จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

ระบบขจัด reactive oxygen species ของถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เมื่อได้รับความเครียดจากภาวะขาดน้ำ

Reactive Oxygen Species Scarvenging Systems in Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) During Water Stress

โดย

ปรีดา บุญ-หลง และ คณะ

ตุลาคม 2550

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ซึ่งได้สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ การวิจัยในครั้งนี้มิอาจสำเร็จได้หากไม่ได้รับความร่วมมือจากนิสิตภาควิชาพฤกษศาสตร์ ระดับปริญญาบัณฑิต และบัณฑิตศึกษาที่ได้อุทิศเวลาเพื่อเป็นผู้ช่วยวิจัยในโครงการวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อภาษาไทย

ชื่อโครงการวิจัย ระบบขจัด reactive oxygen species ของถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เมื่อได้รับความเครียดจากภาวะขาดน้ำ

ชื่อผู้วิจัย ปรีดา บุญ-หลง และคณะ

เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ ตุลาคม พ.ศ. 2550

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อภาวะแล้งและภาวะเค็มของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 สามารถเจริญเติบโตในภาวะแล้งได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 โดยที่ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 สามารถรักษาระดับปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงไว้ได้ดีกว่าในช่วงที่เผชิญกับภาวะแล้ง ทั้งยังสามารถฟื้นตัวได้เร็วกว่าด้วย นอกจากนี้ ยังพบการทำงานของเอนไซม์ catalase ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 อย่างไรก็ตาม ในการตอบสนองต่อภาวะเค็ม พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีความสามารถในการรักษาน้ำหนักแห้งต้นไว้ได้ถึง 15 วันหลังจากเผชิญกับภาวะเค็มที่ 80 mM ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 มีความสามารถในการรักษาน้ำหนักแห้งต้นไว้ได้เพียง 12 วันหลังเผชิญกับภาวะเค็มที่ 40 และ 80 mM นอกจากนี้ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ยังสามารถรักษาระดับปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงในใบล่างไว้ได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ตลอดระยะเวลา 18 วันที่อยู่ในภาวะเค็ม การทนต่อภาวะเค็มของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 นี้มีความสัมพันธ์กับระบบขจัด ROSs อย่างชัดเจน โดยพบว่าเป็นการทำงานร่วมกันของเอนไซม์ superoxide dismutase และ catalase ในใบบริเวณยอด catalase ascorbate peroxidase และ glutathione reductase ในใบล่าง ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าว ทำให้ระบุได้ว่าประสิทธิภาพของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ในการต้านทานต่อภาวะแล้งและเค็มที่แตกต่างกันส่วนหนึ่งมาจากบทบาทในการขจัด ROSs ของเอนไซม์ในระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Project Title Reactive Oxygen Species Scavenging Systems in Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) During Water Stress

Name of the Investigators Preeda Boon-Long et al.

Year October 2007

Abstract

Comparison of physiological responses to drought and salt stress was studied in two cultivars of soybean *(Glycine max* (L.) Merrill), SJ5 and KKU 35. It was found that KKU 35 exhibited better growth than SJ5 during drought stress which was indicated by the capacity to maintain photosynthetic pigments and the recovery after rewatering. Moreover, catalase activity was increased significantly in both upper and lower leaves of KKU5 soybean. However, SJ5 showed the capacity in maintaining dry weight for 15 days of 80 mM salt stress whereas KKU35 could only maintain dry weight for 12 days of 40 and 80 mM salt stress. Furthermore, SJ5 had the ability to maintain photothynthetic pigments in lower leaf during 18 days of salt stress. Salt stress tolerance of SJ5 clearly related to antioxidant system which was the synergistic effect of superoxide dismutase and catalase activities in upper leaves and catalase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase activity in lower leaves. Taken together, it was suggested that the difference between the efficiency of drought and salt stress resistance in both soybean varieties is partly influenced by scavenging role of antioxidant enzymatic system.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
รายการตารางประกอบ	ฉ
รายการรูปประกอบ	ฏ
บทนำ	1
การสำรวจแนวคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
วิธีการวิจัย	6
ผลการวิจัย	9
อภิปรายผลการวิจัย	64
สรุปผลการวิจัย	69
ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่ 1 น้ำหนักสดต้น (Shoot fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 10

ตารางที่ 2 น้ำหนักสดต้น (Shoot fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 10

ตารางที่ 3 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 11

ตารางที่ 4 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 11

ตารางที่ 5 น้ำหนักสดราก (Root fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 13

ตารางที่ 6 น้ำหนักสดราก (Root fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 13

ตารางที่ 7 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 14

ตารางที่ 8 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 14

ตารางที่ 9 พื้นที่ใบ (Leaf area, cm2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 16

ตารางที่ 10 พื้นที่ใบ (Leaf area, cm2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 16

ตารางที่ 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl a contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 20

ตารางที่ 12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl a contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 20

ตารางที่ 13 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl a contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ16 วัน 21

หน้า

ตารางที่ 14 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 21

ตารางที่ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 22

ตารางที่ 16 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 22

ตารางที่ 17 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 23

ตารางที่ 18 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 23

ตารางที่ 19 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 24

ตารางที่ 20 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 24

ตารางที่ 21 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 25

ตารางที่ 22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ16 วัน 25

ตารางที่ 23 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ16 วัน 26

ตารางที่ 24 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 26

หน้า

ตารางที่ 25 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 27

ตารางที่ 26 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 27

ตารางที่ 27 น้ำหนักสดต้น (Shoot fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 29

ตารางที่ 28 น้ำหนักสดต้น (Shoot fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 29

ตารางที่ 29 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 30

ตารางที่ 30 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 30

ตารางที่ 31 น้ำหนักสดราก (Root fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 32

ตารางที่ 32 น้ำหนักสดราก (Root fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 32

ตารางที่ 33 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 33

ตารางที่ 34 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 33

ตารางที่ 35 พื้นที่ใบ (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 34

ตารางที่ 36 พื้นที่ใบ (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 34

ตารางที่ 37 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, g g^{-1} day^{-1}) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 วัน (RGR_{0-6}) 12 วัน (RGR_{6-12}) และ 18 วัน (RGR_{12-18}) 36

ตารางที่ 38 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, g g^{-1} day^{-1}) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 วัน (RGR_{0-6}) 12 วัน (RGR_{6-12}) และ 18 วัน (RGR_{12-18}) 36

ตารางที่ 39 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 38

ตารางที่ 40 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 38

หน้า

ตารางที่ 41 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 39

ตารางที่ 42 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 39

ตารางที่ 43 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 41

ตารางที่ 44 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 41

ตารางที่ 45 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 42

ตารางที่ 46 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 42

ตารางที่ 47 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 43

ตารางที่ 48 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆกัน 43

ตารางที่ 49 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 44

ตารางที่ 50 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของ ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 44

ตารางที่ 51 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 45

ตารางที่ 52 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 45

ตารางที่ 53 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 46

ตารางที่ 54 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน 46

ตารางที่ 55 SOD activity (units mg^{-1}protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 48

ตารางที่ 56 SOD activity (units mg^{-1}protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 48

ตารางที่ 57 SOD activity (units mg^{-1}protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 49

หน้า

ตารางที่ 58 SOD activity (units mg^{-1}protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 49

ตารางที่ 59 CAT activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 51

ตารางที่ 60 CAT activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 51

ตารางที่ 61 CAT activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 52

ตารางที่ 62 CAT activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 52

ตารางที่ 63 GR activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 53

ตารางที่ 64 GR activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 53

ตารางที่ 65 GR activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 54

ตารางที่ 66 GR activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 54

ตารางที่ 67 AP activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 55

ตารางที่ 68 AP activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 55

ตารางที่ 69 AP activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 56

ตารางที่ 70 AP activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน 56

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

หน้า

รูปที่ 1 กิจกรรมของ SOD ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และ ใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 1 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง 59

รูปที่ 2 กิจกรรมของ CAT ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และ ใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 1 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง 59

รูปที่ 3 กิจกรรมของ GR ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และ ใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 1 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง 60

รูปที่ 4 กิจกรรมของ AP ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และ ใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 1 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง 60

รูปที่ 5 กิจกรรมของ SOD ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และ ใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 1 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง 62

รูปที่ 6 กิจกรรมของ CAT ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และ ใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 1 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง 62

รูปที่ 7 กิจกรรมของ GR ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และ ใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 1 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง 63

รูปที่ 8 กิจกรรมของ AP ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และ ใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 1 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง 63

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยและทวีความสำคัญขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีความต้องการทั้งการบริโภคตรงและในอุตสาหกรรมอาหารประเภทต่างๆ ผลผลิตถั่วเหลืองภายในประเทศในปัจจุบันไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงต้องมีการนำเข้าถั่วเหลืองปีละปริมาณมาก

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้การผลิตถั่วเหลืองภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการก็เนื่องมาจากผลผลิตต่อไร่ต่ำ และ พื้นที่การผลิตมีจำกัด พื้นที่ปลูกถั่วเหลืองของประเทศมากกว่าร้อยละ 50 ต้องอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ ทำให้ปริมาณผลผลิตเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพดินฟ้าอากาศ นอกจากนั้น ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีความสามารถในการทนเค็มต่ำโดยธรรมชาติ (สมศรี อรุณินท์, 2532) ทำให้พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกถั่วเหลืองมีจำกัด ด้วยความต้องการใช้ถั่วเหลืองมีสูงกว่ากำลังการผลิตภายในประเทศ การพัฒนาพันธุ์ถั่วเหลืองจึงมีอย่างต่อเนื่องมานานกว่า 60 ปี (ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537) ซึ่งในปัจจุบันมีพันธุ์มาตรฐานสำหรับการเพาะปลูกในเขตต่างๆทั่วประเทศหลายสายพันธุ์ เช่น สจ.2 สจ.4 สจ.5 เชียงใหม่60 และ มข.35 เป็นต้น ในการพัฒนาพันธุ์ถั่วเหลืองโดยมากเป็นการพัฒนาคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ในแปลงทดลองและตรวจสอบ แม้จะเป็นที่ยอมรับว่าการใช้ข้อมูลทางสรีรวิทยาเชื่อมโยงกับข้อมูลทางพันธุกรรมจะสามารถใช้ประกอบการพัฒนาพันธุ์ (วิระศักดิ์ เทพจันทร์ และ คณะ , 2541) แต่การปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองโดยอาศัยข้อมูลดังกล่าวยังมีไม่มากนัก ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาในถั่วเหลืองเมื่อเผชิญกับภาวะขาดน้ำทั้งในลักษณะการขาดน้ำเนื่องจากภาวะเค็ม และการขาดน้ำเนื่องจากภาวะแล้ง โดยเน้นการศึกษาระบบการขจัด reactive oxygen species (ROSs) ที่เกิดขึ้นเมื่อพืชได้รับภาวะเครียดดังกล่าว ซึ่งข้อมูลทางสรีรวิทยาที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการคัดเลือกพันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกในประเทศไทยต่อไปได้ในอนาคต

พืชที่ทนต่อภาวะแล้งและเค็มได้ต้องสามารถรักษากลไกในการป้องกันตัวเองให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้ภาวะเครียด และสามารถซ่อมแซมระบบที่ถูกทำลายจากภาวะเครียดให้กลับมาทำงานได้เป็นปกติภายในระยะเวลาอันสั้น มีการรักษาระดับของปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง และการรักษาสมดุลของระบบ antioxidant enzyme ในปัจจุบันยังไม่มีรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ของ oxidative stress ที่เกิดจากภาวะแล้งและเค็ม และ activity ของเอนไซม์ catalase, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase และ glutathione reductase ในถั่วเหลือง โดยเฉพาะในสายพันธุ์ที่มีการพัฒนาขึ้นในประเทศไทย **ดังนั้น การทดลองนี้จึงมุ่งศึกษาถึงผลของความเครียดจากการขาดน้ำในภาวะแล้งและภาวะเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และการตอบสนองของ antioxidant enzymes บางชนิด คือ catalase, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase และ glutathione reductaseในถั่วเหลือง เพื่อตรวจสอบสมมติฐานว่าถั่วเหลืองที่มีความสามารถในการทนภาวะเครียดจากการขาดน้ำได้ดีนั้นควรมีระบบการขจัด reactive oxygen species ที่มีประสิทธิภาพด้วย**เพื่อใช้เป็นข้อมูลทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองที่จะนำไปเชื่อมโยงกับข้อมูลทางพันธุกรรมและใช้ในการพัฒนาพันธุ์ถั่วเหลืองต่อไป โดยในการศึกษาในครั้งนี้จะใช้ถั่วเหลืองพันธุ์มาตรฐานสองพันธุ์ คือ สจ.5 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกโดยทั่วไป และมข.35ซึ่งเป็นพันธุ์ที่คัดเลือกเพื่อปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออันเป็นพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งและความเค็มสูง เป็นพืชทดลอง

สำหรับรายงานฉบับนี้เป็นการรายงานถึงการเปรียบเทียบความสามารถในการทนทานต่อภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 โดยใช้ข้อมูลทางด้านการเจริญเติบโตและปริมาณรงควัตถุขณะที่พืชได้รับภาวะแล้งและการฟื้นตัวภายหลังภาวะแล้งสิ้นสุดลงเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาระบบขจัด reactive oxygen species ของถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เมื่อได้รับความเครียดจากภาวะแล้งในขั้นตอนต่อไป

<u>วัตถุประสงค์ของโครงการ</u>

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานต่อภาวะแล้งและภาวะเค็มโดยพิจารณาจากผลของภาวะแล้งและเค็ม ที่มีต่อการเจริญเติบโตและปริมาณรงควัตถุที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35

2. เพื่อศึกษาผลของภาวะแล้งและเค็มต่อการเปลี่ยนแปลง activity ของเอนไซม์ catalase, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase และ glutathione reductase ในถั่วเหลืองทั้งสองสายพันธุ์คือพันธุ์ สจ.5 และ มข.35

3. เพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภาวะแล้งและภาวะเค็มกับการทำงานของเอนไซม์ catalase, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase และ glutathione reductase ในถั่วเหลืองทั้งสองสายพันธุ์ดังกล่าว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสำรวจแนวคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความเครียดจากการขาดน้ำ (water stress) มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช ความเครียดจากการขาดน้ำในธรรมชาติอาจมีสาเหตุมาจาก ภาวะแล้ง (ภาวะที่ปริมาณน้ำในดินมีน้อย) ภาวะเค็ม (ภาวะที่มีความเข้มข้นของเกลือในดินสูง) หรือภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ (ภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำมากจนกระทั่งน้ำในดินกลายเป็นน้ำแข็ง พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้) (Shinozaki *et al.*, 1998) ดังนั้นเมื่อพืชขาดน้ำ ก็จะมีการตอบสนองทั้งทางด้าน สรีรวิทยา สัณฐานวิทยา และ กายวิภาค เพื่อให้ตัวพืชเองสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในภาวะเครียดดังกล่าว

ปัจจัยหลักที่ทำให้ภาวะการขาดน้ำมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชเนื่องมาจาก ไม่ว่าพืชจะประสบกับการขาดน้ำจากสาเหตุใดๆก็ตามพืชจะตอบสนองด้วยการลดการสูญเสียน้ำโดยการปิดปากใบ (stomatal closure) ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่จะเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงลดต่ำลง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงต่ำลงทำให้พืชสามารถสร้างอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตลดลงด้วย (Yeo, 1998) นอกจากนั้นการที่พืชขาดน้ำยังทำให้แรงดันเต่งภายในเซลล์ลดต่ำลงอันจะมีผลต่อการขยายขนาดของเซลล์ส่งผลถึงการเจริญเติบโต (Yeo *et al*., 1991)

ผลจากการขาดน้ำที่ต่อเนื่องจากการที่พืชปิดปากใบ คือการเพิ่มการเกิด reactive oxygen species (ROSs) ขึ้นภายในเซลล์ซึ่งไปมีผลทำให้เกิด lipid peroxidation และการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ และ ออร์กาแนลล์ต่างๆ (Elstner and Osswald, 1994) รวมทั้งคลอโรพลาสต์มีผลทำให้หน่วยการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกทำลายและปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงซึ่งทำให้การเจริญเติบโตลดลงด้วย การที่มี ROSs เพิ่มมากขึ้นจากการที่พืชปิดปากใบนี้เนื่องจากเมื่อกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ถูกยับยั้งทำให้เกิด overreduction ใน electron transport chain ในการถ่ายทอดอิเลคตรอนของ Light reaction ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Bowler *et al*., 1992) ทำให้อิเลคตรอนถูกส่งไปยังสารอื่นๆที่มีความสามารถในการรับอิเลคตรอนที่อยู่ในบริเวณนั้น เช่น O_2 และมีปฏิกิริยาต่อเนื่องเกิดเป็น ROSs ชนิดต่างๆ การที่ภายในเซลล์พืชมีการสะสมของ ROSs มากเกินไปนี้ เรียกว่าการเกิด oxidative stress (Scandalios, 1993; Salin, 1987)

ภาวะแล้ง และ ภาวะเค็มเป็นสาเหตุของการเกิด oxidative stress ในพืชหลายชนิด เช่นในถั่ว pea (*Pisum sativum* L. cv. *Frilene*) (Moran *et al*., 1994; Hernandez *et al*., 1995) ข้าวสาลี (*Triticum durum* L.cv.*Ofanto*) (Zhang and Kirkham, 1994;Menconi *et al*., 1995) ฝ้าย (*Gossypium hirsutum* L.) (Gosset *et al*., 1994), ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) (Sgherri *et al*., 1996), *Arabidopsis thaliana* และ *ข้าว (Oryza sativa* L.) (Burdon *et al*., 1996) เป็นต้น

การเกิด ROSs ภายในเซลล์พืชเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นปกติโดยจะเกิดในบริเวณที่มีกระบวนการทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดอิเลคตรอนและมี O_2 อยู่ในบริเวณดังกล่าวพร้อมๆกัน เช่น ในกระบวนการถ่ายทอดอิเลคตรอนในกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน หรือการถ่ายทอดอิเลคตรอนใน light reaction ของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นต้น พืชจะมีระบบการขจัด ROSs ได้ทันท่วงทีก่อนที่จะเกิด lipid peroxidation และการทำลายเยื่อหุ้มต่างๆจนเสียระบบการทำงานภายในเซลล์ ระบบการขจัด ROSs ภายในพืชมี 2 ระบบ คือ ระบบที่ไม่ใช้เอนไซม์และใช้เอนไซม์ (non-enzymatic and enzymatic systems) โดยระบบที่ไม่ใช้เอนไซม์ประกอบด้วยสารประกอบที่มีความสามารถสูงในการรับอิเลคตรอนและไม่เป็นอันตรายแก่ตัวเอง เช่น carotenoids, phenolic compounds, ascorbic acid, α-tocopherol และ

glutathione เป็นต้น ส่วน enzymatic system ประกอบด้วยเอนไซม์ ใน ascorbate-glutathione cycle เช่น superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase(AP), glutathione reductase (GR) และ catalase ซึ่งมีบทบาทใน peroxisome เอนไซม์เหล่านี้มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน ROSs ให้เป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายแก่เซลล์ (for review: Scandalios, 1993; Salin, 1987)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบการขจัด ROSs แบบใช้เอนไซม์เมื่อพืชเผชิญกับความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ พบการตอบสนองแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชและชนิดของเอนไซม์ที่ทำการศึกษา ในภาวะแล้งที่ทำการศึกษาใน ถั่ว pea (Moran *et al*., 1994) และ ข้าวสาลี (Zhang and Kirkham, 1994) พบว่า peroxidase และ superoxide dismutase มีการตอบสนองไปในทำนองเดียวกันคือมี activity สูงขึ้น แต่สำหรับ catalase และ glutathione reductase กลับพบการตอบสนองแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช กล่าวคือ catalase activity (Zhang and Kirkham, 1994) และ glutathione reductase activity(Burke *et al*., 1985) เพิ่มขึ้นในข้าวสาลี แต่กลับลดลง ในถั่ว pea (Moran *et al*., 1994) ที่เจริญในภาวะแล้ง สำหรับการศึกษาการตอบสนองต่อภาวะเค็มในข้าวพบว่า glutathione reductase ถูกชักนำให้มีการทำงานเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ superoxide dismutase มี activityต่ำลง (Singha and Choudhuri, 1990; Fadzilla *et al*., 1997)

แต่อย่างไรก็ดี ยังไม่พบรายงานที่มีการศึกษาพืชชนิดเดียวกันที่มีการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อ oxidative stress ของ ROS enzymatic scavenging system ที่มาจากสาเหตุต่างกันว่ามีกลไกเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

การที่พบว่าเอนไซม์บางชนิดในระบบการขจัด ROSs มีการทำงานดีขึ้นอาจมีความสัมพันธ์ต่อความสามารถในการทนต่อการขาดน้ำได้ ดังจะเห็นได้จากการคัดเลือก embryogenic callus ของมะนาว (*Citrus limon* (L.) Burm. f. cv.verna) ที่ทนเค็มพบว่ามี superoxide dismutase และ peroxidase activity สูงขึ้น ส่วน catalase ไม่เปลี่ยนแปลง (Piqueras *et al*., 1996) ส่วนใน Fox-tail millet ก็เช่นกันที่พบว่าในสายพันธุ์ที่ทนเค็ม (cv. Prasad) มี peroxidase activity สูงขึ้น และ lipid peroxidation ต่ำลงเมื่อเทียบกับสายพันธุ์ Lepakshi ซึ่งไม่ทนเค็ม (Sreenivasula *et al*. ,1999) นอกจากนี้ Pastori and Trippi (1992) รายงานว่าในข้าวโพดสายพันธุ์ทนแล้ง จะพบ glutathione reductase เพิ่มสูงขึ้น เมื่อมี oxidative stress

นอกจากนี้การใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมเพื่อตัดต่อยีนที่เกี่ยวข้องกับระบบการขจัด ROSเพื่อให้มีการแสดงออกมากขึ้นทำให้พืชมีความต้านทานต่อภาวะขาดน้ำดีขึ้นดังจะเห็นได้จาก ใน transgenic rice ที่มีการ overexpress gene ที่ควบคุมการสร้าง Mn-superoxide dismutase สามารถชักนำให้พืชทนเค็มได้ และยังสามารถชักนำให้ ascorbate peroxidase activity ในพืชนี้เพิ่มขึ้นอีกด้วย (Tanaka *et al*., 1999)

