg ⁻¹ protein) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean ±standard error).....	46
15	แอกทิวิตีของ SOD ในใบอ่อน (units mg ⁻¹ protein) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน) (mean ±standard error).....	46
16	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น (กรัม) ปริมาณ total chl (mg g ⁻¹ DW) ปริมาณ carotenoids (Caro) (mg g ⁻¹ DW) และแอกทิวิตีของ SOD (units mg ⁻¹ protein) ในใบแก่ (ol)และ ใบอ่อน(y1) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1.....	49
17	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น (กรัม) ปริมาณ total chl (mg g ⁻¹ DW) ปริมาณ carotenoids (Caro) (mg g ⁻¹ DW) และแอกทิวิตีของ SOD (units mg ⁻¹ protein) ในใบแก่ (ol)และ ใบอ่อน(y1) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5.....	50
18	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น (กรัม) ปริมาณ total chl (mg g ⁻¹ DW) ปริมาณ carotenoids (Caro) (mg g ⁻¹ DW) และแอกทิวิตีของ SOD (units mg ⁻¹ protein) ในใบแก่ (ol)และ ใบอ่อน(y1) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35.....	51

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน (Salin, 1987).....	6
2	ภาพรวมของการกำจัดสารพิษภายในคลอโรพลาสต์ (Alscherและคณะ 1997)	12
3	การทำงานของ α -tocopherol ในการกำจัด alkoxyperoxyl radical (Alscher และคณะ 1997).....	14
4	The Xanthophyll cycle ในการรับพลังงานแสงส่วนเกิน (Taiz และZeiger, 1998).....	15
5	ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R).....	27
6	ความสูง (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R).....	30
7	พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R).....	30
8	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R).....	31
9	น้ำหนักแห้งราก (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R).....	31
10	ปริมาณ Chl <i>a</i> ในใบแก่ ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R).....	35
11	ปริมาณ Chl <i>a</i> ในใบอ่อน ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน).....	35

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
12	ปริมาณ Chl <i>b</i> ในใบแก่ (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R).....	36
13	ปริมาณ Chl <i>b</i> ในใบอ่อน (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน).....	36
14	ปริมาณ total Chl ในใบแก่ (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R).....	40
15	ปริมาณ total Chl ในใบอ่อน (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน).....	40
16	ปริมาณ carotenoids ในใบแก่ (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R).....	41
17	ปริมาณ carotenoids ในใบอ่อน (mg g ⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน).....	41
18	แอกทิวิตีของ SOD ในใบแก่ (units mg ⁻¹ protein) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R).....	45
19	แอกทิวิตีของ SOD ในใบอ่อน (units mg ⁻¹ protein) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน).....	45

บทที่ 1

บทนำ

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลาย ผลผลิตที่ได้นำมาใช้ประโยชน์ต่าง ๆ โดยประมาณดังนี้ ร้อยละ 65 ใช้สกัดน้ำมัน ซึ่งกากถั่วเหลืองที่ได้จากการสกัดน้ำมันสามารถนำมาผสมในอาหารสัตว์ได้ด้วย ร้อยละ 27 ใช้บริโภคและทำอาหารสัตว์ และร้อยละ 8 ทำพันธุ์ปลูก (สมศักดิ์ สุริโย, 2541) ปัจจุบันความต้องการถั่วเหลืองมีมากขึ้น ในขณะที่ผลผลิตที่ได้ยังไม่เพียงพอกับความต้องการ เนื่องจากมีปัญหาต่าง ๆ ในด้านการผลิต สาเหตุหนึ่งมาจากปัญหาภัยธรรมชาติฝนแล้ง

เมื่อพืชได้รับภาวะแล้งจะมีการตอบสนอง เช่น การม้วนตัวของใบ การปิดปากใบ และการปรับค่าออสโมติกของพืชเพื่อปรับตัวสำหรับการดำรงชีวิต การปิดปากใบของพืชเพื่อลดการสูญเสียน้ำทำให้เกิดการยับยั้งกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่งผลให้คลอโรพลาสต์มีพลังงานที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนของรงควัตถุอยู่ในสถานะกระตุ้นมากเกินไป (excess excitation energy) โดยเฉพาะภายใต้ภาวะที่มีความเข้มแสงมาก (Smirnoff, 1993) ภาวะเช่นนี้จะเกิดเพิ่มขึ้นเมื่อพืชยังคงได้รับแสงอยู่เรื่อย ๆ ถ้าพลังงานเหล่านี้ไม่ถูกถ่ายเทไปยังตัวรับอิเล็กตรอนอื่น ๆ ในระบบรับแสง (Photosystem) ก็จะมีการถ่ายเทพลังงานให้กับออกซิเจนเกิดเป็นออกซิเจนในภาวะกระตุ้นที่เรียกว่า ซิงเกิ้ลท ออกซิเจน (singlet oxygen; 1O_2) นอกจากนี้การปิดปากใบซึ่งยับยั้งกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้มีการนำ NADPH ที่ได้จากกระบวนการส่งถ่ายอิเล็กตรอนไปใช้ช้าลง ส่งผลให้มี $NADP^+$ กลับมารับอิเล็กตรอนใหม่ไม่พอ เกิดการขาดแคลนตัวรับอิเล็กตรอน จึงมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้กับตัวรับอิเล็กตรอนอื่น เช่น ออกซิเจน เกิดเป็นรีแอกทีฟ ออกซิเจน สปีชีส์ (reactive oxygen species; ROS) เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ (superoxide; O_2^-) ซึ่งจะถูกกำจัดไปอย่างรวดเร็วเกิดเป็น ไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide; H_2O_2) และไฮดรอกซิล แรดิคัล (hydroxyl radical; OH^\cdot) ที่มีความเป็นพิษมากขึ้น

การสร้างและการสะสม ROS นำไปสู่การเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) และการทำลายองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ (Elstner และ Osswald, 1994) โดยเฉพาะไขมันที่เมมเบรนของคลอโรพลาสต์และไทลาคอยด์เพราะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมาก และภายใน

คลอโรพลาสต์มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนสูง ทำให้พืชที่ได้รับภาวะแล้งมีปริมาณรงควัตถุลดลง เพราะเมมเบรนต่าง ๆ ของคลอโรพลาสต์ถูกทำลาย (Quartacci และ Navari-Izzo, 1992; Sgherri และคณะ 1993; Moran และคณะ 1994; Baisak และคณะ 1994 และ Zayed และ Zeid, 1997/98) ดังนั้นพืชจึงต้องมีกลไกการป้องกันตัวต่าง ๆ จากการทำลายของ ROS

กลไกการป้องกันตัว (defense mechanisms) ของพืชจากอันตรายของ ROS ประกอบด้วยสารแอนติออกซิแดนซ์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymic antioxidants) เช่น แอสคอร์เบต (ascorbate) หรือวิตามินซี กลูตาไทโอน (glutathione) อัลฟาโทโคฟีรอล (α -tocopherol) และแคโรทีนอยด์ (carotenoids) และสารแอนติออกซิแดนซ์ที่เป็นเอนไซม์ (enzymic antioxidants) เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (superoxide dismutase; SOD) คาตาเลส (catalase; CAT) เพอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD) แอสคอร์เบต เพอร์ออกซิเดส (ascorbate peroxidase; APX) ดีไฮโดรแอสคอร์เบต รีดักเตส (dehydroascorbate reductase; DHAR) โมโนดีไฮโดรแอสคอร์เบต รีดักเตส (monodehydroascorbate reductase; MDHAR) และกลูตาไทโอน รีดักเตส (glutathione reductase; GR) โดย APX DHAR MDHAR และ GR ทำงานร่วมกันเป็นวงจร เรียกว่า แอสคอร์เบต กลูตาไทโอน ไซเคิล (ascorbate - glutathione cycle) (Smirnoff, 1993; Allen, 1995 และ Alscher และคณะ 1997)

SOD เป็นเอนไซม์ตัวแรกในกระบวนการทำลาย ROS ที่กระตุ้นปฏิกิริยาการเปลี่ยน superoxide ไปเป็น hydrogen peroxide และออกซิเจน โดย hydrogen peroxide จะถูกกำจัดต่อไปโดย CAT หรือ ascorbate - glutathione cycle (Scandalios, 1993) นอกจาก SOD จะลดระดับของ superoxide แล้วยังลดอัตราการเกิด ROS ชนิดอื่นด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันของ antioxidants ต่าง ๆ ของพืช สำหรับ excess excitation energy ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นสามารถถูกทำลายได้โดย carotenoids โดยการรับพลังงานแล้วปล่อยออกไปในรูปของความร้อน ซึ่งเป็นการลดอัตราการเกิด singlet oxygen (Foyer และคณะ 1994)

จากรายงานดังกล่าวข้างต้น อาจกล่าวได้ว่าพืชที่สามารถทนต่อภาวะแล้งได้นั้นมีความสัมพันธ์กับความสามารถของกลไกการป้องกันตัวโดยต้องสามารถรักษาระดับของสาร antioxidants ที่ใช้ในการกำจัด ROS ไว้ได้ หรือมีประสิทธิภาพของกลไกการป้องกันตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้ภาวะเครียดที่สูงขึ้นหรือสามารถปรับตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อภาวะเครียดนั้นผ่านพ้นไป พืชที่มีความทนต่อภาวะแล้งน่าจะมีแอกทิวิตีของ SOD และมีการรักษาระดับปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll; Chl) และ carotenoids ไว้ได้ดีกว่าพืชชนิดอื่นหรือพันธุ์อื่นที่มีความทนน้อยกว่า อย่างไรก็ตามยังไม่มี

ศึกษากิจกรรมของ SOD ปริมาณ chlorophyll และ carotenoids ในถั่วเหลืองพันธุ์ไทยที่ได้รับ ความเครียดจากภาวะแล้ง

ในการทดลองภาวะแล้งในห้องทดลองสามารถใช้สารออสโมติกัม (osmoticum) คือ โพลีเอทิลีน ไกลคอล (polyethylene glycol; PEG) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อให้สามารถควบคุมระดับของภาวะแล้งได้ตามต้องการ โดย PEG สามารถทำให้ค่าศักย์เคมีของน้ำหรือ วอร์เตอร์ โปเทนเชียล (water potential) ของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกพืชลดลงและควบคุมการเกิดออสโมซิสระหว่างพืชกับน้ำได้ ซึ่ง PEG ที่มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 4000 ขึ้นไปสามารถนำมาใช้ในการสร้างภาวะแล้งจำลองให้พืชในห้องทดลองได้โดยไม่เป็นพิษต่อต้นพืช (Steuter และคณะ 1981)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของภาวะแล้งต่อการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของ SOD ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโต ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าวในพันธุ์ถั่วเหลืองที่ทนต่อภาวะแล้งในระดับต่างกัน

แผนดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

1. การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง
2. การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงในถั่วเหลือง
3. การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อแอกทิวิตีของ SOD ในถั่วเหลือง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของ SOD ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง การเจริญเติบโต และความสัมพันธ์ร่วมในถั่วเหลืองที่อยู่ในภาวะที่มี PEG4000 ระดับต่าง ๆ กัน ซึ่งอาจใช้บอกถึงศักยภาพในการทนต่อภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ต่าง ๆ ความสัมพันธ์ลักษณะนี้ยังไม่มีการศึกษามาก่อนในพันธุ์ถั่วเหลืองไทย
2. ปัจจัยที่ศึกษาสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับคัดพันธุ์ถั่วเหลืองไปใช้ในการผสมพันธุ์เพื่อปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองทนแล้งในอนาคต

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ลักษณะของถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลอง (ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537)

ถั่วเหลืองพันธุ์นครสวรรค์ 1 (นว.1)

นว.1 เป็นถั่วเหลืองที่นำเมล็ดเข้ามาจากต่างประเทศ ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ Doteung กับพันธุ์ Santamaria คัดเลือกพันธุ์ในเขตเกษตรน้ำฝนภาคกลางที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ มีลักษณะดีดังนี้คือ

1. เป็นพันธุ์ที่มีอายุสั้นประมาณ 70-75 วัน เหมาะสำหรับปลูกในระบบการปลูกพืชก่อนหรือหลังการปลูกข้าว
2. เมล็ดมีขนาดใหญ่
3. ให้ผลผลิตสูงประมาณ 310-350 กิโลกรัมต่อไร่
4. เหมาะสำหรับใช้เป็นพันธุ์ปลูกในเขตภาคกลาง
5. ถ้าปลูกในต้นหรือกลางฤดูฝนจะให้ผลผลิตสูง

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5

สจ.5 เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมพันธุ์และคัดพันธุ์ในปีเดียวกับที่มีการสร้างพันธุ์ สจ.4 ในปี 2513 และเป็นคู่ผสมที่ 24 (สจ.4 เป็นคู่ผสมที่ 19) ระหว่างพันธุ์ Tainung ที่มีลักษณะต้านทานต่อโรคราสนิม เมล็ดใหญ่ แต่มีลักษณะด้อยคือเปลือกหุ้มเมล็ดแตกง่าย ผสมกับพันธุ์ สจ.2 ซึ่งปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดี แต่อ่อนแอต่อโรคราสนิมและเมล็ดเล็ก ทำการผสมพันธุ์ที่สถานีศึกษารวมแม่ไร่ จังหวัดเชียงใหม่ สจ.5 มีลักษณะดีดังนี้คือ

1. ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ สจ.4 คือตั้งแต่ 240-336 กิโลกรัมต่อไร่
2. ทนทานต่อโรคราสนิมและต้านทานต่อโรคใบด่าง
3. ทนต่อสภาพดินที่มีความชื้นสูง
4. เมล็ดมีความงอกดี การเจริญเติบโตดีและลำต้นแข็งแรง
5. ให้ผลผลิตสูงทั้งในฤดูแล้งและฝน
6. มีเปอร์เซ็นต์การเป็นโรคเมล็ดสีม่วงต่ำ

ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35

มข.35 เป็นพันธุ์ที่สร้างขึ้นโดยนักวิจัยของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ Williams กับพันธุ์ สจ.2 มีลักษณะดีดังนี้คือ

1. ต้านทานต่อโรคแบคทีเรียพัสตุล
2. ลำต้นสูงแข็งแรง ต้านทานการหักล้ม
3. เมล็ดมีขนาดใหญ่ เปลือกหุ้มเมล็ดหนา ทำให้ไม่เสื่อมความงอกได้ง่าย
4. ทนทานแล้งและเจริญได้ดีในดินกรดและด่าง
5. สามารถตรึงไนโตรเจนได้ดี
6. สามารถปลูกได้ทั้งฤดูฝนและแล้ง

บทบาทของ ROS ในการตอบสนองต่อภาวะแล้ง

ภาวะแล้งเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและทำให้ผลผลิตของพืชลดลงได้มาก เมื่อพืชได้รับภาวะแล้งจะมีการตอบสนองต่าง ๆ เช่นการม้วนตัวของใบ การปิดปากใบ และการปรับค่าออสโมติกของพืช เพื่อปรับตัวสำหรับการดำรงชีวิต

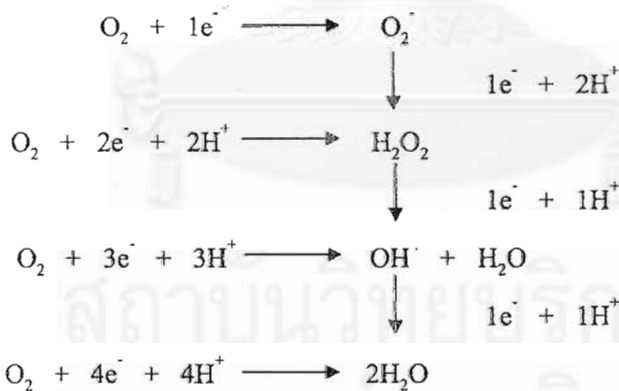
การปิดปากใบของพืชเพื่อลดการสูญเสียน้ำในช่วงที่พืชได้รับภาวะแล้งนั้น สามารถยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เนื่องจากทำให้กระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดได้ช้าลง กลอโรพลาสต์จึงมีพลังงานที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนของรงควัตถุอยู่ในภาวะกระตุ้นได้มาก โดยจะเกิดพลังงานเหล่านี้มากขึ้นถ้าพืชยังคงได้รับแสงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะพืชที่ได้รับภาวะแล้งควบคู่ไปกับแสงที่มีความเข้มสูง พลังงานที่เกิดขึ้นนี้สามารถสลายตัวไปได้เองบางส่วนหรือถูกกำจัดไปได้โดยกลไกการป้องกันต่าง ๆ เช่นการสลายตัวไปในรูปของความร้อนโดยการรับพลังงานของ carotenoids และการเคลื่อนไหวของใบหนีแสงเพื่อลดการดูดกลืนแสง (Smimoff, 1993) ถ้าพลังงานดังกล่าวปลดปล่อยออกไปไม่หมดจะส่งผลกระทบต่อพืชได้ เพราะ chlorophyll ที่เป็นรงควัตถุที่รับพลังงานนี้ไว้จะอยู่ในสถานะกระตุ้น เรียกว่า triplet state of chlorophyll ซึ่งจะไม่สามารถรับพลังงานแสงเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อีก chlorophyll จึงต้องมีการถ่ายเทพลังงานให้กับออกซิเจนเพื่อกลับคืนสู่สถานะพื้น (ground state) และเมื่อออกซิเจนรับพลังงานแล้วจะเกิดเป็น singlet oxygen (Salin, 1987)

กระบวนการส่งถ่ายอิเล็กตรอนใน light reaction ของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชก็ได้รับผลกระทบจากการปิดปากใบของพืชด้วยเช่นกัน โดยในกระบวนการส่งถ่ายอิเล็กตรอนที่มี NADP^+ เป็นตัวสุดท้ายที่เข้าไปรับอิเล็กตรอนที่ส่งมาจาก Photosystem I (PS I) ได้เป็น NADPH

ซึ่งจะถูกนำไปใช้ต่อไปในกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้ว NADPH จะถูกเปลี่ยนกลับคืนเป็น NADP^+ เพื่อกลับไปรับอิเล็กตรอนใหม่ ถ้าพืชปิดปากใบทำให้กระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นช้าลงจึงเกิดการสะสม NADPH เพิ่มขึ้นและมี NADP^+ ไปรับอิเล็กตรอนจาก PS I ลดลง ทำให้กระบวนการส่งถ่ายอิเล็กตรอนมีตัวรับอิเล็กตรอนไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงมีการส่งถ่ายอิเล็กตรอนไปให้ตัวรับอิเล็กตรอนอื่น เช่น ออกซิเจนซึ่งมีความเข้มข้นสูงในคลอโรพลาสต์ เกิดเป็น superoxide (Allen, 1995) นอกจากนี้ที่ PS II ก็ได้รับผลกระทบด้วยเพราะเมื่อพลาสโตควิโนน (plastoquinone; Q) รับอิเล็กตรอนจาก PS II แล้วจะเปลี่ยนเป็นพลาสโตไฮโดรควิโนน (plastohydroquinone; QH_2) ในกรณีที่มีการยับยั้งกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ QH_2 ไม่สามารถส่งอิเล็กตรอนต่อไปได้ จึงมีการส่งถ่ายอิเล็กตรอนให้กับออกซิเจนเกิดเป็น superoxide เช่นกัน (Smirnoff, 1993)

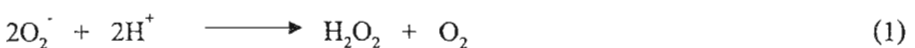
ผลกระทบของ ROS ต่อพืช

superoxide ที่เกิดขึ้นจำนวนมากในพืชที่ได้รับภาวะแล้ง ไม่ได้เป็นพิษโดยตรงต่อพืชมากนักแต่สามารถทำให้เกิด ROS ชนิดอื่นที่มีความเป็นพิษมากขึ้นได้ เช่น hydrogen peroxide และ hydroxyl radical ซึ่งเกิดจากการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน (ภาพที่ 1) (Salin, 1987)

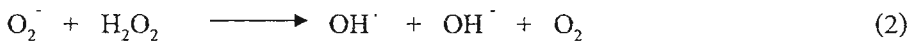


ภาพที่ 1 ปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน (Salin, 1987)

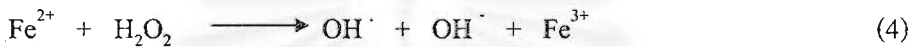
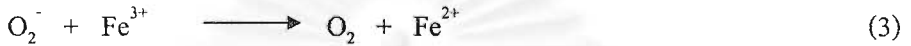
ซึ่ง superoxide 2 โมเลกุลสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน 2 อะตอมเกิดเป็น hydrogen peroxide ได้ โดยมี SOD กระตุ้นปฏิกิริยา (1)



โดย superoxide กับ hydrogen peroxide สามารถทำปฏิกิริยากันเกิดเป็น hydroxyl radical ได้ เรียก
ว่าปฏิกิริยา Haber-Weiss ซึ่งเกิดขึ้นได้ซ้ำ ดังปฏิกิริยา (2)



แต่ในภาวะที่มีโลหะไอออนอื่น ๆ เช่น เหล็กอยู่ด้วย จะสามารถกระตุ้นปฏิกิริยา Haber-Weiss ให้เกิด
เร็วขึ้นได้ ดังปฏิกิริยา (3) และ (4) โดยเรียกปฏิกิริยา (4) ว่าปฏิกิริยา Fenton (Smirnoff, 1993)



Moran และคณะ (1994) รายงานว่าพืชที่ได้รับภาวะแล้งจะมีแคทาไลติก เมทัล (catalytic metals)
เช่น Fe และ Cu เพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกิดจากการทำลายโปรตีน โดยเฉพาะการทำลายโปรตีนที่มีเหล็ก
เป็นองค์ประกอบใน โมเลกุล (Fe-protein) (Iturbe-Ormaetxe และคณะ 1998) ทำให้ปฏิกิริยา Fenton
เกิดได้มากขึ้นในภาวะแล้ง

ในการทดลองให้ภาวะแล้งกับพืชสามารถตรวจสอบการเพิ่มขึ้นของ superoxide ได้โดยการ
ตรวจวัดจากอิเล็กตรอน สปิน เรโซแนนซ์ (electron spin resonance; ESR) ที่เกิดขึ้นจากภาวะที่มี
1,2-dihydroxybenzene-3,5-disulphonic acid (Tiron) ซึ่งจะถูกออกซิไดส์เป็นเซมิควิโนน
(semiquinone) โดย superoxide ทำให้ตรวจสอบหา superoxide ได้ (Smirnoff, 1993) มีรายงานว่า
ต้นกล้าทานตะวัน (*Helianthus annuus* L. cv. *Licia Stella*) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำ 5 8
และ 11 วันจนมี water potential เท่ากับ -0.6 -1.0 และ -2.0 เมกะปาสกาล (MPa) มีสัญญาณที่แสดง
ให้เห็นว่ามีการเกิด superoxide มากกว่าต้นกล้าทานตะวันที่ไม่ได้รับภาวะแล้ง (Sgherri และคณะ
1996)

การสร้างและการสะสม ROS สามารถทำลายของค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ เช่น เกิดการ
ทำลายโปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดนิวคลีอิก (Elstner และ Osswald, 1994) และเมมเบรนของ
คลอโรพลาสต์และไทลาคอยด์ซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมาก ทำให้พืชที่ได้รับภาวะแล้งมีปริมาณ
รงควัตถุลดลง นอกจากนี้มีรายงานว่า hydrogen peroxide สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์
หลายชนิดในกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย โดยเฉพาะ hydrogen peroxide จำนวน
มากที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัด superoxide ของ SOD (Kaiser 1979 อ้างถึงใน Scandalios, 1993)

ลิปิด เพอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) เกิดจาก singlet oxygen และ hydroxyl radical ไปทำลายกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดย singlet oxygen สามารถที่จะทำปฏิกิริยากับออร์แกนิกโมเลกุลต่าง ๆ (RH) ได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่เป็นพันธะคู่ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides; ROOH) (5)



ปฏิกิริยา (5) สามารถถูกกระตุ้นได้โดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lypoxygenase)

ในภาวะที่มีออกซิเจน lipoxygenase สามารถเพอร์ออกซิไดซ์ (peroxidise) กรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ ผลิตภัณฑ์เป็นคอนจูเกต ไดอีน ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (conjugated diene hydroperoxides) (5a)

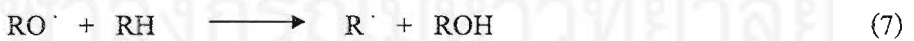


โดย hydroxyl radical และ superoxide สามารถจับกับไฮโดรเจนบนกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดเป็นเมทิลีน กรุป (methylene group) แล้วฟอร์มเป็น conjugated diene hydroperoxides ได้ด้วย (Smirnoff, 1993)

ROOH สามารถถูกรีดิวซ์ได้โดยตัวให้อิเลคตรอน (E) เช่น Fe^{2+} และ Cu^+ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอัลคอกซิล แรดิคอล (alkoxyl radicals ; RO^\cdot) (6)



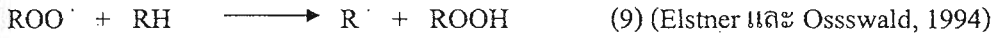
RO^\cdot อาจเข้าทำปฏิกิริยากับ RH อื่น ๆ หรือเป็นจุดเริ่มต้นของปฏิกิริยาลูกโซ่หรือ peroxidation ได้ ผลิตภัณฑ์เป็นออร์แกนิก อัลคอกซิล แรดิคอล (organic alkoxyl radical ; R^\cdot) (7)



โดย R^\cdot สามารถรวมกับออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นเพอร์ออกซิล แรดิคอล (peroxyl radicals ; ROO^\cdot) (8)



ROO^\cdot สามารถเริ่มปฏิกิริยาลูกโซ่ได้เช่นเดียวกับ RO^\cdot (9)



ผลิตภัณฑ์ของ lipid peroxidation คือ hydroperoxides สามารถแตกตัวเป็นอัลดีไฮด์ (aldehydes) และมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehydes หรือ MDA) ได้ (Smimoff, 1993) ซึ่งจะนำไปสู่การแตกสลายของไขมันและทำให้เมมเบรนเสียสภาพ หน้าที่ และเกิดการรั่วของเซลล์ (Aziz และ Larher, 1998)

สำหรับการสะสม hydrogen peroxide และการเกิด lipid peroxidation Sairam และคณะ (1998) ทำการทดลองในข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) 3 จีโนไทป์ที่ทนต่อภาวะแล้งต่างกัน ให้ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำ 2 ช่วง ช่วงละ 8 วันในวันที่ 8 และ 23 หลังการออกดอก พบว่าข้าวสาลีทั้ง 3 จีโนไทป์ มีการสะสม hydrogen peroxide และเกิด lipid peroxidation เพิ่มขึ้น โดยข้าวสาลีจีโนไทป์ C306 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนแล้งมีการสะสม hydrogen peroxide และเกิด lipid peroxidation น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามมีการทดลองที่พบว่าไม่มีการเพิ่มขึ้นของ superoxide ในต้นกล้าทานตะวันที่ได้รับภาวะแล้ง (Sgherri และคณะ 1993) เช่นเดียวกับ Moran และคณะ (1994) รายงานว่า ถั่ว Pea ไม่มีการสะสม hydrogen peroxide ในใบพืชที่ได้รับภาวะแล้ง แต่มีการออกซิเดชันของไขมันและโปรตีนเกิดขึ้นมากกว่าในใบพืชปกติ 2-3 เท่า

การทดลองของ Baisak และคณะ (1994) ที่ใช้ PEG เป็น osmoticum เพื่อจำลองภาวะแล้งในข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L. cv. Sonalika) พบว่าเมื่อแช่ใบข้าวสาลีในสารละลาย PEG 6000 จนมี water potential -1.5 MPa มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกที่เริ่มทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองคือหลังจากแช่ใบข้าวสาลีไว้ 3 วัน เช่นเดียวกับการแช่ชิ้นส่วนใบ *Brassica napus* var *oleifera* (Aziz และ Larher, 1998) และสอดคล้องกับ Zhang และ Kirkham (1994) ที่รายงานว่าต้นข้าวสาลี (*Triticum* sp.) ที่ปลูกในเวอร์มิควิลท์และได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำเป็นเวลา 12 วันมีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น ซึ่งหลังจากกลับมาได้รับน้ำพบว่า MDA มีปริมาณลดลง และจากการทดลองในข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) และทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำ 5 วันพบว่าต้นทานตะวันมีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น 33.7 เปอร์เซ็นต์ โดยข้าวฟ่างไม่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมมเบรนของทานตะวันถูกทำลายได้ง่ายกว่าข้าวฟ่าง และอาจจะเกี่ยวข้องกับความทนแล้งของต้นข้าวฟ่างด้วย (Zhang และ Kirkham, 1996) ในขณะที่ Renburg และ Kruger (1994) พบว่าต้นยาสูบ (*Nicotiana tabacum* L.) ที่ได้รับภาวะแล้ง พันธุ์ทนแล้งมีปริมาณ MDA มากกว่าพันธุ์อ่อนแอ โดยหลังจากกลับมาได้รับน้ำพันธุ์ทนแล้งสามารถปรับตัวได้ดีกว่า คือมีปริมาณ MDA ลดลงเร็วกว่าพันธุ์อ่อนแอ

การเกิด lipid peroxidation ที่เมมเบรนของคลอโรพลาสต์และไทลาคอยด์ทำให้เกิดการทำลายรงควัตถุ มีผลให้พืชที่ได้รับภาวะแล้งมีปริมาณรงควัตถุลดลง ต้นกล้าทานตะวัน (*Helianthus annuus* cv. *Ida*) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำ 6 วันจนมี water potential เท่ากับ -1.8 MPa มีปริมาณ chlorophyll และ โปรตีนอิสระลดลง รวมทั้งมีการลดลงของไขมันทั้งหมด (total lipid) และ โพลาร์ลิพิด (polar lipid) 36 และ 37 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว MDA และ chlorophyll *b* ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Quartacci และ Navari-Izzo, 1992) เช่นเดียวกับการทดลองของ Sgheri และคณะ (1993) กับต้นกล้าทานตะวัน (*Helianthus annuus* cv. *Isabel*) ที่ได้รับภาวะแล้งระดับปานกลางโดยการงดให้น้ำ 8 วันจนมี water potential เท่ากับ -1.3 MPa พบว่าไทลาคอยด์เมมเบรนที่แยกออกมาจากใบพืชต้นที่ได้รับภาวะแล้งมีปริมาณ chlorophyll และ โปรตีนลดลง แต่ปริมาณ chlorophyll *a* ต่อ chlorophyll *b* ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวและ MDA ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และถั่ว Pea (*Pisum sativum* L. cv. *Frilene*) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำประมาณ 10 วันจนมี water potential อยู่ระหว่าง -1.2 ถึง -1.45 MPa มีปริมาณ chlorophyll *a* carotenoids ลดลง (Moran และคณะ 1994)

การทดลองโดยใช้ PEG เป็น osmoticum เพื่อจำลองภาวะแล้ง มีรายงานการลดลงของรงควัตถุเช่นกัน ในการแช่ใบข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L. cv. *Sonalika*) ในสารละลาย PEG 6000 ที่มีออสโมติกโพเทนเชียล (osmotic potential) -0.5 -1.0 และ -1.5 MPa พบว่าปริมาณ chlorophyll และ โปรตีนลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีปริมาณลดลงมากขึ้นตามภาวะแล้งที่เพิ่มขึ้น (Baisak และคณะ 1994) เช่นเดียวกับ ต้นกล้าถั่วเขียว (*Vigna radiata*) ที่ปลูกในทรายและได้รับภาวะแล้งโดยการรดด้วยสารละลายธาตุอาหารที่เติม PEG ที่มี osmotic potential -0.05 -0.2 และ -0.5 MPa มีรายงานว่าปริมาณ chlorophyll *a* chlorophyll *b* และ carotenoids ลดลงที่ทุกระดับความแล้ง โดยปริมาณ chlorophyll *a* ต่อ chlorophyll *b* ลดลงอย่างชัดเจนที่ osmotic potential -0.5 MPa ในขณะที่ปริมาณ chlorophyll ต่อ carotenoids มีค่าเพิ่มขึ้นตามภาวะแล้งที่เพิ่มขึ้น และพบว่ามีอาการเหี่ยวเฉา เช่น ความสูงและพื้นที่ใบช้ำลงด้วย (Zayed และ Zeid, 1997/98)

การทดลองการขาดน้ำในระยะยาวของใบพืชทนแล้ง *Xerophyta scabrida* โดยการให้ใบพืชสูญเสียน้ำจนหมดเป็นเวลา 16 วัน มีรายงานว่าใบพืชมีอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักลดลงมากเนื่องจากเพื่อให้สามารถอยู่ในภาวะแล้งได้นานขึ้นโดยการลดการสูญเสียน้ำ ใบพืชมีการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (net CO_2 assimilation) ลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากขาดน้ำ 3 วัน สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณ chlorophyll ทั้งหมดและการปิดปากใบ โดยพบว่าปริมาณ chlorophyll ทั้งหมดลดลง 86 เปอร์เซ็นต์มากกว่าการลดลงของ carotenoids ที่ลดลง 70 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อัตราส่วนของปริมาณ chlorophyll ต่อ carotenoids ลดลง แสดงให้เห็นว่ามี

การปรับตัวโดยการลดการรับแสงของ chlorophyll เพื่อลดอัตราการเกิด ROS ในช่วงที่พืชมีการปิดปากใบ (Tuba และคณะ 1997) ในพืชทนแล้งอีกชนิดหนึ่งก็มีการปรับตัวคล้ายกันคือ *Phlomis fluticosa* L. ที่ปลูกในแปลงทดลองที่มีความแห้งแล้ง ความเข้มแสงและอุณหภูมิสูง ประมาณ 5 เดือนคือช่วงฤดูร้อนและตามด้วยฤดูฝน พบว่าปริมาณ chlorophyll ทั้งหมดลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์และคงที่ตลอดฤดูร้อนแต่ปริมาณ carotenoids ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยพืชไม่แสดงอาการ senescense และหลังจากกลับมาได้รับน้ำในฤดูฝนพบว่าปริมาณ chlorophyll ทั้งหมดกลับเพิ่มขึ้นที่ระดับเดิมได้อย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าพืชมีการป้องกันตัวเองแบบ avoidance เพื่อลดอัตราการเสี่ยงต่อการเกิด ROS (Kyparissis และคณะ 1995)

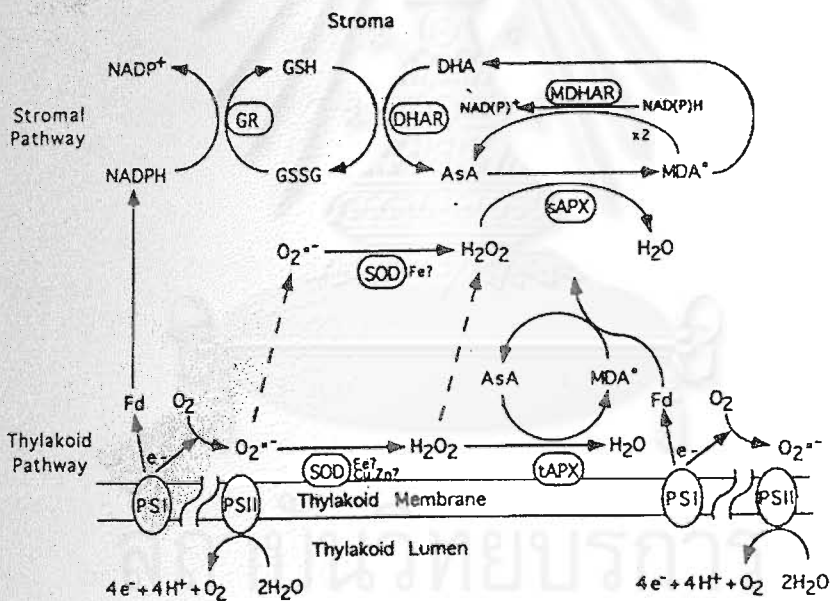
นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การทดลองปลูกต้นอัลฟัลฟา (*Medicago sativa* L.) ในภาวะที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าปกติ สามารถลดความรุนแรงของภาวะแล้งให้กับต้นพืชได้ โดยพบว่าต้น alfalfa ที่ได้รับภาวะแล้งและปลูกในภาวะที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 600 ppm สามารถรักษาปริมาณ chlorophyll และไขมันไว้ได้ดีกว่าต้นที่ได้รับภาวะแล้งแต่ปลูกในภาวะที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปกติ 340 ppm รวมทั้งพบว่า พืชมี water potential ลดลงน้อยกว่าและมีการปิดปากใบลดลงซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพในการใช้น้ำที่ดีกว่าทำให้เมมเบรนมีเสถียรภาพมากขึ้น (Sgherri และคณะ 1998)

ระบบการป้องกันตัวของพืช

การสร้างและสะสม ROS เพิ่มขึ้นเมื่อพืชได้รับภาวะแล้ง สามารถทำลายองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์และนำไปสู่การตายของเซลล์ได้ พืชจึงจำเป็นต้องมีกลไกการป้องกันตัว (defense mechanisms) ที่มีประสิทธิภาพดีเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเซลล์อันเนื่องมาจากความเป็นพิษของ ROS

พืชมีระบบการกำจัด ROS ทั้งในไซโทซอลและคลอโรพลาสต์ที่ประกอบด้วยสารแอนติออกซิแดนซ์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymic antioxidants) โดยทั่วไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น ascorbate glutathione α -tocopherol และ carotenoids และสารแอนติออกซิแดนซ์ที่เป็นเอนไซม์ (enzymic antioxidants) เช่น SOD CAT POD และเอนไซม์ในวงจร ascorbate-glutathione cycle ที่ประกอบด้วย APX DHAR MDHAR และ GR (Smirnoff, 1993; Allen, 1995 และ Alscher และคณะ 1997)

ภาพรวมของการกำจัดสารพิษภายในคลอโรพลาสต์ (ภาพที่ 2) (Alscher และคณะ 1997) สรุปได้ดังนี้คือ superoxide ที่เกิดขึ้นจากการเกิดรีดักชันของออกซิเจนที่ PS I จะถูกทำลายโดย SOD ที่อยู่บนไทลาคอยด์เมมเบรนอย่างรวดเร็วเกิดเป็น hydrogen peroxide ที่จะถูกทำลายต่อไปโดย APX ที่อยู่บนไทลาคอยด์เมมเบรนได้เป็นน้ำ ซึ่ง superoxide และ hydrogen peroxide ที่แพร่ออกไปจากเมมเบรนก็จะถูก SOD และ APX ในสโตรมาทำลายอย่างรวดเร็วเช่นกัน การทำลาย hydrogen peroxide เกิดจากการทำงานร่วมกันของโมลกุลและเอนไซม์หลายชนิด จากการทำงานของ APX ทำให้ได้โมโนดีไฮโดรแอสคอร์เบท แรดิคัล (monodehydroascorbate radicals; MDA*) ที่ไทลาคอยด์ MDA* สามารถรีดิวซ์กลับไปเป็นกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid; AsA) โดยเฟอริดอกซิน (ferridoxin; Fd) ในขณะที่ที่สโตรมา MDA* สามารถกลับไปเป็น AsA โดย MDHAR ในภาวะที่มี NADPH หรือโดยกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid; DHA) ก็สามารถกลับไปเป็น AsA ได้โดย DHAR โดยใช้ reduced glutathione เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ซึ่ง reduced glutathione เกิดในภาวะที่มี GR และ NADPH



ภาพที่ 2 ภาพรวมของการกำจัดสารพิษภายในคลอโรพลาสต์ (Alscher และคณะ 1997)

SOD เป็นเอนไซม์ตัวแรกในกระบวนการกำจัด ROS ที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน superoxide ไปเป็น hydrogen peroxide และน้ำดังปฏิกิริยา (1) SOD มี 3 ไอโซฟอร์ม (isoform) โดยแบ่งตามโลหะที่เป็นโคแฟกเตอร์คือคอปเปอร์/ซิงค์ (copper/zinc) ได้แก่ Cu/ZnSOD แมงกานีส (manganese) ได้แก่ MnSOD และไอออน (iron) ได้แก่ FeSOD isoform ของ SOD แบ่งได้โดยความแตกต่างในการถูกยับยั้งด้วยโพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN) และ hydrogen peroxide Cu/ZnSOD ถูก

ยับยั้งได้ทั้ง KCN และ hydrogen peroxide ซึ่งในพืชส่วนใหญ่ Cu/ZnSOD เป็น isoform ที่พบมากที่สุด ในคลอโรพลาสต์ และไซโตซอล FeSOD ถูกยับยั้งโดย hydrogen peroxide เท่านั้นพบในคลอโรพลาสต์ โดยพบว่าเป็น isoform หลักในต้นยาสูบ ในขณะที่ MnSOD ไม่ถูกยับยั้งทั้งกับ KCN และ hydrogen peroxide พบในไมโทคอนเดรีย (Salin, 1987 และ Asada, 1999)

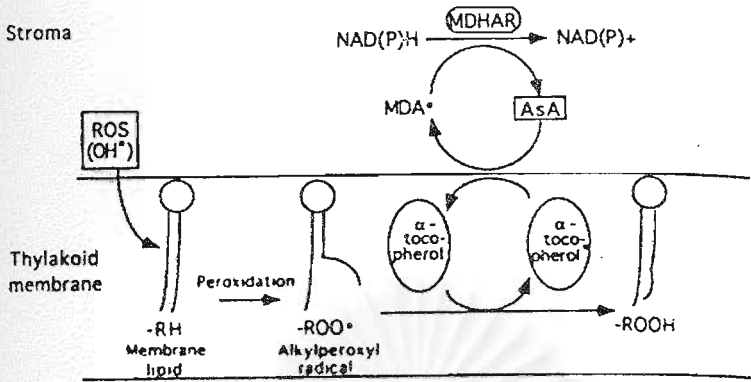
CAT และ POD เป็นเอนไซม์ที่ใช้กำจัด hydrogen peroxide ดังปฏิกิริยา (9) และ (10)



CAT พบในเพอร็อกซิโซมซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในการกำจัด hydrogen peroxide ที่เกิดจากโฟโตเรสไพเรชัน หรือระหว่างการเกิดเบต้าออกซิเดชันของกรดไขมันในไกลออกซิโซมและช่วยกำจัด hydrogen peroxide ที่แพร่ออกมาจากคลอโรพลาสต์ POD ในพืชมีหลายชนิด ในการกำจัด hydrogen peroxide ต้องการสารตั้งต้น (R) สำหรับการเกิดแคทาไลซิสด้วย ส่วนมากพบในผนังเซลล์ที่เป็นบริเวณที่ใช้ hydrogen peroxide ในการสร้างสารประกอบฟีนอลซึ่งเพื่อนำไปสร้างลิกนิน (Bowler และคณะ 1992)

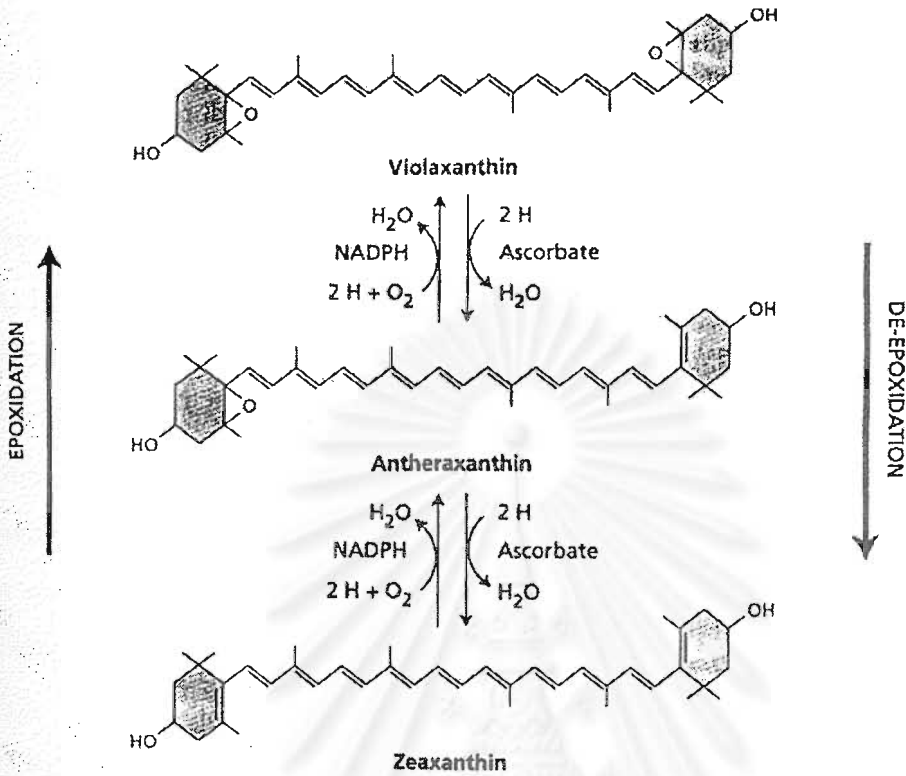
จากการทำงานของ SOD ทำให้เกิด hydrogen peroxide จำนวนมากซึ่งจะถูกทำลายต่อไปโดย ascorbate-glutathione cycle โดยมี APX และ GR ทำหน้าที่หลักในคลอโรพลาสต์ (ภาพที่ 2) เนื่องจาก CAT ไม่พบในคลอโรพลาสต์ ส่วน APX พบได้ทั้งในคลอโรพลาสต์และไซโตซอลของพืช GR เป็นเอนไซม์ตัวหนึ่งที่มีความสำคัญ การทำงานของ GR ขึ้นอยู่กับ NADPH ซึ่งพบในคลอโรพลาสต์ ไมโทคอนเดรีย และไซโตพลาสซึม ในคลอโรพลาสต์มี Cu/ZnSOD และ APX เป็นเอนไซม์หลักซึ่งมี 2 รูปคือรูปที่สามารถอยู่ได้แบบอิสระและที่ติดอยู่ที่ไทลาคอยด์เมมเบรน (Foyer และคณะ 1994)

non-enzymic antioxidants เช่น ascorbate และ α -tocopherol ซึ่งพบมากที่สุดที่ไทลาคอยด์เมมเบรน มีหน้าที่ช่วยป้องกันการเกิด lipid peroxidation (ภาพที่ 3) α -tocopherol จะกำจัด alkylperoxyl radical (ROO^\cdot) ได้เป็น α -tocopherol radical ซึ่งจะถูกเปลี่ยนกลับเป็น α -tocopherol โดย ascorbate (Alscher และคณะ 1997)



ภาพที่ 3 การทำงานของ α -tocopherol ในการกำจัด alkoxylperoxyl radical (Alscher และคณะ 1997)

สำหรับ carotenoids ที่พบในสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์ด้วยแสง ได้นั้นนอกจากจะเป็นรงควัตถุที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการช่วยรับแสงส่งไปให้ chlorophyll แล้ว ยังมีหน้าที่สำคัญในการทำลายพลังงานส่วนเกินด้วย ดังที่กล่าวมาแล้วว่าเมื่อ chlorophyll รับพลังงานแล้วจะอยู่ในสภาวะกระตุ้นและถ้าพลังงานไม่ถูกถ่ายทอดไปยังตัวรับอิเล็กตรอนอื่นก็สามารถถ่ายทอดพลังงานให้กับออกซิเจนเกิดเป็น singlet oxygen carotenoids สามารถเป็นตัวรับพลังงานดังกล่าวไว้ได้โดย carotenoids ในสภาวะกระตุ้นจะไม่ทำให้เกิด singlet oxygen เพราะ carotenoids ถ่ายเทพลังงานที่รับไว้ออกไปในรูปของความร้อนเพื่อกลับสู่สภาวะพื้นได้ จึงถือได้ว่า carotenoids ทำหน้าที่เป็นสารโฟโตโพรเทกชัน (photoprotection agent) บทบาทในการเป็น photoprotection agent นี้ยังทำงานในระบบของนอนโฟโตเคมีคัล เควนซิง (nonphotochemical quenching) ได้ด้วย ซึ่งเป็นกระบวนการที่ควบคุมพลังงานในสภาวะกระตุ้นของ PS II ให้อยู่ในระดับที่ทำงานได้ที่เรียกว่า แซนโทฟิลล์ ไซเคิล (xanthophyll cycle) (ภาพที่ 4) ในภาวะที่แสงมากวิโอลาแซนทิน (violaxanthin) จะเป็นตัวรับพลังงานแสงโดยจะใช้ ascorbate และเอนไซม์ดีอีพอกซิเดส (de-epoxidase) ในภาวะที่ความเป็นกรดต่าง (pH) เหมาะสมเกิดดีอีพอกซิเดชัน (de-epoxidation) ไปเป็นซีเอแซนทิน (zeaxanthin) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็น violaxanthin โดยใช้ NADPH และเอนไซม์ epoxidase ในการเกิด epoxidation (Alscher และคณะ 1997 และ Taiz และ Zeiger, 1998)



ภาพที่ 4 The Xanthophyll cycle ในการรับพลังงานแสงส่วนเกิน (Taiz และ Zeiger, 1998)

แอกทิวิตีของ SOD ในพืชที่ได้รับภาวะแล้งมีการตอบสนองแตกต่างกันในการทดลองและพืชต่างชนิดกัน พบทั้งแอกทิวิตีลดลงเพิ่มขึ้นและไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในการทดลองให้พืชได้รับภาวะแล้งในระยะสั้น (72 ชั่วโมง) โดยใช้ PEG เป็น osmoticum ในต้นกล้าถั่วเขียว (*Vigna radiata*) พบว่ามีแอกทิวิตีของ SOD ลดลง (Ahuja และ Kaur, 1985) เช่นเดียวกับต้นกล้าทานตะวัน (*Helianthus annuus* cv. *Ida*) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำ 6 วันและมี water potential เท่ากับ -1.8 MPa (Quartacci และ Navari-Izzo, 1992) การลดลงของแอกทิวิตีของ SOD อาจเกิดจากความรุนแรงของภาวะแล้งที่พืชได้รับทำให้พืชสร้างเอนไซม์ที่ใช้กำจัด ROS ออกมาไม่เพียงพอ และอาจเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของกลไกการป้องกันตัวของพืชแต่ละชนิดที่ขึ้นอยู่กับการกำจัดทั้ง superoxide และ hydrogen peroxide ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ

มีการทดลองที่พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของ SOD เช่น ถั่ว Pea (*Pisum sativum* L. cv. *frilene*) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำ 10 วันจนมี water potential อยู่ระหว่าง -1.2 ถึง

-1.45 MPa ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของ Cu/ZnSOD และ MnSOD เช่นเดียวกับต้นข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) และทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำ 5 วัน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของ SOD ทั้งหมด (Zhang และ Kirkham, 1996)

ในการทดลองแช่ชิ้นส่วนใบพืชในสารละลาย PEG แสดงการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของ SOD ได้ Baisak และคณะ (1994) รายงานว่า การแช่ใบข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L. cv. Sonalika) ในสารละลายที่เติม PEG 6000 และมี osmotic potential -0.5 -1.0 และ -1.5 MPa เป็นเวลา 3 วันมีแอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้นตามภาวะแล้งที่เพิ่มขึ้น ซึ่ง GR ก็มีแอกทิวิตีเพิ่มขึ้นด้วยตั้งแต่ 2 วันแรกที่ได้รับภาวะแล้งและมีแอกทิวิตีค่อนข้างคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง เช่นเดียวกับการแช่ชิ้นส่วนใบ *Brassica napus* var. *oleifera* ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's ที่เติม PEG 6000 และมี water potential เท่ากับ -1.5 MPa ที่พบว่าแอกทิวิตีเริ่มเพิ่มขึ้นหลังจากได้รับภาวะแล้ง 2 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้น 15 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์หลังจากได้รับภาวะแล้ง 20 วัน โดยพบว่า APX ก็มีแอกทิวิตีเพิ่มขึ้นด้วย (Aziz และ Larher, 1998)

การมีแอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นร่วมกับเอนไซม์ที่ใช้ในการกำจัด hydrogen peroxide ทั้ง CAT และ APX ช่วยให้พืชรักษาสมดุลของ superoxide และ hydrogen peroxide ได้ทำให้พืชอยู่ในภาวะแล้งได้นานขึ้น Navari-Izzo และคณะ (1993) รายงานว่าการให้ต้นข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) ได้รับภาวะแล้ง 3 ช่วง โดยในแต่ละช่วงมีการงดให้น้ำ 14 วันและรดน้ำกลับให้พืช ภาวะแล้งในแต่ละช่วงมีค่า water potential เท่ากับ -1.7 -1.0 และ -1.1 MPa ตามลำดับ การขาดน้ำในช่วงแรกทำให้แอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นและคงที่ในช่วงที่สองตามด้วยการเพิ่มขึ้นอีกทีหลังจากการขาดน้ำในช่วงที่สามพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของ CAT โดยทั้งการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของ SOD และ CAT สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณ MDA

การทดลองให้พืชได้รับภาวะแล้งระยะยาวในพืชทนแล้ง *Phlomis fluticosa* L. ซึ่งเป็นพืชวงศ์ Labiatae ชนิดหนึ่ง ทำการทดลองให้ได้รับภาวะแล้งโดยการปลูกในแปลงทดลองที่มีความแห้งแล้ง ความเข้มแสงและอุณหภูมิสูงประมาณ 5 เดือน ในฤดูร้อนตามด้วยหลังฤดูฝน พบว่าแอกทิวิตีของ SOD ในหน่วยของโปรตีนและพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น 34 และ 24 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและแอกทิวิตีของ APX ในหน่วยดังกล่าวต่อหน้าที่เพิ่มขึ้น 95 และ 94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Kyparissis และคณะ 1995)

การศึกษาการเพิ่มขึ้นของ SOD isoforms ต่าง ๆ พบว่าถั่ว Pea (*Pisum sativum* L. cv. Lincoln) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำจนกระทั่ง water potential ประมาณ -1.3 MPa มี

แอกทิวิตีของ SOD ทั้งหมดเพิ่มขึ้น 27 เปอร์เซ็นต์ และจากการแยก isoforms ต่าง ๆ พบว่า SOD ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น ประกอบด้วย MnSOD และ Cu/ZnSOD เป็นหลักเพิ่มขึ้น 60 และ 25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Iturbe-Ormaetxe และคณะ 1998) ในขณะที่ *Lupinus angustifolius* L. ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำจนมี water potential -1.64 MPa มีแอกทิวิตีของ SOD ทั้งหมด Cu/ZnSOD และ FeSOD เพิ่มขึ้นเท่ากับ 21 33 และ 50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับหลังจากได้รับภาวะแล้ง 2 วัน และหลังจากกลับมาได้รับน้ำ Cu/ZnSOD สามารถกลับมามีแอกทิวิตีเท่ากับต้นที่ได้รับน้ำปกติ ในขณะที่ FeSOD ยังคงมีแอกทิวิตีสูงกว่าต้นที่ได้รับน้ำปกติ โดยจากการทดลองนี้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของ MnSOD แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกที่ได้รับภาวะแล้ง Cu/ZnSOD มีส่วนเกี่ยวข้องในการกำจัด superoxide มากกว่า โดยหลังจากกลับมาได้รับน้ำ FeSOD จะมีแอกทิวิตีเด่นกว่า (Yu และ Rengel, 1999)

จากที่กล่าวมาแล้วว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารพิษน่าจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการทนแล้งของพืช ซึ่งยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าขึ้นอยู่กับระบบการกำจัดสารพิษหรือเอนไซม์ชนิดใดมากที่สุด Zhang และ Kirkham (1994) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของ SOD CAT POD และปริมาณ MDA ในข้าวสาลีที่มีระดับพลอยดี (ploidy) ต่างกันคือ เฮกซะพลอยด์ (hexaploid) เตตระพลอยด์ (tetraploid) และ ดิพลอยด์ (diploid) ที่ได้รับภาวะแล้ง 12 วันจนมี osmotic potential เท่ากับ -1.74 - -1.5 และ -1.34 MPa ตามลำดับ พบว่า SOD และ CAT มีแอกทิวิตีเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและค่อย ๆ ลดลง ส่วน POD และปริมาณ MDA มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยหลังจากกลับมาได้รับน้ำแอกทิวิตีของเอนไซม์กลับมีค่าเพิ่มขึ้นได้โดยที่ปริมาณ MDA ลดลง ซึ่งพบว่าแอกทิวิตีของ SOD และ CAT ในทุกระดับ ploidy ไม่มีความแตกต่างกันในขณะที่ POD ใน hexaploid มีแอกทิวิตีมากที่สุดแต่ไม่สามารถกล่าวได้ว่ามีความทนแล้งมากที่สุดเนื่องจาก hexaploid มีปริมาณ MDA มากที่สุด หลังจากกลับมาได้รับน้ำ จึงเสนอไว้ว่า SOD CAT และ POD ไม่สามารถใช้ทำนายหรือบอกถึงความสามารถในการทนแล้งของพืชได้ ซึ่งจะต้องศึกษาแอกทิวิตีของเอนไซม์อื่นเพิ่มเติมอีก

เช่นเดียวกับ Sairam และคณะ (1998) ที่ศึกษาในข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) จีโนไทป์ที่ทนต่อภาวะแล้งต่างกันคือ พันธุ์ทนแล้ง (C306) พันธุ์ทนร้อน (HD2285) และ พันธุ์ไม่ทนแล้ง (HD2329) โดยการงดให้น้ำ 8 วันสองช่วง พบว่าข้าวสาลีทั้ง 3 พันธุ์มีแอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทั้งสองช่วงของการขาดน้ำ ในขณะที่ C306 มีแอกทิวิตีของ APX CAT และปริมาณ ascorbic acid มากที่สุดรวมทั้งมีการสะสม hydrogen peroxide และ MDA น้อยที่สุดด้วย แสดงให้เห็นว่าแอกทิวิตีของ SOD เกี่ยวข้องกับการบอกความสามารถในการทนแล้งของพืชน้อยกว่าระบบเอนไซม์ที่ใช้กำจัด hydrogen peroxide

อย่างไรก็ตามจากการสร้างพืชตัดต่อพันธุกรรม (transgenic plants) กับต้น alfalfa (*Medicago sativa* L.) ให้มีการสร้าง MnSOD เพิ่มขึ้นสามารถช่วยลดความเสียหายให้กับ alfalfa ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการรดให้น้ำ 9 วัน ได้ โดยช่วยให้มีการรั่วของเซลล์ลดลงและมีการเจริญเติบโตดีกว่าต้นพืชปกติ และจากการทดลองปลูกในแปลงเป็นเวลา 3 ปี ก็พบว่า transgenic alfalfa ที่สร้าง MnSOD เพิ่มขึ้นมีเปอร์เซ็นต์การรอดตายสูงกว่าด้วย (McKersie และคณะ 1996)