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย และเป็นพืชที่มีความต้านทานต่ำต่อภาวะแล้งและภาวะเค็ม (สมศรี อรุณินทร์, 2532) แม้ว่าการปรับปรุงพันธุ์ของถั่วเหลืองในประเทศไทยจะได้มีการปฏิบัติกันมาไม่ต่ำกว่า 60 ปี และได้พันธุ์มาตรฐานเพื่อใช้ในการเพาะปลูกภายในประเทศหลายพันธุ์แล้วก็ตาม (ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537)การศึกษาทางสรีรวิทยาเพื่อนำผลไปใช้ประกอบในการปรับปรุงพันธุ์ยังมีไม่มากนัก สาเหตุหนึ่งมาจากการขาดข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำมาประยุกต์ใช้

แม้ว่าถั่วเหลืองมีความต้านทานต่อภาวะแล้ง และเค็มไม่ดีนักแต่ปัจจุบันก็ได้มีการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีดินเค็ม และมักจะต้องเผชิญกับ

ภาวะฝนทิ้งช่วงนานกว่าบริเวณอื่นๆของประเทศ คือพันธุ์ มข.35 จึงเป็นที่น่าศึกษาว่าพันธุ์ดังกล่าวนี้มีความสามารถในการทนทานต่อภาวะเค็มและแล้งได้ดีกว่าพันธุ์มาตรฐานที่นิยมปลูกในพื้นที่ภาคอื่นๆอย่างไร โดยการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ มข.35 กับ สจ.5 ซึ่งเป็นพันธุ์มาตรฐานอีกพันธุ์หนึ่งที่ได้รับความนิยมปลูกกันในปัจจุบัน

การศึกษาความสามารถในการต้านทานต่อภาวะแล้งและภาวะเค็มนั้นจะอาศัยดัชนีที่จะใช้ในการเปรียบเทียบคือ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง พื้นที่ใบ อัตราการเจริญเติบโต และปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อน้ำหนักเนื้อเยื่อใบ ซึ่งได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll *a*) คลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll *b*) คลอโรฟิลล์รวมทั้งหมด (total chlorophyll) และ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) นอกจากนี้การเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานต่อภาวะแล้งจะเปรียบเทียบความสามารถในการฟื้นตัวกลับของพืชเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง ซึ่งจะบ่งถึงความสามารถในการฟื้นตัวของพืชภายหลังจากภาวะฝนทิ้งช่วงในธรรมชาติด้วย จากนั้นจะได้ทำการศึกษาบทบาททางสรีรวิทยาของเอนไซม์ในระบบการขจัด ROSs ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ระบบการทำงานต่างๆของพืชถูกทำลายอันเนื่องมาจากภาวะแล้ง และภาวะเค็มของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ แล้ววิเคราะห์ผลว่าการทำงานของเอนไซม์ในระบบการขจัด ROSs มีความสัมพันธ์กับความต้านทานต่อภาวะแล้งและเค็มหรือไม่ อย่างไร รวมทั้งยังสามารถตอบคำถามทางสรีรวิทยาที่ว่าหากมีการเกิด ROSs เพิ่มมากขึ้นด้วยปัจจัยภายนอกที่ต่างกัน ระบบการป้องกันตนเองของพืชจะมีกลไกที่เหมือนหรือต่างกันอย่างไรอีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการวิจัย

1. การเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานต่อภาวะแล้งในระยะต้นกล้าของถั่วเหลือง และความสามารถในการฟื้นตัวเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 และ สจ.5

1.1 การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) มีจำนวนซ้ำเท่ากับ 4 โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง พันธุ์ มข.35 และ สจ.5.ในระยะต้นกล้าอายุ 10-30 วัน ภาวะการปลูกแบบ water culture ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ที่มีการสร้างภาวะแล้งจำลองโดยการเพิ่ม สารPEG 4000 (Polyethyleneglycol 4000) ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 และ 5% โดยมีการทดลองชุดควบคุมคือการปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ที่ไม่มีการเติม PEG เก็บผลการทดลองภายหลังจากการย้ายปลูกในภาวะแล้งในวันที่ 0 3 และ 6 วัน จากนั้นย้ายเปลี่ยนสารละลายเป็นสารละลายHoagland ที่ไม่มี PEG หลังจากนั้นในวันที่ 3 6 9 และ 16 วัน เก็บผลการทดลองอีกครั้งหนึ่ง

ดัชนีที่จะใช้ในการบ่งบอกการเจริญเติบโตมีดังนี้

1.1.1 น้ำหนักสดของต้นและราก

1.1.2 น้ำหนักแห้งของต้นและราก หลังจากชั่งน้ำหนักสดนำเนื้อเยื่อไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C นาน 48 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนักแห้ง

1.1.3 พื้นที่ใบ วัดความยาว และความกว้างของใบ แล้วคำนวณพื้นที่ใบจาก

พื้นที่ใบ = K (ความกว้างใบ x ความยาวใบ) K = 0.7

ค่า K ได้มาจากการหา correlation coefficient ของ ผลคูณของความกว้าง กับความยาวของใบ กับ พื้นที่ใบที่ได้จากการใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ (portable area meter LI-COR Model 3000A)

1.1.4 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, RGR) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโต โดยวัดในรูปน้ำหนักแห้งของพืชต่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม/กรัม-วัน) (Beadle, 1993)

1.2 การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

วางแผนและเก็บผลการทดลองในทำนองเดียวกันกับข้อ 1.1 วิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งได้แก่ คลอโรฟิลล์ *a* คลอโรฟิลล์ *b* คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ โดยสกัดใบถั่วเหลืองด้วย acetone 80% ตามวิธีของ Zhang and Kirkham (1996) วัดค่า absorbance ที่ 663.2 646.8 และ 470 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณรงควัตถุด้วยสมการของ Lichtenthaler (1987)

1.3 วิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อแสดงถึงผลของภาวะเค็มที่มีต่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ และความสามารถในการต้านทานความเค็มของถั่วเหลืองสองพันธุ์ดังกล่าว

2. การเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานภาวะเค็มในระยะต้นกล้าของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และพันธุ์ มข.35

2.1 การศึกษาผลของภาวะเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) มีจำนวนซ้ำเท่ากับ 4 โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง พันธุ์ มข.35 และ สจ.5.ในระยะต้นกล้าอายุ 10-30 วัน ภาวะการปลูกแบบ water culture ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland (1950) ที่มีการเพิ่มความเค็มโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 mM โดยมีการทดลองชุดควบคุมคือการปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ที่ไม่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ เก็บผลการทดลองภายหลังจากการย้ายปลูกในภาวะเค็มในวันที่ 0 6 12 15 และ 18 วัน ดัชนีที่จะใช้ในการบ่งบอกการเจริญเติบโตเช่นเดียวกันกับ ข้อ 1.1

2.2 การศึกษาผลของภาวะเค็มที่มีต่อปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

วางแผนและเก็บผลการทดลองในทำนองเดียวกันกับข้อ 2.1 วิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นเดียวกับข้อ 1.2

2.3 วิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อแสดงถึงผลของภาวะเค็มที่มีต่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ และความสามารถในการต้านทานความแล้งของถั่วเหลืองสองพันธุ์ดังกล่าว

3. การศึกษาผลของภาวะแล้งและเค็มต่อการเปลี่ยนแปลง activity ของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) glutathione reductase (GR) และ ascorbate peroxidase (AP) ในถั่วเหลือง

3.1 การศึกษาผลของภาวะแล้งในช่วง 0-6 วัน และ หลังการได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลง activity ของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) glutathione reductase (GR) และ ascorbate peroxidase (AP) ในถั่วเหลือง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) มีจำนวนซ้ำเท่ากับ 4 โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบ enzyme activity ในใบล่าง (ใบ trifoliate leaf ใบแรก) และใบบริเวณยอด (ใบที่สองนับจากยอด) ของถั่วเหลือง พันธุ์ มข.35 และ สจ.5.ในระยะต้นกล้า อายุ 10-30 วัน ภาวะการปลูกแบบ water culture ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ที่มีการสร้างภาวะแล้งจำลองโดยการเพิ่ม สาร PEG 4000 (Polyethyleneglycol 4000) ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 และ 5.0 % โดยมีการทดลองชุดควบคุมคือการปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ที่ไม่มีการเติม PEG เก็บผลการทดลองภายหลังจากการย้ายปลูกในภาวะแล้งในวันที่ 0 3 และ 6 วัน จากนั้นย้ายเปลี่ยนสารละลายเป็นสารละลาย Hoagland ที่ไม่มี PEG หลังจากนั้นเก็บผลการทดลองเพื่อศึกษาการฟื้นตัวภายหลังสิ้นสุดภาวะแล้งในวันที่ 3 6 9 และ 16 วันหลังสิ้นสุดภาวะแล้ง

3.1.1 การวิเคราะห์ SOD activity

สกัด SOD จากใบถั่วเหลือง 0.5 กรัม ตามวิธีของ Moran *et al*. (1994) และวิเคราะห์ activity ของ SOD โดยการวัดประสิทธิภาพการยับยั้งปฏิกิริยาของ cytochrome c reduction โดย superoxide (Foster

and Hess, 1980) 1unit ของเอนไซม์ หมายถึง ปริมาณของเอนไซม์ SOD ที่สามารถยั้บยั้ง cytochrome c reduction ได้ 50 %

3.1.2 การวิเคราะห์ CAT activity

สกัด CAT จากใบถั่วเหลือง 0.5 กรัม ตามวิธีของ Beers and Sizer (1952) และวิเคราะห์ activity ของ CAT โดยการวัดอัตราการลดลงของการดูดกลืนแสงของ H_2O_2 ที่ A_{240} nm ด้วย spectrophotometer โดย 1 unit ของ CAT หมายถึง ปริมาณเอนไซม์ที่สามารถสลาย H_2O_2 ได้ 1 μmole ภายในเวลา 1 นาที

3.1.3 การวิเคราะห์ GR activity

สกัด GR จากใบถั่วเหลือง 0.5 กรัม และวิเคราะห์ activity ของ GR โดยวัดอัตราการลดลงของการดูดกลืนแสงของ β-NADPH ที่ A_{340} nm ด้วย spectrophotometer ตามวิธีของ Mavis and Stellwagen (1968) โดย 1 unit ของเอนไซม์ หมายถึง การเร่งปฏิกิริยา การเกิด oxidation ของ NADPH 1 μmole ในเวลา 1 นาที

3.1.4 การวิเคราะห์ AP activity

สกัด AP จากใบถั่วเหลือง 0.5 กรัม ตามวิธีของ Nakano and Asada (1990) และวิเคราะห์ activity ของ AP โดยวัดอัตราการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงของ sodium ascorbate ที่ A_{290} nm ด้วย spectrophotometer โดย 1 unit ของเอนไซม์ หมายถึง การเร่งปฏิกิริยา oxidation ของ ascorbate 1 mmole ต่อเวลา 1 นาที

3.2 การศึกษาผลของภาวะแล้งและเค็มต่อการเปลี่ยนแปลง activity ของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) glutathione reductase (GR) และ ascorbate peroxidase (AP) ในถั่วเหลืองที่มีการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากความเค็มและความแล้งในระยะสั้น

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) มีจำนวนซ้ำเท่ากับ 4 โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบ enzyme activity ในใบล่าง (ใบ trifoliate leaf ใบแรก) และใบบริเวณยอด (ใบที่สองนับจากยอด) ของถั่วเหลือง พันธุ์ มข.35 และ สจ.5.ในระยะต้นกล้า อายุ 10-30 วัน ภาวะการปลูกแบบ water culture ในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ที่มีการสร้างภาวะแล้งจำลองโดยการเพิ่ม สาร PEG 4000 (Polyethyleneglycol 4000) ที่ระดับความเข้มข้น 5.0 % โดยมีการทดลองชุดควบคุมคือการปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ที่ไม่มีการเติม PEG เก็บผลการทดลองภายหลังจากการย้ายปลูกในภาวะแล้ง เมื่อเวลา 0 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง ภายหลังได้รับภาวะเครียด ทำการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ ตามวิธีที่ระบุไว้ในข้อ 3.1

4. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง activity ของเอนไซม์ที่ทำการศึกษา และความสามารถในการต้านทานต่อภาวะเค็มและภาวะแล้ง

5. สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน

ผลการวิจัย

1. การเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานต่อภาวะแล้งในระยะต้นกล้าของถั่วเหลือง และความสามารถในการฟื้นตัวเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 และ สจ.5

1.1 การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์

1.1.1 ผลของภาวะแล้งที่มีต่อน้ำหนักสดของต้น และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดต้นเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง

การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อน้ำหนักสด และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดต้นเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (ตารางที่ 1) และพันธุ์ มข.35 (ตารางที่ 2) พบว่า สำหรับพันธุ์ สจ.5 ภาวะแล้งที่ระดับความเข้มข้นของ PEG 2.5 % และ 5.0 %มีผลทำให้น้ำหนักสดของต้นพืชต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถสังเกตความแตกต่างนี้ได้ในวันที่ 6 หลังจากได้รับภาวะแล้ง และแม้ว่าจะผ่านพ้นภาวะแล้งไปแล้วถึง 16 วัน อิทธิพลของภาวะแล้งนี้ยังส่งผลให้น้ำหนักสดของต้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งที่ 2.5 และ 5.0 % PEG มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมประมาณ 3 เท่า

การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อน้ำหนักสดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 (ตารางที่ 2) ไม่สามารถสังเกตอิทธิพลของภาวะแล้งที่ทำให้น้ำหนักสดของต้นถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ต่ำกว่าชุดควบคุมภายใน 6 วัน หลังจากได้รับภาวะแล้ง แต่จะส่งผลให้น้ำหนักสดของต้นถั่วเหลืองต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญภายหลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งแล้วตั้งแต่วันที่ 3-16 หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้ง และในวันที่ 16 หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้ง น้ำหนักสดของต้นถั่วเหลืองชุดควบคุมซึ่งไม่เคยได้รับภาวะแล้งมีค่าสูงกว่าน้ำหนักสดของต้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งที่ระดับ 2.5 % และ 5.0 % PEG ประมาณ 2.4 และ 3.0 เท่า ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ภายหลังจากได้รับภาวะแล้ง พบว่า ภาวะแล้งที่ระดับ 2.5 และ 5.0 % PEG มีผลต่อน้ำหนักสดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มากกว่าพันธุ์ มข.35

1.1.2 ผลของภาวะแล้งที่มีต่อน้ำหนักแห้งของต้นและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งต้นเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง

การศึกษาผลของภาวะแล้งต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (ตารางที่ 3) และพันธุ์ มข.35 (ตารางที่ 4) พบว่า สำหรับพันธุ์ สจ.5 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสด โดยพบว่า ในภาวะแล้งทั้งระดับ 2.5 และ 5.0 % PEG มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของต้นถั่วเหลืองต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และผลของภาวะแล้งต่อน้ำหนักแห้งนี้ก็ดำรงอยู่แม้ว่าจะสิ้นสุดภาวะแล้งแล้วถึง 16 วัน ซึ่งพบว่าพืชควบคุมมีน้ำหนักแห้งต้นสูงกว่าต้นพืชที่ได้รับภาวะแล้งที่ระดับ 2.5 และ 5.0 % PEG ประมาณ 2.2 และ 2.6 เท่าตามลำดับ

ผลของภาวะแล้งที่มีต่อน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 พบว่า สามารถสังเกตพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมได้หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งแล้วเป็นเวลา 9 วัน และพบว่าเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน น้ำหนักแห้งของต้นถั่วเหลืองชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าน้ำหนักแห้งของต้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งที่ระดับ 2.5 และ 5.0 % PEG ประมาณ 2.7 และ 2.6 เท่า ตามลำดับ

ตารางที่ 1 น้ำหนักสดต้น (Shoot fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Shoot fresh weight, grams (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5.0 % PEG	
D0	2.193(±0.182)[a]	2.428(±0.278)[a]	2.169(±0.172)[a]	NS
D3	2.707(±0.213)[a]	2.450(±0.191)[a]	2.208(±0.402)[a]	NS
D6	5.860(±0.522)[a]	3.368(±0.121)[b]	3.858(±0.244)[b]	**
R3	5.429(±0.733)[a]	2.840(±0.327)[b]	2.657(±0.151)[b]	**
R6	11.147(±1.268)[a]	2.859(±0.202)[b]	4.338(±0.890)[b]	**
R9	7.976(±1.268)[a]	4.003(±0.325)[b]	2.658(±0.523)[b]	**
R16	34.104(±2.804)[a]	11.237(±1.610)[b]	11.557(±1.831)[b]	**

ตารางที่ 2 น้ำหนักสดต้น (Shoot fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Shoot fresh weight, grams (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5.0 % PEG	
D0	3.265(±0.360)[a]	3.396(±0.321)[a]	2.644(±0.186)[a]	NS
D3	3.515(±0.196)[a]	3.315(±0.231)[a]	2.660(±0.264)[a]	NS
D6	5.078(±0.707)[a]	5.636(±0.456)[a]	4.195(±0.386)[a]	NS
R3	5.632(±0.261)[a]	4.024(±0.344)[b]	3.820(±0.304)[b]	**
R6	12.297(±1.674)[a]	5.695(±1.126)[b]	7.602(±0.719)[b]	**
R9	10.665(±1.633)[a]	6.234(±0.401)[b]	4.281(±0.775)[b]	**
R16	27.959(±3.101)[a]	11.605(±1.372)[b]	9.329(±1.583)[b]	**

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 3 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Shoot dry weight, grams (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5.0 % PEG	
D0	0.249(±0.026)[a]	0.280(±0.031)[a]	0.245(±0.026)[a]	NS
D3	0.313(±0.031)[a]	0.299(±0.027)[a]	0.286(±0.052)[a]	NS
D6	0.717(±0.077)[a]	0.506(±0.016)[b]	0.551(±0.048)[ab]	*
R3	0.662(±0.095)[a]	0.434(±0.028)[b]	0.427(±0.033)[b]	*
R6	1.328(±0.171)[a]	0.476(±0.046)[b]	0.688(±0.147)[b]	**
R9	0.982(±0.151)[a]	0.578(±0.047)[b]	0.432(±0.076)[b]	**
R16	4.241(±0.407)[a]	1.581(±0.224)[b]	1.626(±0.280)[b]	**

ตารางที่ 4 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Shoot dry weight, grams (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5.0 % PEG	
D0	0.412(±0.045)[a]	0.433(±0.034)[a]	0.343(±0.038)[a]	NS
D3	0.419(±0.028)[a]	0.432(±0.027)[a]	0.348(±0.029)[a]	NS
D6	0.674(±0.108)[a]	0.810(±0.091)[a]	0.629(±0.062)[a]	NS
R3	0.702(±0.039)[a]	0.650(±0.060)[a]	0.677(±0.078)[a]	NS
R6	1.513(±0.244)[a]	0.912(±0.139)[a]	1.232(±0.106)[a]	NS
R9	1.374(±0.210)[a]	0.912(±0.022)[b]	0.683(±0.122)[b]	*
R16	3.422(±0.412)[a]	1.576(±0.185)[b]	1.349(±0.235)[b]	*

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

1.1.3 ผลของภาวะแล้งที่มีต่อน้ำหนักสดของราก และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดรากเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง

ภาวะแล้งที่ระดับ 2.5 และ 5.0 % PEG มีผลทำให้น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ต่ำกว่าน้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญหลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน (ตารางที่ 5) และดำรงสภาพดังกล่าวแม้ว่าจะสิ้นสุดภาวะแล้งแล้วถึง 16 วัน โดยพบว่าในวันที่ 16 หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้ง น้ำหนักสดรากของต้นพืชชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าน้ำหนักสดรากของพืชที่ได้รับภาวะแล้งที่ระดับ 2.5 และ 5.0 % PEG ประมาณ 3.2 และ 2.2 เท่า ตามลำดับ

ในทำนองเดียวกันกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ก็มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมภายหลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเช่นเดียวกัน แต่สามารถพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 6 หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้ง (ตารางที่ 6) ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยังคงพบในวันที่ 9 ภายหลังจากสิ้นสุดภาวะแล้ง แต่ในวันที่ 16 หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้ง พบว่าแม้ว่าน้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 จะมีค่าต่ำกว่าน้ำหนักสดรากของชุดควบคุมซึ่งไม่เคยได้รับภาวะแล้งเลย แต่ความแตกต่างนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เฉพาะน้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้งที่ 5.0 % PEG เท่านั้น ที่ยังคงมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดควบคุมมีน้ำหนักสดรากสูงกว่าชุดที่ได้รับภาวะแล้งที่ 5.0 % PEG ประมาณ 2.0 เท่า

1.1.4 ผลของภาวะแล้งที่มีต่อน้ำหนักแห้งของรากและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งรากเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง

ผลของภาวะแล้งที่มีต่อน้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เป็นไปในทำนองเดียวกันกับผลของภาวะแล้งที่มีต่อน้ำหนักสดราก (ตารางที่ 7) กล่าวคือ ผลของภาวะแล้งที่ทำให้น้ำหนักแห้งรากของต้นที่ได้รับภาวะแล้งต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญจะสังเกตเห็นได้ตั้งแต่วันที่ 3 หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้ง และในวันที่ 16 หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้ง น้ำหนักแห้งรากของชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าน้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งประมาณ 2.0 เท่า ทั้งสองระดับของภาวะแล้ง

ซึ่งความสอดคล้องของผลของภาวะแล้งที่มีต่อน้ำหนักแห้งของรากก็พบในถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เช่นกัน แต่ผลของภาวะแล้งที่ทำให้น้ำหนักแห้งรากแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ จะสังเกตได้ช้ากว่าผลของภาวะแล้งที่มีต่อน้ำหนักสดราก คือ น้ำหนักแห้งรากของต้นที่ได้รับภาวะแล้งที่ 2.5 และ 5.0 %PEG จะมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 9 หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้ง และหลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วันพบว่า น้ำหนักแห้งรากของชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าน้ำหนักแห้งรากของต้นที่ได้รับภาวะแล้งที่ 2.5 และ 5.0 %PEG ประมาณ 1.7 และ 2.0 เท่า ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 5 น้ำหนักสดราก (Root fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Root fresh weight, grams (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5.0 % PEG	
D0	1.153(±0.293)[a]	1.715(±0.207)[a]	1.295(±0.223)[a]	NS
D3	1.670(±0.255)[a]	1.630(±0.132)[a]	1.453(±0.344)[a]	NS
D6	3.375(±0.358)[a]	2.483(±0.280)[a]	2.808(±0.269)[a]	NS
R3	2.730(±0.514)[a]	1.278(±0.153)[b]	1.363(±0.181)[b]	*
R6	5.455(±0.607)[a]	1.680(±0.191)[b]	1.970(±0.191)[b]	**
R9	4.235(±0.769)[a]	2.305(±0.352)[b]	1.313(±0.336)[b]	**
R16	15.037(±0.753)[a]	4.803(±1.857)[b]	6.978(±1.190)[b]	**