การทดลองในปัจจุบันนอกจากจะทำ transgenic plants แล้ว มีการทดลองให้สารเคมีบางชนิดกับพืชที่ได้รับภาวะแล้งเพื่อให้พืชสามารถทนต่อภาวะแล้งได้ดีขึ้น โดยส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่ประกอบด้วยสารที่ทำหน้าที่เหมือนกับฮอร์โมนพืช เช่นการนำแคลลัสซิวา โพลิแซสซิม (PAN 6043) และพันธุ์ไม่ทนแล้ง (SC 701) ไปแช่ในบรอสซิโนไลด์ (brassinolide) ยูนิโคนาโซล (uniconazole) และเมทิล จัสโมเนต (methyl jasmonate) พบว่าแคลลัสที่ได้รับความเสียหายจากการแช่ในสารละลาย PEG ก่อนนำมาเลี้ยงในอาหารที่เหมาะสมแล้วแช่ในสารเคมีดังกล่าวมีแอกทิวิตีของ SOD CAT APX POD และ GR สูงขึ้นได้ โดย PAN 6043 มีแอกทิวิตีเพิ่มขึ้นมากกว่า SC 701 นอกจากนี้ยังช่วยให้ PAN 6043 มีการสะสม hydrogen peroxide MDA และการรั่วของอิเล็กโทรไลต์ลดลง รวมทั้งทำให้ ascorbate และ carotenoids ลดลงน้อยกว่า SC 701 นอกจากนี้ยังช่วยทำให้แคลลัสพันธุ์ทนแล้งที่ได้รับสารเคมีดังกล่าว มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงกว่าพันธุ์ไม่ทนแล้ง (Li และ Staden, 1998) แสดงให้เห็นว่าพืชพันธุ์ทนแล้งมีประสิทธิภาพในการปรับตัวต่อสารเคมีที่รับดีกว่าพันธุ์ไม่ทนแล้งด้วย

และจากการทดลองของ Zhang และ Schmidt (1999) พบว่าการให้กรดฮิวมิกและสารสกัดจากสาหร่ายทะเลที่คาดว่าประกอบด้วยสารต่าง ๆ คือ ไฮโดรโคชิน จิบเบอริลลิน กรดแอมไซซิก และสารประกอบที่ทำหน้าที่คล้ายออกซินกับหญ้า Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis* L.) พบว่าในหญ้าที่ได้รับน้ำปกติสารที่ให้ไปช่วยให้มีการเจริญของยอดและรากเพิ่มขึ้น ส่วนในหญ้าที่ได้รับภาวะแล้งพบว่าปริมาณ α -tocopherol ascorbic acid ปริมาณเบต้าแคโรทีน และแอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าสารเคมีที่มีองค์ประกอบที่ทำหน้าที่เหมือนกับฮอร์โมนพืชช่วยเพิ่มความทนแล้งให้หญ้าชนิดนี้ได้ โดยน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยให้พืชทนแล้งมากขึ้นนอกเหนือจากการสร้าง transgenic plants ที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าและมีหลายขั้นตอน

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1 อุปกรณ์การศึกษา

1.1 วัสดุอุปกรณ์

- Vortex mixer (IKA MS1)
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge รุ่น Hettich EBA 8S)
- เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer รุ่น Spectronic Genesis 5)
- เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Portable area meter รุ่น LI 3000A)
- ตู้อบตัวอย่างพืช
- ตู้แช่แข็ง (Deep freeze อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส)
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งของหน่วยกรัม
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่งของหน่วยกรัม
- pH meter
- หลอดทดลอง
- ปีกเกอร์
- ขวดรูปชมพู่
- กระจกดวง
- cork borer
- cuvette
- โกร่ง
- ปิเปต
- ไมโครปิเปต
- eppendorf's tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร พร้อมที่วาง
- ที่เจาะกระดาษขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร
- กล่องพลาสติกใสพร้อมฝาปิด
- อ่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร
- กระดาษกรอง
- ฟอยล์

- แผ่นพาราฟิล์ม
- หลอดฟลูออเรสเซนต์ 15 วัตต์ 2 หลอด
- โฟม
- ฟองน้ำ
- ไม้บรรทัด

1.2 สารเคมี

1.2.1 สารเคมีสำหรับเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

- สารละลายธาตุอาหาร Hoagland's (Hoagland และ Arnon, 1950 อ้างถึงใน Zheng และคณะ 1998) ประกอบด้วย สารละลาย calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) potassium nitrate (KNO_3) magnesium sulfate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4) (ความเข้มข้น 1 โมลาร์) Fe-EDTA ซึ่งมี Fe เข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย (micronutrient elements) รวม 5 ธาตุซึ่งมีความเข้มข้นของสารดังนี้ B = 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร Cu = 0.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร Mn = 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร Zn = 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ Mo = 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร วิธีเตรียมสารละลายธาตุอาหาร (นันทนา อังกินันท์และ สุภจิตรา ชัชวาลย์, 2542) ดังภาคผนวก ก
- polyethylene glycol 4000
- sodium chloride
- hydrochloric acid ความเข้มข้น 1 นอร์มอล

1.2.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง

- acetone

1.2.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์แอกทิวิตีของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส

- dipotassium hydrogen phosphate
- potassium dihydrogen phosphate
- polyvinyl - pyrrolidone (PVP-10)
- L- methionine
- nitro blue tetrazolium
- riboflavin

- EDTA
- superoxide dismutase
- ethanol
- สารตรวจสอบโปรตีน (ชุดตรวจสอบ total protein ของบริษัท Clinaq)

1.3 ตัวอย่างพืช

ในการทดลองนี้ใช้ถั่วเหลือง 3 พันธุ์ที่คาดว่ามีความสามารถในการทนต่อภาวะแล้งแตกต่างกัน

1. ถั่วเหลืองพันธุ์นครสวรรค์ 1 (นว.1) เป็นพันธุ์ที่คาดว่าน่าจะมีความอ่อนแอต่อภาวะแล้งกว่า สจ.5 และมข.35 เนื่องจากลักษณะประจำพันธุ์ที่ ศุภชัย แก้วมีชัย (2537) รายงานว่าเหมาะสำหรับใช้เป็นพันธุ์ปลูกในเขตภาคกลาง และจะให้ผลผลิตสูงในต้นและกลางฤดูฝน
2. ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรทั่วไปนิยมปลูก สามารถปลูกให้ผลผลิตสูงได้ทั้งฤดูแล้งและฝน
3. ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เป็นพันธุ์ที่มีรายงานว่าทนทานแล้งและเจริญได้ดีในดินกรดและด่าง สามารถปลูกให้ผลผลิตสูงได้ทั้งฤดูแล้งและฝน โดยคาดว่าน่าจะมีความสามารถในการทนแล้งใกล้เคียงกับพันธุ์ สจ.5

1.4 ห้องควบคุมสถานะแวดล้อม (phytotron)

อุณหภูมิ 29/26 องศาเซลเซียส กลางวัน/กลางคืน ความชื้นสัมพัทธ์ 60/80 เปอร์เซ็นต์ กลางวัน/กลางคืน ความเข้มแสง 140-180 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ช่วงแสง 16 ชั่วโมงต่อวัน

2 วิธีการทดลอง

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนทดลองเป็นแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 ใช้ถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่มีศักยภาพในการทนต่อภาวะแล้งแตกต่างกันคือ นว.1 สจ.5 และมข.35 ปัจจัยที่ 2 ใช้ PEG 4000 ที่ความเข้มข้น 2 ระดับคือ 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า water potential ประมาณ -1.5 และ -1.8 ตามลำดับ โดยพืชชุดควบคุมปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มี PEG ในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งใช้การเก็บแบบสุ่มต้นถั่วเหลืองมา 2 ต้นในแต่ละซ้ำ

2.2 การปลูกพืชทดลอง

เพาะเมล็ดถั่วเหลืองบนกระดาษกรองประมาณ 4 วัน ย้ายต้นกล้ามาปลูกในอ่างที่มีสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's (half strength) ปริมาตร 3 ลิตร โดยปลูกถั่วเหลือง 8 ต้นต่ออ่าง ควบคุม pH ของสารละลายที่ 5.8 โดยใช้ กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล

เติมน้ำและปรับ pH ของสารละลายธาตุอาหารทุก ๆ 3 วัน เมื่อถั่วเหลืองอายุ 14 วันหลังจากปลูกในสารละลาย ก็ทำการเปลี่ยนสารละลายเป็นสารละลายธาตุอาหารที่มี PEG4000 0 (ชุดควบคุม) 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 3 วัน เก็บข้อมูล 4 ครั้ง คือก่อนได้รับภาวะแล้ง (ต้นถั่วมีอายุ 18 วันหลังจากออก) หลังจากได้รับภาวะแล้ง 3 และ 6 วัน เป็นการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ จากนั้นนำถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งกลับมาเลี้ยงในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มี PEG (rewatering) ปลูกต่อไปอีก 3 วันจึงเก็บข้อมูลครั้งที่ 4

2.3 การเก็บข้อมูลสำหรับการทดลอง

ในการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

2.3.1 การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative Water Content) และการเจริญเติบโต เก็บข้อมูลความสูง พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นและราก

2.3.2 การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง เก็บข้อมูลปริมาณ chlorophyll *a* (Chl *a*) chlorophyll *b* (Chl *b*) total chlorophyll (total Chl) และ carotenoids

2.3.3 การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อแอกทิวิตีของ SOD

2.3.1 การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์และการเจริญเติบโต

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์

เจาะใบถั่วเหลืองตำแหน่ง trifoliated ที่ 1 นับจากโคนด้วยที่เจาะกระดาษเป็นชิ้นเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.8 เซนติเมตร แล้วนำชิ้นส่วนใบ 10 ชิ้นไปชั่งน้ำหนักสดทันที จากนั้นนำชิ้นส่วนใบไปลอยบนน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตรที่บรรจุในกล่องพลาสติกใสที่มีฝาปิด 48 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนักอ้อมตัว ส่วนน้ำหนักแห้งหาได้จากนำชิ้นส่วนใบที่อ้อมตัวไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนักแห้ง คำนวณหาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์จากสมการ (Turner, 1981 อ้างถึงใน Pattanagul และ Madore, 1999)

$$RWC (\%) = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักอ้อมตัว} - \text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

ความสูง

วัดความยาวของลำต้นจากบริเวณรอยต่อของลำต้นและรากจนถึงปลายยอด

พื้นที่ใบ

วัดความกว้างจากบริเวณที่กว้างที่สุดและความยาวของใบ คำนวณหาผลคูณของความกว้างและยาว แล้วนำไปคำนวณหาพื้นที่ใบจากสมการ สมการได้มาจากสุ่มใบมาวัดพื้นที่ใบโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ portable area meter แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างพื้นที่ใบกับผลคูณของความกว้างและยาว (ภาพที่ ข-1 – ข-6 ภาคผนวก ข) ได้สมการดังนี้

นว.1 ใบแก่คู่แรก $y = 0.7792x - 0.1844$

ใบย่อยในใบประกอบ $y = 0.7097x - 0.1476$

สจ.5 ใบแก่คู่แรก $y = 0.7903x - 0.0448$

ใบย่อยในใบประกอบ $y = 0.6979x + 0.6096$

มข.35 ใบแก่คู่แรก $y = 0.7517x + 0.2068$

ใบย่อยในใบประกอบ $y = 0.6854x + 0.6907$

โดย x คือผลคูณระหว่างความกว้างและยาว

y คือพื้นที่ใบ

น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก

ชั่งน้ำหนักสดโดยแบ่งต้นถั่วเหลืองออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนยอดที่ประกอบด้วยลำต้นและใบ และส่วนราก

ชั่งน้ำหนักแห้งของต้นและรากที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

2.3.2 การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง

วิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids เก็บตัวอย่าง 2 ตำแหน่งใบคือใบอ่อน (ใบประกอบใบที่ 2 จากยอดใช้เฉพาะใบด้านข้าง) และใบแก่ (ใบประกอบใบที่ 1 จากโคนต้นใช้เฉพาะใบด้านข้าง) โดยสกัดใบสดด้วย acetone 80 เปอร์เซ็นต์ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Crafts-Brandner และคณะ (1984) และ Zhang และ Kirkham (1994) เจาะใบถั่วเหลืองด้วยที่เจาะกระดาษเป็นชิ้นเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.8 เซนติเมตร แช่ชิ้นส่วนใบ 5 ชิ้นใน acetone 80 เปอร์เซ็นต์ปริมาตร 5 มิลลิลิตรที่บรรจุในหลอดทดลองปิดสนิท 24 ชั่วโมง วัดค่า absorbance ที่ 663.2 646.8 และ 470 นาโนเมตรด้วยเครื่อง spectrophotometer แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณรงควัตถุจากสมการของ Lichtenthaler (1987) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{Chl } a &= 12.25A_{663.2} - 2.79A_{646.8} \\
 \text{Chl } b &= 21.50A_{646.8} - 5.10A_{663.2} \\
 \text{total Chl} &= 7.15A_{663.2} + 18.71A_{646.8} \\
 \text{carotenoids} &= (1000A_{470} - 1.82C_a - 85.02C_b)/198
 \end{aligned}$$

2.3.3 การศึกษาผลของภาวะแล้งต่อแอกทิวิตีของ SOD

วิเคราะห์แอกทิวิตีของ SOD โดยวัดประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยา photochemical reduction ของ nitro blue tetrazolium (NBT) (Drindsa และคณะ 1981) เก็บตัวอย่าง 2 ตำแหน่งใบ คือใบอ่อน (ใบประกอบใบที่ 2 จากยอดใช้เฉพาะใบกลาง) และใบแก่ (ใบประกอบใบที่ 1 จากโคน ต้นใช้เฉพาะใบกลาง) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.2.3.1 การสกัด total protein ออกจากใบพืช

นำตัวอย่างใบ 0.5 กรัมบดกับ 50 มิลลิโมลาร์ phosphate buffer (pH 7.0) 5 มิลลิลิตร ที่มี polyvinylpyrrolidone 1 เปอร์เซนต์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 15,000 g 10 นาที จากนั้นนำ supernatant ที่ได้มาวิเคราะห์หาแอกทิวิตีของเอนไซม์ และปริมาณ total protein

2.3.3.2 การวัดปริมาณ total protein

ปริมาณโปรตีนหาได้จากการนำ supernatant จากตัวอย่าง 50 ไมโครลิตรมาทำปฏิกิริยากับ สารตรวจสอบโปรตีน (ชุดตรวจสอบ total protein ของบริษัท Clinaq) 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำไปวัดค่า absorbance ที่ 550 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer นำค่า absorbance ที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (ภาพที่ ข-7 ภาคผนวก ข)

2.3.3.3 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการวัดปริมาณ SOD (ไมโครกรัม)

Asada และคณะ (1974) อ้างถึงใน Beyer และ Fridovich (1987) ได้แสดงว่า ปริมาณ SOD (ไมโครกรัม) จะแปรผันตรงกับ (V/v)-1 (ภาพที่ ข-8 ภาคผนวก ข)

โดย $V =$ ค่า absorbance ของปฏิกิริยาที่ไม่มี SOD / เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา

$v =$ ค่า absorbance ของปฏิกิริยาที่เติม SOD ปริมาณต่าง ๆ / เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา

การวิเคราะห์ปริมาณ SOD สามารถหาได้จาก reaction mixture ที่ประกอบด้วย

- phosphate buffer (pH 7.8) 50 มิลลิโมลาร์
- methionine 13 มิลลิโมลาร์
- NBT 75 ไมโครโมลาร์
- riboflavin 2 ไมโครโมลาร์

- EDTA 0.1 มิลลิโมลาร์
- SOD ปริมาณต่าง ๆ คือ 0 0.05 0.1 0.15 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 ไมโครกรัม

โดยเติม riboflavin เป็นตัวสุดท้าย เขย่าให้เข้ากัน เริ่มปฏิกิริยาด้วยการนำไปส่องด้วยหลอดฟลูออเรสเซนซ์ 15 วัตต์ 2 หลอด ห่าง 30 เซนติเมตร เป็นเวลา 10 นาที หยุดปฏิกิริยาด้วยการปิดไฟแล้วคลุมหลอดด้วยผ้าสีดำ นำสารละลายสีน้ำเงินที่ได้ไปวัดค่า absorbance ที่ 560 นาโนเมตรด้วยเครื่อง spectrophotometer

2.3.3.4 การคำนวณหาแอกทิวิตีของ SOD

หนึ่งยูนิต (1 unit) ของ SOD คือปริมาณของ SOD ที่ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยา NBT reduction ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ในสภาวะที่ทำการทดลอง การหาปริมาณ SOD activity 1 unit ดังกล่าวทำได้จากการเขียนกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์ inhibition ของ NBT reduction กับปริมาณไมโครกรัม SOD ที่ใช้ (ภาพที่ ข-9 ภาคผนวก ข) ดังในวิธีการการวัดการทำงานของ SOD ในข้อ 2.3.3.3

2.3.3.5 การวัดปริมาณ SOD (ไมโครกรัม) ในเนื้อเยื่อพืช

โดยใช้ reaction mixture เช่นเดียวกับการสร้างกราฟมาตรฐาน แต่เปลี่ยน SOD บริสุทธิ์ เป็น supernatant จากตัวอย่างในข้อ 2.3.3.1

2.3.3.6 การคำนวณหา unit ของ SOD ในตัวอย่างพืช

จากข้อ 2.3.3.4 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ inhibition ของ NBT reduction กับปริมาณไมโครกรัม SOD ทำให้ทราบว่า 1 unit ของ SOD เท่ากับกี่ไมโครกรัมของ SOD ซึ่งใช้ค่าดังกล่าวในการคำนวณหา unit ของ SOD ในตัวอย่างพืช กราฟมาตรฐานในข้อ 2.3.3.3 และ 2.3.3.4 จะทำทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์แอกทิวิตีของ SOD

2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ

บทที่ 4

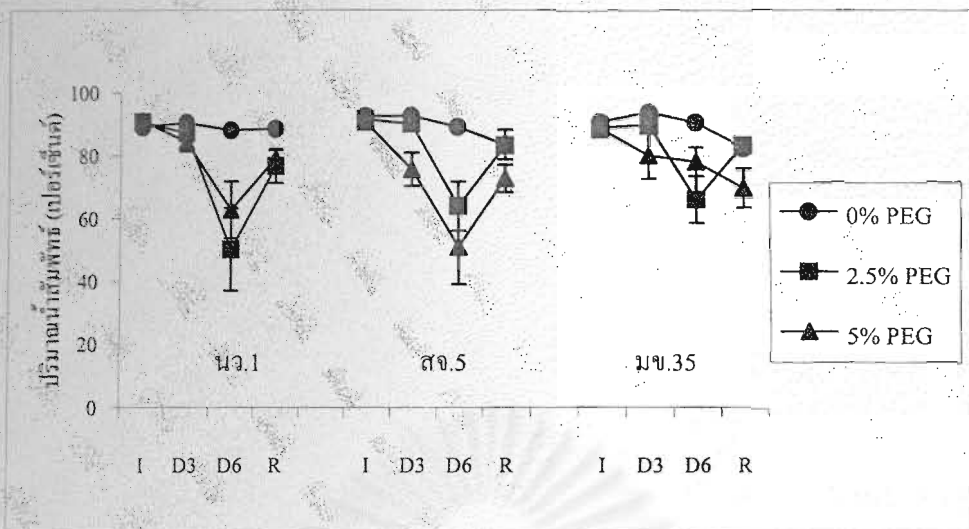
ผลการศึกษา

ผลของภาวะแล้งต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์และการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ความสูง พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งต้นและราก

เมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้งที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ พบว่าถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์แสดงอาการขาดน้ำอย่างเห็นได้ชัด คือการเจริญเติบโตโดยรวมของต้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งน้อยกว่าต้นถั่วเหลืองในชุดควบคุมอย่างชัดเจน มีการแผ่ขยายของแผ่นใบน้อยกว่าต้นถั่วเหลืองในชุดควบคุม ใบแสดงอาการเหี่ยว บางใบมีการม้วนตัวที่ขอบใบซึ่งคาดว่าเพื่อลดการสูญเสียน้ำ บางใบมีอาการแห้งและหลุดร่วงเร็วกว่าต้นถั่วเหลืองในชุดควบคุม และพบว่าบริเวณพื้นที่ระหว่างเส้นใบทั้งใบแก่และใบอ่อนมีสีเหลือง (ภาพที่ ค-1 – ค-8 ภาคผนวก ค)

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (ภาพที่ 5 และ ตารางที่ 1) พบว่าก่อนได้รับภาวะแล้งถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และมข.35 มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เฉลี่ย 90.27 91.61 และ 89.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะแล้ง 3 วันถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงทำให้แตกต่างจากปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 และ มข.35 ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ไม่ต่างจากชุดควบคุม เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วันถั่วเหลืองทุกพันธุ์มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และเมื่อให้ถั่วเหลืองได้รับน้ำ 3 วันถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เท่านั้นไม่ว่าจะได้รับความแล้งที่ระดับ PEG 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ก็สามารถปรับตัวได้จนมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ไม่ต่างจากชุดควบคุม สำหรับพันธุ์ มข.35 เฉพาะถั่วเหลืองที่ได้รับความแล้งที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่สามารถปรับปริมาณน้ำสัมพัทธ์ได้ไม่ต่างจากชุดควบคุม ส่วนนว. 1 นั้นภายหลังจากได้รับความแล้ง 6 วัน พบว่าไม่สามารถปรับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ให้เท่ากับชุดควบคุมได้ภายหลังจากให้น้ำ (rewatering) เป็นเวลา 3 วัน



ภาพที่ 5 ปริมาณน้ำที่มัพพ์ (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับ
ภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน
(R) (mean \pm standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์ (%PEG)	ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	89.16 \pm 0.98 ^{AA*}	90.49 \pm 0.82 ^{AA}	88.10 \pm 0.84 ^{AA}	88.55 \pm 1.46 ^{AA}
	2.5	90.63 \pm 0.70 ^{AA}	87.09 \pm 1.16 ^{AA}	50.13 \pm 13.18 ^{BB}	76.73 \pm 5.35 ^{BA}
	5	91.02 \pm 0.81 ^{AA}	84.40 \pm 3.00 ^{AA}	62.83 \pm 9.07 ^{abB}	79.21 \pm 2.56 ^{abA}
สจ.5	0	92.56 \pm 0.51 ^{AA}	92.66 \pm 1.35 ^{AA}	89.17 \pm 0.56 ^{aAB}	83.53 \pm 4.72 ^{AB}
	2.5	91.56 \pm 1.41 ^{AA}	90.15 \pm 1.00 ^{AA}	63.94 \pm 7.86 ^{abB}	83.25 \pm 0.53 ^{AA}
	5	90.72 \pm 1.68 ^{AA}	75.69 \pm 5.34 ^{BA}	50.95 \pm 11.97 ^{BB}	72.73 \pm 4.35 ^{AA}
มข.35	0	90.66 \pm 0.23 ^{BB}	93.69 \pm 0.41 ^{AA}	90.40 \pm 1.28 ^{BB}	82.73 \pm 0.81 ^{AC}
	2.5	88.82 \pm 1.82 ^{AA}	89.78 \pm 0.74 ^{AA}	65.90 \pm 7.45 ^{BB}	83.50 \pm 1.30 ^{AA}
	5	88.67 \pm 0.71 ^{AA}	79.95 \pm 7.42 ^{aAB}	77.94 \pm 4.55 ^{abAB}	69.71 \pm 6.28 ^{BB}

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกัน
ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ
ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

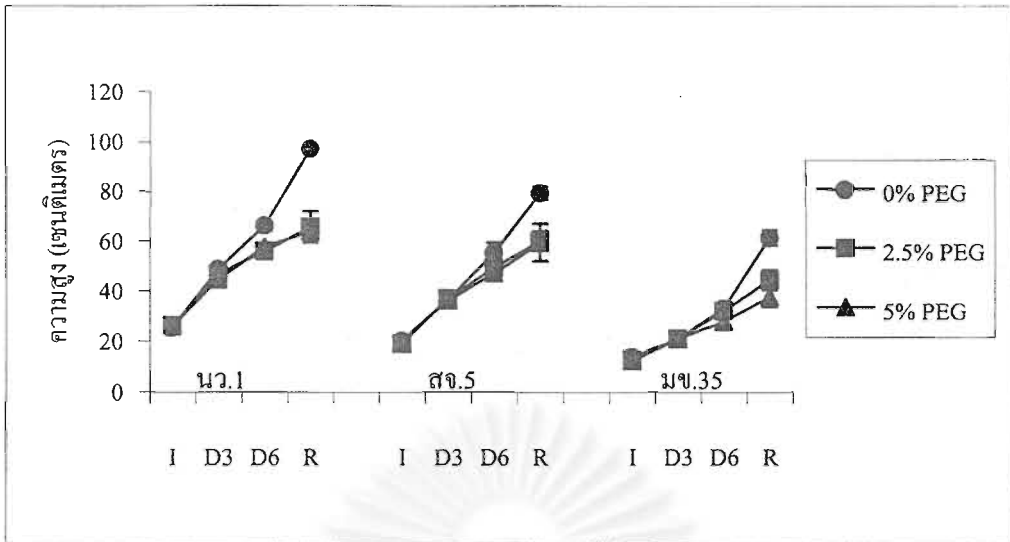
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ความสูง (ภาพที่ 6 และ ตารางที่ 2) พบว่าเมื่อได้รับภาวะแล้ง 3 วัน ความสูงของถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับไม่ต่างจากชุดควบคุม และเฉพาะถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 เท่านั้นที่มีความสูงน้อยกว่าต้นถั่วเหลืองในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อได้รับภาวะแล้งจากระดับ PEG 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 6 วัน โดยมีความสูงลดลง 15.37 และ 12.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อให้ต้นถั่วเหลืองได้รับน้ำเป็นเวลา 3 วัน พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ มีความสูงเพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนพันธุ์ สจ.5 มีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เฉพาะต้นที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พันธุ์ นว.1 แม้ว่าจะมีแนวโน้มว่ามีความสูงเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงใน 3 วันที่ผ่านมา และจะเห็นได้ว่าความแล้งที่ทำให้ว่าจะเป็นที่ระดับ PEG 2.5 หรือ 5 เปอร์เซ็นต์มีผลต่อความสูงของทุกสายพันธุ์ที่ทำให้ความสูงน้อยกว่าถั่วเหลืองชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

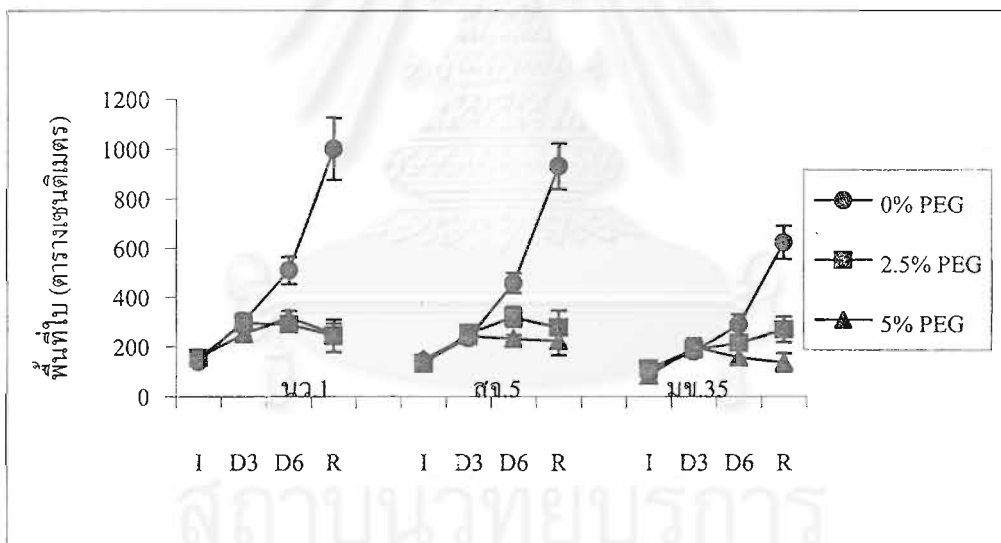
พื้นที่ใบ (ภาพที่ 7 และ ตารางที่ 3) พบว่าเมื่อได้รับภาวะแล้ง 3 วัน ถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ได้รับภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับมีพื้นที่ใบไม่ต่างจากชุดควบคุม และหลังจากได้รับภาวะแล้ง 6 วัน ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เท่านั้นที่มีพื้นที่ใบไม่ต่างจากถั่วเหลืองในชุดควบคุม โดยหลังจากได้รับน้ำ 3 วันพื้นที่ใบของถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับมีค่าไม่ต่างจากพื้นที่ใบใน 3 วันที่ผ่านมาและมีค่าน้อยกว่าถั่วเหลืองชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

น้ำหนักแห้งต้น (ภาพที่ 8 และ ตารางที่ 4) พบว่าเมื่อได้รับภาวะแล้ง 3 วัน ถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับมีน้ำหนักแห้งต้นไม่ต่างจากชุดควบคุม โดยหลังจากได้รับภาวะแล้ง 6 วัน ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 เท่านั้นที่มีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วันค่าน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่ต่างจากน้ำหนักแห้งต้นใน 3 วันที่ผ่านมาและมีค่าน้อยกว่าถั่วเหลืองชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

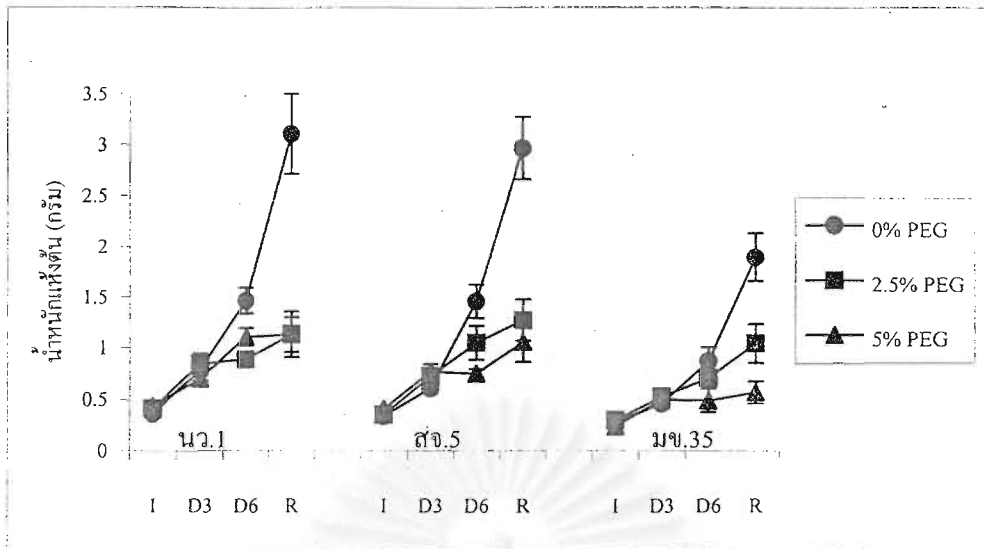
สำหรับน้ำหนักแห้งราก (ภาพที่ 9 และ ตารางที่ 5) น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) พบในถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 และสจ.5 สังเกตได้จากต้นพืชที่ได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน ส่วนในช่วงเวลาดังกล่าวพันธุ์ มข.35 ยังคงไม่ต่างจากชุดควบคุม และหลังจากได้รับน้ำ 3 วันน้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และมข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3 วันที่ผ่านมาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่ามีเพียงพันธุ์ มข.35 ที่ได้รับ PEG ที่ระดับ 2.5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่มีน้ำหนักแห้งรากเพิ่มสูงขึ้นจนไม่ต่างจากต้นถั่วเหลืองในชุดควบคุม



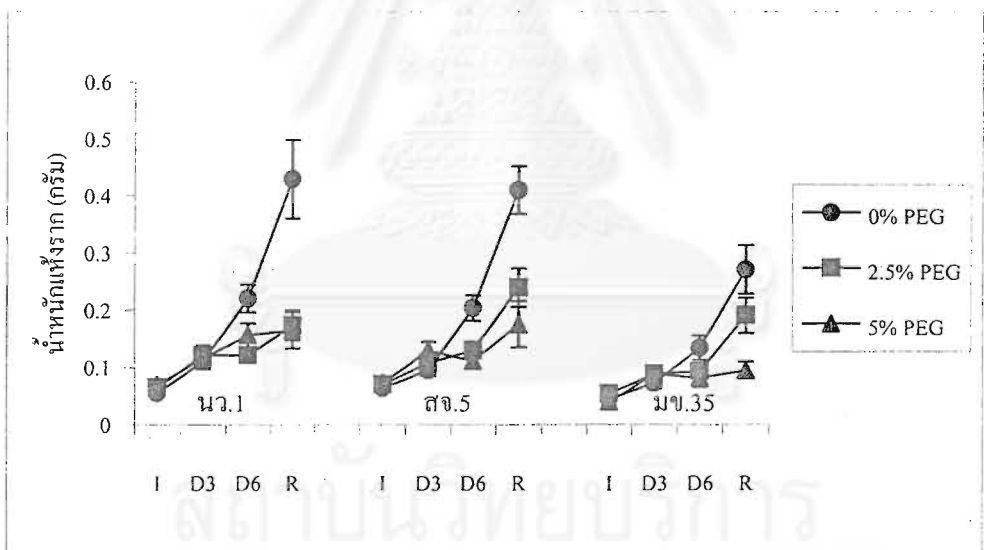
ภาพที่ 6 ความสูง (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R)



ภาพที่ 7 พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R)



ภาพที่ 8 น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) ของฉัวเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R)



ภาพที่ 9 น้ำหนักแห้งราก (กรัม) ของฉัวเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากกลับมาได้รับน้ำ 3 วัน (R)

ตารางที่ 2 ความสูง (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์ (%PEG)	ความสูง (เซนติเมตร)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	25.44 \pm 2.43 ^{aD*}	48.71 \pm 2.01 ^{aC}	66.11 \pm 1.94 ^{aB}	97.03 \pm 1.10 ^{aA}
	2.5	26.14 \pm 2.69 ^{aC}	46.86 \pm 1.06 ^{aB}	55.95 \pm 3.27 ^{bAB}	65.58 \pm 6.13 ^{bA}
	5	26.11 \pm 3.48 ^{aC}	44.58 \pm 1.85 ^{aB}	57.81 \pm 0.63 ^{bA}	63.73 \pm 2.84 ^{bA}
สจ.5	0	20.19 \pm 1.10 ^{aD}	36.65 \pm 2.38 ^{aC}	55.39 \pm 4.02 ^{aB}	79.16 \pm 2.64 ^{aA}
	2.5	18.99 \pm 0.63 ^{aD}	37.26 \pm 0.73 ^{aC}	49.53 \pm 4.47 ^{aB}	60.11 \pm 3.89 ^{bA}
	5	20.20 \pm 1.63 ^{aC}	36.39 \pm 1.08 ^{bB}	47.20 \pm 2.55 ^{aAB}	59.36 \pm 7.38 ^{bA}
มข.35	0	13.85 \pm 0.69 ^{aD}	20.99 \pm 0.33 ^{aC}	33.20 \pm 2.11 ^{aB}	61.33 \pm 3.07 ^{aA}
	2.5	12.88 \pm 1.07 ^{aC}	21.09 \pm 1.54 ^{aC}	32.19 \pm 3.36 ^{aB}	44.46 \pm 3.95 ^{bA}
	5	12.39 \pm 0.58 ^{aC}	21.04 \pm 0.87 ^{aB}	27.75 \pm 2.90 ^{aB}	37.68 \pm 3.96 ^{bA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ตารางที่ 3 พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์ (%PEG)	พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	138.55 \pm 11.23 ^{aC*}	304.21 \pm 29.68 ^{aBC}	509.14 \pm 55.35 ^{aB}	1000.18 \pm 123.32 ^{aA}
	2.5	154.64 \pm 10.21 ^{aB}	293.39 \pm 32.17 ^{aA}	289.72 \pm 18.61 ^{bA}	244.39 \pm 65.63 ^{bAB}
	5	157.34 \pm 6.77 ^{aB}	250.85 \pm 9.56 ^{aA}	317.14 \pm 27.46 ^{bA}	252.00 \pm 41.10 ^{bA}
สจ.5	0	142.05 \pm 8.70 ^{aC}	234.95 \pm 15.10 ^{aC}	458.23 \pm 41.48 ^{aB}	931.26 \pm 92.33 ^{aA}
	2.5	131.79 \pm 4.96 ^{aB}	255.11 \pm 14.82 ^{aAB}	319.39 \pm 40.38 ^{bA}	276.62 \pm 69.08 ^{bA}
	5	143.88 \pm 4.85 ^{aA}	243.22 \pm 23.94 ^{aA}	232.51 \pm 14.02 ^{bA}	223.95 \pm 57.39 ^{bA}
มข.35	0	105.36 \pm 8.78 ^{aC}	180.43 \pm 14.79 ^{aBC}	288.09 \pm 41.88 ^{aB}	623.47 \pm 67.61 ^{aA}
	2.5	110.14 \pm 20.62 ^{aB}	187.98 \pm 25.30 ^{aAB}	213.97 \pm 26.05 ^{abAB}	269.67 \pm 51.88 ^{bA}
	5	84.78 \pm 18.61 ^{aB}	199.26 \pm 33.75 ^{aAB}	157.07 \pm 31.44 ^{bA}	136.16 \pm 36.83 ^{bAB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ตารางที่ 4 น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์ (%PEG)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	0.3611 \pm	0.7839 \pm 0.1002 ^{aC}	1.4628 \pm 0.1280 ^{aB}	3.1081 \pm 0.3948 ^{aA}
		0.0302 ^{aC*}			
	2.5	0.4122 \pm 0.0265 ^{aB}	0.8458 \pm 0.1001 ^{aA}	0.8871 \pm 0.0675 ^{bA}	1.1326 \pm 0.2243 ^{bA}
	5	0.4329 \pm 0.0096 ^{aB}	0.7031 \pm 0.0732 ^{aB}	1.1053 \pm 0.0857 ^{bA}	1.1285 \pm 0.1693 ^{bA}
สจ.5	0	0.3367 \pm 0.0148 ^{bC}	0.6084 \pm 0.0511 ^{aC}	1.4566 \pm 0.1654 ^{aB}	2.9670 \pm 0.3071 ^{aA}
	2.5	0.3496 \pm 0.0075 ^{bC}	0.7199 \pm 0.0558 ^{aBC}	1.0478 \pm 0.1663 ^{abAB}	1.2744 \pm 0.2030 ^{bA}
	5	0.4062 \pm 0.013 ^{aB}	0.7681 \pm 0.0723 ^{aA}	0.7501 \pm 0.0412 ^{bA}	1.0584 \pm 0.1970 ^{bA}
มข.35	0	0.2790 \pm 0.0155 ^{aC}	0.4597 \pm 0.0474 ^{aBC}	0.8678 \pm 0.1369 ^{aB}	1.8980 \pm 0.2369 ^{aA}
	2.5	0.2962 \pm 0.0490 ^{aC}	0.5256 \pm 0.0744 ^{aBC}	0.7050 \pm 0.0779 ^{abAB}	1.0449 \pm 0.1890 ^{bA}
	5	0.2386 \pm 0.0486 ^{aB}	0.4966 \pm 0.0626 ^{aAB}	0.4881 \pm 0.1133 ^{bAB}	0.5662 \pm 0.1063 ^{bA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ตารางที่ 5 น้ำหนักแห้งราก (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์ (%PEG)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	0.0553 \pm 0.0040 ^{bC*}	0.1103 \pm 0.0134 ^{aBC}	0.2206 \pm 0.0243 ^{aB}	0.4295 \pm 0.0688 ^{aA}
	2.5	0.0653 \pm 0.0044 ^{abB}	0.1211 \pm 0.0176 ^{aA}	0.1218 \pm 0.0098 ^{bA}	0.1731 \pm 0.0260 ^{bA}
	5	0.0698 \pm 0.0002 ^{aB}	0.1162 \pm 0.0096 ^{aAB}	0.1566 \pm 0.0208 ^{bA}	0.1650 \pm 0.0316 ^{bA}
สจ.5	0	0.0639 \pm 0.0038 ^{bC}	0.0954 \pm 0.0106 ^{aC}	0.2042 \pm 0.0222 ^{aB}	0.4105 \pm 0.0417 ^{aA}
	2.5	0.0701 \pm 0.0023 ^{abB}	0.1079 \pm 0.0077 ^{aB}	0.1302 \pm 0.0146 ^{bB}	0.2398 \pm 0.0340 ^{bA}
	5	0.0734 \pm 0.0008 ^{aB}	0.1297 \pm 0.0147 ^{aAB}	0.1113 \pm 0.0136 ^{bAB}	0.1751 \pm 0.0402 ^{bA}
มข.35	0	0.0449 \pm 0.0029 ^{aC}	0.0728 \pm 0.0098 ^{aBC}	0.1341 \pm 0.0214 ^{aB}	0.2717 \pm 0.0424 ^{aA}
	2.5	0.0538 \pm 0.0091 ^{aB}	0.0882 \pm 0.0148 ^{aB}	0.0932 \pm 0.0087 ^{aB}	0.1912 \pm 0.0308 ^{abA}
	5	0.0393 \pm 0.0074 ^{aB}	0.0883 \pm 0.0100 ^{aA}	0.0815 \pm 0.0165 ^{aA}	0.0954 \pm 0.0148 ^{bA}

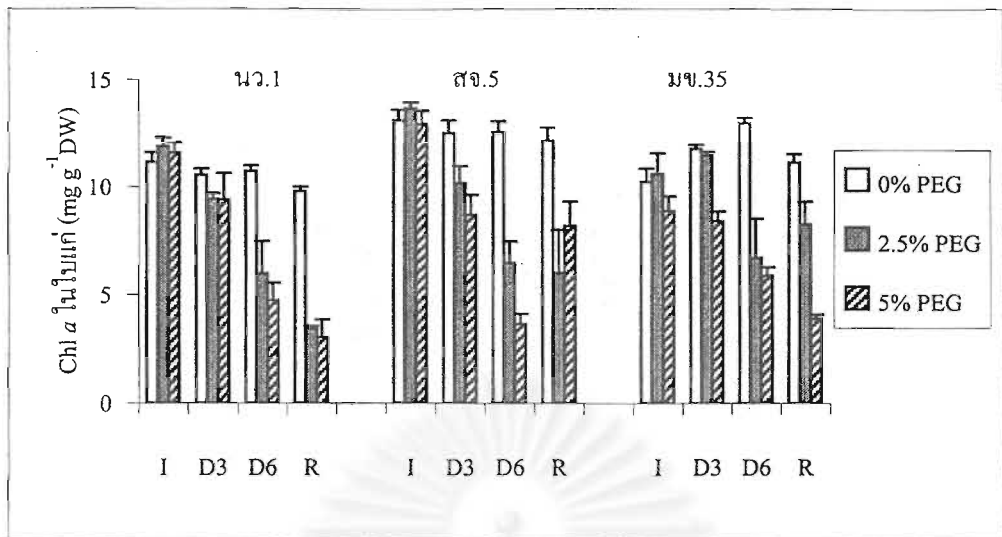
* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ผลของภาวะแล้งต่อปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลือง

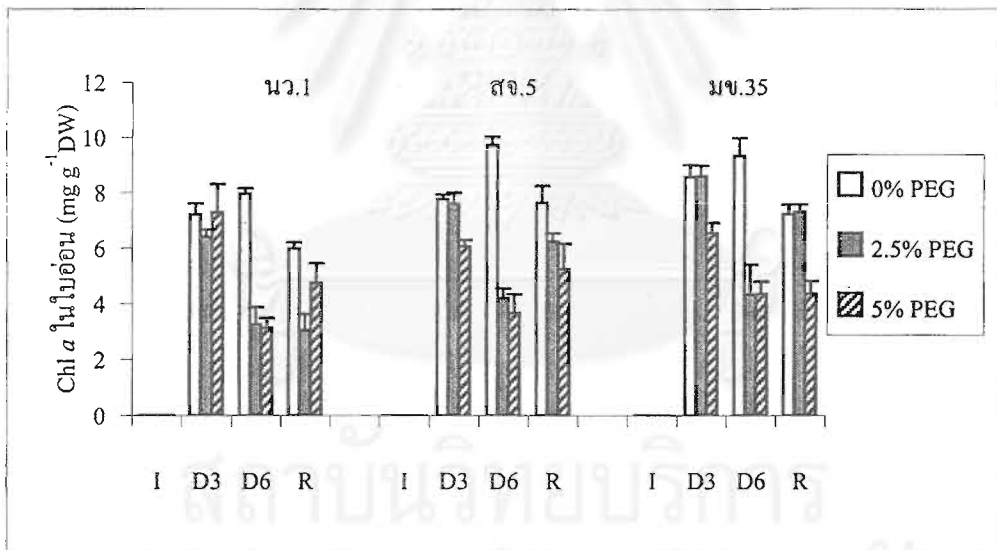
ปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids

ปริมาณ Chl *a* (ภาพที่ 10 และ 11 ; ตารางที่ 6 และ 7) ก่อนได้รับภาวะแล้ง ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 มีปริมาณ Chl *a* ในใบแก่เฉลี่ย 11.54 13.25 และ 9.90 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะแล้ง 3 วัน ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ Chl *a* ในใบแก่และอ่อนของถั่วเหลืองทุกพันธุ์มีปริมาณเท่ากับถั่วเหลืองในชุดควบคุม ในขณะที่ที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 เท่านั้นที่มีปริมาณ Chl *a* ไม่ต่างจากถั่วเหลืองในชุดควบคุมทั้งใบแก่และอ่อน โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 มีปริมาณ Chl *a* ในใบแก่ลดลง 30.56 และ 28.69 เปอร์เซ็นต์ ใบอ่อนลดลง 21.88 และ 23.48 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน ใบแก่ของถั่วเหลืองทุกพันธุ์ไม่สามารถกลับมาสร้าง Chl *a* เพิ่มขึ้นได้ แต่ใบอ่อนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์สามารถกลับมาสร้าง Chl *a* เพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณ Chl *a* ไม่แตกต่างจากปริมาณในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

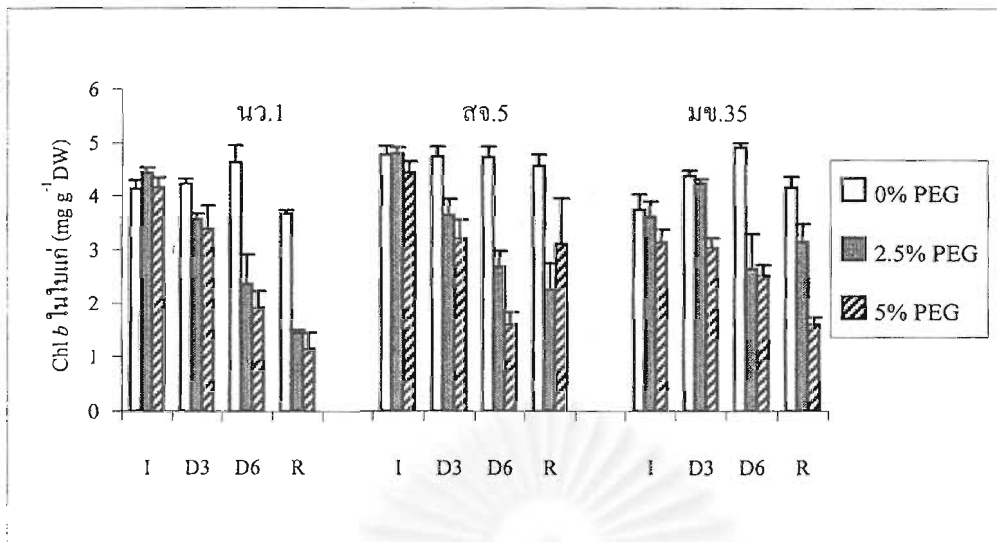
ปริมาณ Chl *b* (ภาพที่ 12 และ 13 ; ตารางที่ 8 และ 9) ก่อนได้รับภาวะแล้งถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 มีปริมาณ Chl *b* ในใบแก่เฉลี่ย 4.25 4.67 และ 3.50 $\text{mg g}^{-1}\text{DW}$ ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สามารถรักษาระดับปริมาณ Chl *b* ไว้ได้ในใบแก่และอ่อน โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับต้นถั่วเหลืองในชุดควบคุม แม้ว่าจะมีแนวโน้มของ Chl *b* ลดลงก็ตาม ส่วนอีก 2 พันธุ์คือ สจ.5 และ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ใบอ่อนของทั้ง 2 พันธุ์ยังสามารถรักษาระดับ Chl *b* ไว้ได้ แต่ Chl *b* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อได้รับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ 3 วัน สำหรับใบแก่ของทั้ง 2 พันธุ์พบว่า มข.35 สามารถรักษาระดับ Chl *b* ไว้ได้เมื่อได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ทำให้ Chl *b* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ภายใน 3 วัน และใบแก่ของ สจ.5 นั้นภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับมีผลทำให้ Chl *b* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ภายใน 3 วัน ระดับการลดลงของ Chl *b* ยิ่งรุนแรงมากขึ้นทั้งในใบแก่และอ่อนเมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน ใบอ่อนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่สามารถสร้าง Chl *b* เพิ่มขึ้นได้และมีปริมาณไม่ต่างจากถั่วเหลืองชุดควบคุม



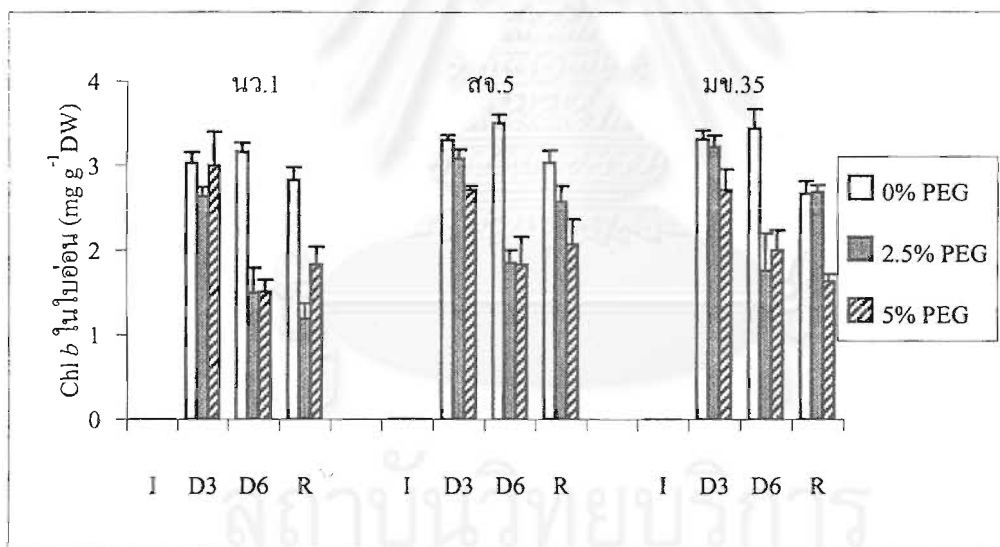
ภาพที่ 10 ปริมาณ Chl a ในใบแก่ (mg g⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R)



ภาพที่ 11 ปริมาณ Chl a ในใบอ่อน (mg g⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน)



ภาพที่ 12 ปริมาณ Chl *b* ในใบแก่ (mg g⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R)



ภาพที่ 13 ปริมาณ Chl *b* ในใบอ่อน (mg g⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน)

ตารางที่ 6 ปริมาณ Chl *a* ในใบแก่ ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error)

พันธุ์	ทริคเมนต์ (%PEG)	ปริมาณ Chl <i>a</i> ในใบแก่ ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	11.15 \pm 0.47 ^{AA*}	10.55 \pm 0.30 ^{AB}	10.72 \pm 0.27 ^{AB}	9.79 \pm 0.21 ^{AB}
	2.5	11.89 \pm 0.44 ^{AA}	9.43 \pm 0.27 ^{AB}	5.98 \pm 1.50 ^{BC}	3.44 \pm 0.12 ^{BD}
	5	11.59 \pm 0.48 ^{AA}	9.39 \pm 1.24 ^{AA}	4.73 \pm 0.82 ^{BB}	3.02 \pm 0.83 ^{BB}
สจ.5	0	13.10 \pm 0.49 ^{AA}	12.50 \pm 0.61 ^{AA}	12.56 \pm 0.51 ^{AA}	12.17 \pm 0.59 ^{AA}
	2.5	13.66 \pm 0.28 ^{AA}	10.16 \pm 0.82 ^{AB}	6.48 \pm 1.00 ^{BC}	6.03 \pm 1.98 ^{BC}
	5	12.94 \pm 0.61 ^{AA}	8.68 \pm 0.94 ^{BB}	3.64 \pm 0.48 ^{CC}	8.19 \pm 1.13 ^{AB}
มข.35	0	10.23 \pm 0.63 ^{AC}	11.78 \pm 0.19 ^{AB}	12.97 \pm 0.25 ^{AA}	11.13 \pm 0.40 ^{AC}
	2.5	10.60 \pm 0.97 ^{AA}	11.47 \pm 0.18 ^{AA}	6.72 \pm 1.80 ^{BB}	8.26 \pm 1.05 ^{AB}
	5	8.88 \pm 0.69 ^{AA}	8.40 \pm 0.46 ^{BA}	5.89 \pm 0.40 ^{BB}	3.89 \pm 0.19 ^{CC}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ตารางที่ 7 ปริมาณ Chl *a* ในใบอ่อน ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน) (mean \pm standard error)

พันธุ์	ทริคเมนต์ (%PEG)	ปริมาณ Chl <i>a</i> ในใบอ่อน ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	-	7.20 \pm 0.41 ^{AA*}	7.96 \pm 0.20 ^{AA}	5.99 \pm 0.22 ^{AB}
	2.5	-	6.41 \pm 0.26 ^{AA}	3.25 \pm 0.62 ^{BB}	3.05 \pm 0.58 ^{BB}
	5	-	7.28 \pm 1.02 ^{AA}	3.13 \pm 0.34 ^{BB}	4.74 \pm 0.72 ^{AB}
สจ.5	0	-	7.77 \pm 0.16 ^{AB}	9.73 \pm 0.30 ^{AA}	7.63 \pm 0.62 ^{AB}
	2.5	-	7.61 \pm 0.39 ^{AA}	4.21 \pm 0.34 ^{BC}	6.24 \pm 0.31 ^{AB}
	5	-	6.07 \pm 0.23 ^{BA}	3.66 \pm 0.68 ^{BB}	5.25 \pm 0.91 ^{AB}
มข.35	0	-	8.56 \pm 0.44 ^{AB}	9.33 \pm 0.65 ^{AA}	7.23 \pm 0.36 ^{AB}
	2.5	-	8.60 \pm 0.38 ^{AA}	4.33 \pm 1.08 ^{BB}	7.32 \pm 0.27 ^{AA}
	5	-	6.55 \pm 0.36 ^{BA}	4.34 \pm 0.45 ^{BB}	4.36 \pm 0.46 ^{BB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ตารางที่ 8 ปริมาณ Chl *b* ในใบแก่ ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์ (%PEG)	ปริมาณ Chl <i>b</i> ในใบแก่ ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	$4.13 \pm 0.17^{\text{aAB}^*}$	$4.23 \pm 0.09^{\text{aAB}}$	$4.63 \pm 0.32^{\text{aA}}$	$3.66 \pm 0.07^{\text{aB}}$
	2.5	$4.44 \pm 0.10^{\text{aA}}$	$3.56 \pm 0.11^{\text{aB}}$	$2.35 \pm 0.56^{\text{bC}}$	$1.44 \pm 0.06^{\text{bD}}$
	5	$4.17 \pm 0.18^{\text{aA}}$	$3.38 \pm 0.44^{\text{aA}}$	$1.91 \pm 0.31^{\text{bB}}$	$1.14 \pm 0.30^{\text{bB}}$
สจ.5	0	$4.77 \pm 0.17^{\text{aA}}$	$4.74 \pm 0.19^{\text{aA}}$	$4.73 \pm 0.20^{\text{aA}}$	$4.57 \pm 0.21^{\text{aA}}$
	2.5	$4.80 \pm 0.11^{\text{aA}}$	$3.65 \pm 0.30^{\text{bB}}$	$2.69 \pm 0.29^{\text{bBC}}$	$2.26 \pm 0.49^{\text{bC}}$
	5	$4.44 \pm 0.21^{\text{aA}}$	$3.21 \pm 0.35^{\text{bB}}$	$1.60 \pm 0.23^{\text{cC}}$	$3.11 \pm 0.85^{\text{abB}}$
มข.35	0	$3.74 \pm 0.30^{\text{aC}}$	$4.38 \pm 0.10^{\text{aAB}}$	$4.91 \pm 0.09^{\text{aA}}$	$4.17 \pm 0.20^{\text{aBC}}$
	2.5	$3.61 \pm 0.29^{\text{aAB}}$	$4.24 \pm 0.08^{\text{aA}}$	$2.64 \pm 0.66^{\text{bB}}$	$3.15 \pm 0.34^{\text{bAB}}$
	5	$3.14 \pm 0.24^{\text{aA}}$	$3.04 \pm 0.18^{\text{bA}}$	$2.52 \pm 0.20^{\text{bA}}$	$1.60 \pm 0.14^{\text{cB}}$

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ตารางที่ 9 ปริมาณ Chl *b* ในใบอ่อน ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน) (mean \pm standard error)