ตารางที่ 6 น้ำหนักสดราก (Root fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Root fresh weight, grams (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5.0 % PEG	
D0	2.155(±0.221)[a]	1.810(±0.316)[a]	1.940(±0.184)[a]	NS
D3	2.225(±0.095)[a]	1.988(±0.176)[a]	1.830(±0.336)[a]	NS
D6	2.973(±0.505)[a]	3.663(±0.528)[a]	2.313(±0.185)[a]	NS
R3	2.678(±0.453)[a]	1.733(±0.178)[a]	1.850(±0.101)[a]	NS
R6	5.190(±0.604)[a]	2.900(±0.359)[b]	3.190(±0.344)[b]	**
R9	4.485(±0.889)[a]	2.710(±0.145)[b]	1.775(±0.230)[b]	**
R16	9.805(±1.262)[a]	6.515(±1.411)[ab]	4.803(±0.921)[b]	*

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 7 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Root dry weight, grams (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5.0 % PEG	
D0	0.049(±0.009)[a]	0.054(±0.006)[a]	0.049(±0.008)[a]	NS
D3	0.066(±0.007)[a]	0.057(±0.004)[a]	0.058(±0.011)[a]	NS
D6	0.162(±0.016)[a]	0.131(±0.010)[a]	0.145(±0.015)[a]	NS
R3	0.135(±0.025)[a]	0.079(±0.009)[b]	0.076(±0.009)[b]	*
R6	0.269(±0.034)[a]	0.104(±0.009)[b]	0.127(±0.014)[b]	**
R9	0.202(±0.040)[a]	0.139(±0.019)[ab]	0.087(±0.019)[b]	*
R16	0.750(±0.061)[a]	0.356(±0.063)[b]	0.370(±0.060)[b]	**

ตารางที่ 8 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Root dry weight, grams (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5.0 % PEG	
D0	0.096(±0.008)[a]	0.078(±0.012)[a]	0.082(±0.008)[a]	NS
D3	0.089(±0.005)[a]	0.090(±0.008)[a]	0.094(±0.018)[a]	NS
D6	0.159(±0.024)[a]	0.214(±0.017)[a]	0.162(±0.018)[a]	NS
R3	0.137(±0.016)[a]	0.111(±0.010)[a]	0.128(±0.005)[a]	NS
R6	0.285(±0.036)[a]	0.213(±0.036)[a]	0.237(±0.019)[a]	NS
R9	0.257(±0.045)[a]	0.179(±0.003)[ab]	0.130(±0.016)[b]	*
R16	0.553(±0.065)[a]	0.352(±0.024)[b]	0.289(±0.055)[b]	**

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

1.1.5 ผลของภาวะแล้งที่มีต่อพื้นที่ใบ และการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง

การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อพื้นที่ใบ และการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใบเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (ตารางที่ 9) และพันธุ์ มข.35 (ตารางที่ 10) พบว่า ภาวะแล้งส่งผลให้พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน และแม้ว่าจะผ่านพ้นภาวะแล้งแล้วเป็นเวลาถึง 16 วัน พื้นที่ใบของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่มี PEG ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 5.0 % ก็ยังมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมถึง 3 เท่า อย่างไรก็ดี ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะแล้งที่ 2.5 และ 5.0 % PEG พื้นที่ใบรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ส่วนผลของการขาดน้ำที่มีต่อพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ก็ให้ผลคล้ายคลึงกับผลที่มีต่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 แตกต่างกันตรงที่ว่า ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของพื้นที่ใบของต้นที่เจริญในภาวะปกติกับต้นที่เจริญในภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน จะพบภายหลังจากการสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน และความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญนี้ยังดำรงอยู่แม้ว่าจะพ้นภาวะแล้งแล้วถึง 16 วัน ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับผลที่เกิดขึ้นในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 พื้นที่ใบ (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Leaf area, cm^2 (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5.0% PEG	
D0	93.24(±5.54)[a]	92.47(±9.66)[a]	90.51(±6.85)[a]	NS
D3	112.51(±13.25)[a]	96.82(±9.40)[a]	90.29(±14.33)[a]	NS
D6	222.20(±22.54)[a]	144.78(±6.14)[b]	149.15(±8.10)[b]	**
R3	225.42(±25.32)[a]	123.64(±9.40)[b]	108.81(±6.39)[b]	**
R6	436.04(±49.41)[a]	103.40(±11.27)[b]	151.08(±29.74)[b]	**
R9	332.09(±38.75)[a]	173.95(±14.00)[b]	106.64(±16.32)[b]	**
R16	1409.04(±92.53)[a]	435.59(±64.54)[b]	438.78(±73.11)[b]	**

ตารางที่ 10 พื้นที่ใบ (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Leaf area, cm^2 (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5.0% PEG	
D0	126.61(±14.66)[a]	123.36(±13.27)[a]	103.32(±8.31)[a]	NS
D3	144.70(±9.18)[a]	140.58(±7.58)[a]	123.59(±15.01)[a]	NS
D6	212.99(±25.27)[a]	225.73(±24.71)[a]	180.56(±15.83)[a]	NS
R3	230.89(±9.90)[a]	169.12(±9.00)[b]	179.67(±23.60)[b]	*
R6	505.24(±87.17)[a]	206.01(±37.94)[b]	312.40(±42.32)[b]	*
R9	470.81(±64.15)[a]	277.38(±25.97)[b]	171.50(±41.23)[b]	**
R16	1281.36(±141.23)[a]	495.83(±67.29)[b]	385.53(±76.71)[b]	**

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

1.2 การศึกษาผลของภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35

1.2.1 ผลของภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a*) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง

ปริมาณ Chl *a* ก่อนได้รับภาวะแล้ง ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (ตารางที่11 และ 12) และพันธุ์ มข. 35 (ตารางที่13 และ 14) มีปริมาณ Chl *a* ในใบล่างเฉลี่ย 13.46 และ 11.07 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg g^{-1} DW) ตามลำดับ (ก่อนได้รับภาวะแล้ง ใบล่างและใบบริเวณยอดคือตำแหน่งใบเดียวกัน) เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน และตลอดระยะเวลา 16 วันหลังสิ้นสุดภาวะแล้งถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 % มีปริมาณ Chl *a* ในใบบริเวณยอดไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ในขณะที่ปริมาณ Chl *a* ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ระดับ PEG 2.5 % ลดลงและต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน และหลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน ใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 % ไม่สามารถกลับมาสร้าง Chl *a* เพิ่มขึ้นได้ ทำให้มีปริมาณ Chl *a* แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 % มีปริมาณ Chl *a* ลดลงและต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถกลับมาสร้าง Chl *a* เพิ่มขึ้นได้หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน ทำให้ปริมาณ Chl *a* ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน ส่วนในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 6 และ 9 วัน ชุดทดลองที่ได้รับ PEG 2.5 และ 5.0 % ไม่สามารถกลับมาสร้าง Chl *a* เพิ่มขึ้นได้ทำให้มีปริมาณ Chl *a* แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่สามารถกลับมาสร้าง Chl *a* เพิ่มขึ้นได้หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน

1.2.2 ผลของภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b*) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง

ปริมาณ Chl *b* ก่อนได้รับภาวะแล้ง ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (ตารางที่15 และ 16) และ มข. 35 (ตารางที่17 และ 18) มีปริมาณ Chl *b* ในใบล่างเฉลี่ย 4.16 และ 3.14 mg g^{-1} DW ตามลำดับ (ก่อนได้รับภาวะแล้ง ใบล่างและใบบริเวณยอดคือตำแหน่งใบเดียวกัน) เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน พบว่าที่ระดับ PEG 5.0 % ปริมาณ Chl *b* ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีปริมาณแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 มีปริมาณ Chl *b* ลดลงและต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ PEG 2.5 % หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน ใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 สามารถกลับมาสร้าง Chl *b* เพิ่มขึ้นได้ทำให้มีปริมาณ Chl *b* ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ส่วนใบล่างพันธุ์ สจ.5 ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 %ไม่สามารถกลับมาสร้าง Chl *b* เพิ่มขึ้นได้ทำให้มีปริมาณ Chl *b* ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วันที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 % มีปริมาณ Chl *b*ในใบล่าง ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน พบว่าทั้งใบบริเวณยอดและใบล่างของต้นที่ได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 5.0 % มีปริมาณ Chl *b* ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากนั้นใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 สามารถกลับมาสร้าง Chl *b* เพิ่มขึ้นได้เมื่อ

สิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 9 วัน ส่วนในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 สามารถกลับมาสร้าง Chl *b* เพิ่มขึ้นได้เมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน

1.2.3 ผลของภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (total Chl) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง

ปริมาณ total Chl ก่อนได้รับภาวะแล้ง ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (ตารางที่19 และ 20) และ มข. 35 (ตารางที่ 21 และ 22) มีปริมาณ total Chl ในใบล่างเฉลี่ย 17.62 และ 14.21 mg g^{-1} DW ตามลำดับ (ก่อนได้รับภาวะแล้ง ใบล่างและใบบริเวณยอดคือตำแหน่งใบเดียวกัน) เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วันและหลังจากสิ้นสุดภาวะแล้ง ใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 % มีปริมาณ total Chl ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ในขณะที่ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 ที่ระดับ PEG 2.5 % มีปริมาณ total Chl ลดลงและต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน พบว่าใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 ที่ระดับ PEG 2.5 % ไม่สามารถกลับมาสร้าง total Chl เพิ่มขึ้นได้ทำให้ยังคงมีปริมาณ total Chl ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับในใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้ง พบว่าปริมาณ total Chl ไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุม และหลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่าใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 % มีปริมาณ total Chl ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถกลับมาสร้าง total Chl เพิ่มขึ้นได้หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 6วัน ปริมาณ total Chl จึงไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุมหลังจากได้รับน้ำ 6 9 และ 16 วัน ส่วนในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 % มีปริมาณ total Chl ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากที่ได้รับน้ำ 6 วัน และ 9 วัน แต่สามารถกลับมาสร้าง total Chl เพิ่มขึ้นได้และมีปริมาณ total Chl ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม เมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน

1.2.4 ผลของภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoids) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรที-นอยด์ เมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง

ปริมาณ carotenoids ก่อนได้รับภาวะแล้ง ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (ตารางที่ 23 และ 24) และ มข. 35 (ตารางที่ 25 และ 26) มี ปริมาณ carotenoids ในใบล่างเฉลี่ย 3.45 และ 2.65 mg g^{-1} DW ตามลำดับ (ก่อนได้รับภาวะแล้ง ใบล่างและใบบริเวณยอดคือตำแหน่งใบเดียวกัน) หลังจากได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน ใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ระดับ PEG 5.0 % มีปริมาณ carotenoids แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 ที่ระดับ PEG 5.0 % ไม่สามารถกลับมาสร้าง carotenoids ได้ ทำให้มีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ดี ใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 ทั้งสองระดับ PEG สามารถกลับมาสร้าง carotenoids ได้หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 9 วัน ส่วนใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 % ไม่สามารถกลับมาสร้าง carotenoids ได้ตลอดการทดลอง

สำหรับในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์มข. 35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ที่ระดับ PEG 2.5 % มีปริมาณ carotenoids แตกต่างจากที่ระดับ PEG 5.0 %อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์มข. 35 ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 % มีปริมาณ carotenoids แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณ carotenoids

ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 % มีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่สามารถกลับมาสร้าง carotenoids ได้หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน ในขณะที่ปริมาณ carotenoids ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ระดับ PEG 2.5 และ 5.0 % มีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญหลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 6 และ 9 วัน แต่สามารถกลับมาสร้าง carotenoids ได้หลังจากสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Chl *a* contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	-	-	-	-
D3	10.96(±1.09)^{a}	11.33(±1.10)^{a}	11.80(±1.79)^{a}	NS
D6	8.74(±0.32)^{a}	8.18(±0.15)^{a}	8.71(±0.59)^{a}	NS
R3	11.42(±1.18)^{a}	9.13(±1.57)^{a}	7.62(±0.99)^{a}	NS
R6	9.61(±1.25)^{a}	7.12(±0.94)^{a}	5.49(±0.64)^{a}	NS
R9	7.53(±0.54)^{a}	9.85(±0.97)^{a}	8.60(±0.90)^{a}	NS
R16	8.61(±2.61)^{a}	7.45(±1.68)^{a}	7.73(±1.45)^{a}	NS

ตารางที่ 12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Chl *a* contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	14.00(±1.12)^{a}	12.64(±0.79)^{a}	13.74(±1.34)^{a}	NS
D3	12.46(±1.17)^{a}	14.32(±1.13)^{a}	15.73(±1.38)^{a}	NS
D6	14.00(±1.39)^{a}	8.16(±1.02)^{b}	10.71(±1.60)^{ab}	*
R3	17.40(±1.81)^{a}	12.05(±1.31)^{a}	12.44(±1.85)^{a}	NS
R6	13.69(±1.05)^{a}	4.94(±0.65)^{b}	6.26(±0.88)^{b}	**
R9	18.68(±1.66)^{a}	12.45(±0.46)^{b}	7.49(±2.09)^{b}	**
R16	15.35(±1.64)^{a}	7.25(±1.29)^{b}	9.89(±2.08)^{ab}	*

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 13 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ16 วัน

Time	Chl *a* contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	-	-	-	-
D3	9.98(±0.66)[a]	8.73(±0.61)[a]	10.94(±0.35)[a]	NS
D6	8.85(±0.62)[a]	9.01(±0.59)[a]	9.08(±1.17)[a]	NS
R3	11.99(±1.06)[a]	7.95(±0.29)[b]	7.86(±0.81)[b]	**
R6	7.41(±1.40)[a]	5.64(±0.45)[a]	5.09(±0.53)[a]	NS
R9	6.15(±1.02)[a]	9.11(±1.07)[a]	8.90(±1.43)[a]	NS
R16	10.55(±1.24)[a]	8.30(±0.86)[a]	7.76(±1.31)[a]	NS

ตารางที่ 14 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Chl *a* contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	10.39(±0.66)[a]	11.68(±1.09)[a]	11.03(±0.24)[a]	NS
D3	12.98(±0.48)[a]	11.92(±0.38)[a]	14.42(±1.65)[a]	NS
D6	13.06(±1.14)[a]	9.13(±1.36)[a]	9.52(±0.73)[a]	NS
R3	16.24(±1.40)[a]	13.57(±1.31)[a]	11.99(±2.27)[a]	NS
R6	12.54(±0.56)[a]	8.86(±1.12)[b]	6.65(±0.96)[b]	**
R9	13.70(±0.70)[a]	6.87(±1.23)[b]	5.52(±1.57)[b]	**
R16	15.26(±1.11)[a]	14.98(±3.68)[a]	7.16(±2.51)[a]	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Chl *b* contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	-	-	-	-
D3	4.51(±0.38)^{a}	4.11(±0.26)^{a}	4.29(±0.55)^{a}	NS
D6	2.53(±0.14)^{a}	2.45(±0.10)^{a}	3.02(±0.13)^{b}	*
R3	3.48(±0.31)^{a}	2.74(±0.37)^{a}	2.39(±0.33)^{a}	NS
R6	2.95(±0.36)^{a}	2.27(±0.24)^{a}	1.73(±0.32)^{a}	NS
R9	2.23(±0.27)^{a}	3.16(±0.29)^{a}	2.88(±0.37)^{a}	NS
R16	3.17(±0.82)^{a}	2.04(±0.64)^{a}	2.76(±0.58)^{a}	NS

ตารางที่ 16 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Chl *b* contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	4.43(±0.51)^{a}	3.85(±0.21)^{a}	4.19(±0.52)^{a}	NS
D3	4.35(±0.31)^{a}	4.54(±0.30)^{a}	4.99(±0.30)^{a}	NS
D6	3.87(±0.35)^{a}	2.20(±0.26)^{b}	2.94(±0.54)^{ab}	*
R3	5.06(±0.69)^{a}	3.37(±0.46)^{a}	3.57(±0.54)^{a}	NS
R6	4.17(±0.06)^{a}	1.32(±0.14)^{b}	2.15(±0.13)^{b}	**
R9	5.89(±0.44)^{a}	3.80(±0.14)^{b}	3.20(±0.60)^{b}	**
R16	4.87(±0.62)^{a}	2.46(±0.47)^{b}	3.26(±0.57)^{ab}	*

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 17 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Chl *b* contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	-	-	-	-
D3	2.96(±0.38)^{a}	2.16(±0.18)^{a}	2.87(±0.09)^{a}	NS
D6	2.53(±0.20)^{a}	2.66(±0.20)^{a}	2.74(±0.50)^{a}	NS
R3	3.47(±0.35)^{a}	2.70(±0.08)^{a}	2.63(±0.23)^{a}	NS
R6	2.40(±0.26)^{a}	1.87(±0.16)^{ab}	1.51(±0.20)^{b}	*
R9	1.98(±0.33)^{a}	2.78(±0.42)^{a}	2.91(±0.56)^{a}	NS
R16	3.60(±0.40)^{a}	2.95(±0.22)^{a}	3.05(±0.33)^{a}	NS

ตารางที่ 18 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Chl *b* contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	3.08(±0.14)^{a}	3.09(±0.63)^{a}	3.23(±0.08)^{a}	NS
D3	3.84(±0.16)^{a}	3.42(±0.16)^{a}	3.91(±0.41)^{a}	NS
D6	3.72(±0.33)^{a}	2.50(±0.38)^{b}	2.66(±0.24)^{b}	*
R3	4.85(±0.44)^{a}	4.08(±0.48)^{a}	3.54(±0.64)^{a}	NS
R6	3.83(±0.08)^{a}	3.07(±0.59)^{ab}	2.11(±0.31)^{b}	*
R9	4.24(±0.22)^{a}	2.22(±0.42)^{b}	1.90(±0.43)^{b}	**
R16	5.02(±0.40)^{a}	5.15(±1.26)^{a}	2.49(±0.76)^{a}	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 19 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Total chl contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	-	-	-	-
D3	15.47(±1.44)^{a}	15.44(±1.36)^{a}	16.09(±2.33)^{a}	NS
D6	11.27(±0.44)^{a}	10.63(±0.24)^{a}	11.73(±0.67)^{a}	NS
R3	14.90(±1.48)^{a}	11.87(±1.92)^{a}	10.01(±1.31)^{a}	NS
R6	12.01(±1.54)^{a}	9.39(±1.18)^{a}	7.23(±0.96)^{a}	NS
R9	9.75(±0.69)^{a}	13.01(±1.25)^{a}	11.48(±1.27)^{a}	NS
R16	11.78(±3.43)^{a}	9.50(±1.12)^{a}	10.49(±2.02)^{a}	NS

ตารางที่ 20 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Total chl contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	18.43(±1.63)^{a}	16.49(±0.98)^{a}	17.92(±1.86)^{a}	NS
D3	16.80(±1.46)^{a}	18.86(±1.41)^{a}	20.72(±1.66)^{a}	NS
D6	17.87(±1.74)^{a}	10.35(±1.27)^{b}	13.65(±2.10)^{ab}	*
R3	22.46(±2.50)^{a}	15.42(±1.77)^{a}	16.01(±2.39)^{a}	NS
R6	17.86(±1.03)^{a}	6.26(±0.78)^{b}	8.41(±0.88)^{b}	**
R9	24.56(±2.10)^{a}	16.26(±0.59)^{b}	10.68(±2.67)^{b}	**
R16	20.22(±2.26)^{a}	9.71(±1.76)^{b}	13.14(±2.65)^{ab}	*

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 21 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Total chl contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	-	-	-	-
D3	12.93(±1.03)[a]	10.89(±0.79)[a]	13.81(±0.35)[a]	NS
D6	11.38(±0.81)[a]	11.67(±0.79)[a]	11.82(±1.66)[a]	NS
R3	15.47(±1.41)[a]	10.65(±0.33)[b]	10.50(±1.04)[b]	**
R6	9.81(±1.65)[a]	7.47(±0.61)[a]	6.61(±0.72)[a]	NS
R9	8.14(±1.34)[a]	11.89(±1.48)[a]	11.80(±1.98)[a]	NS
R16	14.15(±1.62)[a]	11.26(±1.08)[a]	10.80(±1.62)[a]	NS

ตารางที่ 22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ16 วัน

Time	Total chl contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	13.47(±0.78)[a]	14.78(±1.67)[a]	14.37(±0.31)[a]	NS
D3	16.82(±0.50)[a]	15.34(±0.46)[a]	18.33(±2.06)[a]	NS
D6	16.78(±1.47)[a]	11.63(±1.74)[a]	12.18(±0.97)[a]	NS
R3	21.09(±1.84)[a]	17.65(±1.79)[a]	15.53(±2.94)[a]	NS
R6	16.38(±0.62)[a]	11.94(±1.62)[b]	8.76(±1.27)[b]	**
R9	17.94(±0.92)[a]	9.09(±1.64)[b]	7.42(±2.00)[b]	**
R16	20.28(±1.50)[a]	20.13(±4.93)[a]	9.65(±3.26)[a]	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 23 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ16 วัน

Time	Carotenoids contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	-	-	-	-
D3	2.79(±0.29)^{a}	2.77(±0.24)^{a}	2.72(±0.44)^{a}	NS
D6	2.48(±0.08)^{a}	1.88(±0.03)^{b}	1.91(±0.22)^{b}	*
R3	3.17(±0.21)^{a}	2.34(±0.38)^{ab}	1.79(±0.22)^{b}	*
R6	2.40(±0.35)^{a}	1.63(±0.26)^{ab}	1.32(±0.05)^{b}	*
R9	2.15(±0.21)^{a}	2.46(±0.23)^{a}	1.89(±0.16)^{a}	NS
R16	1.66(±0.55)^{a}	1.75(±0.80)^{a}	1.51(±0.31)^{a}	NS