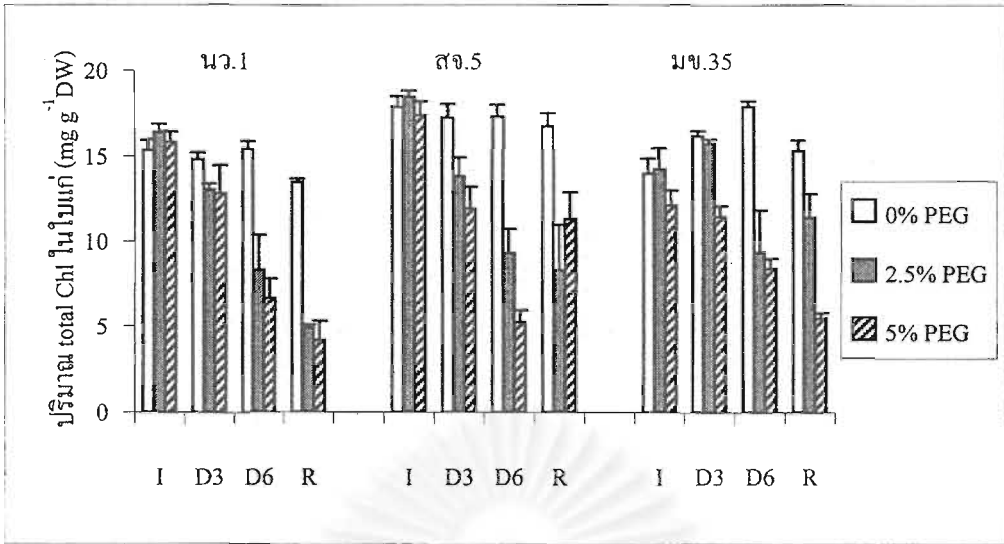
พันธุ์	ทรีตเมนต์ (%PEG)	ปริมาณ Chl <i>b</i> ในใบอ่อน ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	-	$3.03 \pm 0.13^{\text{aA}^*}$	$3.16 \pm 0.11^{\text{aA}}$	$2.83 \pm 0.15^{\text{aA}}$
	2.5	-	$2.64 \pm 0.11^{\text{aA}}$	$1.50 \pm 0.29^{\text{bB}}$	$1.19 \pm 0.18^{\text{cB}}$
	5	-	$3.00 \pm 0.40^{\text{aA}}$	$1.51 \pm 0.14^{\text{bB}}$	$1.83 \pm 0.21^{\text{bB}}$
สจ.5	0	-	$3.30 \pm 0.06^{\text{aAB}}$	$3.50 \pm 0.10^{\text{aA}}$	$3.03 \pm 0.15^{\text{aB}}$
	2.5	-	$3.08 \pm 0.11^{\text{aA}}$	$1.85 \pm 0.15^{\text{bC}}$	$2.57 \pm 0.19^{\text{abB}}$
	5	-	$2.71 \pm 0.05^{\text{bA}}$	$1.83 \pm 0.33^{\text{bB}}$	$2.07 \pm 0.30^{\text{bAB}}$
มข.35	0	-	$3.31 \pm 0.11^{\text{aA}}$	$3.44 \pm 0.23^{\text{aA}}$	$2.67 \pm 0.15^{\text{aB}}$
	2.5	-	$3.22 \pm 0.14^{\text{abA}}$	$1.76 \pm 0.44^{\text{bB}}$	$2.69 \pm 0.08^{\text{aA}}$
	5	-	$2.71 \pm 0.25^{\text{bA}}$	$2.00 \pm 0.24^{\text{bB}}$	$1.63 \pm 0.09^{\text{bB}}$

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

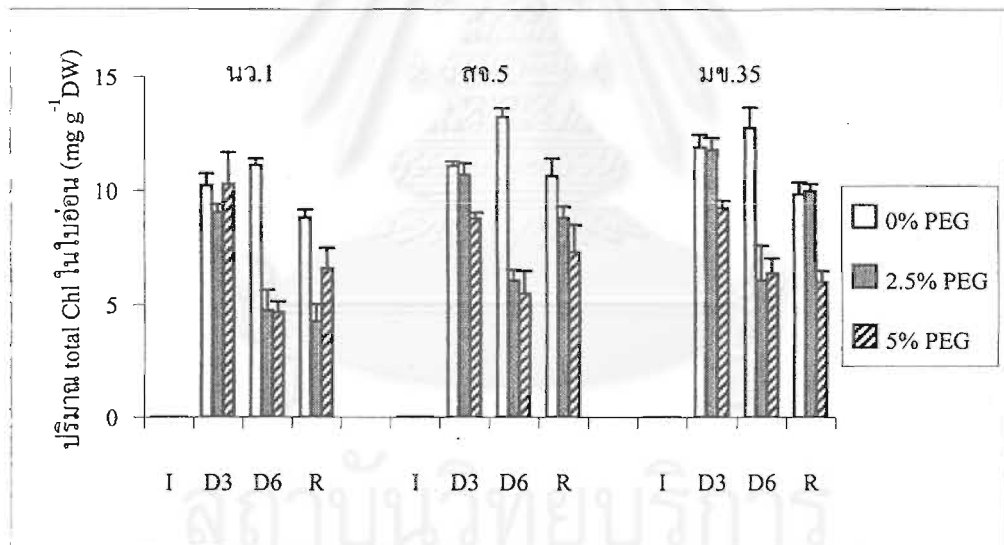
ปริมาณ total Chl (ภาพที่ 14 และ 15 ; ตารางที่ 10 และ 11) ก่อนได้รับภาวะแล้งถั่วเหลือง พันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 มีปริมาณ total Chl ในใบแก่เฉลี่ย 15.79 17.90 และ 13.45 mg g⁻¹DW ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะแล้ง 3 วัน ปริมาณ total Chl ในใบแก่และอ่อนของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับ และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปรอร์เซ็นต์ไม่ต่างจากถั่วเหลืองในชุดควบคุม ในขณะที่ที่ระดับ PEG 5 เปรอร์เซ็นต์ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 มีปริมาณ total Chl ในใบแก่ลดลง 31.04 และ 29.21 เปรอร์เซ็นต์ ใบอ่อนลดลง 20.69 และ 22.32 เปรอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน ใบแก่ของถั่วเหลืองทุกพันธุ์ไม่สามารถสร้าง total Chl เพิ่มขึ้นได้ ในขณะที่ใบอ่อนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปรอร์เซ็นต์สามารถกลับมาสร้าง total Chl เพิ่มขึ้นได้โดยมีปริมาณ ไม่ต่างจากถั่วเหลืองในชุดควบคุม

ปริมาณ carotenoids (ภาพที่ 16 และ 17 ; ตารางที่ 12 และ 13) ก่อนได้รับภาวะแล้ง ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 มีปริมาณ carotenoids ในใบแก่เฉลี่ย 2.34 2.53 และ 2.11 mg g⁻¹DW ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะแล้ง 3 วัน ที่ระดับ PEG 2.5 เปรอร์เซ็นต์ปริมาณ carotenoids ในใบแก่และอ่อนของถั่วเหลืองทุกพันธุ์ไม่ต่างจากถั่วเหลืองในชุดควบคุม ในขณะที่ที่ระดับ PEG 5 เปรอร์เซ็นต์ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 เท่านั้นที่ยังคงมีปริมาณ carotenoids ไม่ต่างจากถั่วเหลืองในชุดควบคุม ทั้งใบแก่และใบอ่อน โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 มีปริมาณ carotenoids ในใบแก่ลดลง 24.44 และ 27.16 เปรอร์เซ็นต์ ใบอ่อนลดลง 21.58 และ 30.90 เปรอร์เซ็นต์ตามลำดับ และหลังจากกลับมาได้รับน้ำ 3 วัน ใบอ่อนของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปรอร์เซ็นต์เท่านั้นที่สามารถกลับมาสร้าง carotenoids เพิ่มขึ้นได้โดยมีปริมาณ ไม่ต่างจากถั่วเหลืองในชุดควบคุม

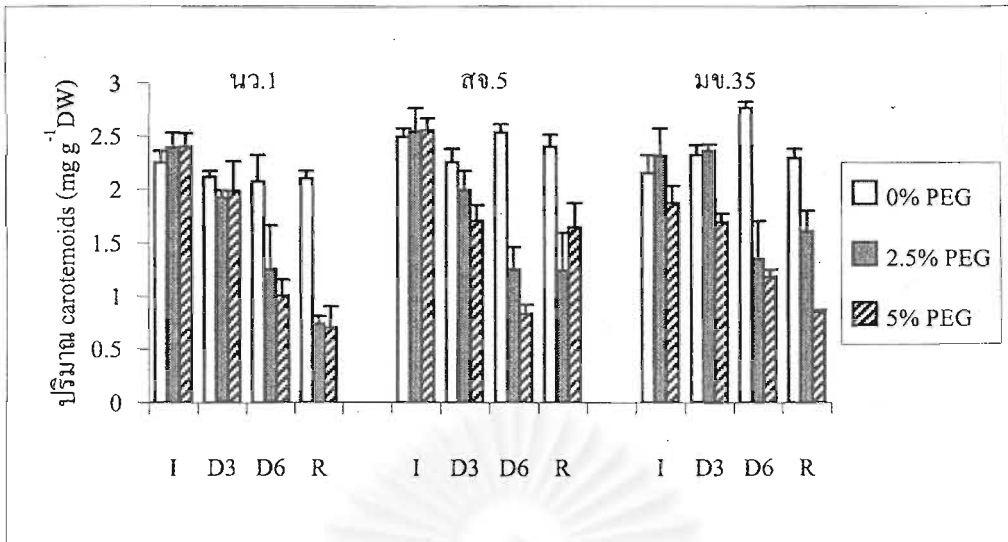
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



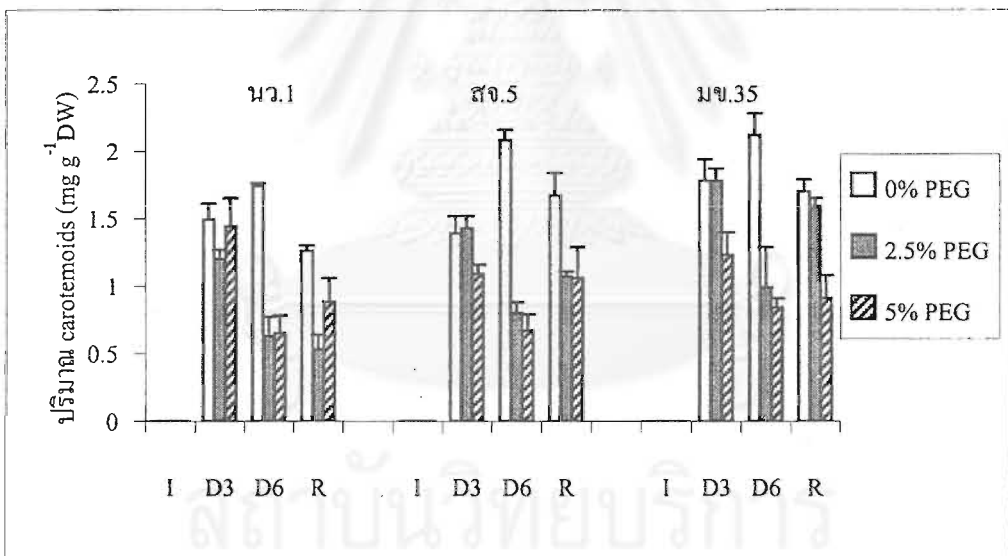
ภาพที่ 14 ปริมาณ total Chl ในใบแก่ (mg g⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R)



ภาพที่ 15 ปริมาณ total Chl ในใบอ่อน (mg g⁻¹ DW) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากกลับมาได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน)



ภาพที่ 16 ปริมาณ carotenoids ในใบแก่ (mg g⁻¹ DW) ของกล้วยพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R)



ภาพที่ 17 ปริมาณ carotenoids ในใบอ่อน (mg g⁻¹ DW) ของกล้วยพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน)

ตารางที่ 10 ปริมาณ total Chl ในใบแก่ ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error)

พันธุ์	ทริตเมนต์ (%PEG)	ปริมาณ total Chl ในใบแก่ ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	15.28 \pm 0.64 ^{aA*}	14.78 \pm 0.39 ^{aAB}	15.38 \pm 0.46 ^{aA}	13.45 \pm 0.21 ^{aB}
	2.5	16.33 \pm 0.53 ^{aA}	12.99 \pm 0.35 ^{aB}	8.32 \pm 2.06 ^{bC}	4.89 \pm 0.19 ^{bD}
	5	15.76 \pm 0.65 ^{aA}	12.77 \pm 1.67 ^{aA}	6.65 \pm 1.14 ^{bB}	4.16 \pm 1.14 ^{bB}
สจ.5	0	17.86 \pm 0.64 ^{aA}	17.24 \pm 0.79 ^{aA}	17.29 \pm 0.70 ^{aA}	16.74 \pm 0.78 ^{aA}
	2.5	18.45 \pm 0.39 ^{aA}	13.80 \pm 1.12 ^{abB}	9.32 \pm 1.41 ^{bC}	8.29 \pm 2.69 ^{bC}
	5	17.38 \pm 0.82 ^{aA}	11.89 \pm 1.30 ^{bB}	5.23 \pm 0.71 ^{cC}	11.29 \pm 1.61 ^{abB}
มข.35	0	13.96 \pm 0.91 ^{aC}	16.16 \pm 0.29 ^{aAB}	17.87 \pm 0.33 ^{aA}	15.31 \pm 0.60 ^{aC}
	2.5	14.21 \pm 1.26 ^{aA}	15.71 \pm 0.26 ^{aA}	9.36 \pm 2.46 ^{bB}	11.41 \pm 1.39 ^{bAB}
	5	12.09 \pm 0.90 ^{aA}	11.44 \pm 0.64 ^{bA}	8.41 \pm 0.59 ^{bB}	5.48 \pm 0.32 ^{cC}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ตารางที่ 11 ปริมาณ total Chl ในใบอ่อน ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน) (mean \pm standard error)

พันธุ์	ทริตเมนต์ (%PEG)	ปริมาณ total Chl ในใบอ่อน ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	-	10.23 \pm 0.53 ^{aA*}	11.11 \pm 0.30 ^{aA}	8.83 \pm 0.36 ^{aB}
	2.5	-	9.05 \pm 0.37 ^{aA}	4.74 \pm 0.90 ^{bB}	4.25 \pm 0.76 ^{bB}
	5	-	10.27 \pm 1.42 ^{aA}	4.64 \pm 0.49 ^{bB}	6.58 \pm 0.92 ^{aB}
สจ.5	0	-	11.07 \pm 0.20 ^{aB}	13.22 \pm 0.39 ^{aA}	10.65 \pm 0.77 ^{aB}
	2.5	-	10.69 \pm 0.50 ^{aA}	6.05 \pm 0.49 ^{bC}	8.82 \pm 0.49 ^{abB}
	5	-	8.78 \pm 0.26 ^{bA}	5.48 \pm 1.01 ^{bB}	7.32 \pm 1.19 ^{bAB}
มข.35	0	-	11.92 \pm 0.54 ^{aAB}	12.77 \pm 0.88 ^{aA}	9.87 \pm 0.52 ^{aB}
	2.5	-	11.82 \pm 0.51 ^{aA}	6.09 \pm 1.52 ^{bB}	10.01 \pm 0.30 ^{aA}
	5	-	9.26 \pm 0.32 ^{bA}	6.38 \pm 0.68 ^{bB}	5.99 \pm 0.50 ^{bB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ตารางที่ 12 ปริมาณ carotenoids ในใบแก่ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean \pm standard error)

พันธุ์	ทริคเมนต์ (%PEG)	ปริมาณ carotenoids ในใบแก่ ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	$2.25 \pm 0.11^{\text{aA}}$	$2.11 \pm 0.06^{\text{aA}}$	$2.07 \pm 0.25^{\text{aA}}$	$2.10 \pm 0.07^{\text{aA}}$
	2.5	$2.39 \pm 0.14^{\text{aA}}$	$1.92 \pm 0.07^{\text{aA}}$	$1.25 \pm 0.41^{\text{abB}}$	$0.74 \pm 0.07^{\text{bB}}$
	5	$2.40 \pm 0.12^{\text{aA}}$	$1.98 \pm 0.28^{\text{aA}}$	$1.00 \pm 0.15^{\text{bB}}$	$0.70 \pm 0.20^{\text{bB}}$
สจ.5	0	$2.49 \pm 0.08^{\text{aA}}$	$2.25 \pm 0.13^{\text{aA}}$	$2.53 \pm 0.08^{\text{aA}}$	$2.40 \pm 0.11^{\text{aA}}$
	2.5	$2.54 \pm 0.22^{\text{aA}}$	$1.99 \pm 0.18^{\text{abAB}}$	$1.25 \pm 0.21^{\text{bB}}$	$1.24 \pm 0.35^{\text{bB}}$
	5	$2.55 \pm 0.11^{\text{aA}}$	$1.70 \pm 0.15^{\text{bB}}$	$0.83 \pm 0.09^{\text{bC}}$	$1.64 \pm 0.23^{\text{bB}}$
มข.35	0	$2.15 \pm 0.17^{\text{aB}}$	$2.32 \pm 0.09^{\text{aB}}$	$2.76 \pm 0.06^{\text{aA}}$	$2.29 \pm 0.09^{\text{aB}}$
	2.5	$2.31 \pm 0.26^{\text{aA}}$	$2.36 \pm 0.06^{\text{aA}}$	$1.35 \pm 0.35^{\text{bB}}$	$1.61 \pm 0.19^{\text{bAB}}$
	5	$1.87 \pm 0.16^{\text{aA}}$	$1.69 \pm 0.08^{\text{bA}}$	$1.13 \pm 0.07^{\text{bB}}$	$0.85 \pm 0.02^{\text{bB}}$

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ตารางที่ 13 ปริมาณ carotenoids ในใบอ่อน ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดใบอ่อน) (mean \pm standard error)

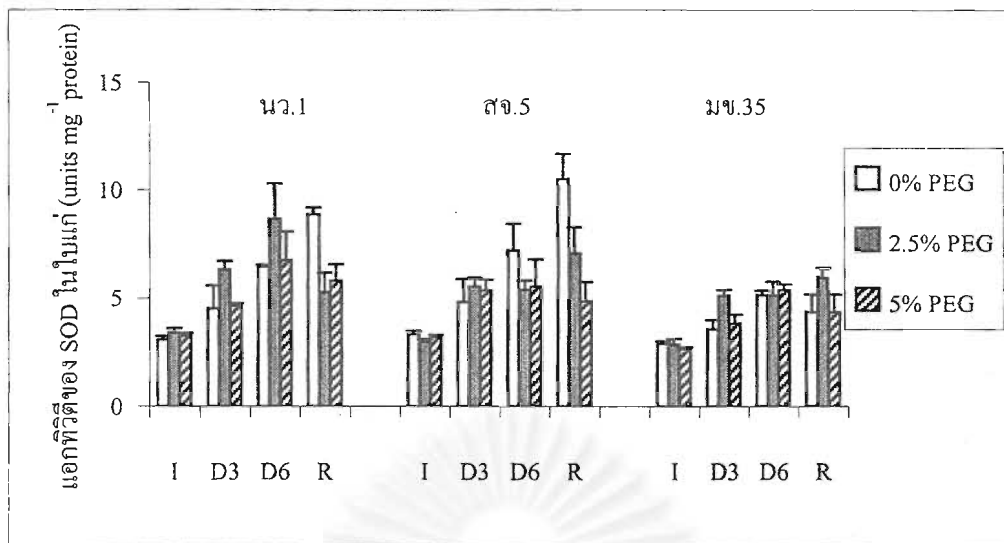
พันธุ์	ทริคเมนต์ (%PEG)	ปริมาณ carotenoids ในใบอ่อน ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	-	$1.49 \pm 0.12^{\text{aB}}$	$1.74 \pm 0.02^{\text{aA}}$	$1.26 \pm 0.04^{\text{aB}}$
	2.5	-	$1.20 \pm 0.07^{\text{aA}}$	$0.63 \pm 0.14^{\text{bB}}$	$0.53 \pm 0.11^{\text{bB}}$
	5	-	$1.44 \pm 0.21^{\text{aA}}$	$0.65 \pm 0.13^{\text{bB}}$	$0.88 \pm 0.18^{\text{abAB}}$
สจ.5	0	-	$1.39 \pm 0.13^{\text{abB}}$	$2.08 \pm 0.08^{\text{aA}}$	$1.67 \pm 0.17^{\text{aAB}}$
	2.5	-	$1.43 \pm 0.09^{\text{aA}}$	$0.80 \pm 0.08^{\text{bC}}$	$1.07 \pm 0.04^{\text{bB}}$
	5	-	$1.09 \pm 0.07^{\text{bA}}$	$0.67 \pm 0.12^{\text{bA}}$	$1.06 \pm 0.23^{\text{bA}}$
มข.35	0	-	$1.78 \pm 0.16^{\text{aA}}$	$2.12 \pm 0.16^{\text{aA}}$	$1.70 \pm 0.09^{\text{aA}}$
	2.5	-	$1.78 \pm 0.09^{\text{aA}}$	$0.99 \pm 0.30^{\text{bB}}$	$1.59 \pm 0.06^{\text{aA}}$
	5	-	$1.23 \pm 0.17^{\text{bA}}$	$0.84 \pm 0.07^{\text{bA}}$	$0.91 \pm 0.17^{\text{bA}}$

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

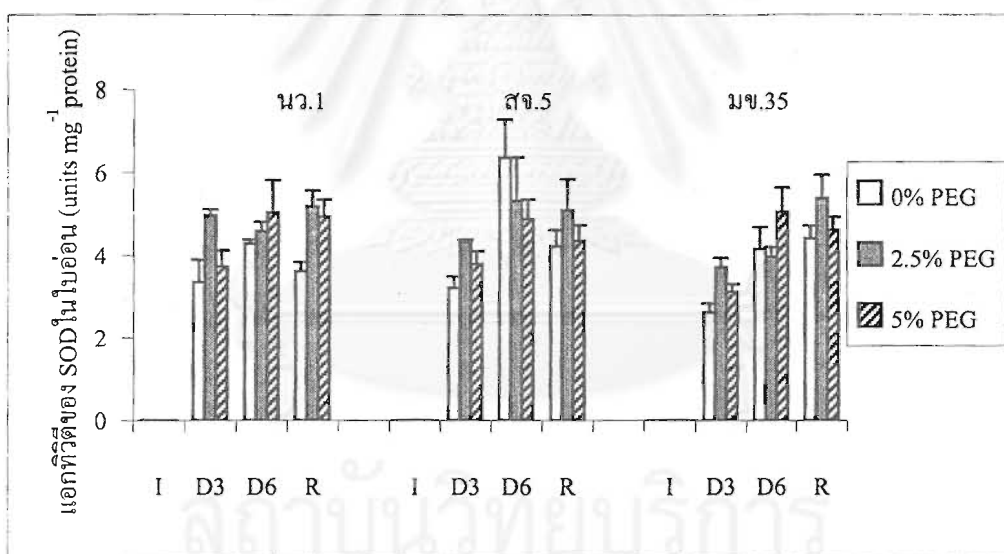
ผลของภาวะแล้งต่อแอกทีวิตีของ SOD

แอกทีวิตีของ SOD ในใบแก่ (ภาพที่ 18 และ ตารางที่ 14) พบว่าก่อนได้รับภาวะแล้งถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และมข.35 มีแอกทีวิตีของ SOD ในใบแก่เฉลี่ย 3.21 3.13 และ 2.78 ยูนิตต่อมิลลิกรัม โปรตีน (units mg⁻¹ protein) ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะแล้ง 3 วันถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์เท่า่นั้นที่มีแอกทีวิตีของ SOD เพิ่มขึ้น 44.48 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และเมื่อได้รับภาวะแล้งนานขึ้นเป็นเวลา 6 วัน แอกทีวิตีของ SOD ในถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ได้รับภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับไม่แตกต่างจากชุดควบคุม โดยหลังจากกลับมาได้รับน้ำ 3 วันถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เท่า่นั้นที่ยังคงมีแอกทีวิตีของ SOD ที่ภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับไม่ต่างจากถั่วเหลืองในชุดควบคุม ส่วนพันธุ์ นว.1 และ สจ.5 พบว่ามีแอกทีวิตีลดลงต่างจากถั่วเหลืองในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

สำหรับใบอ่อน (ภาพที่ 19 และ ตารางที่ 15) พบว่าเมื่อได้รับภาวะแล้ง 3 วันที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ ถั่วเหลืองทุกพันธุ์มีแอกทีวิตีของ SOD เพิ่มขึ้น 48.06 34.89 และ 42.15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อได้รับภาวะแล้งนานขึ้นเป็นเวลา 6 วัน แอกทีวิตีของ SOD ของถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ได้รับภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับไม่แตกต่างจากชุดควบคุม โดยหลังจากกลับมาได้รับน้ำ 3 วัน ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 เท่า่นั้นที่มีแอกทีวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์เป็น 43.49 และ 36.57 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ สจ.5 และมข.35 นั้นยังคงมีแอกทีวิตีไม่ต่างจากชุดควบคุม



ภาพที่ 18 แอกทิวิตีของ SOD ในไต (units mg⁻¹ protein) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และมข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R)



ภาพที่ 19 แอกทิวิตีของ SOD ในตับ (units mg⁻¹ protein) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และมข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดตับอ่อน)

ตารางที่ 14 แอกทิวิตีของ SOD ในไบแก่ (units mg⁻¹ protein) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ก่อนได้รับภาวะแล้ง (I) ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์ (%PEG)	แอกทิวิตีของ SOD ในไบแก่ (units mg ⁻¹ protein)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	3.05 ± 0.16 ^{aC*}	4.49 ± 1.07 ^{aC}	6.42 ± 0.09 ^{aB}	8.84 ± 0.33 ^{aA}
	2.5	3.37 ± 0.21 ^{aB}	6.27 ± 0.41 ^{aAB}	8.62 ± 1.66 ^{aA}	5.25 ± 0.89 ^{bB}
	5	3.21 ± 0.13 ^{aB}	4.60 ± 0.14 ^{aAB}	6.71 ± 1.34 ^{aA}	5.77 ± 0.77 ^{bA}
สจ.5	0	3.28 ± 0.18 ^{aC}	4.79 ± 1.08 ^{aBC}	7.18 ± 1.24 ^{aB}	10.48 ± 1.19 ^{aA}
	2.5	2.96 ± 0.12 ^{aC}	5.52 ± 0.40 ^{aB}	5.36 ± 0.43 ^{aB}	7.05 ± 1.21 ^{abA}
	5	3.16 ± 0.11 ^{aA}	5.33 ± 0.50 ^{aA}	5.51 ± 1.26 ^{aA}	4.82 ± 0.91 ^{bA}
มข.35	0	2.87 ± 0.10 ^{aB}	3.53 ± 0.45 ^{bb}	5.12 ± 0.21 ^{aA}	4.34 ± 0.82 ^{aAB}
	2.5	2.84 ± 0.25 ^{aB}	5.10 ± 0.28 ^{aA}	5.13 ± 0.62 ^{aA}	5.97 ± 0.42 ^{aA}
	5	2.62 ± 0.09 ^{aC}	3.80 ± 0.42 ^{bbC}	5.37 ± 0.26 ^{aA}	4.34 ± 0.82 ^{aAB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ตารางที่ 15 แอกทิวิตีของ SOD ในไบอ่อน (units mg⁻¹ protein) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน (R) (ก่อนได้รับภาวะแล้งยังไม่เกิดไบอ่อน) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์ (%PEG)	แอกทิวิตีของ SOD ในไบอ่อน (units mg ⁻¹ protein)			
		I	D3	D6	R
นว.1	0	-	3.35 ± 0.54 ^{ba*}	4.28 ± 0.10 ^{aA}	3.61 ± 0.23 ^{ba}
	2.5	-	4.96 ± 0.15 ^{aA}	4.58 ± 0.23 ^{aA}	5.18 ± 0.38 ^{aA}
	5	-	3.73 ± 0.39 ^{abA}	5.03 ± 0.78 ^{aA}	4.93 ± 0.41 ^{aA}
สจ.5	0	-	3.21 ± 0.28 ^{bb}	6.35 ± 0.92 ^{aA}	4.22 ± 0.39 ^{aB}
	2.5	-	4.33 ± 0.05 ^{aA}	5.31 ± 1.05 ^{aA}	5.09 ± 0.74 ^{aA}
	5	-	3.79 ± 0.31 ^{abA}	4.87 ± 0.48 ^{aA}	4.35 ± 0.38 ^{aA}
มข.35	0	-	2.61 ± 0.22 ^{bb}	4.15 ± 0.53 ^{aA}	4.41 ± 0.31 ^{aA}
	2.5	-	3.71 ± 0.23 ^{ab}	3.97 ± 0.23 ^{aB}	5.38 ± 0.56 ^{aA}
	5	-	3.11 ± 0.19 ^{abB}	5.05 ± 0.59 ^{aA}	4.61 ± 0.32 ^{aA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น ปริมาณ total Chl ปริมาณ carotenoids และแอกทิวิตีของ SOD

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น ปริมาณ total Chl ปริมาณ carotenoids และแอกทิวิตีของ SOD ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 มีลักษณะดังนี้ (ตารางที่ 1) ถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะแล้งในชุดควบคุม มีความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับปริมาณ total Chl ในใบแก่และใบอ่อนในระดับปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับปริมาณ carotenoids มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เฉพาะในใบอ่อน และเมื่อ นว.1 ได้รับภาวะแล้งจะพบว่ามีความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับปริมาณ total Chl และ carotenoids ในระดับสูงขึ้นไปแก่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) สำหรับน้ำหนักแห้งต้นกับแอกทิวิตีของ SOD พบว่าในใบแก่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในชุดควบคุมมีระดับความสัมพันธ์ ($P \leq 0.01$) สูงกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับ ในขณะที่ใบอ่อนมีความสัมพันธ์เฉพาะที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ในระดับปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่าไม่มีความสัมพันธ์ของปริมาณ total Chl กับแอกทิวิตีของ SOD ในชุดควบคุมทั้งใบแก่และใบอ่อน โดยจะมีความสัมพันธ์กันมากขึ้นเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้งซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของ carotenoids กับแอกทิวิตีของ SOD

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น ปริมาณ total Chl ปริมาณ carotenoids และแอกทิวิตีของ SOD ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีลักษณะดังนี้ (ตารางที่ 2) ถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะแล้งไม่มีความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับปริมาณ total Chl และ carotenoids ทั้งในใบแก่และใบอ่อน โดยพบว่าเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้งใบแก่ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์จะมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักแห้งต้นกับปริมาณ total Chl ($P \leq 0.01$) และ carotenoids ($P \leq 0.05$) ในระดับสูงขึ้นไป ในส่วนความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นและแอกทิวิตีของ SOD ในใบแก่พบว่าถั่วเหลืองในชุดควบคุมมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเมื่อได้รับภาวะแล้งที่ PEG ทั้ง 2 ระดับยังคงมีความสัมพันธ์กันแต่น้อยกว่าในชุดควบคุม ในขณะที่ใบอ่อนพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ในกรณีของปริมาณ total Chl และ carotenoids กับแอกทิวิตีของ SOD พบว่าถั่วเหลืองในชุดควบคุมมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ในใบอ่อนเท่านั้น และเมื่อได้รับภาวะแล้งที่ทั้ง 2 ระดับพบว่ามีความสัมพันธ์ทั้งในใบแก่และใบอ่อน

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น ปริมาณ total Chl ปริมาณ carotenoids และ แอกทิวิตีของ SOD ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 มีลักษณะดังนี้ (ตารางที่ 3) ถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะ แล้งพบเฉพาะความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับปริมาณ total Chl ในใบอ่อนในระดับก่อนข้าง สูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) และเมื่อได้รับภาวะแล้งไม่พบความสัมพันธ์ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ใบแก่พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักแห้งต้น กับปริมาณ total Chl ($P \leq 0.01$) และ carotenoids ($P \leq 0.05$) ที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ ความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับแอกทิวิตีของ SOD ในใบแก่พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติเมื่อต้นถั่วที่ได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 2.5 ($P \leq 0.01$) และ 5 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ใบอ่อนพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เฉพาะต้นถั่วในชุด ควบคุมเท่านั้น ส่วนปริมาณ total Chl กับแอกทิวิตีของ SOD ในชุดควบคุมพบที่มีความสัมพันธ์ กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ในใบแก่ เช่นเดียวกับปริมาณ carotenoids โดยหลังจากได้ รับภาวะแล้ง ปริมาณ total Chl กับแอกทิวิตีของ SOD มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ทั้งในใบแก่และใบอ่อนที่ PEG ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ในขณะที่ในใบแก่พบความ สัมพันธ์ของปริมาณ carotenoids กับแอกทิวิตีของ SOD ในใบแก่ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ และจะมี ความสัมพันธ์มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ โดยในใบ อ่อนพบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เฉพาะที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น (กรัม) ปริมาณ total chl ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ปริมาณ carotenoids (Caro) ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) และแอกทิวิตีของ SOD ($\text{units mg}^{-1}\text{protein}$) ในใบแก่ (ol) และ ใบอ่อน (yl) ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)		
	ชุดควบคุม	PEG 2.5 %	PEG 5 %
น้ำหนักแห้งต้น กับ Chl (ol)	-0.501*	-0.795**	-0.770**
น้ำหนักแห้งต้น กับ Chl (yl)	-0.634*	0.003	-0.451
น้ำหนักแห้งต้น กับ Caro (ol)	-0.129	-0.749**	-0.743**
น้ำหนักแห้งต้น กับ Caro (yl)	-0.514*	0.051	-0.362
น้ำหนักแห้งต้น กับ SOD (ol)	0.836**	0.549*	0.614**
น้ำหนักแห้งต้น กับ SOD (yl)	0.085	0.581*	0.314
Chl (ol) กับ Caro (ol)	0.214	0.992**	0.991**
Chl (yl) กับ Caro (yl)	0.902**	0.992**	0.958**
Chl (ol) กับ SOD (ol)	-0.369	-0.728**	-0.577**
Chl (yl) กับ SOD (yl)	0.469	0.192	-0.694**
Caro (ol) กับ SOD (ol)	-0.104	-0.691**	-0.568*
Caro (yl) กับ SOD (yl)	0.450	0.234	-0.735**

* มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น (กรัม) ปริมาณ total chl ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ปริมาณ carotenoids (Caro) ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) และแอกทิวิตีของ SOD ($\text{units mg}^{-1}\text{protein}$) ในใบแก่ (ol) และ ใบอ่อน (yl) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)		
	ชุดควบคุม	PEG 2.5 %	PEG 5 %
น้ำหนักแห้งต้น กับ Chl (ol)	-0.361	-0.671**	-0.336
น้ำหนักแห้งต้น กับ Chl (yl)	-0.129	-0.237	0.245
น้ำหนักแห้งต้น กับ Caro (ol)	0.024	-0.606*	-0.368
น้ำหนักแห้งต้น กับ Caro (yl)	0.303	-0.353	0.546*
น้ำหนักแห้งต้น กับ SOD (ol)	0.851**	0.743**	0.389
น้ำหนักแห้งต้น กับ SOD (yl)	0.121	0.324	-0.429
Chl (ol) กับ Caro (ol)	0.725**	0.943**	0.997**
Chl (yl) กับ Caro (yl)	0.852**	0.882**	0.901**
Chl (ol) กับ SOD (ol)	-0.144	-0.660**	-0.581*
Chl (yl) กับ SOD (yl)	0.734**	-0.223	-0.643*
Caro (ol) กับ SOD (ol)	0.247	-0.547*	-0.585*
Caro (yl) กับ SOD (yl)	0.724**	-0.502*	-0.671*

* มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น (กรัม) ปริมาณ total chl ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) ปริมาณ carotenoids (Caro) ($\text{mg g}^{-1}\text{DW}$) และแอกทิวิตีของ SOD ($\text{units mg}^{-1}\text{protein}$) ในใบแก่ (ol) และ ใบอ่อน (yl) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)		
	ชุดควบคุม	PEG 2.5 %	PEG 5 %
น้ำหนักแห้งต้น กับ Chl (ol)	0.032	-0.223	-0.693**
น้ำหนักแห้งต้น กับ Chl (yl)	-0.724**	-0.120	0.076
น้ำหนักแห้งต้น กับ Caro (ol)	0.015	-0.350	-0.626*
น้ำหนักแห้งต้น กับ Caro (yl)	-0.390	0.025	0.267
น้ำหนักแห้งต้น กับ SOD (ol)	0.290	0.649**	0.571*
น้ำหนักแห้งต้น กับ SOD (yl)	0.631*	0.360	-0.390
Chl (ol) กับ Caro (ol)	0.898**	0.976**	0.970**
Chl (yl) กับ Caro (yl)	0.878**	0.958**	0.727**
Chl (ol) กับ SOD (ol)	0.615**	-0.452	-0.746**
Chl (yl) กับ SOD (yl)	-0.268	0.002	-0.887**
Caro (ol) กับ SOD (ol)	0.695**	-0.573*	-0.776**
Caro (yl) กับ SOD (yl)	0.051	-0.015	-0.716**

* มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลของภาวะแล้งต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ความสูง พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งต้นและราก

ในการทดลองวัดปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ความสูง พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งต้นและรากในถั่วเหลือง 3 พันธุ์ คือ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่มีศักยภาพในการทนแล้งแตกต่างกัน เมื่อได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 0 (ชุดควบคุม) 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ได้รับภาวะแล้ง 3 วัน ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่ลดลงจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 และ มข.35 ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับไม่ต่างจากชุดควบคุม โดยการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองทุกพันธุ์ยังคงมี ความสูง พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งต้น และรากไม่ต่างจากชุดควบคุม เนื่องจากถั่วเหลืองเริ่มได้รับภาวะแล้งหลังจากเมล็ดงอก 10 วัน ซึ่งเป็นช่วงแรกของการเจริญเติบโตคือต้นถั่วมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แบบ lag phase ซึ่งระยะเวลาที่ต้นถั่วได้รับภาวะแล้งยังเป็นระยะสั้น ๆ ด้วยจึงมีการสูญเสียน้ำออกไปไม่มากและทำให้ถั่วเหลืองยังคงรักษาปริมาณน้ำในเซลล์ไว้ได้ เห็นได้จากปริมาณน้ำสัมพัทธ์ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับที่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม แม้ว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลง 18.31 เปอร์เซ็นต์ ก็ยังไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5

หลังจากถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้ง 6 วัน พบว่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ ลดลงจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ใกล้เคียงกับข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) 3 จีโนไทป์ที่ได้รับภาวะแล้ง (Sairam และคณะ 1998) แสดงให้เห็นว่าเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้งนานขึ้นจะส่งผลกระทบต่อต้นถั่วมากขึ้น โดยทำให้เซลล์พืชสูญเสียน้ำออกไปเป็นจำนวนมาก ภาวะแล้งมีผลทำให้ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งมีการเจริญเติบโตน้อยกว่าถั่วเหลืองชุดควบคุม โดยสังเกตได้จากความสูง พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งของต้นและราก ผลของภาวะแล้งที่มีผลต่อพื้นที่ใบพบว่าถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ที่ได้รับ PEG เป็นเวลา 6 วันมีพื้นที่ใบน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ยกเว้นพันธุ์ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่ไม่ต่างจากชุดควบคุม นอกจากนี้พบว่าน้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 และ สจ.5 ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่พันธุ์ มข.35 ไม่ต่างจากชุดควบคุม สำหรับน้ำหนักแห้งต้น พบว่าที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์พันธุ์ นว.1 เท่านั้นที่มีน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่พันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ไม่มีการ

เปลี่ยนแปลง แต่ที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์มีน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามสังเกตเห็นได้ว่าความสูงของถั่วเหลืองได้รับผลกระทบน้อยที่สุด โดยพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ยังคงไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ในขณะที่ นว.1 ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับมีความสูงน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

สอดคล้องการทดลองของ Quartacci และ Navari-Izzo (1992) รายงานว่าต้นกล้าทานตะวัน (*Helianthus annuus* cv. *Ida*) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำ 6 วันจนมี water potential เท่ากับ -1.8 MPa มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ความสูง น้ำหนักสดและแห้งน้อยกว่าชุดควบคุมและต้นกล้า *Lotus corniculatus* และ *Cerastium fontanum* ที่ปลูกในทรายและได้รับภาวะแล้งโดยการเป่าลม (airstream) เป็นเวลา 36 ชั่วโมง พบว่าทำให้ปริมาณน้ำ น้ำหนักแห้ง พื้นที่ใบ และความยาวรากน้อยกว่าชุดควบคุม (Olsson และคณะ 1996) เห็นได้ว่าเมื่อถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ได้รับภาวะแล้ง 6 วัน จะมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงอย่างชัดเจน จากการสูญเสียน้ำของต้นถั่วทำให้แรงดันเต่งภายในเซลล์พืชลดลง ส่งผลให้เซลล์มีการแผ่ขยายขนาดลดลง (Taiz และ Zeiger, 1998) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อให้พื้นที่ใบของพืชที่ได้รับภาวะแล้งมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการตอบสนองของต้นกล้าถั่วเขียว (*Vigna radiata*) ที่ปลูกในทรายและได้รับภาวะแล้งโดยการรดด้วยสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's ที่เติม PEG (Zayed และ Zeid, 1997/98) จากการสังเกตต้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งพบว่ามีการสร้างใบใหม่ช้าลงและใบใหม่ที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กกว่า

นอกจากนี้พบว่าต้นถั่วที่ได้รับภาวะแล้งมีใบด้านล่างที่แสดงอาการเหี่ยวและแก่เร็วขึ้นทำให้มีการร่วงของใบมากกว่าต้นถั่วที่ได้รับน้ำปกติเนื่องจากการลดพื้นที่ใบในการคายน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้พื้นที่ใบมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างชัดเจน (Embry และ Nothnagel, 1994) โดยการลดลงของทั้งปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งรากทำให้การดูดน้ำและธาตุอาหารไปสู่ยอดลดลง รวมทั้งการสร้างอาหารลดลงด้วยจึงทำให้น้ำหนักแห้งต้นและความสูงของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งน้อยกว่าชุดควบคุม เช่นเดียวกับหญ้า (*Poa pratensis* L.) ที่ปลูกในดินที่มีความชื้นต่ำ (Zhang และ Schmidt, 1999) และ *Lupinus angustifolius* L. ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการให้น้ำลดลง 10 เปอร์เซ็นต์จากปกติจน water potential เท่ากับ -1.64 MPa ที่พบว่ามีน้ำหนักแห้งต้นและอัตราการยึดตัวของยอดน้อยกว่าชุดควบคุม (Yu และ Rengel, 1999)

หลังจากกลับมาให้น้ำกับพืช 3 วันพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ และ สจ.5 ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับสามารถปรับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ได้ไม่ต่างจากชุดควบคุม โดย นว.1 ไม่สามารถปรับตัวได้ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ ในขณะที่การเจริญเติบโตด้านพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ไม่สามารถมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3 วันที่ผ่านมาได้และมีค่าต่างจากชุดควบคุม

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งทั้งนี้อาจเนื่องจากระยะเวลาที่ใช้เก็บผลการทดลองคือ 3 วัน หลังจากการให้น้ำนั้น ไม่เพียงพอที่จะเห็นการปรับตัวของค่าน้ำหนักแห้งและพื้นที่ใบได้ทัน สำหรับการเจริญเติบโตด้านความสูงถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์และ มข.35 ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับสามารถมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3 วันที่ผ่านมา รวมทั้งน้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์และไม่ต่างจากชุดควบคุม โดยจะเห็นได้ว่าหลังจากกลับมาได้รับน้ำ 3 วันถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ไม่สามารถปรับตัวได้ทั้งปริมาณน้ำสัมพัทธ์และการเจริญเติบโต แม้ว่า สจ.5 และ มข.35 จะสามารถปรับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ได้ แสดงให้เห็นว่าหลังจากได้รับน้ำ ถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ยังคงมีพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งต้นต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากการปรับปริมาณน้ำนั้นถือเป็นการตอบสนองเบื้องต้นต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมจึงสามารถสังเกตเห็นได้ภายในระยะเวลาอันสั้นภายหลังจากการให้น้ำ จะเห็นได้ว่า พอดต้นพืชกลับมาได้รับน้ำทำให้เซลล์สามารถยืดตัวได้ดีขึ้นความสูงจึงเปลี่ยนแปลงได้เร็ว ในขณะที่พื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งต้องทำให้เซลล์มีการเจริญและแบ่งเซลล์ใหม่ได้มากขึ้นรวมทั้งการสร้างและสะสมอาหารที่ต้องใช้เวลามากกว่าในการที่จะพบการตอบสนองกลับคืนในระยะเวลาดังกล่าว

นอกจากนี้ยังอาจเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของต้นถั่วที่ได้รับน้ำปกติในชุดควบคุมที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแบบ log phase โดยความแล้งทำให้ต้นถั่วที่ได้รับภาวะแล้งมีการแผ่ขยายของใบชงกั้นตั้งแต่หลังจากได้รับภาวะแล้ง 6 วันพื้นที่ใบจึงไม่เพิ่มขึ้นรวมทั้งพืชยังคงมีการทิ้งใบด้านล่าง ยิ่งไปกว่านั้นน้ำหนักแห้งรากของต้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งน้อยกว่าชุดควบคุม สามารถทำให้น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งน้อยกว่าชุดควบคุมด้วย โดยเกี่ยวข้องกับการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารไปให้ยอด Huang และคณะ (1997) กล่าวว่า การเจริญของส่วนยอดของพืชที่แตกต่างกันในระหว่างที่พืชได้รับภาวะแล้งและหลังจากได้รับน้ำเกี่ยวข้องกับลักษณะและการเจริญของราก โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งยอดอย่างรวดเร็วหลังจากได้รับน้ำมีความสัมพันธ์กับการเจริญของราก

ผลของภาวะแล้งต่อปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids

ในการทดลองวัดปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ในถั่วเหลือง 3 พันธุ์คือ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่มีศักยภาพในการทนแล้งแตกต่างกัน เมื่อได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 0 (ชุดควบคุม) 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วันถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 เท่านั้นที่สามารถรักษาปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ไว้ได้ทั้งในใบแก่และอ่อนที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ โดยไม่ต่างจากชุดควบคุม ในขณะที่ สจ.5 และ มข.35 ได้รับผลกระทบเร็วกว่าคือมีปริมาณรงควัตถุที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์

ลดลงจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งใบแก่และอ่อน รวมทั้งพบว่าที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ Chl *b* ในใบแก่ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีค่าลดลงจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ด้วย การลดลงของปริมาณรงควัตถุในถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ ยิ่งรุนแรงมากขึ้น เมื่อต้นถั่วได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน สอดคล้องกับการทดลองให้พืชหลายชนิดได้รับภาวะแล้งในสภาวะต่าง ๆ ที่ทำให้ปริมาณรงควัตถุลดลง เช่น ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) (Quartacci และ Navari-Izzo, 1992; Sgherri และคณะ 1993; Sgherri และคณะ 1996 และ Zhang และ Kirkham, 1996) ไม้พุ่มทนแล้ง (*Phlomis fruticosa* L., Labiatae) (Kyparissis และคณะ 1995) ข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Zhang และ Kirkham, 1996) และ และพืชทนแล้งในเขตร้อน 4 ชนิด (Faria และคณะ 1998) ที่ปลูกในดินแล้วได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำและปลูกในแปลงทดลองจริงที่มีความแห้งแล้ง ถั่ว Pea (*Pisum sativum* L. cv. *Frilene*) ที่ปลูกในเพอร์ไลต์และเวอร์มิคิวไลต์แล้วได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำ (Moran และคณะ 1994) และต้นกล้าถั่วเขียว (*Vigna radiata*) ที่ปลูกในทรายแล้วได้รับภาวะแล้งโดยการรดด้วยสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's ที่เติม PEG (Zayed และ Zeid, 1997/98) แสดงให้เห็นว่าการที่ถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้งในระยะเวลาสั้น ๆ (3 วัน) พันธุ์ นว.1 สามารถปรับตัวได้และรักษาระดับปริมาณรงควัตถุไว้ได้ดีกว่า สจ.5 และ มข.35

อย่างไรก็ดีจะสังเกตได้ว่า สจ.5 และ มข.35 แม้ว่าจะมีการรักษาปริมาณรงควัตถุไว้ได้ไม่ดีเท่ากับ นว. 1 แต่ก็ได้แสดงการปรับตัวโดยพบว่าปริมาณ carotenoids ในใบแก่มีแนวโน้มลดลงน้อยกว่าปริมาณ total Chl เพราะว่า Chl มีหน้าที่ในการรับพลังงานแสงและ carotenoids ก็มีหน้าที่ช่วยรับพลังงานแสงส่งไปให้ Chl ด้วย การลดลงของ total Chl และ carotenoids จึงเป็นการลดการรับพลังงานแสง จากการลดลงของ carotenoids น้อยกว่า Chl อาจเป็นเพราะว่า carotenoids ยังมีหน้าที่ในการกำจัดพลังงานส่วนเกินด้วย ต้นถั่วจึงพยายามรักษาระดับของ carotenoids ไว้ โดยการลดการรับแสงและรักษาระดับของ carotenoids ก็เพื่อลดการเกิดและสะสม ROS (Tuba และคณะ 1997 และ Kyparissis และคณะ 1995)

หลังจากกลับมารับน้ำ 3 วัน ใบแก่ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ Chl *a* Chl *b* และ total Chl ในขณะที่ นว.1 ไม่สามารถกลับมาสร้างรงควัตถุให้เท่ากับชุดควบคุมได้ โดยพบว่า มข.35 ที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ยังมีการลดลงของ Chl *a* Chl *b* และ total Chl ต่อกันอีกจนต่างจาก 3 วันที่ผ่านมาอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ใบอ่อนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 มีปริมาณ Chl *a* Chl *b* total chl และ carotenoids ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ซึ่งพบว่าพันธุ์ นว.1 ก็มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ Chl *a* total chl และ carotenoids ด้วย จากผลของปริมาณรงควัตถุหลังจากที่ถั่วเหลืองได้รับน้ำแสดงให้เห็นว่าการที่ถั่ว

เหลืองได้รับภาวะแล้งนานขึ้นเป็นระยะเวลา 6 วัน ใบอ่อนของถั่วเหลือง พันธุ์ สจ.5 และ มข.35 สามารถปรับตัวได้ดีกว่า เพราะที่สามารถปรับตัวกลับมามีปริมาณรงควัตถุเพิ่มขึ้นจนไม่ต่างจากชุดควบคุมได้อย่างชัดเจนในขณะที่พันธุ์ นว.1 ที่รักษาระดับรงควัตถุได้ดีที่สุดในช่วงแรกกลับไม่สามารถสร้างรงควัตถุเพิ่มขึ้นได้หลังจากกลับมาได้รับน้ำ

นอกจากนี้ยังพบว่าใบแก่ของถั่วเหลืองทุกพันธุ์มีการปรับตัวได้น้อยกว่าใบอ่อน ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับอายุของเนื้อเยื่อพืชที่ได้รับภาวะแล้งมีผลต่อความสามารถในการฟื้นตัวเมื่อผ่านพ้นภาวะแล้ง การลดลงของปริมาณรงควัตถุเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบต่าง ๆ บนเมมเบรนของคลอโรพลาสต์และไทลาคอยด์ เนื่องจากคาดว่า ROS ที่เกิดขึ้นมากเมื่อพืชได้รับภาวะแล้งไปทำลายกรดไขมันไม่อิ่มตัว และโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบบนเมมเบรน โดยการเกิดโพธิโอไลซิสทำให้เกิดการรั่วของเซลล์ รงควัตถุต่าง ๆ จึงถูกทำลาย (Sgherri และคณะ 1993 และ 1996)

สำหรับการที่ใบอ่อนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ฟื้นตัวได้หลังจากกลับมาได้รับน้ำ อาจเกี่ยวข้องกับการที่เมมเบรนสามารถถูกซ่อมแซมได้บางส่วน (Navari-Izzo และคณะ 1993) และเนื่องจากถั่วเหลืองผ่านพ้นภาวะแล้งไปแล้วจึงต้องมีการสร้างรงควัตถุเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อไป โดยตลอดการทดลองพบว่าไม่มีการเพิ่มขึ้นของ carotenoids ของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งมากกว่าต้นถั่วในชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าแสงที่ให้กับต้นถั่วเหลืองในห้องทดลองภายใต้สภาวะในการทดลองครั้งมีความเข้มไม่มากนัก

ผลของภาวะแล้งต่อเอกทิวติของ SOD

ในการทดลองวัดเอกทิวติของ SOD ในถั่วเหลือง 3 พันธุ์คือ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่มีศักยภาพในการทนแล้งแตกต่างกัน เมื่อได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 0 (ชุดควบคุม) 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ได้รับภาวะแล้ง 3 วันเอกทิวติของ SOD ในใบแก่ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่พันธุ์ นว.1 และ สจ.5 ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับมีเอกทิวติไม่ต่างจากชุดควบคุม เอกทิวติของ SOD ที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องการทดลองกับข้าวสาลี (*Triticum aestivum* cv. *Adamella*) (Navari - Izzo และคณะ 1993) และ *Lipinus angustifolius* L. (Yu และ Rengel, 1999) ที่ได้รับภาวะแล้งจากการงดให้น้ำ ที่พบว่ามีเอกทิวติของ SOD เพิ่มขึ้นหลังจากได้รับภาวะแล้ง ในขณะที่ต้นถั่วเขียว (*Vigna radiata*) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติม PEG เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (Ahuja และ Ahuja, 1985) และทานตะวัน (*Helianthus annuus* cv.

Ida) ที่ได้รับภาวะโดยการงดให้น้ำ 6 วันพบว่ามีการลดลงของ SOD นอกจากนั้นยังมีรายงานว่า ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ SOD ในถั่ว *Pea (Pisum sativum L. cv. Frilene)* (Moran และคณะ 1994) และ ต้นข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) และทานตะวัน (*Helianthus annuus*) (Zhang และ Kirkham, 1996) ที่ได้รับภาวะแล้งจากการงดให้น้ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ SOD อาจขึ้นกับชนิดของพืช ความรุนแรงของภาวะแล้งที่ให้กับพืชหรือสภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง และประสิทธิภาพของกลไกการกำจัด ROS ด้วย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ SOD น่าจะเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อการสร้าง superoxide ที่เพิ่มขึ้นในพืชที่ได้รับภาวะแล้ง

สำหรับใบอ่อนพบว่าถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์มี SOD เพิ่มขึ้นมากว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าหลังจากได้รับภาวะแล้ง 3 วัน ใบอ่อนของถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์มีการสร้าง superoxide เพิ่มขึ้นทำให้พืชมีการตอบสนองโดยการผลิต SOD เพื่อกำจัด superoxide ที่เพิ่มขึ้น อันจะเป็นการลดการทำลายของค้ำประกอบต่างๆของเซลล์ จากการพบว่าใบแก่ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ มี SOD เพิ่มขึ้นมากว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ นว.1 และ สจ.5 มีค่าไม่ต่างจากชุดควบคุมนั้น คาดว่าถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ได้รับภาวะแล้งน่าจะมีการสร้าง superoxide เพิ่มขึ้น แต่ถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์มีประสิทธิภาพในการสร้าง SOD ต่างกัน โดย มข.35 มีความสามารถในการสร้าง SOD มากกว่า นว.1 และ สจ.5 สำหรับใบอ่อนคาดว่าน่าจะมีการสร้าง superoxide เพิ่มขึ้นหลังจากที่ต้นถั่วได้รับภาวะแล้งเช่นเดียวกับใบแก่ แต่ใบอ่อนแสดงการปรับตัวได้ดีกว่าใบแก่ โดยใบอ่อนของถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์มี SOD เพิ่มขึ้น ในขณะที่การให้ภาวะแล้งที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์อาจรุนแรงเกินกว่าที่จะพบการปรับตัวของต้นถั่ว ซึ่งมีผลกระทบต่อการทำงานในด้านต่าง ๆ ของพืช เช่นไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนให้เพียงพอตามปกติและอาจมีผลต่อความสามารถในการสร้าง SOD การเพิ่ม SOD เพื่อกำจัด superoxide นั้นจะพบว่าเฉพาะ มข.35 เท่านั้นที่ทั้งใบแก่และใบอ่อนสามารถมี SOD เพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ภายหลังจากได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน

อย่างไรก็ตามหลังจากได้รับภาวะแล้ง 6 วัน ถั่วเหลืองทุกพันธุ์ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ มี SOD ไม่ต่างจากชุดควบคุมทั้งใบแก่และอ่อน ซึ่งอาจเกิดจาก SOD มีการทำงานในระยะเวลาสั้น ๆ แล้วมี SOD ลดลงไปอยู่ในระดับเดียวกับชุดควบคุม หรืออาจเกิดจากการกำจัด superoxide เสร็จแล้ว หรือถ้า hydrogen peroxide ที่เกิดจากการทำงานของ SOD มีปริมาณมากขึ้นก็อาจจะไปยับยั้งการทำงานของ SOD ได้ถ้าการกำจัด hydrogen peroxide มีประสิทธิภาพไม่ดี

และหลังจากได้รับน้ำ 3 วัน เมื่อพิจารณาที่ใบแก่พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ยังคงมีแอกทิวิตีของ SOD ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับไม่ต่างจากชุดควบคุมโดยพบว่าพันธุ์ นว.1 ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับและ สจ.5 ที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์มีแอกทิวิตีของ SOD ลดลงต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ควบคุมไปด้วยจะเห็นได้ว่าที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids คาดได้ว่า สจ.5 น่าจะมีการฟื้นตัวของปริมาณรงควัตถุแล้วซึ่งก็น่าจะมีแอกทิวิตีของ SOD ใกล้เคียงกับชุดควบคุม แต่กลับพบว่า สจ.5 ที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์มีแอกทิวิตีของ SOD ลดลงต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ที่พบเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าระบบการกำจัด superoxide ของสจ.5 ที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพลดลงอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับ นว.1 ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ ซึ่งคาดว่าระบบต่าง ๆ ของพืชได้รับความเสียหายอย่างมากจนอาจทำให้มีการผลิต SOD ลดลง หรือ SOD ถูกยับยั้งการทำงานมากขึ้น หรือมีการสะสม ROS มากเกินความสามารถในการทำลายของพืช (Zhang และ Kirkham, 1994)

สำหรับใบอ่อนพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ มีแอกทิวิตีของ SOD ไม่ต่างจากชุดควบคุมซึ่งสอดคล้องกับการมีปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids เพิ่มขึ้นที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พบว่าระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์มีค่ารงควัตถุคงต่ำกว่าคงที่จาก 3 วันที่ผ่านมา ซึ่งคาดว่าน่าจะเกี่ยวข้องกับการปรับตัวของต้นถั่วหลังจากที่ผ่านพ้นภาวะแล้งไปแล้ว โดยการเพิ่มปริมาณรงควัตถุและมีแอกทิวิตีของ SOD ลงไปอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับชุดควบคุม เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเจริญเติบโตต่อไป ในขณะที่พันธุ์ นว.1 ยังคงมีแอกทิวิตีของ SOD ที่ PEG ทั้ง 2 ระดับเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อาจกล่าวได้ว่าหลังจากได้รับน้ำถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ยังคงมีการสร้าง superoxide เพิ่มขึ้นมากกว่า สจ.5 และ มข.35 อาจเป็นไปได้ว่า นว.1 ไม่สามารถที่จะป้องกันตัวเองได้ซึ่งอาจจะเกิดจากการสะสม ROS มากเกินความสามารถในการทำลายของพืช ทำให้ไม่สามารถควบคุมการกำจัด ROS ได้