ตารางที่ 24 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Carotenoids contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	3.59(±0.22)^{a}	3.14(±0.14)^{a}	3.63(±0.30)^{a}	NS
D3	3.16(±0.29)^{a}	3.48(±0.22)^{a}	3.65(±0.32)^{a}	NS
D6	3.31(±0.27)^{a}	1.82(±0.22)^{b}	2.17(±0.16)^{b}	**
R3	4.04(±0.32)^{a}	2.75(±0.32)^{b}	2.86(±0.40)^{b}	*
R6	3.14(±0.18)^{a}	1.41(±0.16)^{b}	1.54(±0.07)^{b}	**
R9	3.91(±0.34)^{a}	2.44(±0.10)^{b}	1.60(±0.37)^{b}	**
R16	3.13(±0.37)^{a}	1.40(±0.27)^{b}	1.95(±0.40)^{b}	*

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 25 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Carotenoids contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	-	-	-	-
D3	2.60(±0.13)^{ab}	2.33(±0.14)^{b}	2.90(±0.04)^{a}	*
D6	2.51(±0.19)^{a}	2.53(±0.16)^{a}	2.52(±0.22)^{a}	NS
R3	3.41(±0.27)^{a}	2.05(±0.13)^{b}	2.08(±0.19)^{b}	**
R6	2.09(±0.39)^{a}	1.45(±0.09)^{a}	1.50(±0.15)^{a}	NS
R9	1.73(±0.29)^{a}	2.33(±0.20)^{a}	1.92(±0.19)^{a}	NS
R16	2.35(±0.29)^{a}	1.82(±0.23)^{a}	1.58(±0.36)^{a}	NS

ตารางที่ 26 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	Carotenoids contents, mg/g DW (± standard error)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	2.54(±0.13)^{a}	2.73(±0.27)^{a}	2.66(±0.08)^{a}	NS
D3	3.33(±0.14)^{a}	2.95(±0.10)^{a}	3.60(±0.41)^{a}	NS
D6	3.18(±0.30)^{a}	2.14(±0.38)^{b}	2.22(±0.08)^{b}	*
R3	3.89(±0.21)^{a}	3.10(±0.24)^{a}	2.74(±0.49)^{a}	NS
R6	2.77(±0.11)^{a}	1.78(±0.25)^{b}	1.34(±0.19)^{b}	**
R9	2.96(±0.16)^{a}	1.42(±0.22)^{b}	1.32(±0.32)^{b}	**
R16	3.27(±0.15)^{a}	3.01(±0.71)^{a}	1.33(±0.47)^{a}	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

2. การเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานต่อภาวะเค็มในระยะต้นกล้าของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และพันธุ์ มข.35

2.1 การศึกษาผลของภาวะเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์

2.1.1 ผลของภาวะเค็มที่มีต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข. 35

ภาวะเค็มที่ 40 mM และ 80 mM มีผลทำให้น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง คือ การได้รับความเค็มเป็นเวลา 18 วัน (ตารางที่ 27-28) โดยพบว่า พันธุ์ สจ.5 เริ่มมีน้ำหนักสดต้นต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อได้รับความเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 80 mM เป็นเวลา 12 วัน (ตารางที่ 27) ในขณะที่ พันธุ์ มข.35 ที่ได้รับความเค็มระดับเดียวกันเริ่มมีน้ำหนักสดลดลงเมื่อถั่วเหลืองได้รับความเค็มเป็นเวลา 15 วัน (ตารางที่ 28) สำหรับที่ระดับความเค็มของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 40 mM มีผลให้น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญภายหลังได้รับความเค็มเป็นเวลา 15 วัน (ตารางที่ 27) ในขณะที่ ความเค็มที่ระดับเดียวกันมีผลต่อพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับความเค็มเป็นเวลา 18 วัน (ตารางที่ 28)

ภาวะเค็มที่ 40 mM และ 80 mM มีผลต่อน้ำหนักแห้งต้นถั่วเหลืองในทำนองเดียวกันกับผลที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักสดคือ ทำให้ต้นถั่วเหลืองมีน้ำหนักแห้งต้นต่ำกว่าชุดควบคุมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 29-30) โดยพบว่า พันธุ์ สจ.5 เริ่มมีน้ำหนักแห้งต้นต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อได้รับความเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 80 mM เป็นเวลา 15 วัน (ตารางที่ 29) ในขณะที่พันธุ์ มข.35 ที่ได้รับความเค็มระดับเดียวกันเริ่มมีน้ำหนักแห้งลดลงเมื่อถั่วเหลืองได้รับความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (ตารางที่ 30) สำหรับที่ระดับความเค็มของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 40 mM มีผลให้น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญภายหลังได้รับความเค็มเป็นเวลา 18 วัน (ตารางที่ 19) ในขณะที่ ความเค็มที่ระดับเดียวกันมีผลต่อพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับความเค็มเป็นเวลา 12 วัน (ตารางที่ 30) เช่นเดียวกับระดับความเค็มที่ 80 mM อย่างไรก็ดี จะเห็นว่าสำหรับพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับความเค็มที่ 40 mM เป็นเวลา 15 วัน แสดงลักษณะของการปรับตัวของการสะสมน้ำหนักแห้งทำให้มีค่าของน้ำหนักแห้งใกล้เคียงกับชุดควบคุม แต่เมื่อได้รับภาวะเค็มที่ระดับดังกล่าวนานขึ้น ไม่สามารถปรับตัวได้ ลักษณะการปรับตัวเช่นนี้ไม่พบเมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ได้รับความเค็มที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 80 mM

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 27 น้ำหนักสดต้น (Shoot fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Shoot fresh weight, grams (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	2.236(±0.058)[a]	2.046(±0.150)[a]	1.894(±0.147)[a]	NS
D6	3.579(±0.539)[a]	2.830(±0.044)[a]	2.485(±0.362)[a]	NS
D12	7.273(±0.605)[a]	6.963(±0.403)[a]	4.912(±0.643)[b]	*
D15	8.576(±1.230)[a]	5.536(±0.693)[b]	3.331(±0.274)[b]	**
D18	17.115(±1.260)[a]	4.496(±0.603)[b]	2.128(±0.073)[b]	**

ตารางที่ 28 น้ำหนักสดต้น (Shoot fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Shoot fresh weight, grams (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	1.740(±0.216)[a]	1.611(±0.194)[a]	1.663(±0.178)[a]	NS
D6	2.260(±0.179)[a]	2.021(±0.288)[a]	2.006(±0.167)[a]	NS
D12	7.321(±1.054)[a]	4.850(±0.694)[a]	4.814(±0.192)[a]	NS
D15	5.894(±0.860)[a]	4.345(±0.394)[a]	2.596(±0.214)[b]	**
D18	11.844(±0.615)[a]	2.770(±0.337)[b]	1.171(±0.107)[b]	**

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 29 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Shoot dry weight, grams (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	0.159(±0.007)[a]	0.155(±0.005)[a]	0.144(±0.011)[a]	NS
D6	0.244(±0.033)[a]	0.195(±0.005)[a]	0.185(±0.025)[a]	NS
D12	0.659(±0.060)[a]	0.576(±0.057)[a]	0.473(±0.080)[a]	NS
D15	0.716(±0.051)[a]	0.560(±0.080)[ab]	0.365(±0.048)[b]	**
D18	2.087(±0.144)[a]	0.491(±0.073)[b]	0.236(±0.011)[b]	**

ตารางที่ 30 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Shoot dry weight, grams (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	0.149(±0.007)[a]	0.141(±0.005)[a]	0.141(±0.004)[a]	NS
D6	0.148(±0.010)[a]	0.139(±0.008)[a]	0.145(±0.001)[a]	NS
D12	0.605(±0.116)[a]	0.316(±0.048)[b]	0.342(±0.022)[b]	*
D15	0.488(±0.085)[a]	0.393(±0.031)[a]	0.186(±0.032)[b]	**
D18	1.329(±0.078)[a]	0.257(±0.040)[b]	0.114(±0.010)[b]	**

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

2.1.2 ผลของภาวะเค็มที่มีต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข. 35

ความเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ 40 mM และ 80 mM ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ดังจะเห็นได้ว่าน้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองที่ได้รับความเค็มไม่แตกต่างกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเค็ม (ตารางที่ 31-32)

เมื่อพิจารณาผลของความเค็มที่มีต่อน้ำหนักแห้งราก ความเค็มมีผลต่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์คล้ายคลึงกันคือทำให้รากมีน้ำหนักแห้งต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง คือภายหลังได้รับความเค็มเป็นเวลา 18 วัน (ตารางที่ 33-34)

2.1.3 ผลของภาวะเค็มที่มีต่อพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข. 35

ความเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ 40 mM และ 80 mM มีผลทำให้ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีพื้นที่ใบต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดย มีพื้นที่ใบน้อยกว่าชุดควบคุม 6-43 เท่า ขึ้นกับพันธุ์ และระดับความเค็มที่ถั่วเหลืองได้รับ (ตารางที่ 35-36) โดยพบว่า พันธุ์ สจ.5 เริ่มมีพื้นที่ใบต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อได้รับความเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 80 mM เป็นเวลา 12 วัน (ตารางที่ 35) ในขณะที่ พันธุ์ มข.35 ที่ได้รับความเค็มระดับเดียวกันเริ่มมีพื้นที่ใบต่ำกว่าชุดควบคุมเมื่อถั่วเหลืองได้รับความเค็มเป็นเวลา 15 วัน (ตารางที่ 36) สำหรับที่ระดับความเค็มของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 40 mM มีผลให้พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญภายหลังได้รับความเค็มเป็นเวลา 15 วัน (ตารางที่ 35) ในขณะที่ ความเค็มที่ระดับเดียวกันมีผลต่อพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับความเค็มเป็นเวลา 18 วัน (ตารางที่ 36)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 น้ำหนักสดราก (Root fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Root fresh weight, grams (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	1.337(±0.184)[a]	1.574(±0.110)[a]	1.560(±0.242)[a]	NS
D6	2.141(±0.277)[a]	2.005(±0.225)[a]	1.872(±0.278)[a]	NS
D12	3.761(±0.371)[a]	5.130(±0.549)[a]	4.162(±0.799)[a]	NS
D15	4.408(±0.816)[a]	4.075(±0.535)[a]	3.914(±0.740)[a]	NS
D18	7.647(±0.976)[a]	5.724(±0.413)[a]	5.458(±0.925)[a]	NS

ตารางที่ 32 น้ำหนักสดราก (Root fresh weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Root fresh weight, grams (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	1.042(±0.119)[a]	1.099(±0.096)[a]	1.150(±0.134)[a]	NS
D6	1.034(±0.112)[a]	1.322(±0.075)[a]	1.266(±0.050)[a]	NS
D12	4.047(±0.700)[a]	3.746(±0.779)[a]	4.189(±0.187)[a]	NS
D15	2.440(±0.425)[a]	3.364(±0.739)[a]	3.112(±0.612)[a]	NS
D18	5.187(±0.269)[a]	4.893(±1.084)[a]	3.127(±0.526)[a]	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 33 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Root dry weight, grams (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	0.059(±0.010)[a]	0.054(±0.003)[a]	0.066(±0.008)[a]	NS
D6	0.088(±0.014)[a]	0.077(±0.006)[a]	0.077(±0.012)[a]	NS
D12	0.157(±0.011)[a]	0.189(±0.027)[a]	0.155(±0.027)[a]	NS
D15	0.170(±0.036)[a]	0.135(±0.018)[a]	0.165(±0.045)[a]	NS
D18	0.359(±0.039)[a]	0.186(±0.017)[b]	0.178(±0.034)[b]	**

ตารางที่ 34 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Root dry weight, grams (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	0.059(±0.006)[a]	0.054(±0.001)[a]	0.066(±0.006)[a]	NS
D6	0.053(±0.006)[a]	0.053(±0.003)[a]	0.059(±0.004)[a]	NS
D12	0.184(±0.033)[a]	0.143(±0.022)[a]	0.164(±0.007)[a]	NS
D15	0.101(±0.012)[a]	0.114(±0.020)[a]	0.138(±0.029)[a]	NS
D18	0.281(±0.007)[a]	0.171(±0.033)[b]	0.123(±0.020)[b]	**

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 35 พื้นที่ใบ (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา ต่างๆ กัน

Time	Leaf area, cm^2 (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	79.08(±2.55)[a]	73.90(±7.36)[a]	64.25(±9.41)[a]	NS
D6	131.14(±18.68)[a]	108.04(±3.17)[a]	100.75(±4.34)[a]	NS
D12	284.05(±22.70)[a]	286.48(±18.77)[a]	196.03(±28.70)[b]	*
D15	347.89(±51.41)[a]	230.16(±26.20)[b]	151.35(±5.93)[b]	**
D18	689.91(±57.91)[a]	100.82(±27.33)[b]	16.05(±3.52)[b]	**

ตารางที่ 36 พื้นที่ใบ (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา ต่างๆ กัน

Time	Leaf area, cm^2 (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	54.46(±11.00)[a]	52.19(±7.80)[a]	57.19(±10.00)[a]	NS
D6	85.38(± 3.68)[a]	83.69(±4.96)[a]	72.46(±6.34)[a]	NS
D12	292.60(±43.72)[a]	200.59(±29.88)[a]	171.41(±10.45)[a]	NS
D15	263.59(±34.01)[a]	206.74(±30.02)[a]	95.58(±8.25)[b]	**
D18	533.19(±34.63)[a]	44.53(±6.96)[b]	12.22(±1.69)[b]	**

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

2.1.4 ผลของภาวะเค็มที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข. 35

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ปลูกในภาวะปกติมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 37) ในขณะที่ความเค็มที่ระดับของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 40 mM และ 80 mM มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ของถั่วเหลืองในช่วง 6 วันแรกของการได้รับภาวะเค็ม (RGR_{0-6}) อย่างไรก็ดี ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีการปรับตัวในช่วง 6-12 วันของการได้รับความเค็ม เห็นได้จากการมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจาก 0.045 และ 0.037 กรัมต่อกรัมต่อวัน (RGR_{0-6}) เป็น 0.172 และ 0.146 กรัมต่อกรัมต่อวัน (RGR_{6-12}) ในต้นที่ได้รับความเค็มระดับ 40 mM และ 80 mM ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มเพิ่มขึ้นเป็น 18 วัน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของต้นที่ได้รับภาวะเค็มระดับ 40 mM และ 80 mM ลดลงอย่างชัดเจน โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ –0.020 และ –0.069 กรัมต่อกรัมต่อวัน (RGR_{12-18}) ตามลำดับ

สำหรับพันธุ์ มข.35 พบว่าในช่วง 6 วันแรกของการทดลอง ถั่วเหลืองมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ต่ำมากทั้งต้นที่ปลูกในภาวะปกติและที่ได้รับภาวะเค็มทั้งสองระดับ (ตารางที่ 38) แต่เมื่อระยะเวลาในการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเป็น 12 และ 18 วัน ถั่วเหลืองที่ปลูกในภาวะปกติมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น และพบว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มมีการปรับตัวในช่วง 6-12 วันของการได้รับความเค็มเช่นเดียวกับที่พบในพันธุ์ สจ.5 กล่าวคือ ต้นที่ได้รับความเค็มระดับ 40 mM และ 80 mM มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจาก 0.006 และ 0.012 กรัมต่อกรัมต่อวัน (RGR_{0-6}) เป็น 0.137 และ 0.143 กรัมต่อกรัมต่อวัน (RGR_{6-12}) ตามลำดับ แต่เมื่อระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มเพิ่มเป็น 18 วัน ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มทั้งสองระดับมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างชัดเจน โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ –0.012 และ -0.134 กรัมต่อกรัมต่อวัน (RGR_{6-12}) ในต้นที่ได้รับภาวะเค็มระดับ 40 mM และ 80 mM ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 37 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, g g^{-1} day^{-1}) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 วัน (RGR_{0-6}) 12 วัน (RGR_{6-12}) และ 18 วัน (RGR_{12-18})

Time	Relative Growth Rate, g g^{-1} day^{-1}		
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
RGR_{0-6}	0.071	0.045	0.037
RGR_{6-12}	0.150	0.172	0.146
RGR_{12-18}	0.183	-0.020	-0.069

ตารางที่ 38 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, g g^{-1} day^{-1}) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 วัน (RGR_{0-6}) 12 วัน (RGR_{6-12}) และ 18 วัน (RGR_{12-18})

Time	Relative Growth Rate, g g^{-1} day^{-1}		
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
RGR_{0-6}	-0.002	0.006	0.012
RGR_{6-12}	0.229	0.137	0.143
RGR_{12-18}	0.119	-0.012	-0.134

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การศึกษาผลของภาวะเค็มที่มีต่อปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

ในการศึกษาผลของภาวะเค็มที่มีต่อรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้น ทำการศึกษาในใบถั่วเหลืองสองตำแหน่ง คือตำแหน่งใบบริเวณยอด (ใบที่สองนับจากยอด) และตำแหน่งใบล่าง (ใบ trifoliate leaf ใบแรก) ในวันที่ 18 ของการทดลองพบว่าใบล่างของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มทั้งสองพันธุ์ มีอาการใบเหลือง แห้งและหลุดร่วงเนื่องจากผลของความเค็ม จึงไม่มีข้อมูลของปริมาณรงควัตถุของใบล่างในช่วงดังกล่าว

2.2.1 ผลของภาวะเค็มที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a*)

ในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ความเค็มที่ระดับ 40 mM และ 80 mM ของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ไม่มีผลต่อปริมาณ chl *a* ในใบล่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 39) แต่มีผลทำให้ chl *a* ในใบบริเวณยอดต่ำกว่าใบที่ตำแหน่งเดียวกันในชุดควบคุม โดยมี chl *a* ต่ำกว่าชุดควบคุม 2.5-3.1 เท่า เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 15 วัน (ตารางที่ 40) อย่างไรก็ดี ระดับของ chl *a* ก็ยังคงตัวในระดับเดิมต่อไปจนถึงวันที่ 18 ในต้นถั่วที่ได้รับภาวะเค็ม ส่วนต้นของชุดควบคุมนั้นกลับมีแนวโน้มของ chl *a* ลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากภาวะถดถอยที่เกิดขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น หรืออาจเกิดจากความแปรผันตามธรรมชาติ ทำให้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ chl *a* ในใบบริเวณยอดของพืชทั้ง 3 ชุดการทดลองจึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ในถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ความเค็มที่ระดับ 40 mM และ 80 mM มีผลทำให้ chl *a* ในใบล่าง ต่ำกว่า chl *a* ของชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับความเค็มเป็นเวลา 12 วัน โดยภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 80 mM ทำให้ใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 มีแนวโน้มของระดับ chl *a* ต่ำกว่าในใบล่างของต้นที่ได้รับความเค็มที่ความเข้มข้น 40 mM NaCl อย่างไรก็ดี ความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 41) เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 15 วัน พบว่าปริมาณ chl *a* ในใบล่างมีแนวโน้มสูงขึ้นจากเดิม ต้นถั่วที่อยู่ในระดับความเค็ม 40 mM สามารถปรับตัวให้ปริมาณ chl *a* ในใบล่างไม่แตกต่างจาก ปริมาณ chl *a* ของใบล่างของต้นในชุดควบคุม ส่วนในต้นที่ได้รับความเค็ม 80 mM แม้ว่าจะสามารถปรับตัวให้มีปริมาณ chl *a* สูงขึ้น แต่ปริมาณ chl *a* ในใบล่างนั้นยังคงน้อยกว่า chl *a* ของใบล่างในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 พบว่าความเค็มมีผลชักนำให้มีปริมาณ chl *a* สูงกว่าปริมาณ chl *a* ของต้นที่อยู่ในภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 12 ภายหลังได้รับภาวะเค็ม (ตารางที่ 42) แต่เมื่อได้รับภาวะเค็มนานขึ้นก็มีผลทำให้ปริมาณ chl *a* ลดลงเป็นลำดับ และมีความแตกต่างกับชุดควบคุมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 42)

ตารางที่ 39 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Chl *a* contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	11.48(±1.68)[a]	10.29(±0.74)[a]	8.15(±0.33)[a]	NS
D6	13.52(±1.70)[a]	12.32(±0.74)[a]	13.00(±1.02)[a]	NS
D12	14.12(±0.92)[a]	15.37(±2.47)[a]	13.33(±0.43)[a]	NS
D15	16.70(±0.64)[a]	10.93(±1.99)[a]	16.41(±3.94)[a]	NS
D18	-	-	-	

ตารางที่ 40 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Chl *a* contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	9.70(±3.14)[a]	10.43(±0.04)[a]	9.63(±2.55)[a]	NS
D6	10.99(±1.12)[a]	10.28(±0.72)[a]	10.81(±0.84)[a]	NS
D12	10.82(±0.96)[a]	13.53(±1.86)[a]	11.68(±0.25)[a]	NS
D15	13.08(±0.66)[a]	5.28(±0.76)[b]	4.11(±0.83)[b]	**
D18	9.43(±0.71)[a]	5.45(±1.70)[a]	4.54(±1.59)[a]	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 41 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Chl *a* contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	7.97(±1.59)^{a}	8.32(±0.94)^{a}	8.56(±0.86)^{a}	NS
D6	12.95(±1.40)^{a}	9.98(±1.00)^{a}	8.81(±1.23)^{a}	NS
D12	15.09(±0.48)^{a}	11.08(±0.87)^{b}	5.60(±0.62)^{b}	**
D15	17.27(±0.98)^{a}	12.83(±1.79)^{ab}	10.07(±1.67)^{b}	*
D18	-	-	-	

ตารางที่ 42 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl *a* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Chl *a* contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	4.08(±0.62)^{a}	4.47(±1.30)^{a}	4.94(±1.50)^{a}	NS
D6	6.97(±1.19)^{a}	6.70(±1.01)^{a}	6.97(±0.62)^{a}	NS
D12	9.15(±0.40)^{b}	10.85(±1.19)^{ab}	13.53(±1.35)^{a}	**
D15	12.12(±0.85)^{a}	6.75(±1.41)^{a}	7.57(±2.61)^{a}	NS
D18	10.92(±0.43)^{a}	2.72(±0.40)^{b}	3.19(±0.42)^{b}	**

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

2.2.2 ผลของภาวะเค็มที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b*)

ผลของปริมาณ chl *b* ในใบล่างและใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ มีลักษณะคล้ายคลึงกับผลที่ได้จากการวัดปริมาณ chl *a* ดังที่กล่าวไว้ในข้อ 3.2.1 (ตารางที่ 43-46) กล่าวโดยสรุปคือความเค็มไม่ปรากฏผลชัดเจนต่อปริมาณ chl *b* ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 (ตารางที่ 43) ส่วนในใบบริเวณยอดความเค็มมีผลทำให้ปริมาณ chl *b* ลดลง โดยจะเห็นความแตกต่างทางสถิติเมื่อต้นถั่วได้รับความเค็มเป็นเวลา 15 วัน อย่างไรก็ดีเมื่อได้รับความเค็มนานขึ้น ใบบริเวณยอดแสดงภาวะการปรับตัวให้ใบในปริมาณ chl *b* สูงขึ้นจนใกล้เคียงกับปริมาณ chl b ในใบบริเวณยอดของชุดควบคุม (ตารางที่ 44)

สำหรับพันธุ์ มข.35 ก็เช่นเดียวกันกับผลการวิเคราะห์ปริมาณ chl a กล่าวคือความเค็มมีผลทำให้ chl b ในใบล่างลดลง และมีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังได้รับความเค็มเป็นเวลา 12 วัน หลังจากนั้นต้นถั่วที่ได้รับความเค็มทั้งสองชุดการทดลอง ได้แสดงการปรับตัวให้มีปริมาณ chl b เพิ่มขึ้นจนไม่แตกต่างกับชุดควบคุมหลังจากได้รับความเค็มเป็นเวลา 15 วัน (ตารางที่ 45) ส่วนการตอบสนองในใบบริเวณยอดจะพบว่าภาวะเค็มทำให้ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 กระตุ้นให้ใบบริเวณยอดมีปริมาณ chl b สูงขึ้น จนแตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อได้รับความเค็มเป็นเวลา 12 วัน หลังจากนั้นปริมาณ chl b ก็ลดลงเป็นลำดับจนมีระดับต่ำกว่าชุดควบคุม หลังจากได้รับความเค็มเป็นเวลา 18 วัน (ตารางที่ 46)

2.2.3 ผลของภาวะเค็มที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl)

เนื่องจากผลของปริมาณ chl *a* และ chl *b* ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีความสอดคล้องเป็นไปในทางเดียวกัน ผลของ Total chl จึงเป็นไปในทำนองเดียวกันกับข้อมูลในข้อ 3.2.1 และ 3.2.2 (ตารางที่47-50)

2.2.4 ผลของภาวะเค็มที่มีต่อปริมาณคาร์โรทีนอยด์ (Caro)

ความเค็มไม่มีผลทำให้ปริมาณ Caro ในใบล่างของถั่วเหลืองมีความแตกต่างจากชุดควบคุม (ตารางที่ 51) แต่มีผลทำให้ปริมาณรงควัตถุกลุ่มดังกล่าวในใบบริเวณยอดลดลงอย่างมีนัยสำคัญภายหลังได้รับความเค็มเป็นเวลา 15 วัน หลังจากนั้นจะเห็นว่าในใบบริเวณยอดมีการปรับตัวโดยการเพิ่มปริมาณ Caro ทำให้ไม่พบความแตกต่างกับชุดควบคุมหลังจากได้รับความเค็มเป็นเวลา18 วัน (ตารางที่ 52)

สำหรับในถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 พบว่าความเค็มมีผลทำให้ Caro ในใบล่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับความเค็มเป็นเวลา 12 วัน โดยความเค็มที่ระดับต่างกันก็มีผลทำให้ปริมาณ Caro แตกต่างกันด้วย แต่เมื่อได้รับความเค็มนานมากขึ้น ใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 สามารถปรับตัวให้มี Caro ใกล้เคียงกับชุดควบคุม เมื่อได้รับความเค็มเป็นเวลา 15 วัน (ตารางที่ 53) ส่วนในใบบริเวณยอด ให้ผลเช่นเดียวกับการตอบสนองของปริมาณ chl *a* และ chl *b* ซึ่งชักนำให้มีปริมาณของรงควัตถุในใบบริเวณยอดเพิ่มมากขึ้น Caro ในใบบริเวณยอดของต้นที่ได้รับความเค็ม จะมีปริมาณ Caro สูงกว่าชุดควบคุมหลังจากได้รับความเค็มเป็นเวลา 12 วัน และลดลงเป็นลำดับเมื่อได้รับความเค็มเป็นเวลา 18 วัน Caro ของใบบริเวณยอดของต้นที่ได้รับความเค็มมีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 54)

ตารางที่ 43 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Chl *b* contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	3.52(±0.83)^{a}	2.61(±0.57)^{a}	1.82(±0.34)^{a}	NS
D6	3.19(±0.64)^{a}	2.99(±0.22)^{a}	3.30(±0.26)^{a}	NS
D12	4.66(±0.45)^{a}	4.91(±1.06)^{a}	4.22(±0.15)^{a}	NS
D15	4.95(±0.10)^{a}	3.82(±0.65)^{a}	6.14(±1.53)^{a}	NS
D18	-	-	-	

ตารางที่ 44 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Chl *b* contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	3.31(±1.11)^{a}	3.38(±0.15)^{a}	2.41(±1.34)^{a}	NS
D6	2.36(±0.19)^{a}	2.41(±0.25)^{aB}	2.85(±0.20)^{a}	NS
D12	3.69(±0.35)^{a}	4.94(±0.76)^{a}	4.04(±0.21)^{a}	NS
D15	4.19(±0.29)^{a}	2.16(±0.33)^{b}	1.54(±0.24)^{b}	**
D18	3.24(±0.14)^{a}	3.36(±1.72)^{a}	1.91(±0.66)^{a}	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 45 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Chl *b* contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	2.48(±0.48)^{a}	2.80(±0.62)^{a}	1.95(±0.57)^{a}	NS
D6	2.97(±0.38)^{a}	2.59(±0.19)^{a}	2.05(±0.41)^{a}	NS
D12	4.66(±0.19)^{a}	3.58(±0.17)^{b}	2.36(±0.21)^{c}	**
D15	6.24(±0.61)^{a}	5.32(±0.67)^{a}	4.60(±0.52)^{a}	NS
D18	-	-	-	

ตารางที่ 46 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b* contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Chl *b* contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	0.25(±0.02)^{a}	0.49(±0.46)^{a}	1.59(±0.62)^{a}	NS
D6	1.23(±0.27)^{a}	1.15(±0.23)^{a}	1.25(±0.17)^{a}	NS
D12	2.92(±0.15)^{b}	3.56(±0.35)^{ab}	5.34(±0.90)^{a}	*
D15	5.29(±0.27)^{a}	3.35(±0.61)^{a}	4.07(±1.21)^{a}	NS
D18	3.36(±0.21)^{a}	1.33(±0.16)^{b}	1.68(±0.53)^{b}	**

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 47 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Total chl contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	15.00(±2.49)[a]	12.90(±1.22)[a]	9.97(±0.40)[a]	NS
D6	16.70(±2.33)[a]	15.31(±0.95)[a]	16.30(±1.26)[a]	NS
D12	18.78(±1.37)[a]	20.28(±3.52)[a]	17.55(±0.57)[a]	NS
D15	21.65(±0.71)[a]	14.75(±2.64)[a]	22.55(±5.47)[a]	NS
D18	-	-	-	

ตารางที่ 48 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆกัน

Time	Total chl contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	13.01(±4.24)[a]	13.81(±0.19)[a]	12.04(±3.89)[a]	NS
D6	13.35(±1.29)[a]	12.69(±0.95)[a]	13.65(±1.03)[a]	NS
D12	14.52(±1.11)[a]	18.47(±2.62)[a]	15.72(±0.33)[a]	NS
D15	17.27(±0.93)[a]	7.44(±0.98)[b]	5.65(±1.06)[b]	**
D18	12.67(±0.83)[a]	8.80(±3.41)[a]	6.45(±2.25)[a]	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 49 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Total chl contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	10.46(±2.05)^{a}	11.12(±1.48)^{a}	10.51(±1.36)^{a}	NS
D6	15.92(±1.78)^{a}	12.57(±1.19)^{a}	10.87(±1.63)^{a}	NS
D12	19.74(±0.66)^{a}	14.67(±0.94)^{b}	7.96(±0.81)^{c}	**
D15	23.51(±1.55)^{a}	18.15(±2.44)^{ab}	14.67(±2.18)^{b}	*
D18	-	-	-	

ตารางที่ 50 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chl contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของ ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Total chl contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	4.33(±0.64)^{a}	4.95(±1.76)^{a}	6.52(±2.12)^{a}	NS
D6	8.21(±1.46)^{a}	7.86(±1.23)^{a}	8.22(±0.78)^{a}	NS
D12	12.07(±0.52)^{b}	14.41(±1.50)^{ab}	18.87(±2.09)^{a}	*
D15	17.41(±1.09)^{a}	10.10(±2.00)^{a}	11.64(±3.79)^{a}	NS
D18	14.28(±0.64)^{a}	4.05(±0.52)^{b}	4.87(±0.93)^{b}	**

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 51 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Carotenoids contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	3.32(±0.45)[a]	3.14(±0.19)[a]	2.56(±0.09)[a]	NS
D6	3.77(±0.35)[a]	3.39(±0.16)[a]	3.48(±0.22)[a]	NS
D12	3.35(±0.21)[a]	3.81(±0.58)[a]	3.36(±0.06)[a]	NS
D15	3.82(±0.23)[a]	2.52(±0.47)[a]	3.62(±0.69)[a]	NS
D18	-	-	-	

ตารางที่ 52 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Carotenoids contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	2.82(±0.90)[a]	3.10(±0.01)[a]	3.02(±0.59)[a]	NS
D6	3.24(±0.47)[a]	2.93(±0.17)[a]	2.89(±0.16)[a]	NS
D12	2.92(±0.27)[a]	3.51(±0.49)[a]	3.06(±0.11)[a]	NS
D15	3.35(±0.14)[a]	1.30(±0.20)[b]	1.01(±0.20)[b]	**
D18	2.45(±0.10)[a]	1.60(±0.63)[a]	1.22(±0.33)[a]	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 53 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Carotenoids contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	2.40(±0.42)^{a}	2.48(±0.23)^{a}	2.72(±0.18)^{a}	NS
D6	3.86(±0.38)^{a}	2.86(±0.27)^{a}	2.65(±0.31)^{a}	NS
D12	3.89(±0.20)^{a}	3.21(±0.15)^{b}	1.70(±0.12)^{c}	**
D15	3.97(±0.29)^{a}	4.07(±0.61)^{a}	3.10(±0.43)^{a}	NS
D18	-	-	-	

ตารางที่ 54 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids contents, mg/g DW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลาต่างๆ กัน

Time	Carotenoids contents, mg/g DW (± SE)			SL
	0 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl	
D0	1.48(±0.20)^{a}	1.63(±0.40)^{a}	1.61(±0.43)^{a}	NS
D6	2.36(±0.37)^{a}	2.25(±0.31)^{a}	2.20(±0.19)^{a}	NS
D12	2.70(±0.07)^{b}	3.06(±0.31)^{b}	4.08(±0.28)^{a}	**
D15	2.86(±0.16)^{a}	1.60(±0.31)^{a}	2.22(±0.81)^{a}	NS
D18	3.00(±0.09)^{a}	0.86(±0.13)^{b}	1.10(±0.12)^{b}	**

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

3. การศึกษาผลของภาวะแล้งและเค็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลง activity ของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) glutathione reductase(GR) และ ascorbate peroxidase (AP) ในถั่วเหลือง

3.1 การศึกษาผลของภาวะแล้งในช่วง 0-6 วัน และ หลังการได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลง activity ของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) glutathione reductase (GR) และ ascorbate peroxidase (AP) ในถั่วเหลือง

การวัด enzyme activity ทั้งสี่ชนิดทำในใบสองตำแหน่ง คือใบล่าง และใบบริเวณยอด การกำหนดตำแหน่งใบใช้ข้อกำหนดเดียวกันกับการทดลองวัดปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (ข้อ 3.1.2) ทำการเก็บผลการทดลองเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน (D0 D3 D6 ตามลำดับ) และหลังจากย้ายปลูกในภาวะปกติเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน (R3 R6 R9 และ R16 ตามลำดับ)

3.1.1 ผลของภาวะแล้งต่อ SOD activity

SOD activity ใบล่างและใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 เป็นไปตามตารางที่ 55-56 จะเห็นได้ว่าภาวะแล้งไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง SOD activity ในใบล่างขณะที่ต้นถั่วเจริญอยู่ในภาวะแล้ง แต่เมื่อนำกลับมาปลูกในภาวะปกติเป็นเวลา 6 วันจะพบว่าต้นที่เคยได้รับภาวะแล้งทั้งในระดับปานกลาง (2.5 % PEG 4000) และในระดับสูง (5.0% PEG 4000) มี SOD activity เพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ดี SOD activity ก็ลดลงสู่ระดับปกติในเวลาต่อมา (R16) (ตารางที่ 55) ภาวะแล้งไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ SOD activity ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง (ตารางที่ 56)

สำหรับในถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของ SOD activity อันเนื่องมาจากภาวะแล้งทั้งในใบล่างและใบบริเวณยอด (ตารางที่ 57-58)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 55 SOD activity (units mg^{-1}protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	SOD activity, units mg^{-1}protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	12.5(±6.8)[a]	23.1(±3.5)[a]	11.7(±6.0)[a]	NS
D3	5.5(±0.7)[a]	5.4(±2.4)[a]	5.5(±1.2)[a]	NS
D6	6.3(±0.6)[a]	11.9(±4.8)[a]	10.0(±2.9)[a]	NS
R3	7.6(±0.3)[a]	9.1(±1.7)[a]	7.9(±1.6)[a]	NS
R6	7.7(±1.4)[b]	18.4(±2.5)[a]	28.4(±4.8)[a]	**
R9	23.6(±4.2)[a]	24.8(±6.2)[a]	29.4(±6.5)[a]	NS
R16	10.6(±1.9)[a]	12.4(±0.7)[a]	17.9(±3.6)[a]	NS

ตารางที่ 56 SOD activity (units mg^{-1}protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	SOD activity, units mg^{-1}protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D3	8.0(±4.0)[a]	7.4(±4.4)[a]	11.0 (n=1)	NS
D6	5.8(±0.6)[a]	12.5(±4.6)[a]	10.1(±1.4)[a]	NS
R3	8.7(±1.3)[a]	9.7(±4.7)[a]	14.3(±0.8)[a]	NS
R6	12.0(±0.7)[a]	12.4(±3.0)[a]	8.9(±2.4)[a]	NS
R9	15.9(±3.3)[a]	10.0(±5.2)[a]	22.7 (±5.3)[a]	NS
R16	11.3(±1.3)[a]	10.6(±2.0)[a]	9.4(±1.2)[a]	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 57 SOD activity (units mg^{-1}protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	SOD activity, units mg^{-1}protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	16.0(±5.2)[a]	12.4(±5.0)[a]	19.6(±8.6)[a]	NS
D3	5.8(±0.7)[a]	2.1(±1.9)[a]	4.5(±1.4)[a]	NS
D6	7.1(±0.7)[a]	6.5(±0.6)[a]	8.8(±1.2)[a]	NS
R3	7.9(±2.4)[a]	7.6(±1.4)[a]	11.6(±1.5)[a]	NS
R6	37.4(±1.8)[a]	38.4(±11.0)[a]	45.3(±7.8)[a]	NS
R9	4.4(±0.3)[a]	6.7(±0.9)[a]	7.3(±1.9)[a]	NS
R16	11.0(±1.6)[a]	17.6(±2.9)[a]	14.8(±2.1)[a]	NS

ตารางที่ 58 SOD activity (units mg^{-1}protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	SOD activity, units mg^{-1}protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D3	-	3.93 (n=1)	5.08 (n=2)	-
D6	8.5(±1.7)[a]	9.1(±1.0)[a]	14.0(±1.6)[a]	NS
R3	6.4(±0.7)[a]	10.1(±1.8)[a]	8.7(±1.0)[a]	NS
R6	22.3(±8.3)[a]	25.1(±6.0)[a]	23.9(±4.6)[a]	NS
R9	5.6(±1.2)[a]	4.4(±1.0)[a]	7.3(±1.2)[a]	NS
R16	9.6(±1.7)[a]	10.2(±1.6)[a]	14.8(±1.2)[a]	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

3.1.2 ผลของภาวะแล้งต่อ CAT activity

จากการศึกษาพบว่า CAT activity ในใบล่างและใบบริเวณยอด ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อได้รับภาวะแล้ง (ตารางที่ 59-60) ในใบล่างพบแนวโน้มดังกล่าวทุกช่วงเวลาที่เก็บผลการทดลองทั้งในระหว่างที่ได้รับภาวะแล้งและภายหลังสิ้นสุดภาวะแล้งที่เวลา 3 6 9 และ 16 วัน อย่างไรก็ดีความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 59)

ส่วนในใบบริเวณยอด ต้นถั่วที่ได้รับภาวะแล้งมีแนวโน้มของ CAT activity สูงขึ้นกว่าชุดควบคุม และระดับของ activity ลดลงภายหลังจากการย้ายปลูกในภาวะปกติ อย่างไรก็ดี CAT activity ของใบบริเวณยอดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี 2.5 % PEG 4000 เป็นเวลา 6 วันแล้วทำการย้ายปลูกกลับมาในภาวะที่ไม่มี PEG เป็นเวลา 3 วัน มี CAT activity สูงกว่าต้นที่ไม่เคยเจริญในภาวะเค็ม (ชุดควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 60)

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 พบว่าเมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน CAT activity มีแนวโน้มต่ำกว่าชุดควบคุม แต่กลับมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน เมื่อย้ายปลูกกลับมาสู่ภาวะปกติเป็นเวลา 6 วันจะพบว่า CAT activity ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 นี้มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชุดการทดลองที่ได้รับภาวะแล้ง PEG 4000 ความเข้มข้น 2.5 % จากนั้น CAT activity ในใบล่างของต้นที่ได้รับภาวะแล้งลดลง จนในชุดทดลองที่ได้รับภาวะแล้งที่ 5.0% PEG มี CAT activity ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม แต่ในชุดทดลองที่ได้รับ 2.5% PEG ยังคงมี CAT activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 61) ส่วนในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 พบว่า CAT activity ของชุดการทดลองต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 62)

3.1.3 ผลของภาวะแล้งต่อ GR activity

เมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ได้รับภาวะแล้ง ใบล่างมีแนวโน้มของ GR activity สูงขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม ลักษณะดังกล่าวคงอยู่แม้จะย้ายปลูกในภาวะปกติเป็นเวลา 3 วัน (R3) ภายหลังจากการย้ายปลูกในภาวะปกติเป็นเวลา 6 วัน พบว่า GR activity ในใบล่างของต้นที่ได้รับภาวะแล้งมีค่าสูงกว่า GR activity ของชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่หลังจากนั้นจนสิ้นสุดการทดลอง GR activity ในใบล่างของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 63) ส่วนในใบบริเวณยอดนั้น ภาวะแล้งไม่ส่งผลให้เห็นความแตกต่างของ GR activity ที่ชัดเจนตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 64)

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 GR activity ในใบล่างของต้นที่ได้รับภาวะแล้งมีแนวโน้มสูงกว่า GR activity ในใบล่างของต้นที่เจริญในภาวะปกติ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 65) ส่วนในใบบริเวณยอดนั้นมีแนวโน้มของ GR activity ในทางตรงกันข้ามคือ ต้นที่ได้รับภาวะแล้งมีแนวโน้มของ GR activity ต่ำกว่าชุดควบคุม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน (ตารางที่ 66)

3.1.4 ผลของภาวะแล้งต่อ AP activity

ภาวะแล้งไม่ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนของ AP activity ในใบล่าง และใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ ดังแสดงผลของ AP activity ในตารางที่ 67-70

ตารางที่ 59 CAT activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	CAT activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	5.9(±0.9)^{a}	5.7(±1.0)^{a}	6.3(±0.7)^{a}	NS
D3	6.8(±1.9)^{a}	9.3(±6.9)^{a}	11.0(±3.8)^{a}	NS
D6	6.3(±0.3)^{a}	10.2(±2.2)^{a}	8.4(±2.0)^{a}	NS
R3	3.5(±0.3)^{a}	4.5(±1.1)^{a}	4.9(±0.6)^{a}	NS
R6	6.0(±1.0)^{a}	9.8(±0.6)^{a}	9.8(±3.6)^{a}	NS
R9	6.4(±0.3)^{a}	2.6(±0.5)^{b}	3.0(±0.3)^{b}	**
R16	8.7(±1.8)^{a}	14.0(±7.1)^{a}	12.8(±1.7)^{a}	NS

ตารางที่ 60 CAT activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	CAT activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D3	6.4(±3.0)^{a}	10.1(±1.3)^{a}	14.6(±1.9)^{a}	NS
D6	6.8(±1.9)^{a}	9.3(±6.9)^{a}	11.0(±3.8)^{a}	NS
R3	3.0(±0.2)^{b}	4.8(±0.5)^{a}	3.2(±0.4)^{b}	*
R6	4.3(±0.5)^{a}	4.5(±1.2)^{a}	4.5(±0.7)^{a}	NS
R9	6.8(±0.7)^{a}	6.8(±0.8)^{a}	5.3(±1.3)^{a}	NS
R16	8.7(±0.9)^{a}	10.0(±0.4)^{a}	8.8(±0.5)^{a}	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 61 CAT activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	CAT activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	7.4(±0.7)^{a}	7.4(±1.2)^{a}	7.9(±1.7)^{a}	NS
D3	15.8(±3.7)^{a}	13.1(±4.2)^{a}	10.2(±3.0)^{a}	NS
D6	7.3(±0.7)^{a}	11.0(±2.3)^{a}	9.9(±1.4)^{a}	NS
R3	4.5(±0.7)^{a}	5.7(±1.6)^{a}	6.4(±0.8)^{a}	NS
R6	11.0(±0.8)^{b}	23.0(±4.4)^{a}	19.5(±1.3)^{ab}	*
R9	7.1(±0.6)^{a}	4.4(±0.7)^{b}	3.4(±0.6)^{b}	**
R16	7.0(±0.7)^{b}	13.3(±1.4)^{a}	8.5(±1.2)^{b}	**

ตารางที่ 62 CAT activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	CAT activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D3	12.4(±5.5)^{a}	13.5(±6.0)^{a}	6.6(±1.5)^{a}	NS
D6	6.3(±0.9)^{a}	8.5(±0.4)^{a}	9.7(±2.3)^{a}	NS
R3	4.4(±0.6)^{a}	5.5(±1.1)^{a}	5.5(±0.3)^{a}	NS
R6	13.3(±1.8)^{a}	9.5(±2.4)^{a}	1.4(±2.4)^{a}	NS
R9	8.4(±0.4)^{a}	8.1(±0.8)^{a}	6.1(±0.9)^{a}	NS
R16	8.3(±1.0)^{a}	8.5(±1.6)^{a}	8.8(±0.8)^{a}	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 63 GR activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	GR activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	4.6(±0.8)^{a}	3.5(±0.9)^{a}	6.3(±1.4)^{a}	NS
D3	4.0(±1.2)^{a}	6.0(±1.1)^{a}	7.0(±0.8)^{a}	NS
D6	11.8(±0.5)^{a}	12.3(±0.9)^{a}	13.0(±2.1)^{a}	NS
R3	6.5(±0.6)^{a}	9.5(±2.4)^{a}	9.8(±2.6)^{a}	NS
R6	12.5(±1.3)^{b}	22.3(±3.2)^{a}	19.3(±1.4)^{a}	*
R9	18.9(±2.2)^{a}	27.0(±6.3)^{a}	17.7(±6.6)^{a}	NS
R16	17.7(±2.0)^{a}	11.0(±0.6)^{a}	21.7(±3.4)^{a}	NS

ตารางที่ 64 GR activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	GR activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D3	5.3(±1.5)^{a}	4.3(±0.9)^{a}	6.0 (n=1)	NS
D6	12.0(±2.1)^{a}	12.7(±2.3)^{a}	12.5(±2.5)^{a}	NS
R3	5.0(±1.1)^{a}	6.0(±1.5)^{a}	7.5(±0.3)^{a}	NS
R6	11.7(±2.4)^{a}	12.5(±0.5)^{a}	12.0(±0.7)^{a}	NS
R9	15.0(±0.8)^{a}	13.8(±0.9)^{a}	14.1(±1.1)^{a}	NS
R16	9.3(±1.5)^{a}	7.5(±1.7)^{a}	7.8(±0.7)^{a}	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 65 GR activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	GR activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	5.2(±0.8)[a]	5.5(±0.9)[a]	6.8(±1.8)[a]	NS
D3	5.0(±0.8)[a]	3.5(±0.5)[a]	6.3(±1.7)[a]	NS
D6	8.8(±0.7)[a]	10.8(±0.8)[a]	12.8(±1.8)[a]	NS
R3	7.5(±0.6)[a]	9.0(±1.1)[a]	10.5(±2.3)[a]	NS
R6	13.2(±1.0)[a]	19.5(±4.9)[a]	15.0(±1.4)[a]	NS
R9	5.9(±1.8)[a]	10.6(±3.1)[a]	16.0(±2.9)[a]	NS
R16	13.0(±1.5)[a]	16.5(±3.5)[a]	14.3(±0.9)[a]	NS

ตารางที่ 66 GR activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	GR activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D3	4.8(±1.1)[a]	2.5(±0.6)[a]	3.8(±0.8)[a]	NS
D6	12.3(±0.7)[a]	9.3(±1.1)[a]	6.8(±0.6)[a]	NS
R3	9.0(±2.3)[a]	5.5(±0.9)[a]	4.0(±0.6)[a]	NS
R6	8.3(±1.1)[a]	8.3(±2.1)[a]	7.8(±2.1)[a]	NS
R9	3.6(±1.0)[a]	4.5(±1.9)[a]	5.0(±0.3)[a]	NS
R16	8.3(±2.5)[a]	7.5(±2.1)[a]	7.0(±1.1)[a]	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 67 AP activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	AP activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	40.7(±1.7)[a]	48.2(±5.4)[a]	40.2(±5.5)[a]	NS
D3	12.3(±1.8)[a]	7.3(±2.4)[a]	13.3(±4.7)[a]	NS
D6	17.3(±3.5)[a]	22.7(±6.4)[a]	16.3(±6.4)[a]	NS
R3	9.0(±3.1)[a]	20.7(±6.1)[a]	19.7(±3.5)[a]	NS
R6	13.0(±4.4)[a]	22.3(±5.2)[a]	8.0(±1.2)[a]	NS
R9	17.3(±7.6)[a]	44.5(±11.8)[a]	25.4(±4.4)[a]	NS
R16	16.0(±4.0)[a]	13.3(±7.1)[a]	29.7(±11.2)[a]	NS

ตารางที่ 68 AP activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	AP activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D3	12.0(±4.4)[a]	9.7(±0.3)[a]	7.0 (n=1)	NS
D6	23.0(±3.0)[a]	18.8(±6.0)[a]	21.3(±4.8)[a]	NS
R3	19.0(±3.0)[a]	23.0(±3.5)[a]	18.7(±5.7)[a]	NS
R6	19.0(±4.0)[a]	17.5(±2.4)[a]	12.0(±2.4)[a]	NS
R9	21.9(±11.1)[a]	21.2(±4.2)[a]	21.8(±6.0)[a]	NS
R16	12.0(±5.6)[a]	11.7(±1.2)[a]	14.5(±4.6)[a]	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 69 AP activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	AP activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D0	35.3(±11.9)[a]	34.0(±13.4)[a]	43.1(±1.8)[a]	NS
D3	15.0(±2.0)[a]	15.5(±4.2)[a]	14.8(±4.5)[a]	NS
D6	34.7(±12.5)[a]	23.3(±6.7)[a]	29.0(±4.2)[a]	NS
R3	14.7(±5.6)[a]	13.7(±1.2)[a]	19.7(±5.2)[a]	NS
R6	18.7(±4.7)[a]	37.7(±12.1)[a]	51.7(±14.0)[a]	NS
R9	13.0(±1.7)[a]	20.1(±2.0)[a]	19.2(±7.7)[a]	NS
R16	12.8(±1.2)[a]	13.3(±2.4)[a]	20.5(±6.2)[a]	NS

ตารางที่ 70 AP activity (nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน และเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้งเป็นเวลา 3 6 9 และ 16 วัน

Time	AP activity, nmol $min^{-1}mg^{-1}$protein (± SE)			SL
	0 % PEG	2.5 % PEG	5% PEG	
D3	9.5(±0.6)[a]	9.8(±1.9)[a]	14.5(±3.0)[a]	NS
D6	27.7(±7.7)[a]	21.0(±10.1)[a]	25.3(±6.7)[a]	NS
R3	14.8(±3.9)[a]	14.3(±1.1)[a]	16.0(±4.6)[a]	NS
R6	30.0(±6.9)[a]	41.3(±1.9)[a]	48.0(±20.4)[a]	NS
R9	12.9(±2.2)[a]	16.2(±3.2)[a]	14.9(±2.8)[a]	NS
R16	12.3(±7.3)[a]	10.0(±2.3)[a]	8.3(±3.0)[a]	NS

SL ระดับความมีนัยสำคัญ NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอน เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

3.2 การศึกษาผลของภาวะแล้งและเค็มต่อการเปลี่ยนแปลง activity ของเอนไซม์ superoxide dismutase catalase glutathione reductase และ ascorbate peroxidase ในถั่วเหลืองที่มีการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากความแล้งและความเค็มในระยะสั้น

การวัด enzyme activity ทั้งสี่ชนิดทำในใบสองตำแหน่ง คือใบบริเวณยอดและใบล่าง การกำหนดตำแหน่งใบใช้ข้อกำหนดเดียวกันกับการทดลองวัดปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (ข้อ 3.1.2) ทำการเก็บผลการทดลองเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้งหรือภาวะเค็มเป็นเวลา 0 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง (0 hr 6 hr 12 hr 24 hr 48 hr ตามลำดับ)

3.2.1 ผลของภาวะแล้งต่อ SOD activity

การให้ภาวะแล้งที่ระดับ 5% PEG แก่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เป็นเวลา 48 ชม.ไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ SOD activityในใบบริเวณยอด ในขณะที่ในใบล่าง เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า มี SOD activity ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 1 a และ c)

สำหรับในใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 48 ชม. ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของ SOD activity ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมตลอดการทดลอง (รูปที่ 1 b และ d)

3.2.2 ผลของภาวะแล้งต่อ CAT activity

การให้ภาวะแล้งที่ระดับ 5% PEG แก่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เป็นเวลา 48 ชม. พบว่า ภาวะแล้งที่ระดับดังกล่าวไม่มีผลต่อ CAT activity ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 แต่ในใบล่าง เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มี CAT activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 2 a และ c)

สำหรับในใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้ง พบว่า CAT activity มีแนวโน้มที่สูงขึ้น โดยใบบริเวณยอด เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง มี CAT activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสูงกว่าชุดควบคุมถึงสองเท่า ส่วนในใบล่าง เช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 มี CAT activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รูปที่ 2 b และ d)

3.2.3 ผลของภาวะแล้งต่อ GR activity

การให้ภาวะแล้งที่ระดับ 5% PEG แก่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เป็นเวลา 48 ชม.ไม่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ GR ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมตลอดการทดลอง แต่ในใบล่าง เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า มี GR activity ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 3 a และ c)

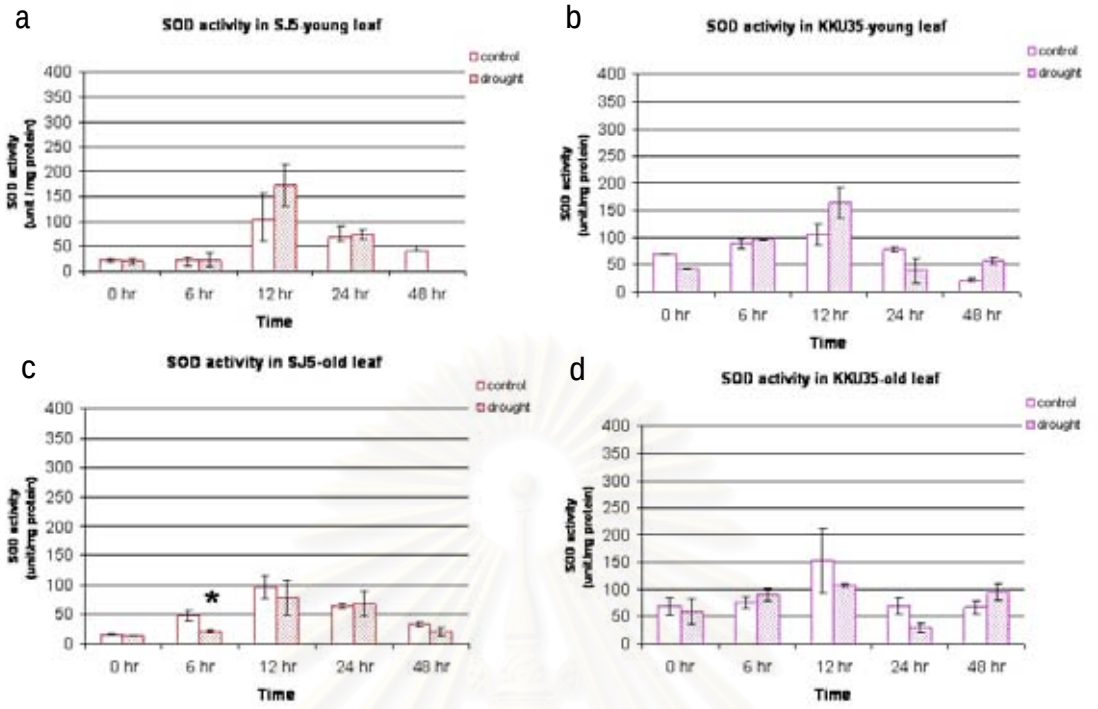
สำหรับในใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะแล้ง พบว่า ในใบบริเวณยอด เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง มี GR activity ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในใบล่าง เช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า มี GR activity ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 3 b และ d)

3.2.4 ผลของภาวะแล้งต่อ AP activity

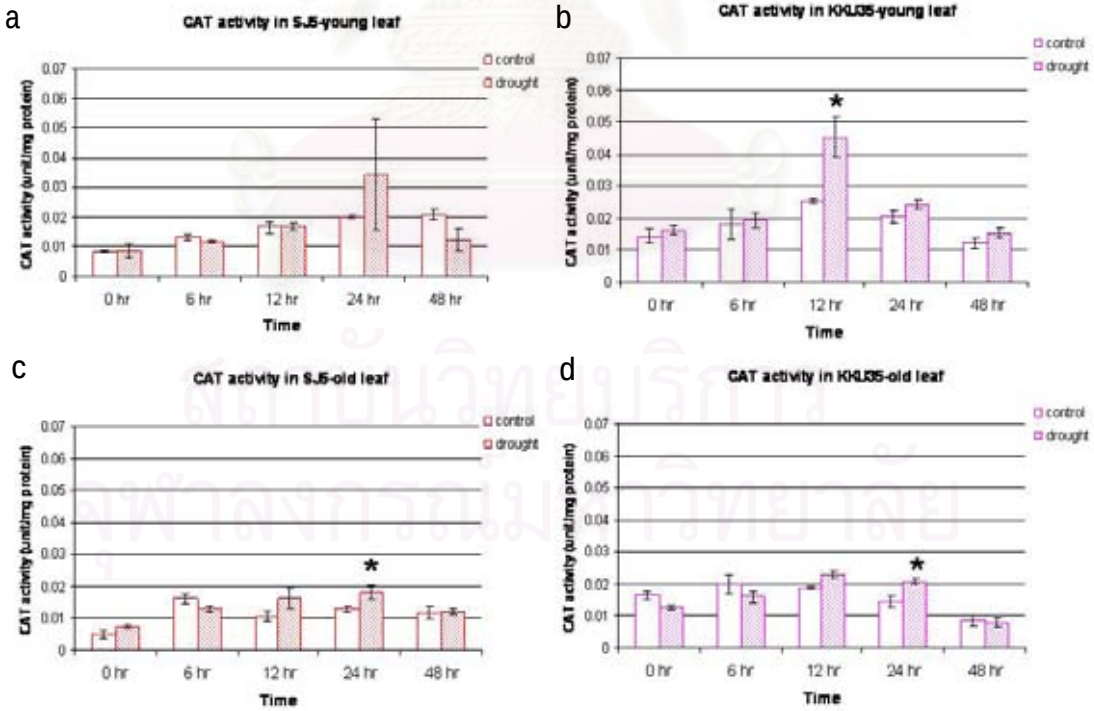
การให้ภาวะแล้งที่ระดับ 5% PEG แก่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เป็นเวลา 48 ชม.ไม่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ AP ในใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมตลอดการทดลอง (รูปที่ 4 a และ c)

สำหรับในใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 เมื่อได้รับภาวะแล้ง พบว่า ในใบบริเวณยอด เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง มี AP activity ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในใบล่าง เช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ไม่พบความแตกต่างของการทำงานของเอนไซม์ AP ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมตลอดการทดลอง (รูปที่ 4 b และ d)

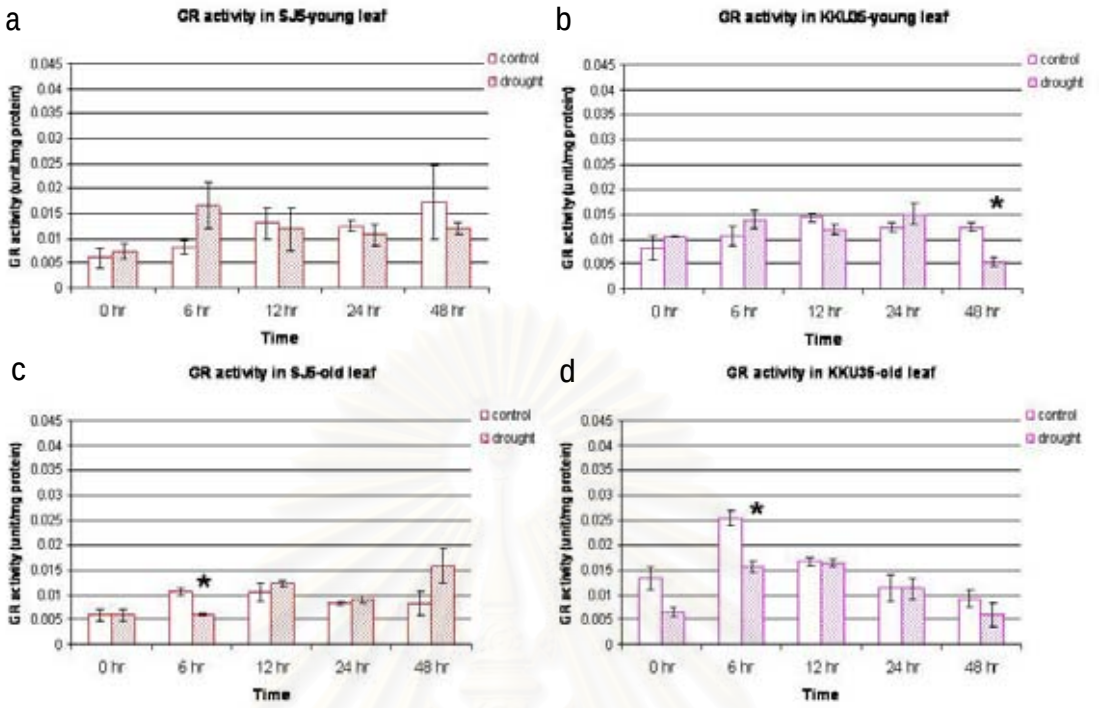
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



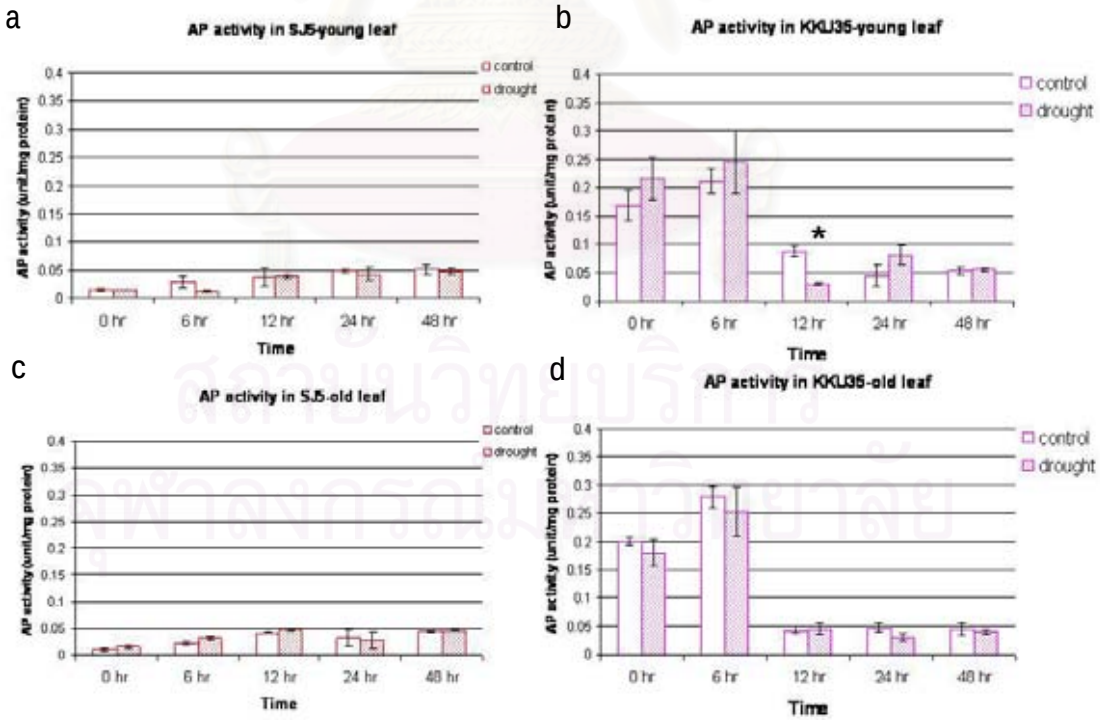
รูปที่ 1 กิจกรรมของ SOD ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 2 กิจกรรมของ CAT ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 3 กิจกรรมของ GR ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 4 กิจกรรมของ AP ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง

3.2.5 ผลของภาวะเค็มต่อ SOD activity

เมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 ชม. พบว่ามี SOD activity ในใบบริเวณยอดสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ในใบล่าง เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง มี SOD activity ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 5 a และ c)

สำหรับในใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็ม พบว่าในใบบริเวณยอดมี SOD activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่วนในใบล่าง เช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง มี SOD activity ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 5 b และ d)

3.2.6 ผลของภาวะเค็มต่อ CAT activity

เมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 ชม. พบว่ามี CAT activity ในใบบริเวณยอดสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ในใบล่าง เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มี CAT activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 6 a และ c)

สำหรับในใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อได้รับภาวะเค็ม พบว่าในใบบริเวณยอดมี CAT activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 23) เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนในใบล่างไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการทำงานของเอนไซม์ catalase ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมตลอดการทดลอง (รูปที่ 6 b และ d)

3.2.7 ผลของภาวะเค็มต่อ GR activity

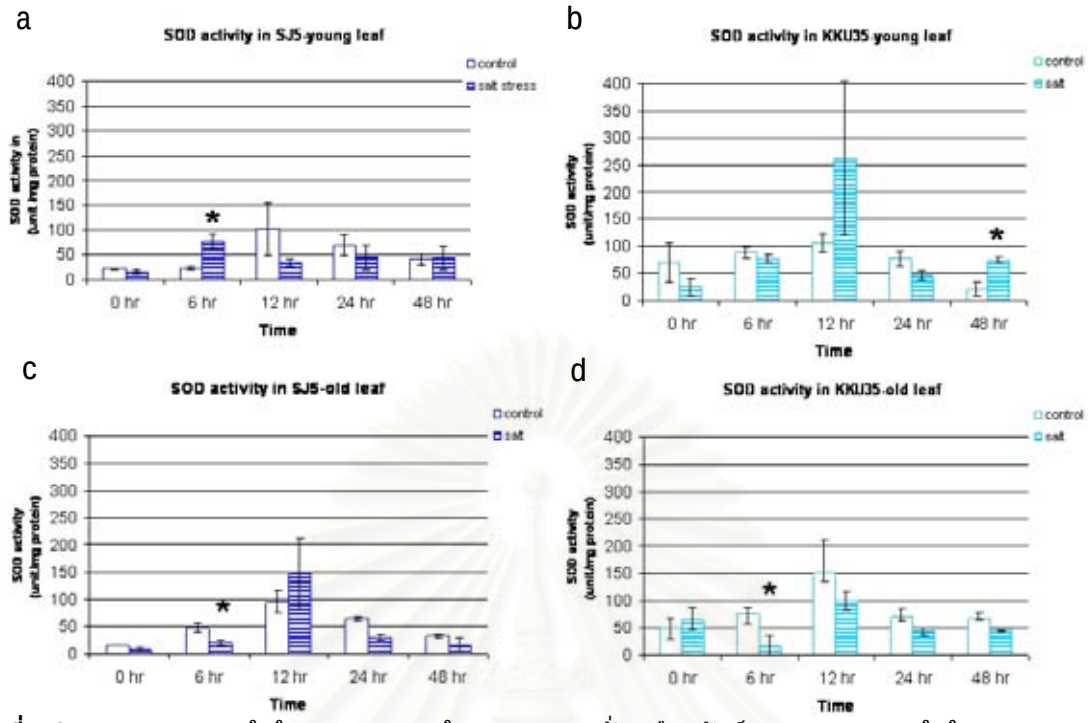
เมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 48 ชม. พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการทำงานของเอนไซม์ GR ในใบบริเวณยอดระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมตลอดการทดลอง ในขณะที่ในใบล่าง เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มี GR activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 7 a และ c)

สำหรับในใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 เมื่อได้รับภาวะเค็ม เช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการทำงานของเอนไซม์ GR ในใบบริเวณยอดระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมตลอดการทดลอง ส่วนในใบล่าง เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง มี GR activity ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 7 b และ d)

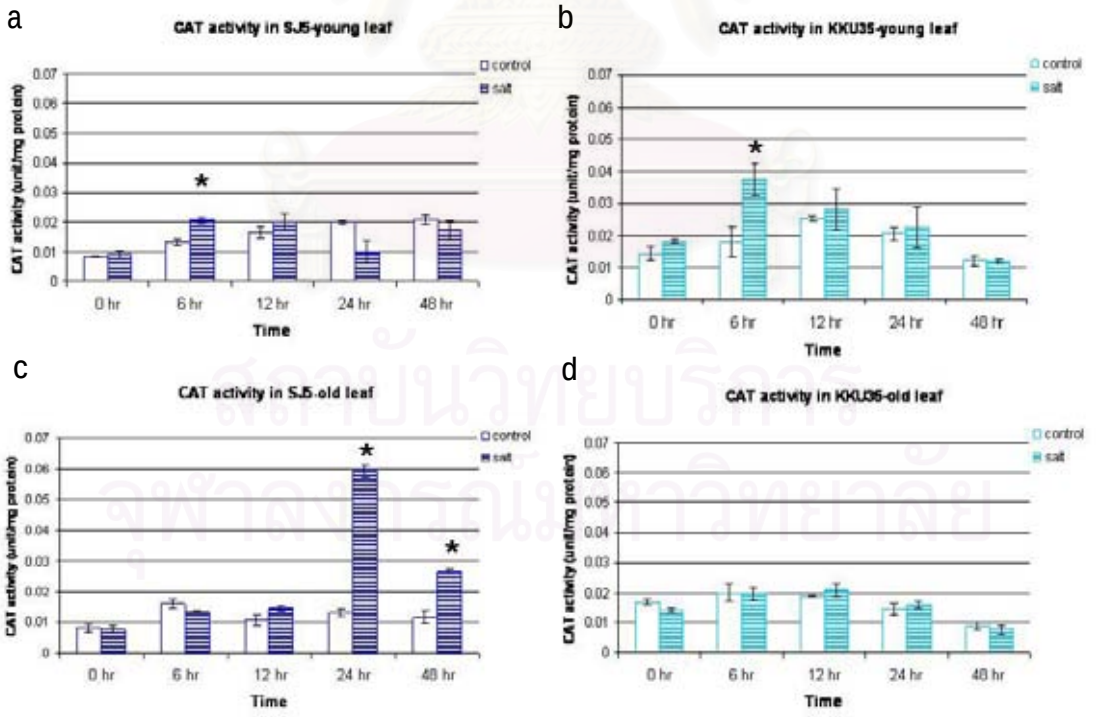
3.2.8 ผลของภาวะเค็มต่อ AP activity

เมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 48 ชม. พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการทำงานของเอนไซม์ AP ในใบบริเวณยอดระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมตลอดการทดลอง ในขณะที่ในใบล่าง เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มี AP activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 8 a และ c)

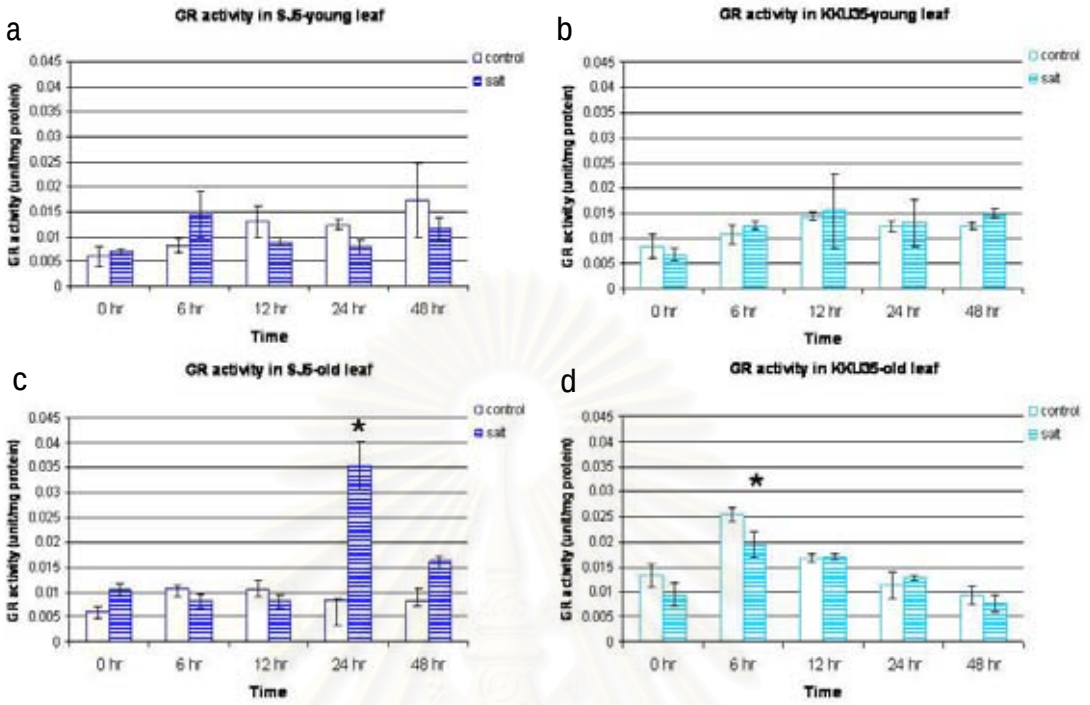
สำหรับในใบบริเวณยอดและใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 เมื่อได้รับภาวะเค็ม พบว่าในใบบริเวณยอดมี AP activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แต่เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง AP activity กลับต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในใบล่าง ในทำนองเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง มี AP activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 8 b และ d)



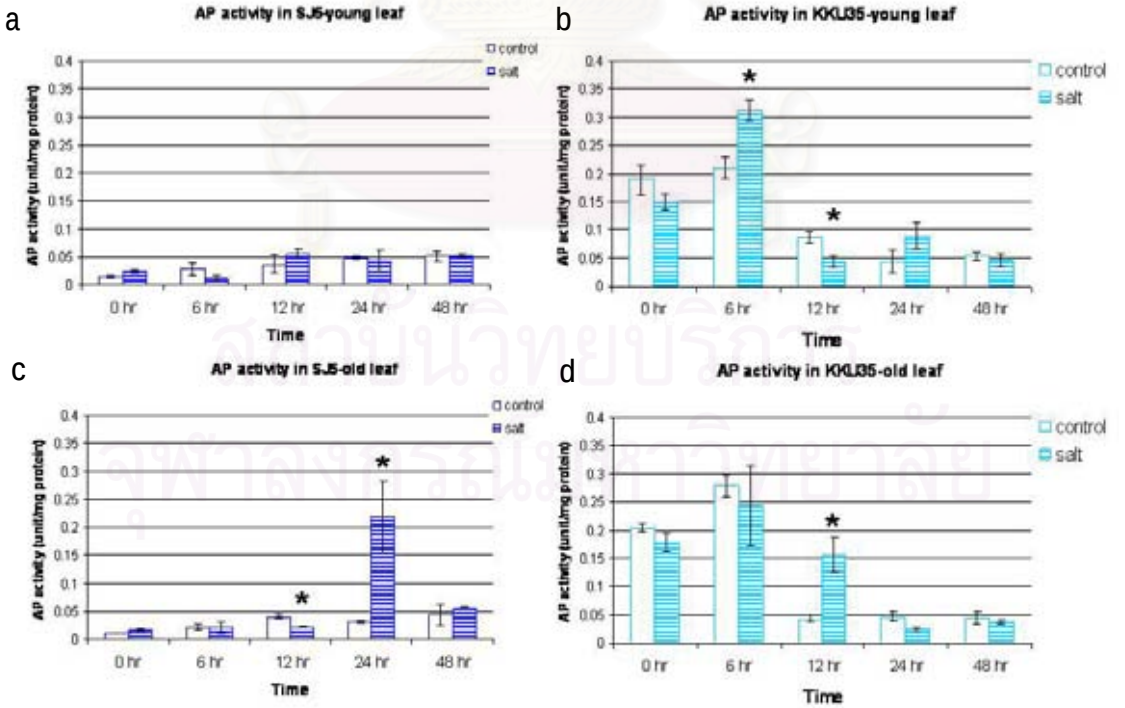
รูปที่ 5 กิจกรรมของ SOD ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 0 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 6 กิจกรรมของ CAT ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 0 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 7 กิจกรรมของ GR ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 0 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 8 กิจกรรมของ AP ในใบยอด (a) และ ใบล่าง (c) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (SJ.5) และในใบยอด (b) และใบล่าง (d) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (KKU35) เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 0 6 12 24 และ 48 ชั่วโมง

อภิปรายผลการวิจัย

1. การเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานต่อภาวะแล้งในระยะต้นกล้าของถั่วเหลือง และความสามารถในการฟื้นตัวเมื่อสิ้นสุดภาวะแล้ง ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 และ สจ.5

การให้ภาวะแล้งโดยการเพาะเลี้ยงต้นถั่วเหลืองอายุ 14 วันในสารละลายธาตุอาหารที่มีการเติม polyethylene glycol ซึ่งเป็น osmoticum ที่ระดับความเข้มข้น 2.5% และ 5.0 % เป็นเวลา 6 วันมีผลทำให้การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งเจริญในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีการเติม osmoticum และการเจริญเติบโตซึ่งในการวิจัยนี้ใช้ค่าของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบ ที่ลดลงอันเนื่องมาจากการขาดน้ำที่ระดับความเข้มข้น 2.5 % และ 5.0% PEG ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ภาวะแล้งมีผลทำให้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีระดับการเจริญเติบโตต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเร็วกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 น่าจะมีความต้านทานต่อภาวะแล้งได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5

จากข้อเสนอเดิมใช้ความเข้มข้นของ PEG ที่ 5 % และ 10 % ได้เปลี่ยนเป็นความเข้มข้น PEG 2.5 % และ 5.0% เนื่องจากที่ระดับความเข้มข้น PEG ที่ 5 และ 10 % ทำให้ต้นถั่วเหลืองทั้ง 2 พันธุ์ มีอาการเหี่ยว และเข้าสู่ภาวะเสื่อมถอยอย่างรวดเร็ว และไม่สามารถฟื้นตัวกลับมาได้ภายหลังสิ้นสุดภาวะแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับ PEG 10 %

ดังนั้น จึงปรับระดับของภาวะแล้ง เป็นที่ระดับความเข้มข้น PEG 2.5 และ 5.0 % เพราะภาวะความเครียดที่รุนแรงเกินไป อาจทำลายระบบการป้องกันตัวเองของพืชจนไม่สามารถตรวจสอบได้ว่ามีหรือไม่ และมีการทำงานเป็นอย่างไร

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการปรับเวลาในการเก็บผลการทดลองจากที่ได้เสนอไว้ คือการเก็บผลการทดลองที่เวลา 0 4 8 และ 12 วันเมื่อได้รับภาวะแล้ง และเก็บผลการทดลองอีกครั้งเมื่อภาวะแล้งสิ้นสุดลง มาเป็นการเก็บผลการทดลองเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 0 3 และ 6 วัน เพราะหากได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 8-12 วัน ถั่วเหลืองจะมีอาการขาดน้ำอย่างรุนแรงและไม่สามารถฟื้นตัวได้ และได้เพิ่มช่วงเวลาการเก็บผลหลังสิ้นสุดภาวะแล้งเป็น 3 6 9 และ 16 วันเพื่อที่จะได้สามารถสังเกตลักษณะการฟื้นตัวได้ชัดเจนยิ่งขึ้นและคาดว่าช่วงเวลาการเก็บผลการทดลองที่กำหนดใหม่นี้จะทำให้สามารถตรวจสอบพบการทำงานของระบบการขจัด reactive oxygen species ที่ชัดเจนขึ้นกว่าช่วงการเก็บผลแบบเดิม

ภาวะการขาดน้ำส่งผลกระทบต่อปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้ง คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ โดยพบว่ารงควัตถุทั้งสามชนิดที่กล่าวมาข้างต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้ง การลดลงของรงควัตถุจะพบที่ใบล่างเร็วกว่าใบบริเวณยอด ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้งมีความสามารถในการรักษาระดับปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ให้อยู่ในระดับเดียวกันกับชุดควบคุมได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ยกเว้นในใบบริเวณยอดของพันธุ์ สจ.5 ที่มีความสามารถในการรักษาระดับของคลอโรฟิลล์ เอ ในภาวะแล้งได้ดีกว่าพันธุ์ มข.35 เมื่อมีการลดลงของปริมาณรงควัตถุเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้ง ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 สามารถฟื้นตัว

กลับมามีปริมาณรงควัตถุเทียบเท่ากับชุดควบคุมได้เร็วกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เป็นข้อมูลที่สามารถสนับสนุนความสามารถในการการทนแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่สูงกว่า พันธุ์ สจ.5 อีกประการหนึ่ง

ภาวะแล้งมียับยั้งการเติบโตในลักษณะเช่นนี้ปรากฏในการศึกษาในพืชชนิดอื่นๆ เช่น ทานตะวัน (Manivannan *et al*., 2007) และ ข้าว (Thikart *et al*., 2005) เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเกิดภาวะแล้งพืชมีกลไลป้องกันตัวเองจากการสูญเสียน้ำโดยการปิดปากใบ ซึ่งมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง และในภาวะที่มีความแล้งสูงมากก็ยังอาจทำให้ rubisco activity ลดลงอีกด้วย (Bota *et al*., 2004)

การปิดปากใบมีผลให้ intracellular CO_2 ลดลง ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิด over-reduction ใน electron transport chain ของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิด ROS ต่างๆ เช่น superoxide, hydrogen peroxide และ hydroxyl radical เป็นต้น ROS เหล่านี้จะเป็นสาเหตุของความเสียหายของ photosystem ต่างๆในคลอโรพลาสต์ (Mahajan and Tuteja, 2005) และส่งผลทำให้ระดับของ photosynthetic pigments ต่างๆ ลดลง ดังที่เห็นได้จากการทดลองนี้ และ การทดลองในพืชชนิดอื่นๆ เช่น ทานตะวัน (Manivannan *et al*., 2007) และ ข้าวบาร์เลย์ (Li *et al*., 2006) เป็นต้น

การที่ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 สามารถรักษาระดับของ photosynthetic pigments ได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เป็นการชี้ให้เห็นความสามารถในการทนต่อ ROS ที่ดีกว่า ซึ่งทั้งนี้เป็นไปได้ว่าพันธุ์ดังกล่าวอาจมีกิจกรรมของระบบของการขจัด ROS ที่ดีกว่าด้วย

2. การเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานภาวะเค็มในระยะต้นกล้าของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35

ความเค็มมีผลต่อส่วนต้นของถั่วเหลืองเร็วกว่าส่วนราก ดังจะเห็นได้จากการลดลงของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนต้นเกิดขึ้นภายใน 12-15 วันหลังจากได้รับความเค็ม ในขณะที่ภาวะเค็มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ส่วนผลของความเค็มที่มีต่อน้ำหนักแห้งรากนั้นจะพบภายหลังจากได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 18 วัน

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทนเค็มระหว่างถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ทนต่อภาวะเค็มได้ดีกว่าพันธุ์ มข.35 กล่าวคือความเค็มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งของส่วนต้นในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ช้ากว่าพันธุ์ มข.35 โดยน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีค่าต่ำกว่าต้นปกติอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับภาวะเค็มระดับ 80 mM เป็นเวลา 15 วัน ในขณะที่พันธุ์ มข.35 มีน้ำหนักแห้งต้นต่ำกว่าชุดควบคุมภายหลังได้รับภาวะเค็มที่ 40 mM และ 80 mM เป็นเวลา 12 วัน นอกจากนี้ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ยังสามารถรักษาปริมาณรงควัตถุในใบล่าง ทั้ง chl *a* chl *b* และ carotenoids ไว้ได้ในระดับที่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมตลอดระยะเวลา 18 วันที่อยู่ในภาวะเค็ม ในขณะที่ใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 มีรงควัตถุทั้งสามกลุ่มต่ำกว่าชุดควบคุมตั้งแต่วันที่ 12 ของการได้รับภาวะเค็ม อย่างไรก็ดี ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ได้แสดงความสามารถในการปรับตัวให้มีปริมาณรงควัตถุสูงขึ้น เช่นในกรณีของ chl *b* ในใบล่างที่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติหลังจากได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 15 วัน เป็นต้น

ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 มีลักษณะที่น่าสนใจบางประการเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในใบบริเวณยอด ที่มักพบว่าต้นที่ได้รับภาวะเค็มจะมีการสะสมปริมาณรงควัตถุสูงขึ้น เช่น ปริมาณ chl *a* และ carotenoids ที่เพิ่มขึ้นในวันที่ 12 ของการได้รับภาวะเค็ม แต่เป็นการเพิ่มขึ้นเพียงชั่วคราว ซึ่งหากระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มนานขึ้นปริมาณรงควัตถุจะลดต่ำลงในที่สุด

เมื่อพืชได้รับความเค็มก็จะมีการปิดปากใบเช่นเดียวกับการขาดน้ำทั้งนี้เพื่อช่วยลดการสูญเสียน้ำ ซึ่งอาจมีผลในการลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงนำไปสู่การยับยั้งการเติบโต อย่างไรก็ดี Seemann and Critchley (1985) ได้อธิบายเสนอว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ลดลงนี้ไม่เพียงแต่มีสาเหตุมาจากการปิดปากใบเท่านั้นแต่ยังเป็นผลมาจากปริมาณของคลอไรด์ในคลอโรพลาสต์ที่สูงเกินไปอีกด้วย และ Sibole *et al*. (1998) ก็เสนอว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ลดลงนั้นมาจากปริมาณโซเดียมภายในเซลล์ที่มากเกินไป

ในข้าวโพดพันธุ์ทนเค็มพบว่าเมื่อได้รับความเค็มจากสารละลายธาตุอาหารที่มีการเติม 100 mM NaCl มีการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องระบบการขจัด ROS ได้แก่ SOD AP GR และ guaiacol peroxidase (GPX) สูงขึ้นกว่าพันธุ์ที่ไม่ทนทานต่อความเค็ม (Neto *et al*., 2006) ซึ่งคณะผู้วิจัยได้เสนอว่าระบบการป้องกัน oxidative stress ที่เกิดขึ้นเนื่องจาก salt stress น่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ข้าวโพดมีความทนทานต่อความเค็มได้ดี นอกจากนี้ การสร้างพืชที่ได้รับการถ่ายยีน SOD และ CAT ในคลอโรพลาสต์ ก็สามารถทนเค็มได้ดีขึ้นอีกด้วย (Tsengf *et al*., 2007)

ดังนั้น จากผลการศึกษาครั้งนี้ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ซึ่งมีความสามารถในการรักษาการเติบโต และปริมาณรงควัตถุที่สูงกว่าพันธุ์ มข. 35 ก็น่าจะเป็นต้นแบบที่ดีที่จะทำการศึกษาถึงบทบาทของระบบการป้องกันตนเองจาก oxidative stress ที่เนื่องมาจากความเค็มว่าจะส่งผลให้ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีความทนทานต่อความเค็มแตกต่างกันหรือไม่

3. การศึกษาผลของภาวะแล้งและเค็มต่อการเปลี่ยนแปลง activity ของเอนไซม์ SOD CAT GR และ AP ในถั่วเหลือง

เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเอนไซม์ในระบบการขจัด ROSs ส่วนใหญ่ทำการศึกษาในพืชภายหลังได้รับความเครียดในระยะยาว ตั้งแต่ 5-30 วัน (Egert และ Tevini, 2002; de Azevedo Neto *et al*., 2006; Yazici *et al*., 2007) ในการทดลองนี้จึงทำการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ในระบบการขจัด ROSs เมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้งในช่วงเวลา 0-6 วันและหลังจากการได้รับน้ำอีกครั้ง 3-16 วัน แต่การศึกษาด้วยช่วงเวลาดังกล่าวไม่สามารถพบการตอบสนองที่ชัดเจนได้ จึงได้ปรับการทดลองที่จะศึกษาการตอบสนองของเอนไซม์ในช่วงระยะสั้น คือ หลังถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้งหรือภาวะเค็มเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าได้ผลที่ชัดเจนกว่าและสามารถอธิบายความสามารถในการทนทานต่อภาวะเครียดในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้ชัดเจนขึ้น

จากการศึกษา พบว่า ผลของภาวะแล้งและภาวะเค็มต่อการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ในระบบขจัด ROSs ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดหนึ่งที่ยืนยันว่า ภาวะแล้งและภาวะเค็มส่งผลให้เกิดภาวะ oxidative stress ขึ้นในถั่วเหลืองที่เผชิญกับความเครียดที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมดังกล่าว ดังจะเห็นได้จากการลดลงของการทำงานของเอนไซม์บางตัวในระบบขจัด ROSs ซึ่งพืชพยายามปรับตัวโดยการรักษาระดับการทำงาน ของ antioxidant enzymes ไว้และยังมีการเพิ่มความต้านทานต่อภาวะเครียดโดยการปรับเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ในระบบ antioxidant โดยในการทดลองวัด activity ของเอนไซม์ในระบบขจัด ROSs คือ SOD CAT GR และ AP ในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ซึ่งมีศักยภาพในการทนแล้งต่างกัน พบว่า ภายใต้ภาวะแล้ง 48 ชั่วโมง ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 สามารถรักษาระดับการทำงานของเอนไซม์ SOD CAT GR และ APไว้ได้ในใบบริเวณยอดซึ่งเป็นใบอ่อนแสดงว่าใบอ่อนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 นั้นมีประสิทธิภาพในการขจัด ROSs ภายใต้สภาวะเครียดได้ดี ในขณะที่ในใบล่างซึ่งเป็นใบแก่นั้นมี activity ของเอนไซม์ SOD และ GR ลดลงภายหลังจากได้รับภาวะแล้งเพียงแค่ 6 ชั่วโมง ซึ่งส่งผลให้พืชมีการปรับตัวเพิ่มระดับ activity ของเอนไซม์ CAT ในใบล่างให้สูงขึ้น ภายหลังจากได้รับภาวะแล้ง 24 ชั่วโมง และ ถั่วเหลือง

พันธุ์ สจ.5 ยังสามารถรักษาระดับ activity ของเอนไซม์ AP ในใบล่างไว้ได้ตลอดการทดลอง ส่วนถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 นั้นมีการปรับตัวเมื่อได้รับภาวะแล้ง โดยสามารถรักษาระดับ activity ของเอนไซม์ SOD ทั้งในใบบริเวณยอดและใบล่างไว้ได้ตลอดการทดลอง ในขณะที่ GR activity ลดต่ำลงทั้งในใบล่างและใบบริเวณยอดภายหลังได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งสะท้อนว่าใบอ่อนนั้นมีความสามารถในการจัดการกับ ROSs ที่เกิดขึ้นได้ดีกว่าใบแก่เช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 นอกจากนี้ ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ยังมี CAT activity ที่สูงขึ้นทั้งในใบบริเวณยอดและใบล่างหลังได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 12 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วน activity ของเอนไซม์ AP นั้น ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 สามารถรักษาระดับการทำงานของเอนไซม์ในใบแก่ไว้ได้ตลอดการทดลอง แต่มีการทำงานลดลงในใบอ่อนหลังได้รับภาวะแล้งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ผลการทดลองดังกล่าวสัมพันธ์กับลักษณะการต้านทานของถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 และ มข. 35 ต่อภาวะแล้งและยังสอดคล้องกับการทดลองให้ภาวะเครียดกับพืชหลายชนิดที่มีการปรับตัวเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ในระบบขจัด ROSs เช่น ในภาวะแล้งที่ทำการศึกษาใน ถั่ว pea (Moran *et al*., 1994) และ ข้าวสาลี (Zhang and Kirkham, 1996) พบว่า peroxidase และ SOD มีการตอบสนองไปในทำนองเดียวกันคือมี activity สูงขึ้น แต่สำหรับ CAT และ GR กลับพบการตอบสนองแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช กล่าวคือ CAT activity (Zhang and Kirkham, 1994) และ GR activity(Burke *et al*., 1985) เพิ่มขึ้นในข้าวสาลี แต่กลับลดลง ในถั่ว pea (Moran *et al*., 1994) ที่เจริญในภาวะแล้ง ในขณะที่การทดลองให้ภาวะแล้งแก่ข้าวสาลีของ Khanna-Chopra and Selote (2007) พบว่า พืชที่เผชิญกับภาวะแล้งที่ไม่รุนแรงก่อน เมื่อได้รับภาวะแล้งที่รุนแรงขึ้นจะมีความสามารถในการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ SOD CAT และ AP แต่หากพืชเผชิญกับภาวะแล้งที่รุนแรงแบบฉับพลันพืชจะไม่สามารถปรับตัวได้และส่งผลให้เกิดการลดการทำงานของเอนไซม์ทั้งสามชนิดดังกล่าว

สำหรับการศึกษาการทำงานของเอนไซม์ในระบบขจัด ROSs ภายใต้ภาวะเค็ม พบว่า ภาวะเค็มส่งผลกระทบต่อระบบขจัด ROSs เช่นกัน แต่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 แสดงความสามารถในการต้านทานต่อภาวะเครียดที่เกิดขึ้นโดยการรักษาระดับการทำงานของเอนไซม์ GR และ AP ไว้ได้ตลอดการทดลองในใบบริเวณยอด รวมทั้ง ยังปรับตัวเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ SOD และ CAT ในใบบริเวณยอด หลังได้รับภาวะเค็ม 6 ชั่วโมง และ เพิ่มการทำงานของเอนไซม์ AP GR และ CAT ในใบแก่หลังได้รับภาวะเค็ม 12 24 และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในใบล่างมีการทำงานของ SOD ที่ลดลงหลังได้รับภาวะเค็ม 6 ชั่วโมง เช่นเดียวกับภาวะแล้งที่มีผลต่อการลดลงของ SOD และ GR ในใบล่างหลังเผชิญกับภาวะแล้งเพียง 6 ชั่วโมง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แสดงให้เห็นว่า ROSs นั้นอาจจะเกิดขึ้นในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 ที่ได้รับภาวะเครียดมากกว่า หรือ สภาวะการต้านทานของใบล่างต่อ ROSs ต่ำกว่าและไม่สามารถจัดการกับ ROSs ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าสภาวะปกติได้ เช่นเดียวกับ Neto *et al*. (2006) ที่รายงานว่าภาวะเค็มทำให้ activity ของเอนไซม์ SOD และ CAT ลดลงในข้าวโพดพันธุ์ต้านทาน และ activity ของเอนไซม์ที่วิเคราะห์ทุกเอนไซม์คือ SOD CAT GR GP และ AP ลดลงในข้าวโพดพันธุ์ที่ไม่ต้านทานต่อภาวะเค็ม นอกจากนี้การศึกษาการตอบสนองต่อภาวะเค็มในข้าวพบว่า GR ถูกชักนำให้มีการทำงานเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ SOD มี activityต่ำลง (Singha and Choudhuri, 1990; Fadzilla *et al*., 1997)

ส่วนถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 นั้นใบอ่อนก็แสดงประสิทธิภาพในการต้านทานต่อภาวะเค็มได้เป็นอย่างดีเช่นกัน ดังจะเห็นได้จาก activity ของ CAT ใบอ่อนที่เพิ่มขึ้นหลังได้รับภาวะเค็ม 6 ชั่วโมง activity ของ AP ในใบอ่อนที่เพิ่มขึ้นหลังได้รับภาวะเค็ม 6 ชั่วโมงและ 12 ชั่วโมง และactivity ของ SODในใบอ่อน ที่เพิ่มขึ้นหลังได้รับภาวะเค็ม 48 ชั่วโมง รวมทั้งความสามารถในการรักษาระดับเอนไซม์ GR ในใบอ่อนไว้ได้ตลอดการ

ทดลอง ส่วนในใบแก่นั้นแม้จะมีความสามารถในการขจัด ROSs ต่ำกว่าใบอ่อน โดยจะเห็นได้จาก SOD และ GR activity ในใบแก่ที่ลดลงหลังได้รับภาวะแล้ง เพียง 6 ชั่วโมง การที่ภาวะเค็มส่งผลให้เกิดการลดลงของ SOD activity นั้น Yazici *et al*. (2007) ได้พบปรากฏการณ์ดังกล่าวเช่นกันในใบ purslane ที่ได้รับ NaCl 140 mM เป็นเวลา 18 วัน ทั้งยังมี AP activity ที่ลดลงอีกด้วย แต่ในทางกลับกัน ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ได้แสดงการปรับตัวโดยมี AP activity ในใบแก่เพิ่มขึ้นหลังได้รับภาวะเค็ม 12 ชั่วโมง รวมทั้งสามารถรักษาระดับของเอนไซม์ CAT ไว้ได้ตลอดการทดลอง

การปรับตัวต่อภาวะแล้งและเค็มโดยการรักษาการทำงานของ antioxidant enzymes ได้อย่างมีประสิทธิภาพในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์นี้นั้น กล่าวได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่สะท้อนถึงความสามารถของถั่วเหลืองในการทนภาวะเครียดจากการขาดน้ำได้ดีกว่าเกิดจากบทบาทของระบบการขจัด reactive oxygen species ที่มีประสิทธิภาพ และสามารถนำผลที่ได้ไปเชื่อมโยงกับข้อมูลทางพันธุกรรมและใช้ในการพัฒนาพันธุ์ถั่วเหลืองต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการวิจัย

1. จากผลการตอบสนองทางด้านการเติบโต และระดับปริมาณของรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 เติบโตในภาวะแล้งพบว่า ภาวะแล้งมีผลให้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีระดับการเจริญเติบโตต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเร็วกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 นอกจากนี้ ภาวะการขาดน้ำส่งผลกระทบต่อปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้งคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ โดยพบว่ารงควัตถุทั้งสามชนิดที่กล่าวมาข้างต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะแล้ง การลดลงของรงควัตถุจะพบที่ใบล่างเร็วกว่าใบบริเวณยอด ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ได้รับภาวะแล้งมีความสามารถในการรักษาระดับปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ให้อยู่ในระดับเดียวกันกับชุดควบคุมได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 อีกทั้งถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 สามารถฟื้นตัวกลับมามีปริมาณรงควัตถุเทียบเท่ากับชุดควบคุมได้เร็วกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เป็นข้อมูลที่สามารถสนับสนุนความสามารถในการทนแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่สูงกว่า พันธุ์ สจ.5 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 น่าจะมีความต้านทานต่อภาวะแล้งได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5

2. ความเค็มมีผลต่อส่วนต้นของถั่วเหลืองเร็วกว่าส่วนราก ดังจะเห็นได้จากการลดลงของน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของส่วนต้นเกิดขึ้นภายใน 12-15 วันหลังจากได้รับความเค็ม ซึ่งต่างจากกรณีของน้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ภาวะเค็มไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดรากตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองให้ภาวะเค็ม

3. เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทนเค็มระหว่างถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ จะพบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 จะมีความทนต่อภาวะเค็มสูงกว่าพันธุ์ มข.35 กล่าวคือ ความเค็มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งของส่วนต้นในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ช้ากว่า พันธุ์ มข.35 โดยน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีค่าต่ำกว่าต้นปกติอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับภาวะเค็ม ที่ 80 mM เป็นเวลา 15 วัน ในขณะที่พันธุ์ มข.35 มีน้ำหนักแห้งต้น ต่ำกว่าชุดควบคุม ภายหลังได้รับภาวะเค็มที่ 40 mM และ 80 mM เป็นเวลา 12 วัน นอกจากนี้ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ยังสามารถรักษาปริมาณรงควัตถุในใบล่าง ทั้ง chl *a* chl *b* และ carotenoids ไว้ได้ในระดับที่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมตลอดระยะเวลา 18 วัน ที่อยู่ในภาวะเค็ม ในขณะที่ ใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 มีรงควัตถุทั้งสามกลุ่ม ต่ำกว่าชุดควบคุมตั้งแต่วันที่ 12 ภายหลังจากได้รับภาวะเค็ม

4. การศึกษาผลการตอบสนองเกี่ยวกับ antioxidant enzymes ที่ทำงานในภาวะแล้งพบว่าการศึกษาการตอบสนองในช่วง 0 – 6 วันหลังจากได้รับภาวะแล้ง และ 3-16 วันหลังจากการให้น้ำกลับ ไม่สามารถสังเกตผลการตอบสนองได้อย่างชัดเจน การศึกษาในระยะสั้น คือ 6 – 48 ชั่วโมง สามารถเห็นการตอบสนองที่ชัดเจน และสามารถอธิบายบทบาทการทำงานของเอนไซม์ที่สอดคล้องกับการตอบสนองที่ชัดเจนกว่า

5. ในภาวะแล้ง เมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ได้รับภาวะแล้ง antioxidant enzymes ที่น่าจะมีบทบาทในการขจัด ROS ที่สำคัญในถั่วเหลือง คือ CAT ซึ่งพบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นในใบล่างของ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 แต่ในพันธุ์ มข.35 กิจกรรมของ CAT เพิ่มขึ้นทั้งในใบยอด และใบล่าง ลักษณะเช่นนี้สนับสนุนลักษณะความทนแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่มากกว่า พันธุ์ สจ.5

6. ในภาวะเค็ม เมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ได้รับภาวะเค็ม ในใบอ่อนของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีกิจกรรมของ SOD และ CAT เพิ่มขึ้น และในใบอ่อนของมข.35 มีกิจกรรมของ AP เพิ่มขึ้นด้วยในระยะสั้นแล้วกลับลดลง ในขณะที่ในใบอ่อนของพันธุ์ สจ.5 รักษาระดับกิจกรรมของ AP ไว้คงเดิมเช่นเดียวกับในภาวะ

ปกติ ส่วน กิจกรรมของ GR ในใบอ่อนของทั้งสองพันธุ์ค่อนข้างคงที่ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า SOD และ CAT น่าจะเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการขจัด ROS ในใบยอดของถั่วเหลือง

ส่วนในใบล่างพบว่า ภาวะเค็มมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ลดลงหลังจากได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 6 ชั่วโมงในทั้งสองพันธุ์ แต่ใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีกิจกรรมของ CAT GR และ AP เพิ่มมากขึ้น ส่วนในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 มีเฉพาะกิจกรรมของเอนไซม์ AP เท่านั้นที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากได้รับภาวะเค็มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ด้วยลักษณะการทำงานของ antioxidant enzymes ในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง CAT GR และ AP ทำงานร่วมกันในขณะที่พันธุ์ มข.35 มีการกระตุ้นการทำงานเฉพาะ AP เท่านั้น จึงสอดคล้องกับความสามารถในการทนทานต่อความเค็มของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 ที่มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาการทำงานของเอนไซม์ในระบบการขจัด ROSs ในถั่วเหลืองเป็นระบบที่มีความแปรปรวนค่อนข้างสูงจึงควรมีการวางแผนการทดลองที่มีจำนวนซ้ำมากพอสมควรจึงจะสามารถแสดงถึงบทบาทของกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆได้ชัดเจน
2. เอนไซม์ในระบบการขจัด ROSs ในถั่วเหลือง อาจเป็นการทำงานของ isozyme ซึ่งการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์โดยใช้ non-denaturing gel electrophoresis เพื่อศึกษาว่า isozyme ใดมีบทบาทสำคัญในแต่ละช่วงอาจมีข้อมูลที่น่าสนใจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

วิระศักดิ์ เทพจันทร์ ศุภชัย แก้วมีชัย Mark Cooper. 2541. การผสมผสานงานด้านสรีรวิทยาและปรับปรุงพันธุ์เพื่อปรับปรุงงานวิจัยถั่วเหลือง. บทคัดย่อ การประชุมวิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติ ครั้งที่ 7. 25-27 สิงหาคม 2541. ณ อาคารวิทยทัศน์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ศุภชัย แก้วมีชัย. 2537. การปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองของประเทศไทย. ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมศรี อรุณินท์. 2532. พืชทนเค็ม. ใน ครั้งที่ 2 คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ฝ่ายเผยแพร่และประชาสัมพันธ์สำนักงานเลขานุการกรม กรมพัฒนาที่ดิน. หน้า 163-171.

Beadle, C.L. Growth analysis. In: HALL, D.O. Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual. Londres: Chapman & Hall, 1993. p.36-46.Bowler, C., Van Montagu, M., Inze, D. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. Annu. Rev. *Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43:83-116.

Beers, R.F. and Sizer, I.W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *J Biol Chem* 195, 133–140.

Burdon R.H., O'Kane, D., Fadzillah, N., Gill, V., Boyd, P.A., and Finch, R.P. 1996. Oxidative stress and responses in *Arabidopsis thaliana* and *Oryza sativa* subjected to chilling and salinity stress. *Biochem. Soc. Trans*. 24:468-472.

Burke,J.J., Gamble,P.E., Hatfield, J.L., and Quisenberry, J.E. 1985. Plant morphological and biochemical responses to field water deficits. I. Responses of glutathione reductase activity and paraquat sensitivity. *Plant Physiol*., 79:415.

de Azevedo Neto, A. D., Prisco, P. J., En´eas-Filho, J., de Abreu, C. E. B., Gomes-Filho, E. 2006. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Envir. Exp. Bot*. 56 : 87–94.

Dhindsa, R.S., Matowe, W. 1981. Drought tolerance in two mosses: correlated with enzymatic defense against lipid peroxidation. J. Exp. Bot. 32, 79–91.

Egert, M., Tevini, M. 2002. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). *Envir. Exp. Bot*. 48: 43–49.

Elstner, E.F., Osswald, W., 1994. Mechanisms of oxygen activation during plant stress. *Proc. R. Soc. Edinburgh.* 102:131-154.

Fadzilla, N.M., Finch, R.P. and Burdon, R.H. 1997. Oxidative stress and antioxidant responses in shoot cultures of rice. J. Exp. Bot. 48:325-331.

Foster, J.G., and Hess, J.L. 1980. Responses of Superoxide Dismutase and Glutathione Reductase Activities in Cotton Leaf Tissue Exposed to an Atmosphere Enriched in Oxygen. *Plant Physiol* 66, 482-487.

Gossett, D.R., Millhollon, E.P., Lucas, M.C. 1994. Antioxidant response to salt stess and salt-sensitive cultivars of cotton. *Crop Sci*. 34:706-714.

Hernandez, J.A., Olmos, E., Corpas, F.G., Sevilla, F., and del Rio, L.A. 1995. Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of pea plants. *Plant Sci*. 105:151-167.

Hoagland D.R., Arnon, D.I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. In The College of Agriculture, ed, California Agricultural Experiment Station Circular 347, Revised January 1950. University of California, Berkeley

Isin Yazici, I., Türkan, I. , Sekmen, A. H., Demiral, T. 2007. Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Envir. Exp. Bot*. 61: 49-57.

Khanna-Chopra, R., Selote, D.S. 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than -susceptible wheat cultivar under field conditions. *Envir. Exp. Bot*. 60: 276-283.

Li, R., Guo, P., Baumz, M., Grand, S., Ceccarelli, S. 2006. Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. *Agricultural Sciences in China* 5: 751-757

Mahajan, S., Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444: 139–158.

Manivannan, P., Abdul Jaleel, C., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A., Panneerselvam, R. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 59: 141–149.

Mavis, R.D., and Stellwagen, E. 1968. Purification and subunit structure of glutathione reductase from bakers' yeast. *J Biol Chem* 243, 809-814.

Menconi, M., Sgherri, C.L.M., Pinzino, C., and Navzri-Izzo, F. 1995. Activated oxygen production and detoxification in wheat plants subjected to a water deficit programme. *J of Exp. Bot.* 46:1123-1130.

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.

Neto, A. D. A., Prisco, J. T., Enéas-Filho, J., Braga de Abreu, C., E., Gomes-Filho, E. 2006. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environ Exp Bot* 56: 87-94.

Pastori, G.M. and Trippi, V.S. 1992. Oxidative stress induces high rate of glutathione reductase synthesis in a drought-resistant maize strain. *Plant and Cell Physiol*. 33:957-961.

Piqueras, A., Hernandez, J.A., Olmos, E., and Sevilla, F. 1996. Changes in antioxidant enzymes and organic solutes associated with adaptation of citrus cells to salt stress. *Plant Cell Tissue & Organ Culture*. 45 : 53-60

Salin, M.L. 1987. Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast. *Physiologia Plantarum* 72: 681-689.

Scandalios, J.G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutases. *Plant Physiol*. 101:7-12.

Seemann, J.R., Critchley, C. 1985. Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L. – *Planta* 164: 151-162.

Sgherri, C.L.M., Pinzino, C., Navari-Izzo, E. 1996. Sunflower seedlings subjected to increasing stress by water deficit: Changes in O2.- production related to the composition of thylakoid membranes. *Physiol Plant*. 96:446-452.

Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinizaki, K., Mizoguchi, T., Urao, T., Katagiri, T., Nakashima, K., Abe, H., Ichimura, K., Liu, Q., Nanjyo, T., Uno, Y., Iuchi, S., Seki, M., Ito, T., Hirayama, T., Mikami, K. 1998. Molecular responses to water stress in *Arabidopsis thaliana. J. Plant Res.* 111: 345-351.

Singha, S., Choudhuri,M.A. 1990. Effect of salinity (NaCl) stress on H_2O_2 metabolism in *Vigna* and *Oryza* seedlings. Biochem. Physiol. Pflanzen 186: 69-74.

Sreenivasula, N., Ramanjula, S., Ramachandra-Kini, K., Prakash, H.S., Shekar-Shetty, H., Savithri, H.S., Sudhakar, C. 1999. Total peroxidase activity and peroxidase isoforms as modified by salt stress in two cultivars of fox-tail millet with differential salt tolerance. *Plant Sci.* 141: 1-9.

Tanaka, Y., Hibino, T., Hayashi, Y., Tanaka, A., Kishitani, S., Takabe, T., Yokota, S., Takabe, T. 1999. Salt tolerance of transgenic rice overexpressing yeast mitochondrial Mn-SOD in chloroplasts. *Plant Sci*. 148: 131-138.

Thikart, P., Kowanij, D. Selanan, T., Vajrabhaya, M., Bangyeekhun, T., Chadchawan, S. 2005. Genetic Variation and Stress Tolerance of Somaclonal Variegated Rice and Its Original Cultivar. *J.Sci.Res.Chula.Univ.* 30: 63-75.

Tseng, M. J., Liu, C-W., Jinn-Chin Yiu, J-C. 2007. Enhanced tolerance to sulfur dioxide and salt stress of transgenic Chinese cabbage plants expressing both superoxide dismutase and catalase in chloroplasts. *Plant Physiol Biochem* (in press).

Yazici, I. , Ismail T¨urkan, Askim Hediye Sekmen, Tijen Demiral. 2007. Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environ Exp Bot* 61: 49–57.

Yeo, A. 1998. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *J Exp. Bot.* 49: 915-929.

Yeo, R., Lee, K.-S., Izard, P., Boursier, P.J., Flowers, T.J. 1991. Short- and long- term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.). *J Exp. Bot*. 42: 881-889.

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.