เมื่อพิจารณาถั่วเหลืองที่ได้รับน้ำปกติในชุดควบคุม พบว่าทั้งใบแก่และใบอ่อนมีแนวโน้มของแอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่เริ่มทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง คาดว่าน่าจะมีความเกี่ยวข้องกับอายุของพืชและการเพิ่มขึ้นของปริมาณ โปรตีนและ Chl โดยในช่วงที่ใบพืชกำลังเจริญเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ นั้นจะมีกระบวนการในเซลล์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์จึงมีปริมาณ โปรตีนอยู่มากและมีปริมาณ Chl ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น มีรายงานพบว่าในช่วงนี้แอกทิวิตีของ SOD ในหน่วยต่อโปรตีนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และหลังจากที่ใบแก่เต็มหรือแผ่ขยายเต็มที่แล้ว ปริมาณ โปรตีนและ Chl จะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้แอกทิวิตีของ SOD ในช่วงนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ (Dhindsa และคณะ, 1981)

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น ปริมาณ total Chl ปริมาณ carotenoids และแอกทิวิตีของ SOD

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ชุดควบคุมมีความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับปริมาณ total Chl ทั้งในใบแก่และใบอ่อน เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับปริมาณ carotenoids กล่าวคือการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในช่วงแรก ๆ ที่ยังมีน้ำหนักแห้งต้นน้อยจะมีปริมาณรงควัตถุเพิ่มขึ้น แต่เมื่อต้นถั่วเจริญเติบโตขึ้นและมีน้ำหนักแห้งต้นเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณรงควัตถุกลับไม่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นหรือมีการสร้างรงควัตถุได้น้อย เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับปริมาณ total Chl ในใบอ่อนของ นว.1 ในขณะที่ สจ.5 ไม่มีความสัมพันธ์ดังกล่าว เมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้ง พบว่า นว.1 มีความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับปริมาณ total Chl และ carotenoids ในใบแก่เพิ่มขึ้นที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ แสดงว่าเมื่อ นว.1 ได้รับภาวะแล้งอาจทำให้มีการเพิ่มน้ำหนักแห้งต้นได้แต่อาจจะไปทำให้เซลล์สามารถสร้างรงควัตถุได้ช้าลงทำให้ปริมาณ total Chl และ carotenoid ไม่เพิ่มขึ้นไปจากเดิม หรืออาจจะเกิดจากการที่เซลล์ถูกทำลายมากกว่าถั่วเหลืองในชุดควบคุมทำให้ปริมาณรงควัตถุลดลงเร็วกว่าทำให้ดูเหมือนกับว่ามีปริมาณรงควัตถุลดลงเร็วกว่าในชุดควบคุม โดย สจ.5 มีความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับปริมาณ total Chl และ carotenoids เพิ่มขึ้นเฉพาะในใบแก่ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ มข.35 มีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณรงควัตถุน้อยลงเมื่อน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเฉพาะใบแก่ และจะสังเกตเห็นว่า สจ.5 ที่ได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์สามารถสร้าง carotenoids เพิ่มขึ้นได้ตามการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการปรับตัวเพื่อสร้าง carotenoids มากำจัดพลังงานส่วนเกิน ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์นี้ใน นว.1 และ มข.35

ความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งต้นกับแอกทิวิตีของ SOD พบว่า ในชุดควบคุม นว.1 และ สจ.5 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญในใบแก่ ในขณะที่ มข.35มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญในใบอ่อน แสดงว่าในการเจริญเติบโตของพืชที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งต้นทำงานสัมพันธ์กับแอกทิวิตีของ SOD โดยทำให้แอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นด้วย โดย นว.1 และ สจ.5 มีการเพิ่มขึ้นในใบแก่ชัดเจนกว่า ส่วน มข.35 เห็นการเพิ่มขึ้นในใบอ่อน โดยอาจจะเกี่ยวข้องกับบริเวณที่มีการสร้าง superoxide ด้วยหรือความสามารถของเนื้อเยื่อในแต่ละบริเวณที่อาจจะมีประสิทธิภาพในการสร้าง SOD ต่างกันในพื้นที่ต่างพันธุ์กัน เมื่อได้รับภาวะแล้งใบแก่ของ นว.1 ที่ภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับ ยังคงมีแอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งต้น แต่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยกว่าในชุดควบคุม อาจเกิดจากการที่ระบบต่าง ๆ ถูกทำลายไปจนไม่สามารถสร้าง SOD เพิ่มขึ้นได้ ในขณะที่ใบอ่อนที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์กลับมีความ

สัมพันธ์เพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักรากแห้งต้นของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งอาจเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการสร้าง superoxide เพิ่มขึ้นจึงต้องมีการสร้าง SOD เพิ่มขึ้นมากกว่าต้นถั่วในชุดควบคุม สำหรับใบแก่ของ สจ.5 พบว่าที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักรากทำให้แอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ในใบอ่อนยังคงไม่มีความสัมพันธ์กัน ส่วน มข.35 พบว่าใบแก่มีแอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นที่ภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับ ในขณะที่ใบอ่อนยังคงไม่มีความสัมพันธ์กันเช่นเดียวกับ สจ.5 แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักรากแห้งต้นที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ต้นถั่วได้รับภาวะแล้งที่ PEG ทั้ง 2 ระดับไม่สามารถทำให้มีการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของ SOD ในใบอ่อนของ สจ.5 และ มข.35 ได้ อาจเกิดจากการที่เซลล์ถูกทำลายไปมากจนไม่สามารถสร้าง SOD เพิ่มขึ้นได้ หรือเกิดจากการที่ต้นถั่วใช้ระบบอื่น ๆ ในการป้องกันการทำลายเซลล์ หรือใบอ่อนของทั้ง 2 พันธุ์ไม่ได้มีการสร้าง superoxide เพิ่มขึ้นมากนัก แอกทิวิตีของ SOD จึงไม่เพิ่มขึ้น และจากความสัมพันธ์ที่พบนี้อาจกล่าวได้ว่าใบแก่ของถั่วเหลืองมีความสัมพันธ์ของแอกทิวิตีของ SOD กับน้ำหนักรากแห้งต้นมากกว่าใบอ่อน

ความสัมพันธ์ของปริมาณ total Chl กับ carotenoids พบว่าใบแก่และใบอ่อนของต้นถั่วมีการสร้าง total Chl และ carotenoids เพิ่มขึ้นควบคู่กันทั้งชุดควบคุมและที่ PEG ทั้ง 2 ระดับ โดยถ้าปริมาณ total Chl ลดลงจะเกิดการลดลงของปริมาณ carotenoids ด้วย ซึ่งอาจเกิดจากการที่เมมเบรนของคลอโรพลาสต์และไทลาคอยด์ถูกทำลายทำให้รงควัตถุทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณลดลงโดยพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของถั่วเหลืองทั้งในชุดควบคุมและที่ได้รับภาวะแล้งใกล้เคียงกัน

ความสัมพันธ์กับปริมาณ total Chl และ carotenoids กับแอกทิวิตีของ SOD ในชุดควบคุมของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 พบว่าระบบการทำงานของ total Chl และ carotenoids ไม่ได้มีความสัมพันธ์กับแอกทิวิตีของ SOD ทั้งในใบแก่และใบอ่อน โดยเมื่อได้รับภาวะแล้งในใบแก่จะเห็นความสัมพันธ์เพิ่มขึ้น พบว่าเมื่อปริมาณ total Chl และ carotenoids ในใบแก่ลดลงซึ่งอาจเกิดจากการสร้าง superoxide เพิ่มขึ้นจึงทำให้เกิด ROS ชนิดอื่น ๆ ตามมา ซึ่งจะไปทำลายเมมเบรนของคลอโรพลาสต์และไทลาคอยด์ แอกทิวิตีของ SOD จึงมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อกำจัด superoxide โดยจะเห็นว่าเมื่อได้รับภาวะแล้งเพิ่มมากขึ้นที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ระบบการทำงานของเซลล์ในการสร้าง SOD จะน้อยลงกว่าที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ คาดว่าเกี่ยวข้องกับความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเซลล์ ในขณะที่ใบอ่อนที่ระดับ PEG ยังไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณรงควัตถุกับแอกทิวิตีของ SOD โดยจะมีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจนที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปริมาณ total Chl และ carotenoids ในใบอ่อนลดลง นว.1 สามารถสร้าง SOD เพิ่มขึ้นได้ในระดับภาวะแล้งที่ค่อนข้างรุนแรง โดยอาจมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการทนแล้งของ นว.1 ด้วย

สำหรับ สจ.5 พบว่าปริมาณ total Chl และ carotenoids กับแอกทิวิตีของ SOD ในชุดควบคุมมีการทำงานที่สัมพันธ์กันอย่างชัดเจนในใบอ่อน เมื่อได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ความสัมพันธ์ดังกล่าวเริ่มมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไป และเห็นได้ชัดเจนขึ้นที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ คือเมื่อ สจ.5 ได้รับภาวะแล้งแล้งพบว่าการลดลงของปริมาณ total Chl โดยภาวะแล้งทำให้แอกทิวิตีของ SOD มีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณ carotenoids กับแอกทิวิตีของ SOD พบว่าเห็นความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 2.5 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าภาวะแล้งทำให้ปริมาณ carotenoids ในใบแก่ลดลงและทำให้แอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นดังเหตุผลข้างต้น ซึ่งที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ปริมาณ carotenoids กับแอกทิวิตีของ SOD กลับไม่มีความสัมพันธ์กัน คาดว่าเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงของระบบการทำงานต่าง ๆ ของเซลล์เมื่อได้รับภาวะแล้งในระดับรุนแรง สำหรับใบแก่พบว่าระบบการทำงานของ total Chl และ carotenoids ในใบแก่ไม่มีความสัมพันธ์กับแอกทิวิตีของ SOD ในชุดควบคุม โดยความสัมพันธ์ ดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อต้นถั่วได้รับภาวะแล้ง แสดงว่าใบแก่ของ สจ.5 กลับมาสร้าง SOD เพิ่มขึ้นในขณะที่มีปริมาณ total Chl และ carotenoids ลดลง และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระดับ 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์มีค่าใกล้เคียงกัน คาดว่าเกิดจากความสามารถในการสร้าง SOD อยู่อย่างจำกัด หรือไม่สามารถมีแอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นไปจากระดับนี้แล้ว

ส่วน มข.35 ชุดควบคุมมีระบบการทำงานของ total Chl และ carotenoids ที่มีความสัมพันธ์กับแอกทิวิตีของ SOD ในใบแก่อย่างชัดเจน โดยเมื่อได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ เริ่มเห็นแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลงไป และจะเห็นชัดเจนขึ้นที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าเมื่อได้รับภาวะแล้งทำให้ปริมาณ total Chl และ carotenoids ลดลงในขณะที่มีผลทำให้ มข.35 มีการสร้าง SOD เพิ่มขึ้นมาเพื่อป้องกันการทำลายเซลล์ และพบว่าที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ยังมีความสัมพันธ์กันเพิ่มมากขึ้น อาจจะหมายถึงการปรับตัวโดยการสร้าง SOD เพิ่มขึ้น สำหรับใบอ่อนพบว่าปริมาณ total Chl และ carotenoids กับแอกทิวิตีของ SOD ไม่มีความสัมพันธ์กันในชุดควบคุม โดยจะมีความสัมพันธ์กันมากขึ้นเมื่อได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ นว.1 โดย มข.35 อาจจะเกี่ยวข้องกับปริมาณรงควัตถุที่มีอยู่น้อยกว่า นว.1 และ สจ.5 คาดว่าทำให้มีการสร้าง superoxide ได้น้อยกว่าเนื่องจากมีหน่วยรับแสงน้อยกว่าทำให้ที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ยังไม่มี的增加ขึ้นของแอกทิวิตีของ SOD หรืออาจจะมกลไกอื่นอีกในการช่วยกันป้องกันเซลล์

บทที่ 6

สรุปการศึกษา

จากการศึกษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ การเจริญเติบโต เช่น ความสูง พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งต้น และราก ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids และแอกทิวิตีของ SOD ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้ง สรุปได้ว่า

1. ถั่วเหลืองทุกพันธุ์มีการเจริญเติบโตในภาวะปกติที่ใกล้เคียงกัน แต่ มข.35 มีการเจริญของรากที่ดีกว่า สจ.5 และ นว.1 เล็กน้อย

2. ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 มีความทนแล้งน้อยที่สุด แต่มีความสามารถในการทนแล้งระยะสั้น ๆ ได้ดีกว่า สจ.5 และ มข.35

เนื่องจากเมื่อได้รับภาวะแล้งในระยะสั้นเป็นเวลา 3 วัน นว.1 สามารถปรับตัวได้ดีกว่า สจ.5 และ มข.35 โดยยังคงมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่ต่างจากชุดควบคุม แต่ถ้าภาวะแล้งที่ได้รับมีระยะเวลานานขึ้นเป็น 6 วันจะไม่สามารถทนได้ และการปรับตัวฟื้นคืนหลังจากกลับมาได้รับน้ำไม่ดีเท่ากับ สจ.5 และ มข.35 นอกจากนี้พบว่า นว.1 ยังคงมีแอกทิวิตีของ SOD สูงกว่าชุดควบคุมหลังจากกลับมาได้รับน้ำด้วย

3. ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีความสามารถในการทนแล้งมากที่สุด

เนื่องจาก สจ.5 สามารถปรับตัวในการสร้างรงควัตถุหลังจากกลับมาได้รับน้ำได้ดีกว่า มข.35 และ นว.1 ซึ่งการฟื้นตัวกลับของรงควัตถุน่าจะเป็นตัวชี้หน้าที่ดีกว่า เพราะแสดงว่ามีระบบการซ่อมแซมเมมเบรนที่ดี และมีการสังเคราะห์ของรงควัตถุขึ้นอีกครั้งได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตในระยะยาว

4. ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 มีความสามารถในการทนแล้งอยู่ระหว่าง สจ.5 และ นว.1 แต่มีแนวโน้มใกล้เคียง สจ.5

เนื่องจาก มข.35 มีการตอบสนองในเรื่องของแอกทิวิตีของ SOD ต่ำกว่า สจ.5 และ นว.1 โดยเมื่อได้รับภาวะแล้ง 3 วัน สามารถมีแอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นได้ทั้งในใบแก่และใบอ่อน แต่ใน สจ.5 และ นว.1 มีแอกทิวิตีของ SOD เพิ่มขึ้นเฉพาะในใบอ่อน และหลังจากกลับมาได้รับน้ำ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้งสามารถกลับมามีแอกทิวิตีของ SOD อยู่ในระดับเดียวกับชุดควบคุมได้

จากการศึกษาด้านความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งต้น ปริมาณ total Chl ปริมาณ carotenoids และ แอกทิวิตีของ SOD ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ.5 และ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้งสรุปได้ว่า

1. การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณรงควัตถุ
2. การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของ SOD
3. การเพิ่มขึ้นของปริมาณ total Chl มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ carotenoids
4. การลดลงของปริมาณรงควัตถุมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของ SOD

การศึกษากการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองต่อภาวะแล้ง ควรจะได้ทำการศึกษาอย่างต่อเนื่องในเรื่องอื่น ๆ ดังนี้

1. ในการศึกษาผลของภาวะแล้งต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองหรือพืชชนิดอื่น ๆ ควรมีการทำ rewatering ให้พืชด้วยเพื่อจะได้เห็นความสามารถในการฟื้นตัวของพืช โดยควร จะทำการ rewatering ในระยะเวลาที่นานขึ้นกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองนี้ เพื่อจะได้เห็นการตอบสนองของต้นพืชชัดเจนขึ้นในระยะที่นานขึ้น เนื่องจากบางพารามิเตอร์ยังไม่สามารถฟื้นตัวได้ ในระยะเวลาสั้น ๆ

2. ควรมีการศึกษาแอกทิวิตีของเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ ในกระบวนการกำจัด ROS เพิ่มเติม โดยเฉพาะเอนไซม์ที่ใช้ในการกำจัด hydrogen peroxide เช่น ascorbate peroxidase glutathione reductase และ catalase ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการนำไปใช้ในการทำนายศักยภาพในการทนแล้งของพืชร่วมกับแอกทิวิตีของ SOD โดยคาดว่าน่าจะทำให้การทำนายศักยภาพในการทนแล้งของพืช และความเข้าใจระบบกำจัด ROS มีความชัดเจนมากขึ้น

3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการให้สารเคมีบางชนิดที่ทำหน้าที่เหมือนกับฮอร์โมนพืชกับพืชที่ได้รับภาวะแล้งเพื่อให้พืชสามารถทนต่อภาวะแล้งได้ดีขึ้น เช่น methyl jasmonate สารสกัดจากสาหร่ายทะเล และกรดอิวมิก ดังที่กล่าวไว้ในบทตรวจเอกสารข้างต้นว่าสารเคมีดังกล่าวสามารถช่วยให้พืชมีประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัด ROS ดีขึ้น ซึ่งจะเป็ประโยชน์มากขึ้น คือนอกจากการคัดเลือกพืชที่มีความสามารถในการทนแล้งไปปลูกในพื้นที่แห้งแล้งจริงแล้ว ก็น่าจะนำผลที่ได้จากการศึกษาเพิ่มเติมนี้ไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ปลูกจริงพร้อม ๆ กันไปด้วย เพื่อให้สามารถมีทางเลือกใหม่ ๆ ในการแก้ปัญหาความแห้งแล้ง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

นันทนา อังกินันท์ และ ศุภจิตรา ชัชวาลย์. 2542. คู่มือปฏิบัติการสรีรวิทยา.

ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภชัย แก้วมีชัย. 2537. การปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองในประเทศไทย. ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมศักดิ์ สุริโย. 2541. “การผลิตถั่วเหลืองในยุคโลกาภิวัตน์,” เอกสารประกอบการอภิปรายในการประชุมวิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติ ครั้งที่ 7 เสนอที่มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช 25-27 สิงหาคม. (เอกสารไม่ตีพิมพ์เผยแพร่)

ภาษาอังกฤษ

Ahuja, B. S. , and Kaur, K. 1985. Alterations in superoxide dismutase, peroxidase, lipid peroxidation and non-protein SH content in mung bean (*Vigna radiata*) seedling subjected to water stress. Indian J. Exp. Biol. 23: 57-59.

Allen, R. D. 1995. Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. Plant Physiol. 107: 1049-1054.

Alscher, R. G. , Donahue, J. L. , and Cramer, C. L. 1997. Reactive oxygen species and antioxidants: Relationships in green cells. Physiol. Plant. 100: 224-233.

Asada, K. 1999. The water-water cycle in chloroplast: Scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50: 601-639.

Asada, K. , Takahashi, M. , and Nagate, M. 1974. Assay and inhibitors of spinach superoxide dismutase. Agri. Biol. Chem. 38(2): 471-473. cited in Beyer, W. F. , and Fridovich, I. 1987. Assaying for superoxide dismutase activity: Some large consequences of minor changes in condition. Anal. Biochem. 161: 559-566

Aziz, A. , and Larher, F. 1998. Osmotic stress induced changes in lipid composition and peroxidation in leaf discs of *Brassica napus* L. . J. Plant Physiol. 153: 754-762.

Baisak, R. , Rana, D. , Achaya, P. B. B. , and Kar, M. 1994. Alterations in the activities of active oxygen scavenging enzymes of wheat leaves subjected to water stress. Plant Cell Physiol. 35(3): 489-495.

- Bowler, C. , Montagu, M. V. , and Inze, D. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 43: 83-116.
- Crafts-Brandner, S. J. , Below, F. E. , Harper, J. E. , and Hageman, R. H. 1984. Effects of pod removal on metabolism and senescence of nodulating and nonnodulating soybean isolines. Plant Physiol. 75: 318-322.
- Drindsa, R. S. , Drindsa, P. P. , and Thorpe, T. A. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. J. Exp. Bot. 32: 93-101.
- Eltner, E. F. , and Osswald, W. 1994. Mechanisms of the active activation during plant stress. Proc. R. Soc. Edinburgh. 102: 131-154.
- Embry, J. L. , and Nothnagel, E. A. 1994. Photosynthetic light-harvesting during leaf senescence in *Panicum miliaceum*. Plant Sci. 95: 141-152.
- Faria, T. , Silverio, D. , Breia, E. , Cabral, R. , Abadia, A. , Abadia, J. , Pereina, J. S. , and Chaves, M. M. 1998. Differences in the response of carbon assimilation to summer stress (water deficit, high light and temperature) in four mediterranean tree species. Physiol. Plant. 102: 149-428.
- Foyer, C. H. , Descourvieres, P. , and Kunert, K. J. 1994. Protection against oxygen radicals: an important defence mechanism studied in transgenic plants. Plant Cell Envi. 17: 507-523.
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Calif. Agric. Exp. Stan. Circ. 347: 1-39. cited in Zheng, S. S. Ma, J. F. and Matsumoto, H. 1998. Continuous secretion of organic acids is related to aluminium resistance during relatively long-term exposure to aluminium stress. Physiol. Plant. 103: 209-214.
- Huang, B. , Duncan, R. R. , and Carrow, R. N. 1997. Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turfgrasses under surface soil drying: I. Shoot response. Crop Sci. 37: 1858-1863.
- Iturbe-Ormaetxe, I. , Escuredo, P. R. , Arrese-Igor, C. , and Becana, M. 1998. Oxidative damage in pea plants exposed to water deficit or paraquat. Plant Physiol. 116: 173-181.
- Kaiser, W. 1979. Carbon metabolism of chloroplasts in the dark. Planta. 144: 193-200. cited in Scandalios, J. G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. Plant Physiol. 101: 7-12.

- Kyparissis, A. , Petropoulou, Y. , and Manetas, Y. 1995. Summer survival of leaves in a soft-leaved shrub (*Phlomis fruticosa* L., Labiatae) under mediterranean field conditions: avoidance of photoinhibitory damage through decreased chlorophyll contents. J. Exp. Bot. 46(293): 1825-1831.
- Li, L. , and Staden, J. V. 1998. Effects of plant growth regulators on the antioxidant system in callus of two maize cultivars subjected to water stress. Plant Growth Reg. 24: 55-66.
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophyll and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In Packer, L. , and Douce, R. (eds.), Methods Enzymol. , pp. 351-382. New York: Academic Press.
- McKersie, B. D. , Bowley, S. R. , Harjanto, E. , and Leprince, O. 1996. Water-deficit tolerance and field performance of transgenic alfalfa overexpressing superoxide dismutase. Plant Physiol. 111: 1177-1181.
- Moran, J. F. , Becana, M. , Iturbe-Ormaetxe, I. , Frechilla, S. , Klucas, R. V. , and Aparicio-Tejo, P. 1994. Drought induces oxidative stress in pea plants. Planta. 194: 346-352.
- Navari-Izzo, F. , Teresa, M. , Milone, A. , Quartacci, M. F. , and Pinzino, C. 1993. Metabolic changes in wheat plants subjected to water-deficit stress programme. Plant Sci. 92: 151-157.
- Olsson, M. , Nilsson, K. , Lijenberg, C. , and Hendry, G. A. F. 1996. Drought stress in seedling: Lipid metabolism and lipid peroxidation during recovery from drought in *Lotus corniculatus* and *Cerastium fontanum*. Physiol. Plant. 96: 577-584.
- Quartacci, M. F. , and Navari-Izzo, F. 1992. Water stress and free radical mediated changes in sunflower seedlings. J. Plant Physiol. 139: 621-625.
- Renburg, L. V. , and Kruger, G. H. J. 1994. Evaluation of components of oxidative stress metabolism for use in selection of drought tolerant cultivars of *Nicotiana tabacum* L. . J. Plant Physiol. 143: 730-737.
- Salin, M. L. 1987. Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast. Physiol. Plant. 72: 681-689.
- Sairam, R. K. , Deshmukh, P. S. , and Saxena, D. C. 1998. Role of antioxidant systems in wheat genotypes tolerance to water stress. Biol. Plant. 41(3): 387-394.
- Scandalios, J. G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. Plant Physiol. 101: 7-12.
- Sgherri, C. L. M. , Pinzino, C. , and Navari-Izzo, F. 1993. Chemical changes and O₂⁻

- production in thylakoid membranes under water stress. Physiol. Plant. 87: 211-216.
- Sgherri, C. L. M. , Pinzino, C. , and Navari-Izzo, F. 1996. Sunflower seedlings subjected to increasing stress by water deficit: Changes in O_2^- production related to the composition of thylakoid membranes. Physiol. Plant. 96: 446-452.
- Sgherri, C. L. M. , Quartacci, M. F. , Menconi, M. , Raschi, A. , and Navari-Izzo, F. 1998. Interaction between drought and elevated CO_2 on alfalfa plants. J. Plant Physiol. 152: 118-124.
- Smirnoff, N. 1993. The role of active oxygen species in the response of plants to water deficit and desiccation. New Phytol. 125: 27-58.
- Steuter, A. A. , Mozafer, A. , and Goodin, J. R. 1981. Water potential of aqueous polyethylene glycol. Plant Physiol. 67: 64-67.
- Taiz, L. , and Zeiger, E. 1998. Plant Physiology. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associated, Inc.
- Tuba, Z. , Smirnoff, N. , Csintalan, Z. , Szente, K. , and Nagy, Z. 1997. Respiration during slow desiccation of the poikilochlorophyllous desiccation tolerant plant *Xerophyta scabrida* at present-day CO_2 concentration. Plant Physiol. Biochem. 35(5): 381-386.
- Turner, N. C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant Soil. 58: 339-366. cited in Pattanagul, W. and Madore, M. A. 1998. Water deficit effects on raffinose family oligosaccharide metabolism in coleus. Plant Physiol. 121: 987-993.
- Yu, Q. , and Rengel, Z. 1999. Drought and salinity differentially influence activities of superoxide dismutases in narrow-leafed lupins. Plant Sci. 142: 1-11.
- Zayed, M. A. , and Zeid, I. M. 1997/98. Effect of water and salt stresses on growth, chlorophyll, mineral ions and organic solutes contents and enzymes activity in mung bean seedlings. Biol. Plant. 40(3): 351-356.
- Zhang, J. , and Kirkham, M. B. 1994. Drought-stress-induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase in wheat species. Plant Cell Physiol. 35(5): 785-791.
- Zhang, J. , and Kirkham, M. B. 1996. Enzymatic responses of the ascorbate-glutathione cycle to drought in sorghum and sunflower plants. Plant Sci. 113: 139-147.
- Zhang, X. , Schmidt, R. E. 1999. Antioxidant response to hormone-containing product in Kentucky bluegrass subjected to drought. Crop Sci. 39: 345-551.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารละลายธาตุอาหาร Hoagland's

วิธีการเตรียม stock solution

1. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1 โมลาร์
ชั่ง $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 236.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร
2. KNO_3 1 โมลาร์
ชั่ง KNO_3 101.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร
3. MgSO_4 1 โมลาร์
ชั่ง $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 246.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร
4. KH_2PO_4 1 โมลาร์
ชั่ง KH_2PO_4 136.09 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร
5. Fe-EDTA (มี Fe 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
ชั่ง EDTA disodium salt ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 22.4 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 372 มิลลิลิตร
ชั่ง $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 13.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 728 มิลลิลิตร
เทสารละลายทั้งสองผสมกันที่ละน้อย หรือพ่นอากาศประมาณ 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน
6. micronutrients
ชั่ง H_3BO_3 2.86 กรัม $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.05 กรัม $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1.81 กรัม ZnCl_2 0.11 กรัม
 $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.025 กรัม แยกละลายในน้ำกลั่นทีละตัวแล้วเทสารละลายรวมกันและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's (half strength) ปริมาตร 2 ลิตร

ประกอบด้วยสารเคมีดังนี้

- | | |
|--|-------------|
| 1. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1 โมลาร์ | 5 มิลลิลิตร |
| 2. KNO_3 1 โมลาร์ | 5 มิลลิลิตร |
| 3. MgSO_4 1 โมลาร์ | 2 มิลลิลิตร |
| 4. KH_2PO_4 1 โมลาร์ | 1 มิลลิลิตร |
| 5. Fe-EDTA (มี Fe 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) | 4 มิลลิลิตร |
| 6. micronutrients | 1 มิลลิลิตร |

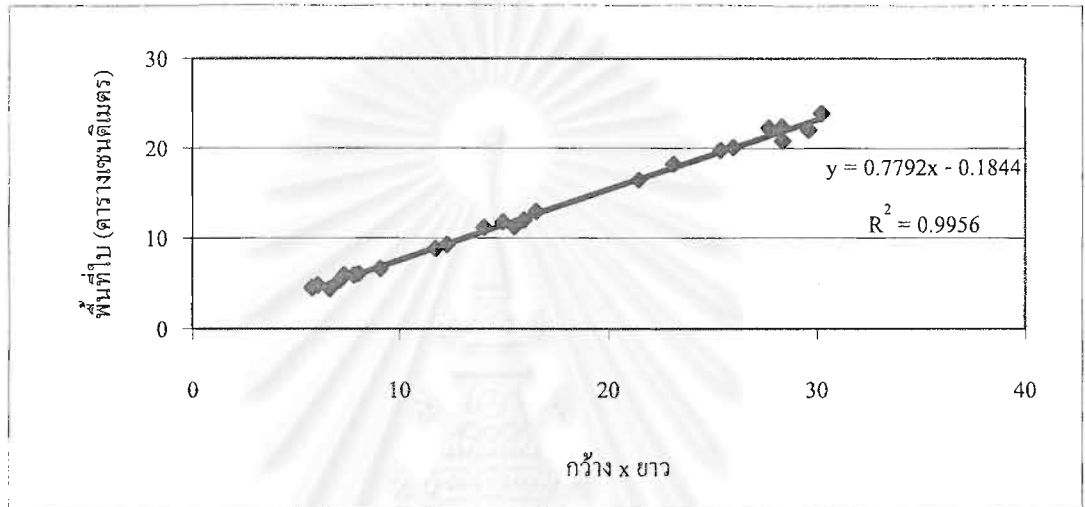


ภาคผนวก ข

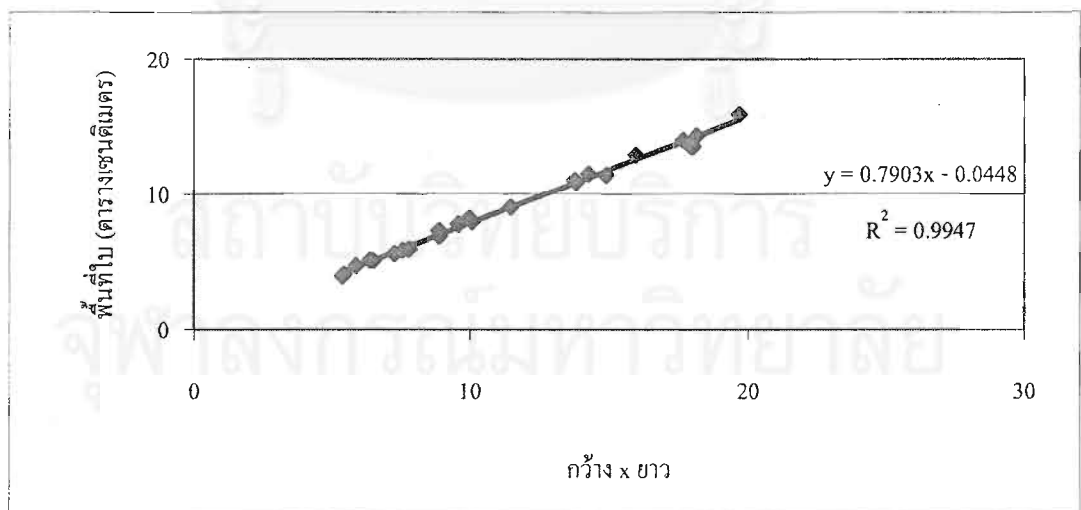
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสร้างกราฟมาตรฐาน

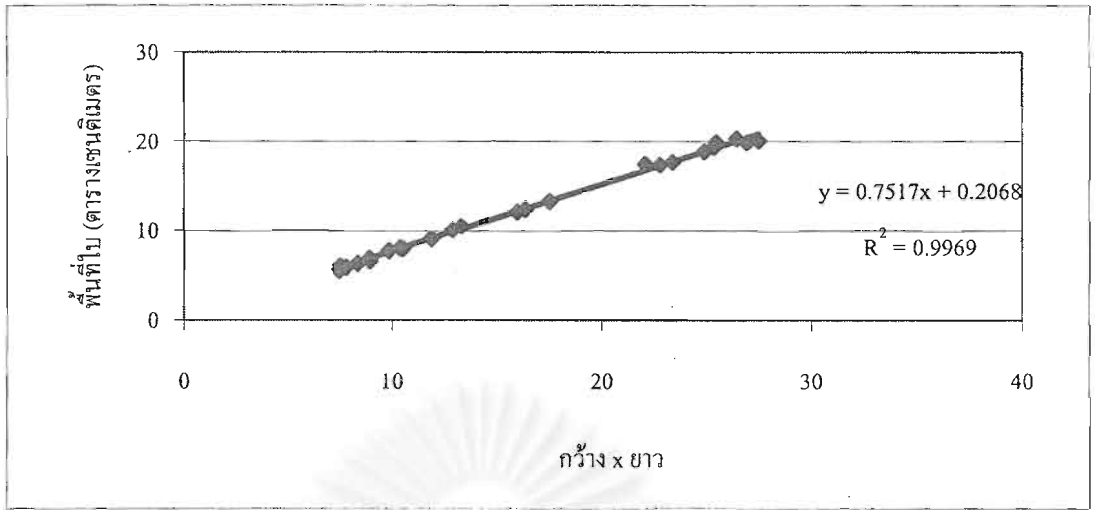
การสร้างกราฟมาตรฐานพื้นที่ใบของใบแก่คู่แรกและใบย่อยในใบประกอบ ใช้ตัวอย่างใบประมาณ 20 และ 50 ใบตามลำดับ ทำได้โดยนำใบถั่วเหลืองมาหาความกว้าง ยาว และพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ จากนั้นหาผลคูณของความกว้างและความยาว แล้วนำไปสร้างกราฟระหว่างผลคูณของความกว้างและความยาวกับพื้นที่ใบ ดังนี้



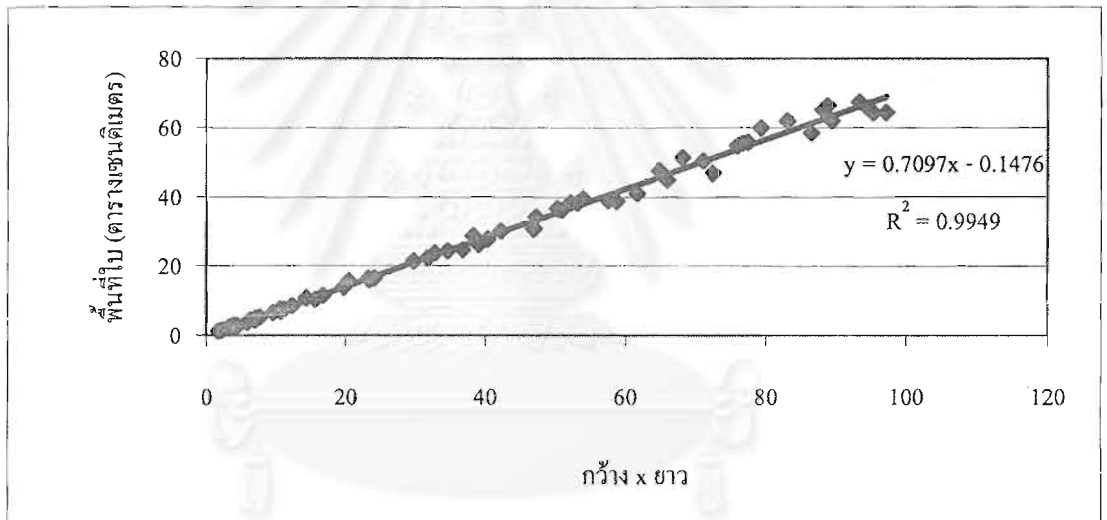
ภาพที่ ข-1 กราฟมาตรฐานพื้นที่ใบของใบแก่คู่แรกถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1



ภาพที่ ข-2 กราฟมาตรฐานพื้นที่ใบของใบแก่คู่แรกถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5

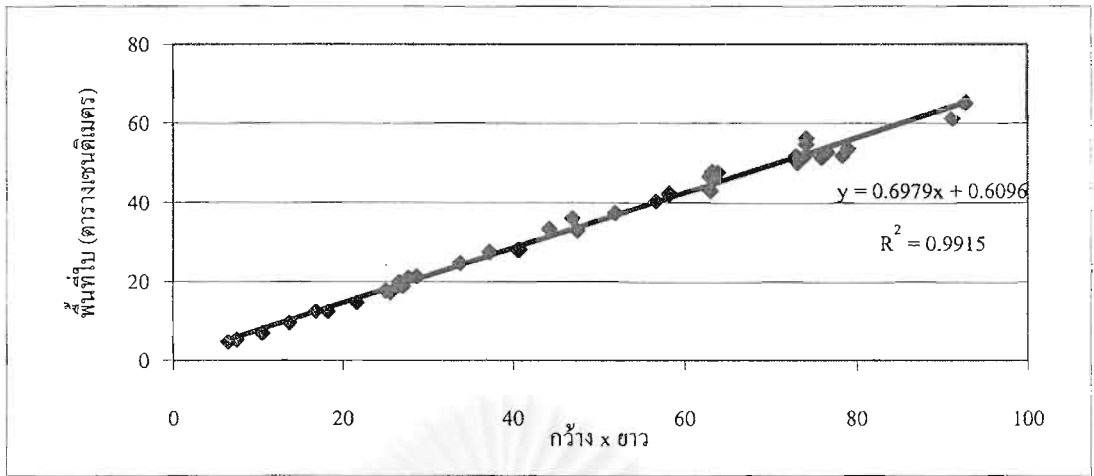


ภาพที่ ข-3 กราฟมาตรฐานพื้นที่ใบของใบแท้คู่แรกถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35

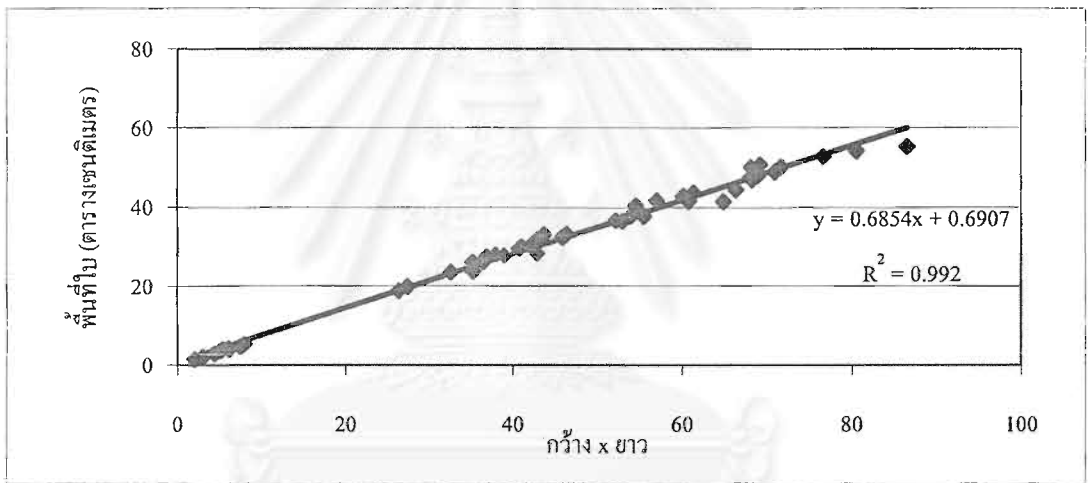


ภาพที่ ข-4 กราฟมาตรฐานพื้นที่ใบของใบย่อยในใบประกอบถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข-5 กราฟมาตรฐานพื้นที่ใบของใบย่อยในใบประกอบถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5

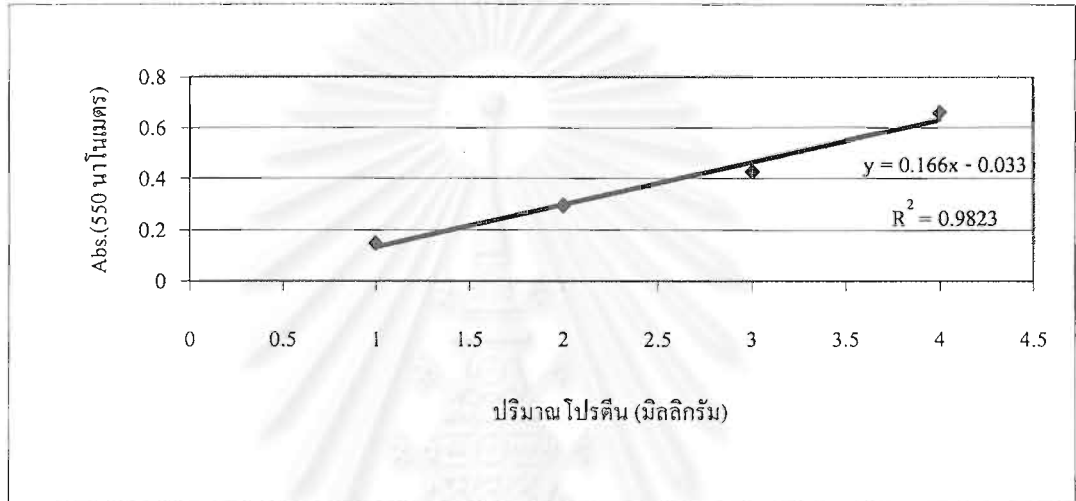


ภาพที่ ข-6 กราฟมาตรฐานพื้นที่ใบของใบย่อยในใบประกอบถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน

ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัม)	Abs. (550 นาโนเมตร)
1	0.148
2	0.296
3	0.426
4	0.658



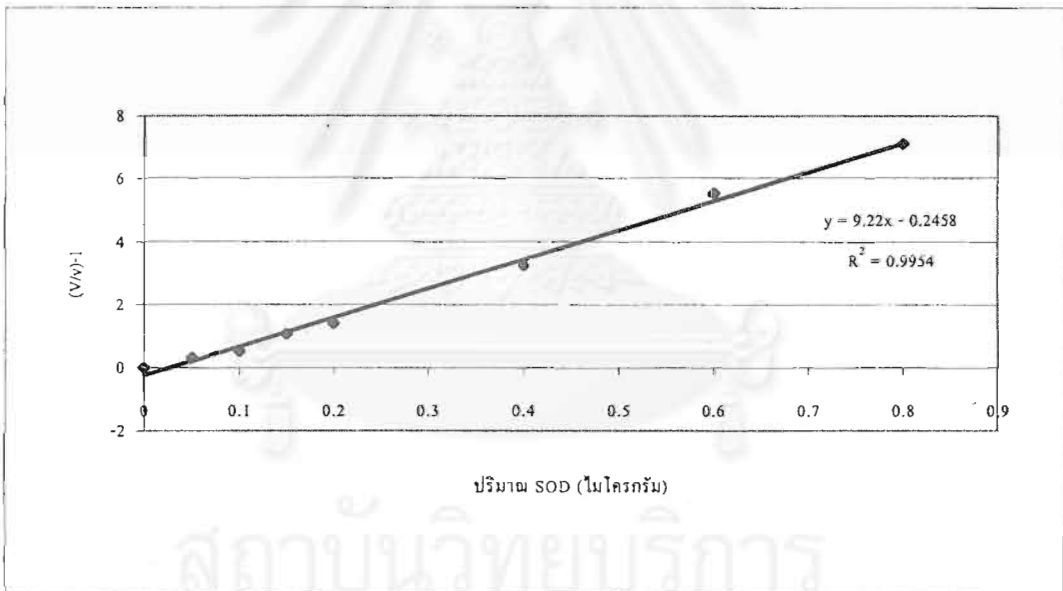
ภาพที่ ข-7 กราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการสร้างกราฟมาตรฐาน

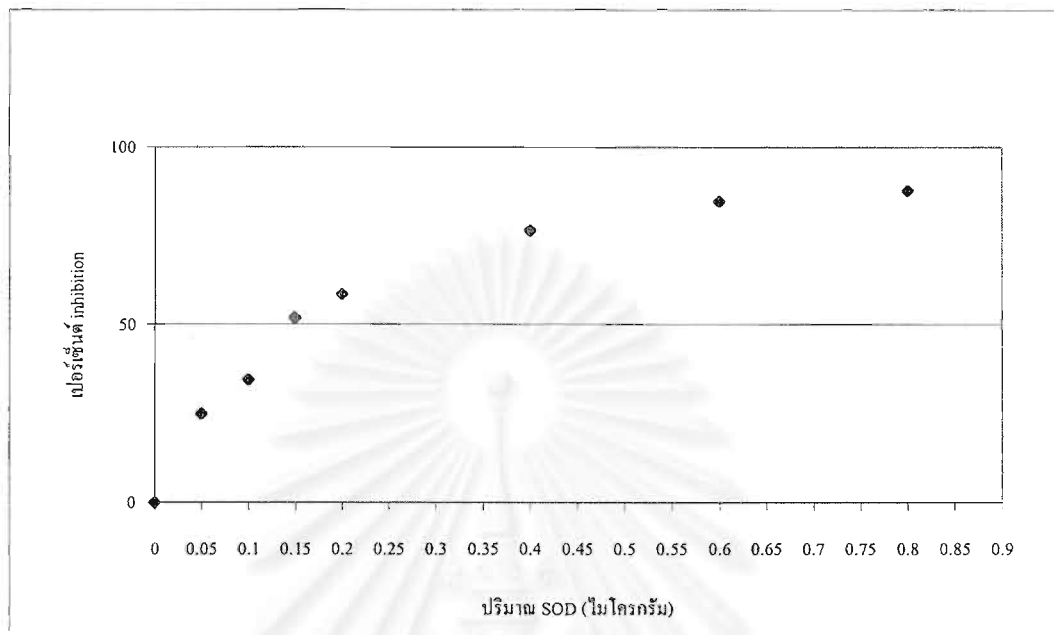
ปริมาณ SOD (ไมโครกรัม)	Abs. (560 นาโนเมตร)
1. 0	0.463
2. 0.05	0.348
3. 0.1	0.303
4. 0.15	0.223
5. 0.2	0.192
6. 0.4	0.109
7. 0.6	0.071
8. 0.8	0.057

ได้ค่า $V = 0.463/10 = 0.0463$ และ $v = 0.0348$ 0.0303 0.0223 0.0192 0.0109 0.0071 และ 0.0057 ในหลอดที่ 2 ถึง 8 ตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณหา $(V-v)^{-1}$ และนำไปสร้างกราฟได้ดังนี้



ภาพที่ ข-8 กราฟเส้นตรงมาตรฐานของ SOD ปริมาณต่าง ๆ

ในแต่ละหลอดสามารถหาเปอร์เซ็นต์ inhibition ได้จากสูตร $(V-v) \cdot 100 / V$ และเขียนกราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ inhibition และปริมาณ SOD ได้ดังนี้



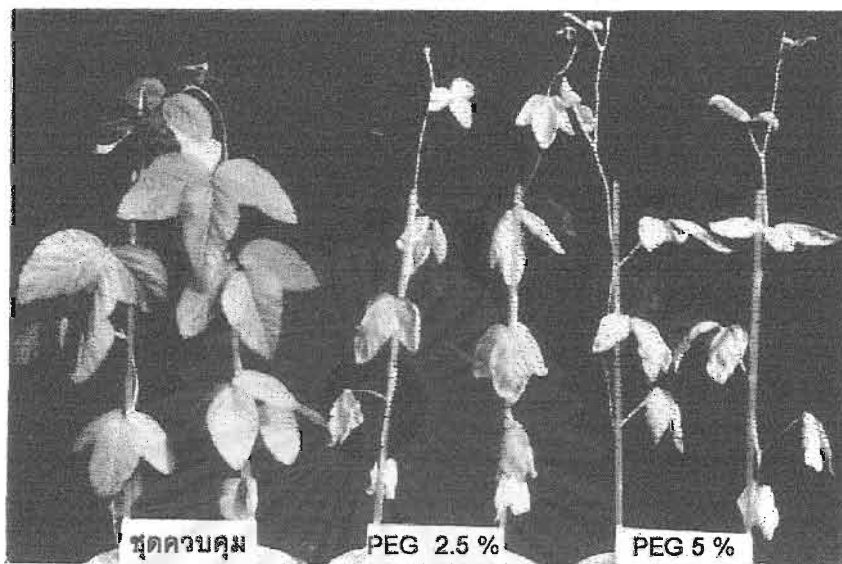
ภาพที่ ข-9 เปอร์เซ็นต์ inhibition ของ SOD ปริมาณต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

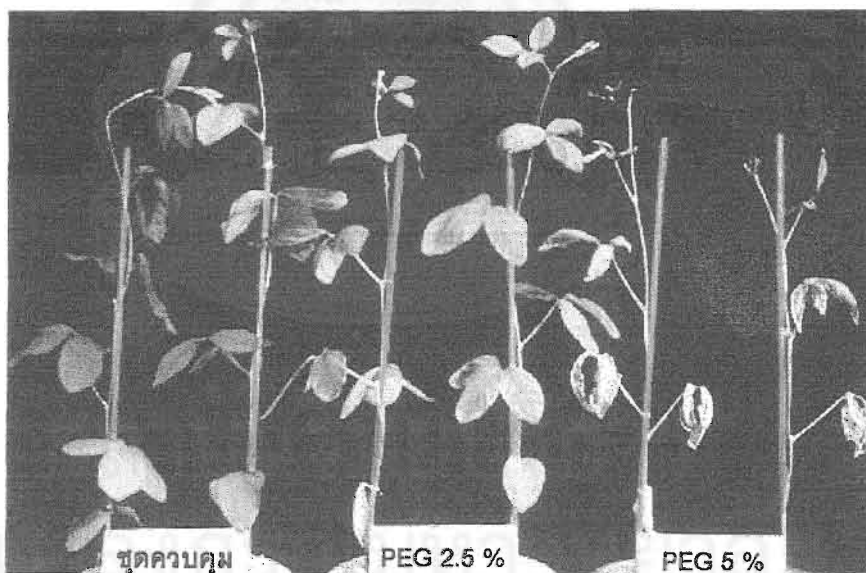


ภาคผนวก ค

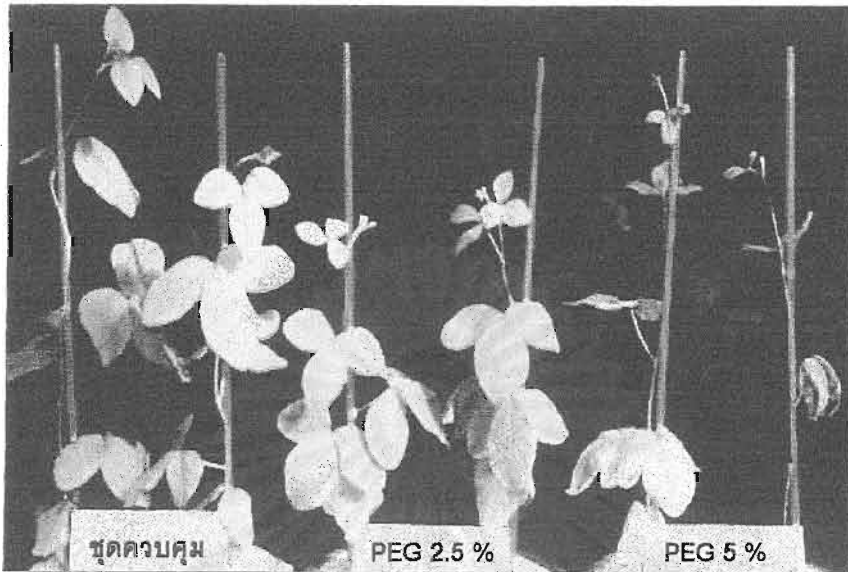
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



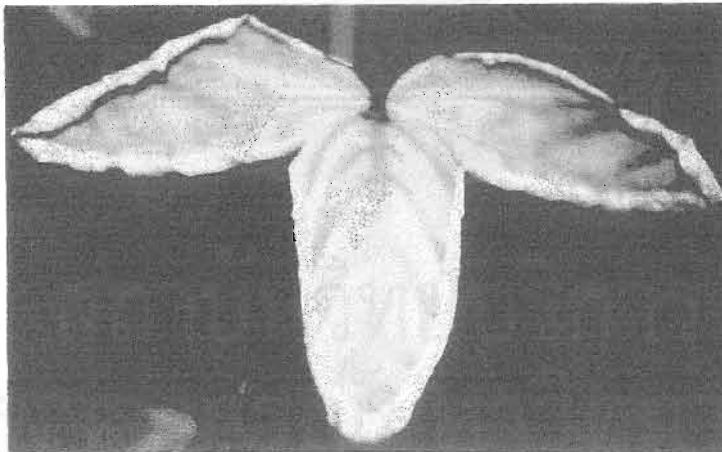
ภาพที่ ค-1 ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ชุดควบคุม และได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับภาวะแล้ง 6 วัน



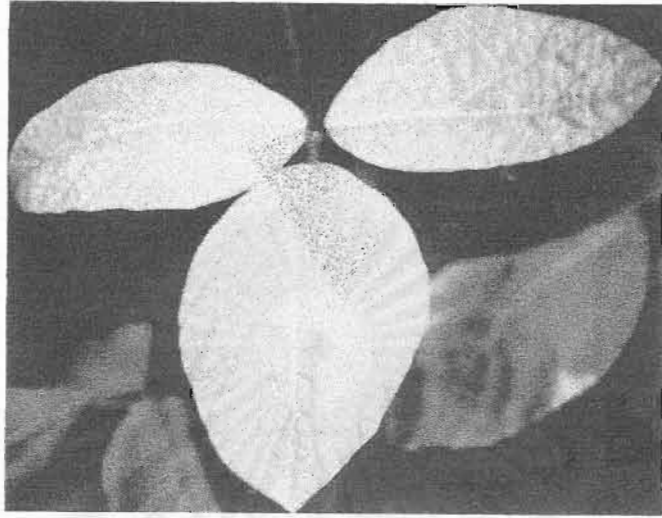
ภาพที่ ค-2 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ชุดควบคุม และได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับภาวะแล้ง 6 วัน



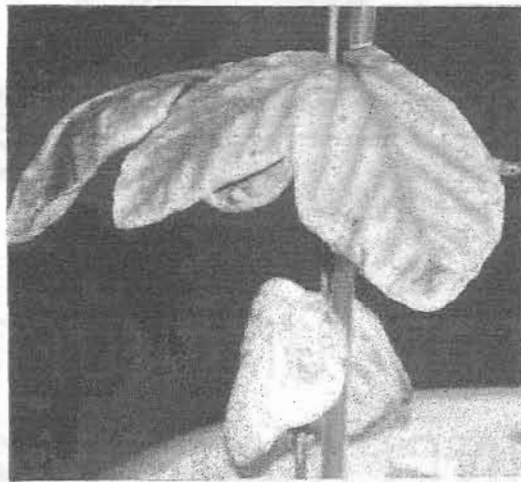
ภาพที่ ก-3 ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ควบคุม และได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับภาวะแล้ง 6 วัน



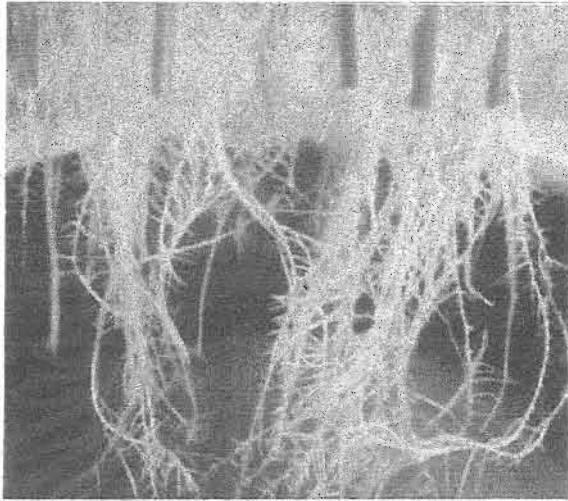
ภาพที่ ก-4 ลักษณะอาการใบบางใบที่มีการม้วนตัวที่ขอบใบ เมื่อได้รับภาวะแล้ง 6 วัน



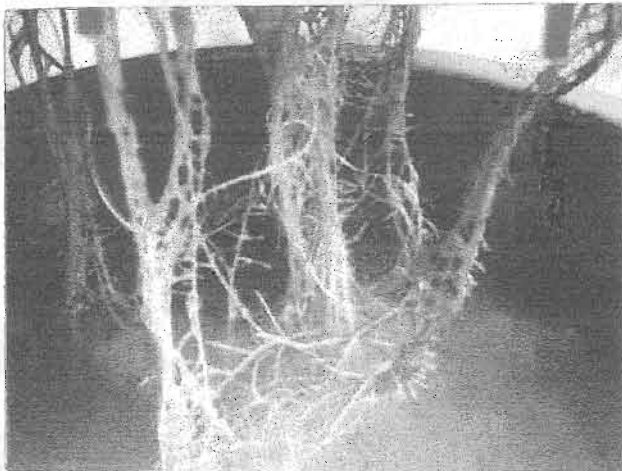
ภาพที่ ค-5 ลักษณะใบอ่อนที่แสดงอาการเหลืองบริเวณระหว่างเส้นใบ เมื่อได้รับภาวะแล้ง 6 วัน



ภาพที่ ค-6 ลักษณะใบแก่ที่แสดงอาการเหลือง เมื่อได้รับภาวะแล้ง 6 วัน



ภาพที่ ค-7 ลักษณะรากของต้นข้าวชุดควบคุม



ภาพที่ ค-8 ลักษณะรากของต้นข้าวที่ได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 2.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 วัน

ประวัติผู้เขียน

นางสาวอัญชลี ร่มพา เกิดวันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนหอวัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2535 และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) จากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2539 โดยได้รับทุนโครงการการพัฒนาผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ขณะกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 3 และเข้าศึกษาต่อด้วยทุนพสวท. ในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อพ.ศ. 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย