ผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง และการแสดงออกของยีนฮีตช็อคโปรตีนในถั่วเหลือง *Glycine max* (L.) Merrill

นายณภัศศรณ์ ปัญญาสุข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-5931-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMBINED EFFECTS OF HEAT AND DROUGHT CONDITIONS ON GROWTH, PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONTENT AND HEAT SHOCK PROTEIN GENE EXPRESSION IN SOYBEAN *Glycine max* (L.) Merrill

Mr. Napassorn Punyasuk

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Botany
Department of Botany
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2004
ISBN 974-17-5931-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง และการแสดงออกของยีนฮีตช็อคโปรตีนในถั่วเหลือง *Glycine max* (L.) Merrill
โดย	นายณภัศศรณ์ ปัญญาสุข
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นันทนา อังกินันทน์)

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณภัศศรณ์ ปัญญาสุข : ผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง และการแสดงออกของยีนฮีตช็อคโปรตีนในถั่วเหลือง *Glycine max* (L.) Merrill (COMBINED EFFECTS OF HEAT AND DROUGHT CONDITIONS ON GROWTH, PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONTENT AND HEAT SHOCK PROTEIN GENE EXPRESSION IN SOYBEAN *Glycine max* (L.) Merrill) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ปรีดา บุญ-หลง, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์, 211 หน้า, ISBN 974-17-5931-2

ศึกษาผลของภาวะร้อน ภาวะแล้ง และผลร่วมของภาวะทั้งสองในถั่วเหลือง *Glycine max* (L.) Merrill 2 พันธุ์ คือพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ในระยะต้นกล้า โดยให้ต้นกล้าได้รับภาวะร้อนจากการได้รับอุณหภูมิ 25 35 และ 40 องศาเซลเซียส และได้รับภาวะแล้งจากสารละลายธาตุอาหารที่มีโพลีเอธิลีนไกลคอล 6000 ความเข้มข้น 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 0 3 6 วัน และหลังจากกลับมาได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งส่งผลทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ การเติบโต ได้แก่ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก ความสูงต้น และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ลดลงต่ำกว่าการได้รับภาวะร้อนหรือภาวะแล้งเพียงอย่างเดียว โดยภาวะแล้งร่วมกับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งส่งผลทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ การเติบโตและปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบผลของภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งในระหว่างถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงของการเติบโตน้อยกว่าพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะเดียวกัน ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีการลดลงของปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยกว่าพันธุ์มข. 35 ที่ได้รับภาวะเดียวกัน ส่วนการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงทำให้ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีการงอกของเมล็ดที่เร็วกว่าและมีการเติบโตและปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงดีกว่าการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิปกติ ส่วนการศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* พบว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสมีการแสดงออกของยีน *Hsp70* มากขึ้นในชั่วโมงที่ 2 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีผลทำให้การแสดงออกของยีน *Hsp70* น้อยกว่าเมื่อได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งส่งผลกระทบต่อการเติบโตของถั่วเหลืองมากกว่าการได้รับภาวะร้อนหรือภาวะแล้งเพียงอย่างเดียว โดยถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีความสามารถทนต่อภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งได้ดีกว่าพันธุ์ สจ. 5

ภาควิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4472257323 : MAJOR BOTANY
KEY WORDS : HEAT / DROUGHT / GROWTH / RELATIVE WATER CONTENT / CHLOROPHYLL/ CAROTENOIDS / HEAT SHOCK PROTEIN GENE EXPRESSION / SOYBEAN

NAPASSORN PUNYASUK : COMBINED EFFECTS OF HEAT AND DROUGHT CONDITIONS ON GROWTH, PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONTENT AND HEAT SHOCK PROTEIN GENE EXPRESSION IN SOYBEAN *Glycine max* (L.) Merrill THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PREEDA BOON-LONG, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. SUPACHITRA CHADCHAWAN, Ph.D., 214 pp. ISBN 974-17-5931-2

Heat and drought responses in two soybean *Glycine max* (L.) Merrill cultivars, MK. 35 and SJ. 5 were investigated. Temperatures at 25, 35 and 40 °C were used for heat treatment and polyethylene glycol (PEG) 6000 at concentration of 0% and 5% added into nutrient solution were used for drought treatment. The responses were detected on day 0, 3, and 6 after heat and drought stresses and day 3 after returning to normal temperature and rewatering. The results showed that combination of heat and drought treatment in both cultivars increased reduction of relative water content, leaf area, shoot height, root length, fresh and dry weights of shoot and root and photosynthetic pigment content more than each treatment alone while the combination of 5% PEG and temperature at 40 °C caused the most reduction in all parameters in both cultivars. Comparison of heat and drought combined effects between two cultivars showed that MK. 35 showed less decrease in relative water content and growth parameters while SJ. 5 showed less decrease in photosynthetic pigment content. Germination at high temperature increased the germination rate and helped both soybean cultivars to tolerate the combination of heat and drought treatments more than germination at normal temperature. The heat shock protein 70 gene (*Hsp70*) was induced after 2 – 4 hours of heat treatment at 40 °C. High temperature at 40 °C with additional drought showed lower expression of *Hsp70* gene. Based on these data, it was suggested that MK. 35 was more tolerant to combination of heat and drought conditions than SJ. 5.

Department Botany Student's signature……..……..
Field of study Botany Advisor's signature……..……
Academic year 2004 Co-advisor's signature…….....……

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาและให้คำแนะนำต่างๆตลอดการทำวิจัย และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์นันทนา อังกินันทน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือต่างๆตลอดการทำวิจัยและแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ธาริน โล่ห์ตระกูล ที่กรุณาออกแบบ primer ที่ใช้ในการทำวิจัย และ Assistant Professor Ron Mittler, University of Nevada, Reno USA ที่เอื้อเฟื้อเอกสารอ้างอิงในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.)ที่ให้โอกาสทางการศึกษารวมทั้งสนับสนุนเงินทุนการศึกษาและวิจัยโดยตลอด และทุนทบวงมหาวิทยาลัยที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโท

ขอขอบคุณ คุณฐปนา อัครเอกปัญญา คุณสหัช จันทนาอรพินท์ สำหรับความช่วยเหลือในการทำวิจัย คำแนะนำตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆตลอดการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณปารวี ธิกาศ คุณธัญญารัตน์ คงขุนเทียน คุณศักดิ์ชัย กรรมารางกูร คุณชัชวาล วงค์ชัย คุณสุกัลยา ภู่ทอง และทุกท่านในภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย

ขอกราบขอบคุณบิดา มารดาและทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจให้ผู้เขียนตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูปภาพ.....ฒ
บทที่
1. บทนำ.....1
2. การตรวจเอกสาร.....5
ภาวะร้อน.....5
ภาวะแล้ง.....6
ผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งที่มีต่อการเติบโตของพืช.....7
ฮีตช็อคโปรตีน (Heat Shock Protein).....8
ฮีตช็อคโปรตีน 70 (Hsp70).....10
การกระตุ้นความทนทานต่อความภาวะร้อนและภาวะแล้ง
(Acquired tolerance)..... 16
ลักษณะของถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลอง.....17
3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....18
อุปกรณ์การศึกษาและสารเคมี.....18
วิธีการทดลอง.....23
4. ผลการทดลอง.....31
4.1 การศึกษาผลของภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันต่อการเติบโต
ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ในถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35
และ สจ. 5 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การศึกษาผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงในถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5……77

4.3 การศึกษาผลของการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงและภายใต้ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งในถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5…… ……. …108

4.4 การศึกษาการแสดงออกของยีนฮีตช็อคโปรตีน70 ในถั่วเหลือง…….…… 141

5. อภิปรายผลการทดลอง..……..…...152

6. สรุปผลการทดลอง……..…168

รายการอ้างอิง……..…....171

ภาคผนวก ก……...…179

ภาคผนวก ข……..……183

ภาคผนวก ค……..…187

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……..…..214

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……35

2 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……..36

3 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……..38

4 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……39

5 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……41

6 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..42

7 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..44

8 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..45

9 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……49

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

10 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R).....50

11 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R).....52

12 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R).....53

13 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R).....58

14 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R).....59

15 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R).....61

16 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R).....62

17 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R).....64

18 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R).....65

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

19 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..67

20 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..68

21 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..72

22 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..73

23 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..75

24 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..76

25 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ……..79

26 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ.....81

27 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ.....84

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

28 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ.....86

29 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ.....90

30 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ.....92

31 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ.....94

32 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ.....96

33 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ.....101

34 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ.....103

35 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ.....105

36 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ.....107

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

37 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……..……116

38 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……118

39 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……..……120

40 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……122

41 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……124

42 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……126

43 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……128

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

44 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……..130

45 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……..134

46 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……136

47 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……..138

48 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……..140

49 แสดงความคล้ายคลึงของลำดับเบสในฐานข้อมูลลำดับเบสของ HSP_MK_4……..143

50 แสดงความคล้ายคลึงของลำดับเบสในฐานข้อมูลลำดับเบสของ HSP_SJ_9……146

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่

1 หน้าที่ของ molecular chaperone ในการม้วนพับสายโพลีเปปไทด์ให้กลายเป็นโปรตีนที่ถูกต้องในกระบวนการ translation……9

2 หน้าที่ ของmolecular chaperone ในการช่วยการเคลื่อนผ่าน membrane ของ organelle ภายในเซลล์……9

3 โครงสร้างของ Hsp 70……11

4 วัฏจักร Hsp 70……11

5 การทำงานของ HSF ในการควบคุมการแสดงออกของยีน *Hsp*70……13

6 แสดงหน้าที่ของ Hsp70 ในการทำหน้าที่ช่วยม้วนพับโมเลกุลโปรตีนที่เสียสภาพและคลายตัวโดยอาจทำงานร่วมกับ Hsp 90 หรือ โมเลกุลอื่นก็ได้ขึ้งอยู่กับลักษณะและชนิดของโปรตีน……14

7 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……34

8 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……34

9 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……37

8 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……37

9 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……40

10 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……40

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

13 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..43

14 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..43

15 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..48

16 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..48

17 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..51

18 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..51

19 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..57

20 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..57

21 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……..60

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

22 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……60

23 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……63

24 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……66

25 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……68

26 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……68

27 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……71

28 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……71

29 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……74

30 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)……74

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

31 (A)ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (B)ปริมาณน้ำสัมพัทธ์เชิงสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)....78

32 (A)พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (B)พื้นที่ใบสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....80

33 (A)ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (B)ความสูงสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....83

34 (A)ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (B)ความยาวรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....85

35 (A)น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

35 (B)น้ำหนักสดต้นสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....89

36 (A)น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (B)น้ำหนักแห้งต้นสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....91

37 (A)น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (B)น้ำหนักสดรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....93

38 (A)น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (B)น้ำหนักแห้งรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....95

39 (A)ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (B)ปริมาณ Chl *a* สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....100

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

40 (A)ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (B)ปริมาณ Chl *b* สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....102

41 (A)ปริมาณ Total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (B)ปริมาณ Total Chl สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....104

42 (A)ปริมาณ Carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (B)ปริมาณ Carotenoidsสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....106

43 เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน.....109

44 เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน.....109

45 (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

45 (B)ปริมาณน้ำสัมพัทธ์เชิงสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....115

46 (A)พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)
(B)พื้นที่ใบสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....117

47 (A)ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)
(B)ความสูงสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....119

48 (A)ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)
(B)ความยาวรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....121

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

49 (A)น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)
(B)น้ำหนักสดต้นสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....123

50 (A)น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)
(B)น้ำหนักแห้งต้นสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....125

51 (A)น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)
(B)น้ำหนักสดรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....127

52 (A)น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

52 (B)น้ำหนักแห้งรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D)และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....129

53 (A)ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)
(B)ปริมาณ Chl *a* สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....133

54 (A)ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)
(B)ปริมาณ Chl *b* สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....135

55 (A)ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)
(B)ปริมาณ total Chl สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6)และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R).....137

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

56 (A)ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)
(B)ปริมาณ carotenoids สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง (I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6)และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)……...139

57 การตรวจสอบขนาดของชิ้นส่วนDNA HSP_MK ที่โคลนได้ กับชิ้นส่วนของ HSP_MK ที่ได้จากปฏิกิริยา PCR และ HSP_SJ ที่โคลนได้ กับชิ้นส่วนของ HSP_MK ที่ได้จาก ปฏิกิริยา PCR.....142

58 รูปแบบของ Total RNA ที่สกัดจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันในช่วงเวลาต่างๆ เมื่อแยกด้วย 1 % formaldehyde-agarose gel……..150

59 Northern Blot Analysis ของ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 เมื่อได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันในช่วงเวลาต่างๆ โดยใช้ โคลน HSP_SJ_9 เป็น probe……..151

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ Leguminosae และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยและของโลก เนื่องจากเมล็ดมีโปรตีนและน้ำมันสูงประมาณ 40 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นถั่วเหลืองจึงเป็นพืชอาหารที่มีคุณภาพสูง สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนเนื้อสัตว์ได้ นอกจากนี้กากถั่วเหลืองยังมีโปรตีนสูง สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดี และถั่วเหลืองยังมีความสำคัญในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกมากมาย เช่น การทำสี สบู่ เครื่องสำอางค์ ตลอดจนยารักษาโรคอีกหลายชนิด ปัจจุบันความต้องการถั่วเหลืองมากขึ้น และเกษตรกรก็มีการขยายพื้นที่ในการเพาะปลูกถั่วเหลืองดังนั้นจึงมีการส่งเสริมการปลูกถั่วเหลือง โดยแหล่งผลิตถั่วเหลืองในปัจจุบันได้กระจายไปทุกภาคของประเทศ จากการพยากรณ์โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2544/2545 พบว่า ภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกมากที่สุด คือ 1,030,549 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 69.66 รองลงมา ได้แก่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคอื่น คิดเป็นร้อยละ 17.31 11.73 และ 1.3 ตามลำดับ และคาดว่าจะมีผลผลิต 3.78 แสนตัน เมื่อเปรียบเทียบการผลิตถั่วเหลืองของโลก ถั่วเหลืองของประเทศไทยมีเพียงเล็กน้อย เพียงร้อยละ 0.25ของผลผลิตโลก (สมศักดิ์ สุริโย, 2541) ผลผลิตที่ได้ยังไม่เพียงพอกับความต้องการ เนื่องจากมีปัญหาต่างๆในด้านการผลิต สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากปัญหาภาวะร้อนและภาวะแล้ง

ภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อพืชทั้งในระดับเซลล์ สรีรวิทยา และการเจริญเติบโต (Lin, et al., 1984; Ortiz and Cardemil, 2001) ภาวะร้อนทำให้พืชสูญเสียน้ำ การเจริญเติบโตชะงักงัน อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง (Jiang and Huang, 2001a) และเสถียรภาพของเมมเบรนต่างๆภายในเซลล์ลดลง (Taiz and Zeiger,1998)ในขณะที่ภาวะแล้งทำให้การเจริญเติบโตของพืช leaf water potential evapotranspiration และ photochemical efficiency ลดลง (Aronson, Gold and Hull, 1987)

พืชมีกลไกที่คล้ายคลึงกันในการตอบสนองต่อภาวะร้อนและภาวะแล้งที่แสดงให้เห็นว่าภาวะทั้งสองส่งผลกระทบต่อพืชในรูปแบบคล้ายกัน เช่น มีการปิดปากใบและลดพื้นที่ใบ (Taiz and Zeiger, 1998) การสร้างสาร antioxidant ต่างๆ (Yong and Jung, 1990) การสะสมสาร osmoprotectants เช่น proline และ betaine (McNeil, Nuccio and Hanson, 1999) ตลอดจน

การแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับกลไกในการตอบสนองต่อภาวะร้อนและภาวะแล้ง เช่น ยีนฮีตช็อคโปรตีน (heat shock proteins; Hsps) (Vierling, 1991) เป็นต้น

Hsps เป็นโปรตีนที่จะถูกกระตุ้นให้มีการสร้างมากขึ้นเมื่อพืชได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า optimum temperature ในขณะที่การสังเคราะห์โปรตีนตลอดจนการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนทั่วไปจะลดลง โดยคาดว่า Hsps จะทำหน้าที่ในการช่วยรักษาสภาพของโปรตีนอื่นๆ ในขณะได้รับภาวะร้อน (Low, et al., 2000) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พืชสามารถทนอยู่ได้ในภาวะร้อน และมีรายงานว่าการที่พืชได้รับอุณหภูมิสูงก่อน (preheat) ในช่วงของการงอกจะทำให้พืชทนอุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น โดยในถั่วเหลืองพบว่าการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทำให้ต้นอ่อนสามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 45 องศาเซลเซียส และสัมพันธ์กับการแสดงออกของ*ยีน Hsps* ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าโปรตีน Hsps ทำหน้าที่ในแง่ของการทำให้พืชทนต่ออุณหภูมิสูง (Thermotolerance) (Ortiz and Cardemil, 2001) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมอีกหลายชนิดที่ทำให้มีการแสดงออกของยีนกลุ่มนี้เพิ่มขึ้น เช่น ภาวะแล้ง หรือ pathogens (Cascardo, et al., 2000) มีการศึกษาว่าพบการแสดงออกของยีน *Hsps* ที่เพิ่มสูงขึ้นในพืชที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง เช่น ข้าวสาลี (Helm and Abernethy, 1990) cotton (Burke, et al., 1985) Arabidopsis (Sung, Vierling and Guy, 2001) pea (DeRocher,et al., 1991) และถั่วเหลือง (Kimpel, et al., 1990) เป็นต้น Hsps มีหลายประเภทซึ่งแบ่งตามขนาดของโปรตีน โดยกลุ่มที่มีปริมาณมากและมีการแสดงออกของยีนที่สัมพันธ์กับการได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งคือ *Hsp70* ซึ่งมีการศึกษาหน้าที่ของโปรตีนกลุ่มนี้อย่างแพร่หลาย (Vierling, 1991)

กลไกการตอบสนองต่อภาวะร้อนและภาวะแล้งที่คล้ายคลึงกันแสดงให้เห็นว่าภาวะทั้งสองส่งผลกระทบต่อพืชในรูปแบบคล้ายกัน ดังนั้นจึงคาดว่าหากพืชได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งร่วมกัน ซึ่งในธรรมชาติมักเกิดขึ้นในฤดูร้อนน่าจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเพิ่มมากขึ้นกว่าในพืชที่ได้รับภาวะใดภาวะหนึ่งเพียงอย่างเดียว เช่นใน Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) Tall fescue (*Festuca arundinacea* L.) และ Perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทำให้เกิดความเสียหายต่อการเจริญเติบโต อัตราและประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงที่รุนแรงกว่าการได้รับภาวะร้อนหรือภาวะแล้งอย่างเดียว (Jiang and Huang, 2001a)

ถั่วเหลืองสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิประมาณ 20 – 25 องศาเซลเซียส (กฤษฎา สัมพันธารักษ์, 2531) มีการศึกษาถึงผลของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อการเจริญเติบโต

ปริมาณ รงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง และกลไกต่างๆที่ตอบสนองต่อภาวะทั้งสองอย่างแพร่หลาย เช่น การสร้างเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD) เพื่อกำจัดสารอนุมูลอิสระ (อัญชลี ร่มพา, 2543) หรือการสร้างโปรตีน Hsps (Vierling, 1991) แต่การศึกษาผลของภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งนั้นยังไม่มีการศึกษามากนัก ทำให้ผลร่วมของภาวะทั้งสองที่มีต่อถั่วเหลืองตลอดจนกลไกการตอบสนองที่เกิดขึ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด การศึกษาในครั้งนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลของภาวะร้อน ภาวะแล้งและภาวะ ทั้งสองร่วมกันในถั่วเหลือง 2 พันธุ์ คือ สจ. 5 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ทนต่อภาวะแล้งได้ดีและให้ผลผลิตสูงทั้งในฤดูแล้งและฝน (ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537) และพันธุ์ มข. 35 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีความทนต่อภาวะแล้งน้อยกว่าพันธุ์ สจ. 5 (อัญชลี ร่มพา, 2543) และเปรียบเทียบผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยดูผลกระทบที่เกิดขึ้นกับการเติบโตและปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งอาจจะทำให้เข้าใจถึงผลกระทบร่วมที่เกิดขึ้นจากภาวะทั้งสอง ตลอดจนตรวจสอบการแสดงออกยีน *Hsp70* ซึ่งอาจจะทำให้ทราบถึงรูปแบบการตอบสนองของโปรตีน Hsp*70* ต่อภาวะทั้งสอง

นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการเพาะเมล็ดถั่วเหลืองที่อุณหภูมิสูงต่อการปรับตัวของพืชเมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง ซึ่งอาจจะทำให้ทราบถึงหน้าที่ของโปรตีน Hsp*70* ในแง่ของการทำให้พืชมีความทนต่อภาวะทั้งสองได้ดีขึ้นและนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการพัฒนาพืชทนร้อนและทนแล้งต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งที่มีต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ ด้วยแสง และการแสดงออกของยีนฮีตช็อคโปรตีนในถั่วเหลือง

แผนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

1. ศึกษาผลของภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง และการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5
2. ศึกษาเปรียบเทียบผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในถั่วเหลือง

3. ศึกษาผลของการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการแสดงออกของยีน *Hsp70* ภายใต้ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งในถั่วเหลืองทั้ง 2 พันธุ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบผลกระทบร่วมที่เกิดขึ้นจากภาวะร้อนและภาวะแล้ง เปรียบเทียบกับการได้รับภาวะร้อนหรือ ภาวะแล้งเพียงอย่างเดียว ตลอดจนตรวจสอบการแสดงออกยีน *Hsp70* ซึ่งอาจจะทำให้ทราบถึงรูปแบบการตอบสนองของโปรตีน *Hsp70* ต่อภาวะทั้งสอง
2. ปัจจัยที่ศึกษาสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับคัดพันธุ์ถั่วเหลืองเพื่อใช้ในการผสมพันธุ์เพื่อปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองทนร้อนและทนแล้วในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ภาวะร้อน

อุณหภูมิเป็นปัจจัยทางกายภาพที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช พืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ดีที่ช่วงอุณหภูมิต่างกัน ทำให้การกระจายพันธุ์ของพืชตามที่ต่างๆของโลกมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะของแต่ละพื้นที่ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงประมาณ 20 -30 องศาเซลเซียส (Taiz and Zeiger,1998) แต่พืชจะได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม(optimum temperature) ตั้งแต่ 10 ถึง 20 องศาเซลเซียส ขึ้นไปเป็นระยะเวลายาวนาน(Maestri et al., 2001)

ภาวะร้อนที่เกิดขึ้นจะสร้างความเสียหายให้กับพืชอย่างรุนแรงทั้งในระดับเซลล์ สรีรวิทยา และการเจริญเติบโต (Lin, et al., 1984; Ortiz and Cardemil, 2001) ในระดับเซลล์ภาวะร้อนจะมีผลกระทบต่อหลายองค์ประกอบของเซลล์โดย Ebercon and Blum (1981) ซึ่งทำการศึกษาผลกระทบของภาวะร้อนต่อเสถียรภาพของเมมเบรน(membrane stability)ในข้าวสาลี พบว่าเมื่อข้าวสาลี ได้รับภาวะร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 44 องศาเซลเซียส เสถียรภาพของเมมเบรนมีค่าลดลง และ Smerenko et al. (1997) ยังพบว่าภาวะร้อนยังส่งผลทำให้microtubules ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ และช่วยในการแบ่งเซลล์ เกิดความผิดปกติ และส่งผลทำให้มีการแบ่งเซลล์ลดลงอีกด้วย

ภาวะร้อนยังส่งผลกระทบต่อกระบวนสังเคราะห์ด้วยแสงโดยมีรายงานว่า ภาวะร้อนทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง(Jiang and Huang, 2001a)ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง มีรายงานว่าเกิดจากภาวะร้อนทำให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลายและกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์ก็ถูกยับยั้งด้วย(Tewari and Tripathy, 1998) ภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียสทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้าวสาลี ข้าว ข้าวฟ่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการได้รับอุณหภูมิ 22 และ 32 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ลดลงมีสาเหตุมาจากความเสียหายจากระบบแสง 2 (Photosystem II)(Al- Khatib and Paulsen, 1999) ภาวะร้อนยังส่งผลกระทบต่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชอีกด้วยโดย Law and

Crafts- Brandner (1999) พบว่า ภาวะร้อนทำให้การทำงานของเอนไซม์ Ribulose- 1, 5- Bisphosphate Carboxylase/ Oxygenase (Rubisco) ลดลง โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Rubisco activase ซึ่งการที่ภาวะร้อนส่งผลกระทบทั้งในระดับเซลล์และกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนี้จึงมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชโดย Lafta and Lorenzen (1995) พบว่าภาวะร้อนทำให้ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้น tuber และเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรตของมันฝรั่งลดลง

ภาวะแล้ง

น้ำเป็นปัจจัยกายภาพที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช น้ำเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาโบลิซึมต่างๆ ของพืชและการคงรูปร่างของเซลล์พืช พืชต่างชนิดกันมีความต้องการน้ำที่แตกต่างกัน ดังนั้นน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดชนิดของพืชที่จะสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ในสภาพพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำแตกต่างกัน (Yamaguchi-Shinozaki, 2002)

ภาวะแล้งในธรรมชาติเป็นภาวะที่เกิดจากการขาดน้ำอันเนื่องมาจากฝนแล้งเป็นระยะเวลานานหรือเกิดจากแหล่งน้ำธรรมชาติเหือดแห้ง จนน้ำที่สะสมอยู่ในดินลดลงและทำให้พืชไม่สามารถดึงเอาไปใช้ได้ทำให้พืชขาดน้ำที่จะนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆเพื่อการเจริญเติบโต การดึงน้ำเข้าสู่พืชอาศัยกระบวนการที่อาศัยความแตกต่างของค่า water potential ระหว่าง ดิน พืช และบรรยากาศเป็นหลัก โดยการควบคุมของปากใบพืชและผ่านทางระบบท่อลำเลียง เมื่อเกิดการคายน้ำเนื่องจากความแตกต่างระหว่างค่า water potential ระหว่างอากาศกับพืช และทำให้ค่า water potential ของใบลดลง และน้ำในดินก็จะถูกดึงขึ้นมาโดยผ่านทางราก กระบวนการคายน้ำนี้ยังเกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิของใบโดยความร้อนจะถูกระบายไปกับน้ำที่ระเหยไปในอากาศ ดังนั้นในภาวะแล้งพืชไม่สามารถดึงน้ำขึ้นมาได้จึงทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง (Hall, 2001)

เมื่อพืชได้รับภาวะแล้งจะมีการตอบสนองหลายลักษณะ เช่น มีการม้วนตัวของใบ การปิดปากใบและการปรับค่าออสโมติกของพืช โดยมีรายงานว่าการขาดน้ำมีผลต่ออัตราการขยายพื้นที่ใบในถั่ว โดยการขาดน้ำจะส่งผลทำให้จำนวนเซลล์ และขนาดของเซลล์ลดลง (Lecoeur, et al., 1995) และนอกจากนี้การลดขนาดของพื้นที่ใบยังเป็นผลมาจากการลดลงของแรงดันเต่งที่เกิดมาจากการขาดน้ำ(Taiz and Zeiger, 1998) ภาวะแล้งยังส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดย Boyer (1970) รายงานว่าการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของทานตะวันลดลงเมื่อได้รับภาวะแล้ง ซึ่งสาเหตุเนื่องจากการขาดน้ำทำให้พืชมีการปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ การปิด

ปากใบทำให้พืชไม่สามารถดึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศได้และส่งผลทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบลดลง และทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง ภาวะแล้งยังทำให้พืชมีการหลุดร่วงของใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำอีกด้วย

ผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งที่มีต่อการเติบโตของพืช

การศึกษาผลของภาวะร้อนและภาวะแล้งนั้นมีการศึกษาค่อนข้างแพร่หลายเนื่องจากเป็นปัจจัยทางกายภาพที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างกว้างขวาง ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น อาจกล่าวได้ว่าผลกระทบของภาวะทั้งสองต่อพืชนั้นมีความคล้ายคลึงกัน ที่เห็นได้ชัดเจนคือการทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงเนื่องจากภาวะร้อนซึ่งนอกจากจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อพืชแล้วยังทำให้การระเหยของน้ำในดินและการคายน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการขาดน้ำส่งผลทำให้พืชได้รับภาวะแล้งร่วมด้วย แต่การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของภาวะทั้งสองต่อพืชยังไม่มีการศึกษามากนัก ทั้งที่ในสภาพธรรมชาติ พืชมักประสบปัญหาจากภาวะทั้งสองพร้อมกันโดยเฉพาะในฤดูร้อน

Jagtap et al. (1998) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของภาวะแล้ง ภาวะร้อน และความเข้มแสงต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในข้าวฟ่าง 5 สายพันธุ์ที่มีความทนต่อภาวะแล้งแตกต่างกัน พบว่า ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ Chlorophyll fluorescence และการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง มีการตอบสนองต่อภาวะทั้งสามแตกต่างกับไปตามแต่ละสายพันธุ์ โดยภาวะร้อนและภาวะแล้งส่งผลกระทบต่อค่าพารามิเตอร์ต่างๆไม่สอดคล้องกัน แสดงว่าการศึกษาผลของภาวะทั้งสองต่อพืชแยกกัน อาจไม่สามารถบอกถึงผลกระทบร่วมของภาวะทั้งสองที่พบในสภาพธรรมชาติต่อพืชได้ชัดเจน

Jiang and Bingru (2001) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของภาวะร้อน ภาวะแล้งและผลร่วมของภาวะทั้งสองต่อการเจริญเติบโต ของ Kentucky bluegrass *(Poa pratensis* L.) พบว่าเมื่อพืชได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง มีการลดลงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthetic rate(P_a)) ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง(photochemical efficiency (Fv/Fm)) มากกว่าการที่พืชได้รับภาวะร้อนหรือ ภาวะแล้งเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Jiang and Huang (2001a) ที่ได้ทำการศึกษาผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อ Turfgrass สองชนิด คือ tall fescue *(Festuca arundinacea* L.) และ Kentucky Bluegrass

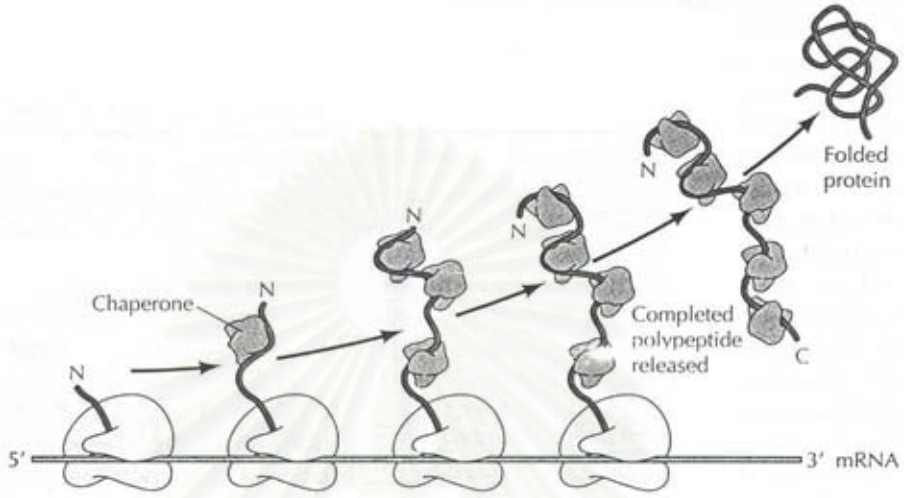
(*Poa Pratensis* L.) พบว่า เมื่อพืชทั้งสองได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ มีค่าลดลงมากกว่าการที่พืชได้รับภาวะร้อนหรือภาวะแล้งแต่เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบการเพิ่มขึ้นของการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระ ได้แก่ superoxide dismutase (SOD) ascorbate peroxidase (AP) glutathione reductase (GR) นอกจากนี้ ผลการทดลองของ Rizhsky et al. (2002) ที่ทำการศึกษาต้นยาสูบ พบว่าผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งยังส่งผลทำให้มีเพิ่มการปิดปากใบ การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทั้งสองพบมากเมื่อพืชได้รับภาวะแล้ง และภาวะร้อนตามลำดับ ซึ่งการที่พืชได้รับภาวะทั้งสองร่วมกันทำเกิดผลกระทบที่แตกต่างออกไปจากการได้รับภาวะร้อนหรือภาวะแล้งเพียงอย่างเดียว

ฮีตช็อคโปรตีน (Heat Shock Protein)

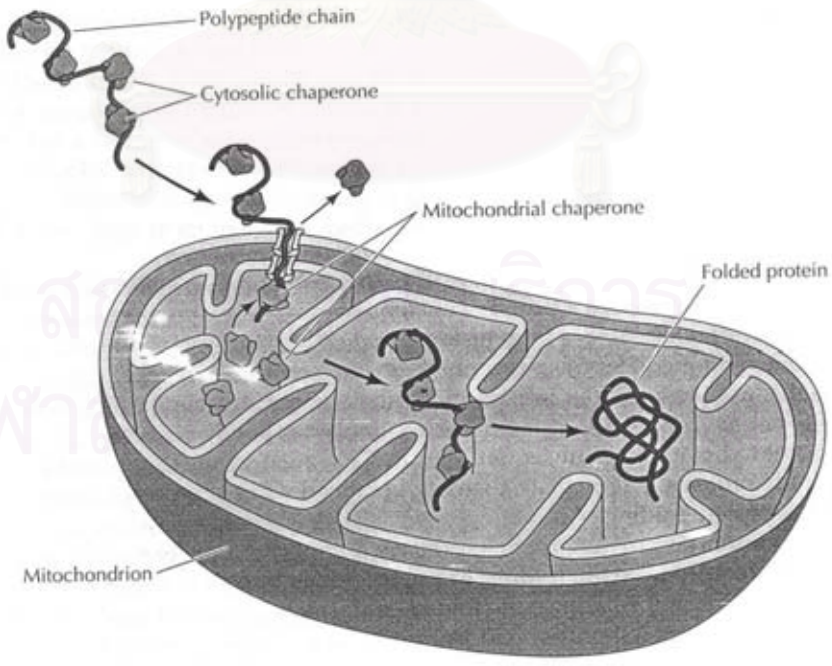
ฮีตช็อคโปรตีนเป็นโปรตีนกลุ่มหนึ่งที่ถูกกระตุ้นให้มีการสร้างเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยความร้อน การศึกษาฮีตช็อคโปรตีนมีครั้งแรกในแมลงหวี่(*Drosophila melanogaster*) และต่อมาพบในสิ่งมีชีวิตทั้งจุลินทรีย์ สัตว์ พืช(Taiz and Zeiger, 1998) โดยการค้นพบฮีตช็อคโปรตีนในพืชนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างทันทีจากอุณหภูมิปกติที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตเป็นอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น 10 – 15 องศาเซลเซียส (Miermnyk and Hayman, 1996)

ปัจจุบันฮีตช็อคโปรตีนแบ่งได้หลายกลุ่มย่อย โดยใช้ขนาดของโปรตีนเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง คือ Hsp110, Hsp100, Hsp90, Hsp70, Hsp60, Hsp40, Hsp10 และ small Hsp families (Verling,1991) ฮีตช็อคโปรตีนส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับกระบวนการช่วยม้วนพับสายโพลีเปปไทด์ให้กลายเป็นโมเลกุลโปรตีนที่ถูกต้องและสมบูรณ์ เรียกโปรตีนที่มีหน้าที่นี้ว่า molecular chaperone การทำงานของ molecular chaperone ในการช่วยม้วนพับสายโพลีเปปไทด์ในเซลล์ในสภาวะปกติเกิดขึ้นได้ทั้งกระบวนการ translation(รูปที่ 1) และกระบวนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลโปรตีนผ่าน membrane เข้าสู่ organelle ต่างๆของเซลล์ (รูปที่ 2) นอกจากนี้ molecular chaperone ยังเกี่ยวข้องกับการช่วยม้วนพับโมเลกุลโปรตีนที่เสียสภาพและคลายตัวเมื่อเซลล์ได้รับภาวะร้อน โดยการศึกษาผลของภาวะร้อนต่อการแสดงออกของฮีตช็อคโปรตีน มีการศึกษามานานโดย Key et al. (1981) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจาก 28 เป็น 40 องศาเซลเซียสทำให้รูปแบบของโปรตีนในถั่วเหลืองเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วภายใน 3-4 ชั่วโมงและเปลี่ยนกลับไปเหมือนเดิมอย่างรวดเร็วหลังจากเข้าสู่ภาวะปกติ ซึ่งคาดว่าโปรตีนที่มีการสร้างเพิ่มขึ้นนี้ถูกกระตุ้นด้วยความร้อนมีการตอบสนองแบบชั่วคราว(transient expression) สอดคล้องกับ Kimpel (1990) ที่ศึกษาผลของ

ภาวะร้อนในถั่วเหลืองพบว่าปริมาณ mRNAมากขึ้นเมื่อได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และถึงแม้ว่าฮีตช็อคโปรตีนถูกพบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยความร้อนแต่ก็มีรายงานว่าฮีตช็อคโปรตีนแต่ละชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยปัจจัยทางกายภาพอื่นๆหรือสารเคมีบางชนิดเช่น ความเย็น ภาวะแล้ง และ H_2O_2 (Morimoto, et al., 1994).



รูปที่ 1 หน้าที่ของ molecular chaperone ในการม้วนพับสายโพลีเปปไทด์ให้กลายเป็นโปรตีนที่ถูกต้องในกระบวนการ translation (Wolfe, 1993)



รูปที่ 2 หน้าที่ ของmolecular chaperone ในการช่วยการเคลื่อนผ่าน membrane ของ organelle ภายในเซลล์ (Wolfe, 1993)

ฮีตช็อคโปรตีน 70 (Hsp70)

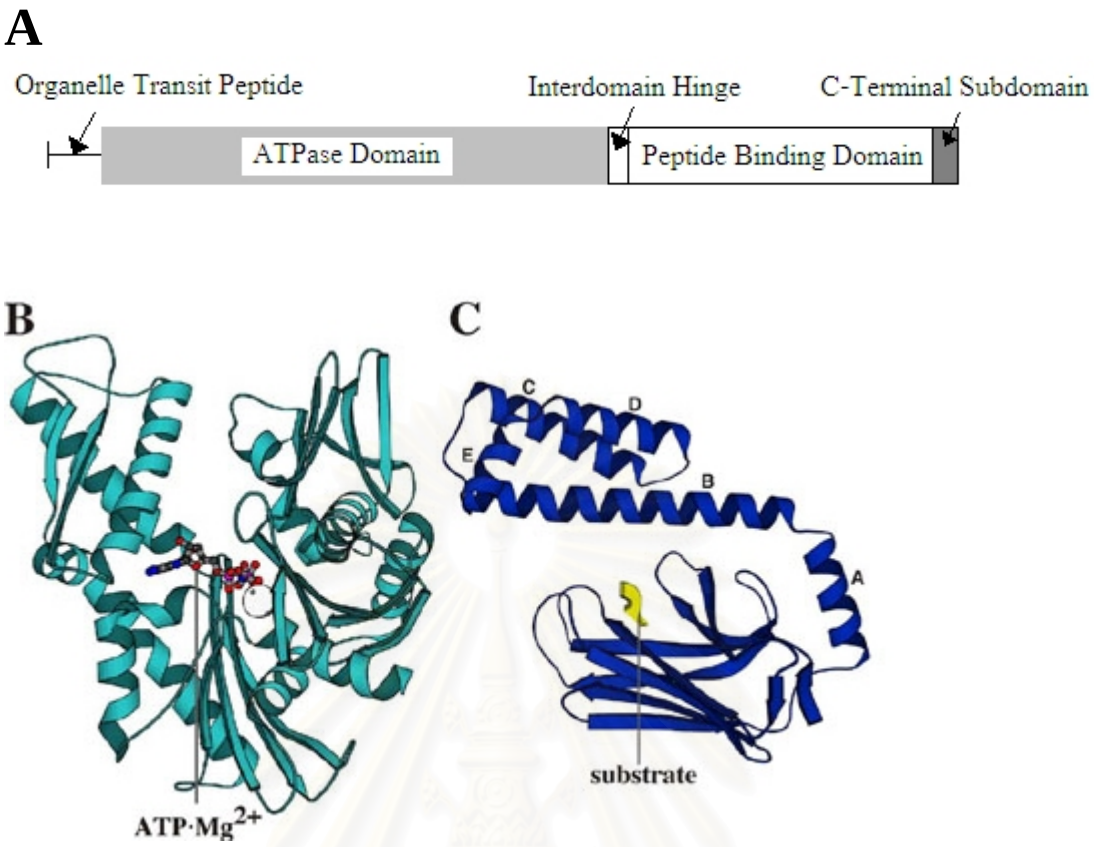
ฮีตช็อคโปรตีน 70(Hsp70) เป็นฮีตช็อคโปรตีนกลุ่มหลักที่จะถูกสร้างเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับกระตุ้นด้วยความร้อน และทำหน้าที่ช่วยในการม้วนพับของสายโพลีเปปไทด์ให้กลายเป็นโมเลกุลโปรตีนที่สมบูรณ์ (molecular chaperones) โดยทำงานร่วมกับฮีตช็อคโปรตีนชนิดอื่นๆและโมเลกุลบางชนิด โดยหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการม้วนพับของสายโพลีเปปไทด์ให้กลายเป็นโมเลกุลโปรตีนที่สมบูรณ์นั้นเกิดขึ้นทั้งในสภาพปกติ และ สภาพที่เซลล์ได้รับการกระตุ้นด้วยความร้อนนี้ ฮีตช็อคโปรตีนมีขนาดประมาณ 70 กิโลดาลตัล (kDa) พบได้ทั่วไปทั้งใน cytoplasm matrix ของ mitochondria และ stroma ของ chloroplast โครงสร้างของโมเลกุลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ

1. ATPase domain เป็นบริเวณที่อยู่ทางด้าน N- terminal ของโปรตีน มีขนาดประมาณ 40 kDa
2. Peptide binding domain เป็นบริเวณที่อยู่ทางด้าน C- terminal ของโปรตีน มีขนาดประมาณ 25 kDa

ทั้งสองส่วนถูกแบ่งด้วย hinge region ที่เกี่ยวข้องกับ protease cleavage(รูปที่ 3) และบริเวณปลายของ ด้านC- terminal ที่มีขนาดประมาณ 5 kDa ของ Hsp70 หลายชนิดจะทำหน้าที่ร่วมกับ co-chaparone

หน้าที่ของ ATPase domain จะเกี่ยวข้องกับ ATP hydrolysis และ Peptide binding domain จะทำหน้าที่ในการจับกับ hydrophobic region ของสายโพลีเปปไทด์ซึ่งยังไม่ได้เกิดการม้วนพับที่สมบูรณ์ โดยการจับกับโมเลกุล ATP จะทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ ATPase domain และส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ Peptide binding domain และทำให้สามารถจับกับ hydrophobic region ของสายโพลีเปปไทด์ได้ (Miernyk and Hayman, 1996)

การศึกษากลไกการควบคุมการทำงานของ Hsp70 นั้นได้มาจากการศึกษาการทำงานของ DnaJ ของ *E. coli*. ซึ่งทำหน้าที่คล้ายคลึงกับ Hsp70 ในสิ่งมีชีวิตชั้นสูง โดยพบว่า การทำงานของ Hsp70 จะทำงานเป็นวัฏจักรร่วมกับ Hsp40 เรียกว่า “Hsp70 cycle” และ โดยมีกลไกการทำงานดังนี้ (รูปที่ 4)

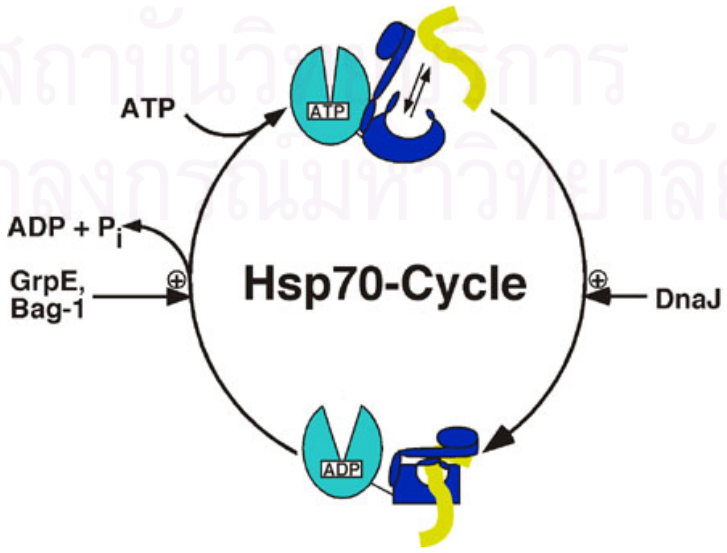


รูปที่ 3 โครงสร้างของ Hsp70

(A) โครงสร้างของ Hsp ซึ่งประกอบด้วย ATPase domain และ Peptide binding domain

(B) โครงสร้างสามมิติของ ATPase domain

(C) โครงสร้างสามมิติของ Peptide binding domain



รูปที่ 4 วัฏจักร Hsp70

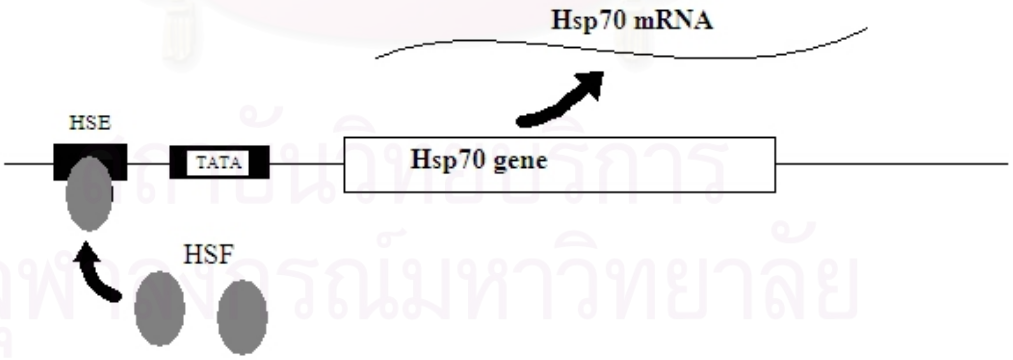
1. ATP จับกับ ATPase domain และทำให้ กระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ ATPase domain และส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ Peptide binding domain ทำให้สามารถจับกับ hydrophobic region ของสายโพลีเปปไทด์ได้แต่ความสามารถในการจับยังไม่ดี(low binding affinity)
2. Hsp40 (DnaJ) จะทำหน้าที่ในการ นำสายโพลีเปปไทด์มายังโมเลกุล Hsp70
3. Hsp40 จับกับบริเวณ ATPase domain ของ Hsp70 และส่งต่อสายโพลีเปปไทด์ไปยังPeptide binding domain
5. Hsp 40 ทำหน้าที่กระตุ้นให้บริเวณที่จับกับสายสายโพลีเปปไทด์ของ Peptide binding domain ทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนควบคุม(rate-limiting reaction)ในการจับกับสายโพลีเปปไทด์
6. GrpE ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่จับกับ Hsp40 และ ADP จะทำหน้าที่ดึงเอาHsp40 และ ADPออกจาก Hsp70 และเริ่มต้นวัฐจักรใหม่

การทำงานของ Hsp70 ยังเกี่ยวข้องกับโปรตีน Hip ที่มีลักษณะเป็น tetratricopeptide repeat protein ซึ่งพบใน Arabidopsis (Hohfeld, et al. 1995)ซึ่งจะทำหน้าที่ในการจับกับ ATPase domain ของ Hsp70 และทำให้สภาวะที่มีการจับของADPบน ATPase domain มีเสถียรภาพ รักษาความสามารถในการจับกับสายโพลีเปปไทด์ของ peptide binding domain และความสามารถในการม้วนพับสายโพลีเปปไทด์ของ Hsp70 นอกจากนี้ยังมีการค้นพบ โปรตีน Hop ที่มีลักษณะเป็น tetratricopeptide repeat protein ทำหน้าที่ในการจับ Hsp70 และ Hsp90 รวมกันเป็นกลุ่มเพื่อทำหน้าที่ในการม้วนพับสายโพลีเปปไทด์(multi-chaparone complex) และโปรตีน Bag-1 ที่หน้าที่เป็น negative regulator โดยจะจับกับบริเวณ ATPase domain เพื่อกระตุ้นการเกิดATP hydrolysis และเกิดการหลุดออกของ ADP ซึ่งหน้าที่นี้คล้ายคลึงกับการทำงานของ GrpE

ในสภาพปกติ Hsp70 มักอยู่รวมกันเป็นกลุ่มซึ่ง อาจจับเป็น dimer trimer หรือ oligomer ซึ่งการอยู่รวมกลุ่มกันนี้จะเป็นลักษณะของ inactive form และเมื่อเข้าสู่ภาวะเครียดก็จะมีการแยกตัวกลับมาเป็นโมเลกุลเดี่ยว เพื่อทำงานอีกครั้ง ซึ่งปัจจัยที่กำหนดการรวมกลุ่มกันของโมเลกุล Hsp70 นี้มีรายงานว่าเกี่ยวข้องกับปริมาณของสายโพลีเปปไทด์ในเซลล์ (Benaroudj, et al. 1997)

การควบคุมการแสดงออกของยีน *Hsp70* นั้นเกี่ยวข้องกับการได้รับภาวะร้อน โดยพบว่า *Hsp70* ส่วนใหญ่จะถูกกระตุ้นให้มีการสร้างเพิ่มขึ้นภายใน 30 นาที ถึง 4 ชั่วโมงหลังจากเซลล์ได้รับกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 37 ถึง 45 องศาเซลเซียส (Li, Haskell and Guy, 1999) โดยใน Arabidopsis พบว่า *Hsp*70 อย่างน้อยหนึ่งยีน ได้รับการกระตุ้นให้มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นถึง 20 เท่าเมื่อได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามก็มีรายงานว่า ยีน *Hsp70* บางชนิด ถูกกระตุ้นให้มีการแสดงออกได้ด้วยอุณหภูมิต่ำ เช่น ในมะเขือเทศ และ spinach ที่มีการแสดงออกของยีน *Hsp70* เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ถึง 48 ชั่วโมง (Guy and Li, 1998)

การควบคุมการแสดงออกของยีน *Hsp70* นั้นเกี่ยวข้องกับการทำงานของ heat shock transcription factor (HSFs) และ heat shock elements(HSEs) (รูป 5) ที่มีตำแหน่งอยู่บน promoter โดย HSF จะทำหน้าที่ในการจับกับ HSE ที่อยู่บน promoter ของยีน *Hsp* หลายชนิด รวมทั้ง *Hsp*70 เพื่อกระตุ้นการแสดงออกของยีน *Hsp70* (Schoffl et al., 1998) ในสภาพปกติ HSF ที่อยู่ในสภาพ inactiveร่วมกับ Hsp70 หรืออาจอยู่เป็นอิสระก็ได้ แต่เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยภาวะร้อน ปริมาณ Hsp70 (Hsp70 pool) จะลดลงเนื่องจากไปทำหน้าที่ในการจับกับโมเลกุลโปรตีนที่คลายตัวเนื่องจากความร้อน HSF ที่อยู่รวมกับHsp70 และแยกตัวออกเป็นอิสระจะไปทำหน้าที่จับกับ HSE และกระตุ้นการแสดงออกของยีน *Hsp70* และมีการเพิ่มปริมาณ Hsp70 ในเซลล์ ในขณะที่หากมีปริมาณ Hsp70 มากเกินไปในเซลล์ Hsp70 ก็จะจับกับ HSF อิสระเพื่อยับยั้งไม่ให้ไปกระตุ้นการแสดงออกของยีน *Hsp70*

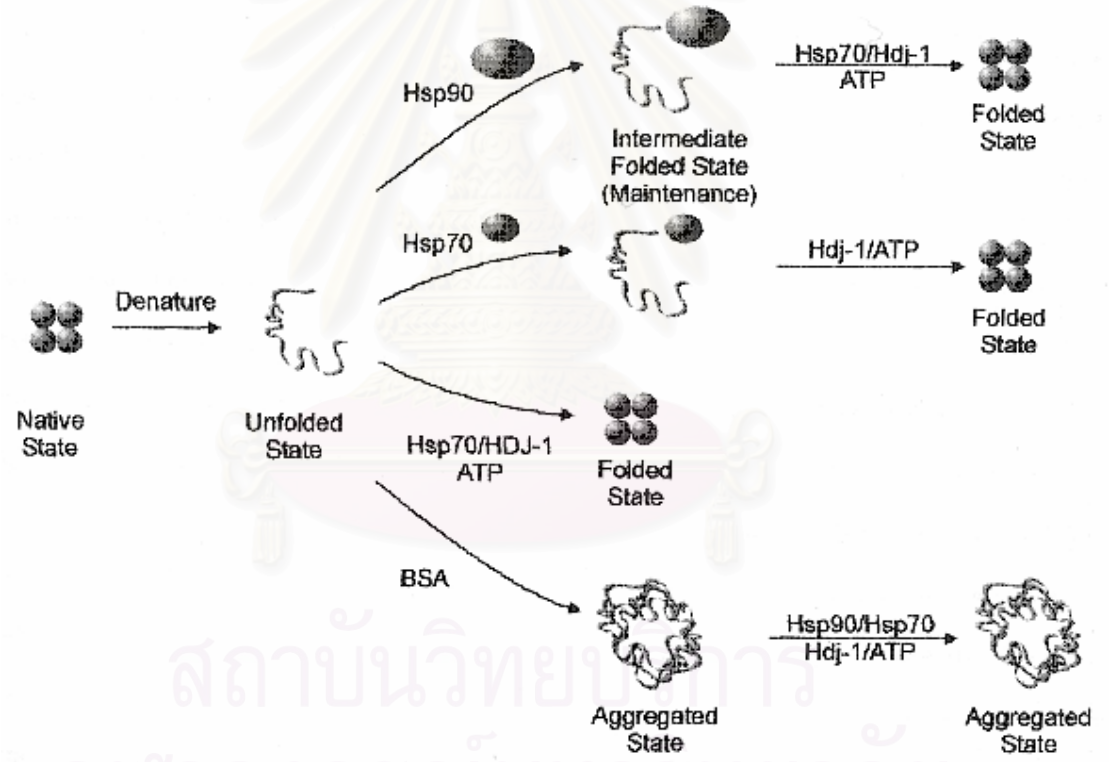


รูปที่ 5 การทำงานของ HSF ในการควบคุมการแสดงออกของยีน *Hsp*70

การควบคุมการแสดงออกของยีน *Hsp70* อาจเกี่ยวข้องกับอีกกระบวนการหนึ่งที่เรียกว่า Unfolding protein pathway (UPR) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการคลายตัวของโมเลกุลโปรตีนกลายเป็นสายโพลีเปปไทด์เพื่อการเคลื่อนย้ายผ่านเมมเบรนเข้าสู่ organelle ต่างๆ

pathway นี้ จะกระตุ้นการแสดงออกของยีนกลุ่ม *Hsp70* เพื่อทำหน้าที่ในการช่วยการ คลายตัวและม้วนพับตัวของสายโพลีเปปไทด์ (Sung, et al., 2001)

ภาวะร้อนซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ในหลายลักษณะ สิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นคือการชะลอกระบวนการสร้างโปรตีนทั่วไป และโปรตีนที่มีอยู่ในเซลล์ตลอดจนสายโพลีเปปไทด์ที่อยู่ในระหว่างการพับตัวเกิดความผิดปกติ ซึ่งนำไปสู่การม้วนพับการเป็นโมเลกุลที่ผิดปกติ หรือเกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน ในสภาวะเครียดเช่นนี้ มีรายงานว่าฮีตช็อคโปรตีนโดยเฉพาะ Hsp70 จะถูกกระตุ้นให้มีการสร้างเพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยในกระบวนการรักษาโมเลกุลโปรตีนให้เกิดการม้วนพับตัวที่ถูกต้อง และป้องกันการเกาะกลุ่มกันของโปรตีน(รูปที่ 6)



รูปที่ 6 แสดงหน้าที่ของ Hsp70 ในการทำหน้าที่ช่วยม้วนพับโมเลกุลโปรตีนที่เสียสภาพและคลายตัวโดยอาจทำงานร่วมกับ Hsp90 หรือ โมเลกุลอื่นก็ได้ขึ้งอยู่กับลักษณะและชนิดของโปรตีน

ดังนั้นจึงมีการศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* ที่ตอบสนองต่อภาวะร้อนกันอย่างแพร่หลาย โดย Kimpel and Key (1985) ศึกษาพบ mRNA บางชนิดของฮีตช็อคโปรตีนกลุ่ม Hsp70 มีปริมาณเพิ่มขึ้นในถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนในช่วงเที่ยงวันในการปลูกในสภาพ

ธรรมชาติ Wu et al. (1988) ได้ทำการศึกษา องค์ประกอบของสายโพลีเปปไทด์ในเซลล์ของ Arabidopsis ที่ได้รับภาวะร้อน พบว่า มีสายโพลีเปปไทด์อย่างน้อย 12 ชนิดที่อยู่ในกลุ่ม Hsp70 เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับการศึกษาการแสดงออกของยีนที่พบว่ามีปริมาณ mRNA ที่เกี่ยวข้องกับฮีตช็อคโปรตีนกลุ่ม Hsp70 เพิ่มขึ้น Sung et al. (2001) ได้ทำการศึกษารูปแบบการแสดงออกของยีน *Hsp70* ใน Arabidopsisโดยวิธี reverse transcription พบว่า ยีน *Hsp70* อย่างน้อย 11 ยีนที่ถูกกระตุ้นให้มีการแสดงออกเพิ่มขึ้น 2 ถึง 20 เท่า เมื่อได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่ง ยีนกลุ่มนี้เป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับ Hsp70 ที่ทำงานทั้งใน cytosol endoplasmic reticulum mitochondrial matrix และ plastid stroma

ในขณะที่รายงานการศึกษาภาวะแล้งต่อการแสดงออกของยีนกลุ่ม *Hsp70* ในพืชมีการศึกษาด้วยได้ เช่นกัน โดย Figueiredo และคณะ(1997) ได้ทำการศึกษาการแสดงออกของยีน *BiP* ซึ่งเป็นยีน *Hsp70* กลุ่มหนึ่งที่อยู่ใน endoplasmic reticulum ในถั่วเหลืองพบว่า นอกจากยีน *BiP* จะถูกกระตุ้นได้ด้วยภาวะร้อน แล้วยังถูกกระตุ้นการแสดงออกได้ด้วย การใช้ PEG 8000 ในการจำลองภาวะแล้ง สอดคล้องกับงานของ Alvim (2001) ที่ทำการศึกษา การแสดงออกของยีน *BiP* ในยาสูบที่ผ่านการตัดต่อทางพันธุกรรมให้มีการแสดงออกของยีน *BiP* มากขึ้น (BiP overexpression mutant) พบว่าการแสดงของยีน *BiP* ได้รับการกระตุ้นเมื่อได้รับภาวะแล้งและเกี่ยวข้องกับการป้องกันเซลล์จากภาวะขาดน้ำและ oxidative stress และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การคายน้ำ ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ในต้นที่ผ่านการตัดต่อทางพันธุกรรม ยังมีมากกว่าอีกด้วย Cascardo et al.(2000) รายงานว่าการแสดงออกของยีน *BiP* ในถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับภาวะแล้งและเมื่อรับ tunicamycin ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นของ unfolding protein pathway ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำงานของ *BiP* ภายใต้ภาวะแล้งเกี่ยวข้องกับการม้วนพับสายโพลีเปปไทด์ ผลการศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงบทบาทในการปกป้องเซลล์ของ BiP เมื่อได้รับภาวะแล้ง Kalinski et al. (1995) ศึกษาพบการแสดงออกของยีน *BiP* ในใบ ฝัก ลำต้น พบว่านอกจากยีน *BiP* จะถูกกระตุ้นได้ด้วยภาวะแล้งแล้วยังมีแสดงออกของยีนเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดบาดแผลแสดงให้เห็นถึงการตอบสนองที่หลากหลายของ ยีนกลุ่มนี้ที่ทำหน้าที่ในการปกป้องเซลล์เมื่อได้รับภาวะต่างๆ แต่การศึกษาผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งที่มักจะเกิดขึ้นพร้อมกันในช่วงฤดูร้อนหรือช่วงกลางวัน ต่อการแสดงออกของยีน *Hsp70* นั้นเริ่มมีการศึกษาโดย Kimpel and Key (1985) ศึกษาพบปริมาณ mRNA บางชนิดของฮีตช็อคโปรตีนกลุ่ม Hsp70 เพิ่มขึ้นเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งจากการงดให้น้ำร่วมด้วย ผลการศึกษาของ Arora (1997)ที่ศึกษาผลของการได้รับภาวะแล้งต่อการทนร้อนของ zonal geranium (*Pelagonium hortorum*) พบว่าการให้ได้รับภาวะแล้งโดยการให้น้ำเพียง 30 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุมเป็นระยะเวลาหนึ่งทำให้พืชสามารถทน

ร้อนได้มากขึ้น และเมื่อตรวจสอบการแสดงออกของยีนพบว่ามีการแสดงออกของยีนกลุ่ม *Hsp70* และ dehydrin Rizhsky et al. (2002) ทำการศึกษารูปแบบการแสดงออกของยีนทั้งหมดในยาสูบ ใน ภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน พบว่าการแสดงออกของยีนเมื่อได้รับภาวะร้อน และภาวะแล้งมีลักษณะร่วมกันในหลายยีนโดยเฉพาะยีนในกลุ่ม *Hsp* และ ยีนที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระ และoxidative stress การรักษาค่าออสโมติกโพเทนเชียลในเซลล์ และฮีตช็อคโปรตีน และพบว่าการได้รับภาวะทั้งสองร่วมกันทำให้มีการแสดงออกของยีนกลุ่มนี้มากขึ้นกว่าการได้รับแต่ละภาวะเพียงอย่างเดียว

การกระตุ้นความทนทานต่อความภาวะร้อนและภาวะแล้ง (Acquired tolerance)

การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมเช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ แสง เป็นต้น หากเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและฉับพลัน เกินความสามารถของพืชที่จะสามารถทนได้ อาจส่งผลกระทบต่อการการเจริญเติบโตของพืชจนพืชไม่สามารถอยู่รอดต่อไปได้ แต่หากพืชได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยสิ่งแวดล้อมเหล่านั้นในระยะเวลาไม่นาน และไม่รุนแรงเกินความทนของพืชชนิดนั้นๆ จะทำให้พืชปรับตัวให้ทนได้เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมชนิดนั้นอีก ความทนที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความทนทานที่เกิดจากการกระตุ้น(acquired tolerance) โดยการศึกษานี้มีประโยชน์ในด้านการปรับปรุงพันธุ์พืช

การศึกษาความทนทานที่เกิดจากการกระตุ้นจากทั้งภาวะร้อนและภาวะแล้งนั้นมีการรายงานว่า การให้ *Prosopis chilensis* และ ถั่วเหลืองได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสในระหว่างการงอกของเมล็ด ทำให้พืชทั้งสองสามารถเจริญเติบโตได้เมื่อได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการที่พืชทั้งสองชนิดนั้นสามารถเจริญเติบโตเมื่อได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิเพียง 45 องศาเซลเซียสเมื่อได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์กับการแสดงออกของยีน *Hsp70* อีกด้วย (Ortiz and Cardemil, 2001) Jiang and Huang (2001b) รายงานว่าการให้ Kentucky bluegrass ได้รับภาวะแล้งในช่วงระยะเวลาสั้นๆก่อนการได้รับภาวะร้อน ทำให้พืชมีความทนทานต่อภาวะแล้งได้ดีขึ้น และการศึกษา thermotolerant mutant ของข้าวสาลี พบว่า mutant ที่เกิดจากการคัดเลือกโดยการให้ได้รับภาวะร้อนในระยะต้นกล้า จำนวน 13 mutant สามารถทนทานต่อภาวะร้อนได้แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบค่าต่างๆเช่น ค่าประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ จำนวนเมล็ด เป็นต้น (Mullarkey and Jones, 2000) การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ากลไกการปรับตัวเพื่อให้เกิดความทนทานเมื่อพืชรับภาวะร้อนและภาวะแล้งอาจมีความคล้ายคลึงกัน ซึ่ง

แสดงให้เห็นถึงความทนทานจากการได้รับการกระตุ้นทำให้เกิดการปรับตัวที่แตกต่างกัน ซึ่งการศึกษากลไกความทนทานนี้ก็ มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการแสดงออกของยีนรวมถึงฮีตช็อคโปรตีนด้วย โดย การศึกษาเปรียบเทียบ creeping bentgrass (*Agrostis pallustris* Huds.) สายพันธุ์ที่ทนร้อนที่เกิดจากการคัดเลือกโดยวิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและกระตุ้นด้วยภาวะร้อน พบว่าพบการแสดงออกของโปรตีน Hsp ในสายพันธุ์ทนร้อนมากกว่าสายพันธุ์ปกติ เมื่อทั้งสองสายพันธุ์ได้รับภาวะร้อน (Park, et al., 1996)

ลักษณะของถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลอง(ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537)

ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35

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

1. ต้านทานต่อโรคแบคทีเรียพัสตุล
2. ลำต้นสูงแข็งแรงต้านทานการหักล้ม
3. เมล็ดมีขนาดใหญ่ เปลือกหุ้มเมล็ดหนา ทำให้ไม่เสื่อมความงอกได้ง่าย
4. ทนทานแล้งและเจริญได้ดีในดินกรดและด่าง
5. สามารถตรึงไนโตรเจนได้ดี
6. สามารถปลูกได้ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ถั่งเหลืองพันธุ์ สจ.5

สจ. 5 เป็นถั่วเหลืองพันธุ์ที่ได้จากการผสมพันธุ์และคัดพันธุ์ในปีเดียวกับที่มีการสร้างพันธุ์ สจ 4. ในปี พ.ศ. 2513 และเป็นคู่ผสมที่ 24 (สจ. 4 เป็นคู่ผสมที่ 19) ระหว่างพันธุ์ Tainung ที่มีลักษณะต้านทานต่อโรคราสนิม เมล็ดใหญ่ แต่มีลักษณะด้อยคือ เปลือกหุ้มเมล็ดแตกง่าย ผสมกับพันธุ์ สจ. 2 ซึ่งปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดี แต่อ่อนแอต่อโรคราสนิมและเมล็ดเล็ก ทำการผสมพันธุ์ที่สถานีกสิกรรมแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ สจ. 5 มีลักษณะดีดังนี้คือ

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

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ตัวอย่างพืช

ในการทดลองนี้ใช้ถั่วเหลือง 2 พันธุ์คือ

1. ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 เป็นพันธุ์ที่มีรายงานว่าทนทานต่อภาวะแล้ง และเจริญเติบโตได้ดีในดินกรดและด่าง สามารถปลูกให้ผลผลิตสูงได้ทั้งฤดูแล้งและฝน โดยคาดว่าน่าจะมีความสามารถในการทนแล้งใกล้เคียงกับพันธุ์ สจ. 5

2. ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรทั่วไปนิยมปลูก สามารถปลูกให้ผลผลิตสูงได้ทั้งฤดูแล้งและฝน

วัสดุอุปกรณ์การศึกษา

1. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกถั่วเหลือง

- กระบะพลาสติกขนาดความจุ 3 ลิตร
- กระบะพลาสติกขนาดความจุ 6 ลิตร
- โฟมและฟองน้ำ
- เครื่องวัดค่าออสโมติก โพเทนเชียล
- เครื่องวัด pH (pH meter)
- เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (thermohygrometer)

2. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการเติบโตของถั่วเหลือง

- ตู้อบตัวอย่างพืช (hot air oven)
- เครื่องชั่งทศนิยม 3 และ 4 ตำแหน่ง
- สายวัด
- ถาดแก้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตรและฝาปิด
- เครื่องวัดพื้นที่ใบ(LI-300A Portable Area Meter, Li-COR, USA)

เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer รุ่น Spectronic Genesis 5)

- เครื่องวัดพื้นที่ใบ (portable area meter รุ่น LI 3000A)
- ตู้อบตัวอย่างพืช

- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งของหน่วยกรัม
- เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่งของหน่วยกรัม
- pH meter
- หลอดทดลอง
- บีกเกอร์
- กระบอกตวง
- cork borer
- cuvette
- ปิเปต
- ไมโครปิเปต
-ที่เจาะกระดาษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร
- กล่องพลาสติกใสพร้อมฝาปิด
- อ่างพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร
- อลูมินัมฟอยล์
- แผ่นพาราฟิล์ม
- โฟม
- ฟองน้ำ
- ไม้บรรทัด

3. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัด DNA และการทำ PCR

- เครื่องเพิ่มปริมาณ DNA (Programmable Thermal Controller รุ่น PTC 100TM, MJ Research, Inc.)
- ตู้แช่แข็งสำหรับเก็บตัวอย่าง(deep freezer) อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส
- ไมโครปิเปต
- โกร่งบด
- หลอด microcentrifuge
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (microcentrifuge)
- ชุดแยกกรดนิวคลิอิกด้วยกระแสไฟฟ้าในแนวระนาบ (horizontal gel electrophoresis)
- เครื่องกำเนิดแสง UV (UV transmitter)
- กล้องถ่ายภาพโพลาลอยด์

4. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการโคลนชิ้นส่วน DNA ที่ได้รับการเพิ่มจำนวนจากการทำ PCR (Polymerase Chain Reaction)

- ไมโครปิเปต
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (waterbath)
- เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (microcentrifuge)
- เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอนชนิดควบคุมอุณหภูมิ(refrigerated centrifuge)
- หลอด microcentrifuge
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- ชุดแยกกรดนิวคลิอิกด้วยกระแสไฟฟ้าในแนวระนาบ (horizontal gel electrophoresis)
- เครื่องกำเนิดแสง UV (UV transmitter)
- กล้องถ่ายภาพโพลาลอยด์
- เครื่องควบคุมอุณหภูมิ(incubator)
- ตู้อบ (oven)
- เครื่องเขย่าผสมสาร(vortex mixer)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง(spectrophotometer)

5. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการแสดงออกของยีนด้วยวิธี Northern Blot Analysis

- ตู้แช่แข็งสำหรับเก็บตัวอย่าง (deep freezer) อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส
- ตู้แช่แข็งสำหรับเก็บตัวอย่าง อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส
- ไมโครปิเปต
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ(water bath)
- เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (microcentrifuge)
- เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอนชนิดควบคุมอุณหภูมิ (refrigerated centrifuge)
- หลอด microcentrifuge
- ชุดแยกกรดนิวคลิอิกด้วยกระแสไฟฟ้าในแนวระนาบ (horizontal gel electrophoresis)
- เครื่องกำเนิดแสง UV (UV transmitter)
- กล้องถ่ายภาพโพลาลอยด์
- ตู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับทำ hybridization (hybridization oven)
- แผ่นเมมเบรน(Hybond N+, Amersham Pharmacia Biotech UK Limited, UK)
- เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer รุ่น Spectronic Genesis 5)
- เครื่องวัดพื้นที่ใบ (portable area meter รุ่น LI 3000A)

- ตู้แช่แข็ง (deep freezer อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส)
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งของหน่วยกรัม
- เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่งของหน่วยกรัม
- pH meter
- หลอดทดลอง
- บีกเกอร์
- ขวดรูปชมพู่
- กระบอกตวง
- cuvette
- โกร่ง
- ปิเปต
- ไมโครปิเปต
- Eppendorf's tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร พร้อมที่วาง
-ที่เจาะกระดาษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร
- กล่องพลาสติกใสพร้อมฝาปิด
- อ่างพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร
- อลูมินัมฟอยล์
- แผ่นพาราฟิล์ม
- โฟม
- ฟองน้ำ
- ไม้บรรทัด

สถานที่ปลูกถั่วเหลือง

1. **ห้องควบคุมสภาพแวดล้อม** (Phytotron)

ใช้ในจำลองภาวะร้อน โดยการควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับคือ

1. อุณหภูมิ 25/20 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน)
2. อุณหภูมิ 35/32องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน)
3. อุณหภูมิ 40/37องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน)

ความเข้มแสง 140 -180 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ช่วงแสง / มืด 16 / 8 ชั่วโมงต่อวัน

2. **ตู้ควบคุมสภาพแวดล้อม**(Growth chamber)

ใช้ในการเพาะเมล็ดถั่วเหลือง โดยใช้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 140 -180 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ช่วงแสง / มืด 16 / 8 ชั่วโมงต่อวัน

สารเคมี

1. สารเคมีสำหรับการเตรียมสารละลายธาตุอาหารสาร

- สารละลายธาตุอาหาร Hoagland's (Hoagland และ Arnon, 1950 อ้างถึงใน Zheng และคณะ 1998) ประกอบด้วย สารละลาย Calcium nitrate (Calcium nitrate ($Ca(NO_3)_2.4H_20$) Potassium nitrate (KNO_3) Magnesium sulfate ($MgSO_4.7H_2O$) Potassium dihydrogen phosphate(KH_2PO_4)(ความเข้มข้น 1 โมลาร์) Fe-EDTA ซึ่งมี Fe เข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย(Micronutrient elements) รวม 5 ธาตุซึ่งมีความเข้มข้นของสารดังนี้ B = 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร Cu = 0.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร Mn = 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร Zn = 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ Mo = 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร วิธีเตรียมสารละลายธาตุอาหาร (นันทนา อังกินันทน์และศุภจิตรา ชัชวาลย์, 2542)ดังภาคผนวก ก
- Polyethylene glycol 6000
- Hydrochloric acid ความเข้มข้น 1 นอร์มอล

2. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง

- 80% Acetone

3. สารเคมีที่ใช้ในการสกัด DNA

- DNA extraction buffer (CTAB)(ภาคผนวก ก)
- ไนโตรเจนเหลวสำหรับบดตัวอย่าง
- Chlorofrom
- Phenol: Chlorofrom: Isoamyl alcohol (25:24:1) (v/v/v)
- RNase
- Sodium acetate
- Isopropanol
- Ethyl alcohol
- TE buffer (ภาคผนวก ก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. สารเคมีที่ใช้ในการสกัด RNA

- RNA Extraction Buffer (Hot phenol)
- RNA Extraction Buffer (Logemann et al., 1987)
- Acetic acid
- 3 M sodium acetate (pH 5.2)
- Ethyl alcohol
- Isopropanol
- 10 M $LiCl_2$
- TE buffer (ภาคผนวก ก)

5. สารเคมีที่ใช้ในการทำ Northern blot hybridization

- Agarose
- RNA Ladder(New England Biolabs, USA)
-10X MOPS(ภาคผนวก ก)
- Loading Dye for RNA (ภาคผนวก ก)
- Ethydium bromide
- 37% Formaldehyde
- Formamide
- 20X SSC (ภาคผนวก ก)
- ECL Labeling and Detection Kit (Amersham Pharamcia Biotech UK limited. UK)
- Primary wash buffer(ภาคผนวก ก)
- สารเคมีที่ใช้ในการล้างฟิลม์ (developer and fixer) Kodak (Australia) PTY.LYD., Australia)

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาผลของภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ในถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และสจ. 5

1.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองเป็นแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยใช้ถั่วเหลือง 2 พันธุ์คือพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 ภาวะแล้งโดยใช้ PEG 6000 ที่มีความเข้มข้น 2ระดับคือ 0 (ปกติ) และ 5 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัยที่ 2 ภาวะร้อนโดยใช้อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 25 (ปกติ) 35 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้มีชุดการทดลองทั้งหมด 6 ชุด คือ

1. ได้รับอุณหภูมิ 25/20 องศาเซลเซียส(กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์

2. ได้รับอุณหภูมิ 25/20 องศาเซลเซียส(กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

3. ได้รับอุณหภูมิ 35/32 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์

4. ได้รับอุณหภูมิ 35/32 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

5. ได้รับอุณหภูมิ 40/37 องศาเซลเซียส(กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์

6. ได้รับอุณหภูมิ 40/37 องศาเซลเซียส(กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

1.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. เพาะเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ประมาณ 4 วัน

2. ย้ายต้นกล้ามาปลูกในอ่างที่มีสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's (half strength) จน ถั่วเหลืองมีอายุประมาณ 18 วัน จึงให้ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน โดยแบ่งเป็น 6 ชุดการทดลองดังที่ระบุไว้ในข้อ 1.1

3. นำต้นถั่วเหลืองกลับมาเลี้ยงในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มี PEG (rewatering) และปรับอุณหภูมิเป็น 25/20 °C (กลางวัน/กลางคืน) ปลูกต่อไปอีก 3 วัน

4. ทำการทดลองตามข้อ 1 ถึง 3 ซ้ำ โดยเปลี่ยนถั่วเหลืองเป็นพันธุ์ สจ. 5

1.3 การเก็บข้อมูลสำหรับการทดลอง

1.3.1 ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลด้านการเติบโต และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง มี 4 ครั้ง คือ

1.ก่อนได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง (ต้นถั่วมีอายุประมาณ 18 วัน)

2.หลังจากได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน

3.หลังจากได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน

4.หลังจากนำต้นถั่วเหลืองออกจากภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน

ส่วนการเก็บใบถั่วเหลืองเพื่อตรวจสอบการแสดงออกของยีนจะเก็บหลังจากต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 0 2 และ 4 ชั่วโมง โดยการแช่ตัวอย่างใบถั่วเหลืองในไนโตรเจนเหลวและแช่แข็งไว้ที่อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียสในตู้แช่แข็งสำหรับเก็บตัวอย่าง (deep freezer) เพื่อนำไปศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* ต่อไปในการทดลองตอนที่ 4

1.3.2 **วิธีการเก็บข้อมูล**

<u>การเติบโต</u>

-ปริมาณน้ำสัมพัทธ์

เจาะใบถั่วเหลืองด้วยที่เจาะกระดาษเป็นชิ้นเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.8 เซนติเมตร แล้วนำชิ้นส่วนใบ 10 ชิ้นไปชั่งน้ำหนักสดทันที จากนั้นนำชิ้นส่วนใบไปลอยบนน้ำกลั่นที่บรรจุในกล่องพลาสติกใสที่มีฝาปิด 48 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักอิ่มตัว ส่วนน้ำหนักแห้งหาได้จากการนำชิ้นส่วนใบที่อิ่มตัวไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 48 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนักแห้ง คำนวณหาค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์จากสมการของ Turner ในปี 1981 (อ้างถึงใน Pattanagul and Madore, 1999)

RWC (%) = (น้ำหนักสด – น้ำหนักแห้ง) x 100 / (น้ำหนักอิ่มตัว – น้ำหนักแห้ง)

-ความสูง

วัดความสูงของลำต้นจากบริเวณรอยต่อของลำต้นและรากจนถึงปลายยอด

-พื้นที่ใบ

วัดพื้นที่ใบรวมทั้งต้นโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ portable area meter

-น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก

ชั่งน้ำหนักสดโดยแบ่งต้นถั่วเหลืองออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนยอดที่ประกอบด้วยลำต้นและใบ และส่วนรากชั่งน้ำหนักแห้งของต้นและรากที่อบที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 48 ชั่วโมง

ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง

วิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้แก่ Chlorophyll *a* Chlorophyll *b* total chlorophyll และ carotenoids ซึ่งการสกัดรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงใช้วิธีการที่ดัดแปลงจาก Crafts-Brandner et al. (1984) และ Zhang and Kirkham(1994) โดยเจาะใบถั่วเหลืองจากใบประกอบที่ 1 จากโคนต้น ด้วยที่เจาะกระดาษเป็นชิ้นเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8 เซนติเมตร แช่ชิ้นส่วน ใบ 5 ชิ้น ในacetone 80 เปอร์เซ็นต์ปริมาตร 5 มิลลิลิตรที่บรรจุในหลอดทดลองปิดสนิท 24 ชั่วโมง วัดค่าabsorbance ที่ 663.2 646.8 และ 470 นาโนเมตรด้วยเครื่อง spectrophotometer แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณรงควัตถุจากสมการของ Lichtenthaler (1987)

Chl a = $12.25A_{663.2} - 2.79A_{646.8}$

Chl b = $21.50A_{646.8} - 5.10A_{663.2}$

total Chl = $7.15A_{663.2} + 18.71A_{646.8}$

carotenoids = $(1000A_{470} - 1.82C_a - 85.02C_b)/198$

1.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

2. ศึกษาผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ในถั่วเหลือง 2 พันธุ์ที่ทนต่อภาวะแล้งต่างกัน

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองเป็นแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีปัจจัยคือ พันธุ์ถั่วเหลือง 2 พันธุ์ที่มีศักยภาพในการทนต่อภาวะแล้งแตกต่างกันคือมข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งจะทำให้มีชุดการทดลองทั้งหมด 6 ชุด คือ

1. พันธุ์ สจ. 5 ได้รับอุณหภูมิ 25/20 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์

2. พันธุ์ สจ. 5 ได้รับอุณหภูมิ 35/32 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

3. พันธุ์ สจ. 5 ได้รับอุณหภูมิ 40/37 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

4. พันธุ์ มข. 35 ได้รับอุณหภูมิ 25/20 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์

5. พันธุ์ มข. 35 ได้รับอุณหภูมิ 35/32 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

6.พันธุ์ มข. 35 ได้รับอุณหภูมิ 40/37 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

2.2. ขั้นตอนการทดลอง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1.2 แต่ทำพร้อมกันทั้ง 2 พันธุ์โดยแบ่งออกเป็น 6 ชุด การทดลองดังที่ระบุไว้ในข้อ 2.1

2.3. การเก็บข้อมูลสำหรับการทดลอง

เก็บข้อมูลเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในข้อ 1.3

2.4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยใช้วิธี DMRT

3. ศึกษาผลของการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ภายใต้ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งในถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5

3.1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองเป็นแบบ Completely Randomized Design(CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยใช้ถั่วเหลือง 2 พันธุ์คือพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5มีปัจจัยคืออุณหภูมิที่ใช้ในการเพาะเมล็ด 2 ระดับคือ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้มีชุดการทดลอง 6 ชุด คือ

1. เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ได้รับอุณหภูมิ 25/20 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์

2. เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ได้รับอุณหภูมิ 35/32 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

3. เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสได้รับอุณหภูมิ 40/37 องศาเซลเซียส(กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

4. เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้รับอุณหภูมิ 25/20 องศาเซลเซียส(กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์

5. เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้รับอุณหภูมิ 35/32 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

6. เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้รับอุณหภูมิ 40/37 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน) และ PEG 6000 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในข้อ 1.2 แต่เพาะเมล็ดถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส โดยแบ่งออกเป็น 6 ชุดการทดลองดังที่ระบุไว้ในข้อ 3.1

3.3 การเก็บข้อมูลสำหรับการทดลอง

เก็บข้อมูลเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในข้อ 1.3

3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยใช้วิธี DMRT

4. การตรวจสอบการแสดงออกของยีนฮีตช็อคโปรตีน 70

4.1 การโคลนชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ amplified ขึ้นด้วย primer ที่ออกแบบให้มีความจำเพาะต่อยีน *Hsp70*

4.1.1 การโคลนชิ้นส่วนของ *Hsp70* โดยวิธี PCR

1. สกัด DNA จากใบของต้นถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ตามวิธีการในภาคผนวก ก

2. DNA ที่ได้มาใช้เป็น template ในการเพิ่มชิ้นส่วนของยีน *Hsp70* โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปฏิกิริยา PCR ปริมาตร 25 μl ประกอบด้วย

DNA template 20 ng

1x Reaction Buffer

1.5 mM $MgCl_2$

0.1 μM primer HSPS (5' – gAAYgCYgTTgTCACT-3') (ออกแบบโดย ผศ. ดร. พงศ์ธาริน โล่ห์ตระกูล)

0.1 μM primer HSPA (5’ –gCRTCRATgTCgAAgC-3’) (ออกแบบโดย ผศ. ดร. พงศ์ธาริน โล่ห์ตระกูล)

200 μM dNTPs

0.5 Unit Taq Polymerase

โดยมีภาวะของปฏิกิริยา PCR ดังนี้

Denaturing temperature (°C) / time (min)	94 °C / 1 min.	41 รอบ
Annealing temperature (°C) / time (min)	40 °C / 1 min.	
Polymerization temperature (°C) / time (min)	72 °C / 1 min.	
Extension temperature (°C) / time (min)	72 °C / 1 min.	

3. นำชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ได้จากการทำ PCR มาแยกเพื่อตรวจสอบโดยดูจากการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าในตัวกลางที่เป็น agaose gel ความเข้มข้น 0.8 เปอร์เซ็นต์ (w/ v) ในสารละลาย TBE ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 120 โวลต์(6.5 โวลต์ต่อเซนติเมตร) จากนั้นย้อมแถบ ดีเอ็นเอด้วย Ethidium Bromide ความเข้มข้น 0.5 μg/ml นาน 15 นาที ล้างออกด้วยน้ำกลั่นนาน 15 นาที นำไปส่องด้วยเครื่อง UV transluminator และบันทึกภาพด้วยกล้องโพลาลอยด์

4.1.2 การโคลนชิ้นส่วน ดีเอ็นเอที่ได้จากการทำ PCR

1. แยกชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่มีขนาดต่างกันในปฏิกิริยา PCR จาก agarose gel โดยใช้ Ultra Clean™ 15 DNA Purification Kit(MOBIO Laboratories, Inc. USA) ตามวิธีการที่ระบุไว้ในคู่มือ)

2. ตรวจสอบขนาดของชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่แยกได้เทียบกับชิ้นส่วนของดีเอ็นเอที่เกิดจากปฏิกิริยา PCR และตรวจสอบปริมาณที่สกัดแยกได้

3. ทำการโคลนชิ้นส่วนที่แยกได้โดยใช้ QIAGEN® PCR Cloning Kit (QIAGEN) ซึ่งมี pDrive เป็น DNA พาหะ (ภาคผนวก ค) ตามวิธีการที่ระบุไว้ในคู่มือ

4. ตรวจสอบชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ได้จากการโคลน กับชิ้นส่วนของ DNA ที่ได้ว่าใกล้เคียงกับชิ้นส่วน PCR ที่ต้องการโคลน

5. ทำ Frozen stock (ตามวิธีการที่ระบุในภาคผนวก ข) เพื่อเก็บรักษาโคลนที่ได้ไว้ศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4.1.3 นำชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่โคลนได้ไปตรวจหาลำดับเบส

โดยใช้บริการของ Bio Service Unit(BSU) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สวทช.) และเปรียบเทียบลำดับเบสที่ได้ในฐานข้อมูลลำดับเบส(Genbank)

4.2 ศึกษาการแสดงออกของยีน heat shock protein ด้วยวิธี Northern blot analysis

1. เพาะเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 และย้ายปลูกในสารละลาย และให้ภาวะร้อนและภาวะแล้ง

2. เก็บตัวอย่างใบถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง เป็นเวลา 0 2 และ 4 ชั่วโมงในการทดลองตอนที่ 1 2 และ 3 โดยใช้ไนโตรเจนเหลวและแช่แข็งไว้ในตู้แช่แข็งไว้ในตู้แช่แข็งสำหรับเก็บตัวอย่าง (deep freezer) อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส

3. สกัด RNA จากใบถั่วเหลืองโดยวิธี hot phenol (ปารวี ธิกาศ, 2546)

4. นำRNA ที่ได้โดยใช้ปริมาณ RNAสุทธิประมาณ 20 μg มาวิเคราะห์การแสดงออกของยีน โดยวิธีการ Northern blot analysis ตามวิธีการของ Sambrook et al.(1989) โดยแยกแถบ RNA ให้เคลื่อนภายใต้สนามไฟฟ้า ในตัวกลางที่เป็น Formaldehyde gel ความเข้มข้น 1 %(v/v) ในRNA Running Buffer (1x MOPS) ใช้ความต่างศักย์ 120 โวลต์ (4 โวลต์ต่อเซนติเมตร) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

โดยใช้ ชิ้นส่วนดีเอ็นเอ HSP_MK_4 และ HSP_SJ_9 เป็น probe และ ติดฉลากโดย ECL Labeling and Detection Kit (Amersham Pharmacia Biotech UK limited, UK) อุณหภูมิ ที่ใช้ในการทำ hybridization คือ 42 องศาเซลเซียส ล้างด้วย Primary wash buffer ที่อุณหภูมิเดียวกับการทำ hybridization เป็นเวลา 15 นาที 2 ครั้ง และล้าง Secondary wash buffer 5 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ตรวจสอบการ hybridization ตามวิธีการที่ระบุในคู่มือ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1. การศึกษาผลของภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงในถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5

4.1.1 ผลของภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก

เมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียส ภาวะแล้ง ที่ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ และภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับภาวะแล้งที่ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าถั่วเหลืองมีการแสดงอาการแตกต่างกัน โดยในถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งแสดงอาการของการขาดน้ำอย่างชัดเจนใน 3 วันแรกของการได้รับภาวะแล้ง โดยขอบใบมีการม้วนงอ(รูป ง-1) และการเจริญเติบโตโดยรวมชะลอลง ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งมีอาการคล้ายคลึงกับถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้ง ส่วนถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับมีการเจริญเติบโตโดยรวมใกล้เคียงกับชุดควบคุม เมื่อเวลาผ่านไป 6 วัน พบว่า การเจริญเติบโตโดยรวมของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งและ ภาวะร้อน มีการเจริญเติบโตลดลงอย่างมาก มีการม้วนตัวของใบซึ่งคาดว่าเพื่อลดการสูญเสียน้ำ และพบว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งนอกจากจะมีอาการขอบใบม้วนงอแล้ว ยังพบอาการใบแห้งร่วมด้วย(รูปที่ ง-2) ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่ใบจุดสีเหลืองและขาว (รูปที่ ง-3 และ ง-4)

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์(รูปที่ 7 และตารางที่ 1) ก่อนได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งพบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ที่ 76.60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่ามีเพียงถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน ถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงต่าง

จากชุดควบคุม โดยถั่วเหลืองชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)ที่ 28.26 เปอร์เซ็นต์และเมื่อถั่วเหลืองได้รับน้ำและอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นระดับปกติ พบว่าในทุกชุดการทดลองมีการปรับตัวโดยมีปริมาณสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเท่ากับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ยกเว้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่สองระดับร่วมกับภาวะแล้งที่ยังคงมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์น้อยกว่าชุดควบคุม

พื้นที่ใบ(รูปที่ 8 และตารางที่ 2)พบว่าเมื่อได้รับภาวะร้อนและแล้งเป็นระยะเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับกับภาวะแล้งมีการพื้นที่ใบน้อยกว่าชุดควบคุมและชุดที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับ และภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และพบว่าที่เวลา 6 วันถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและแล้งทุกชุดการทดลองมีพื้นที่ใบน้อยกว่าชุดควบคุม ซึ่งเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วันแล้วมีเพียงถั่วเหลืองชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ยังน้อยกว่าชุดควบคุม โดยชุดการทดลองที่เหลือมีค่าไม่ต่างจากพื้นที่ใบใน 3 วันที่ผ่านมา

ความสูง(รูปที่ 9 และตารางที่ 3) ของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งที่ เวลา 3 วันมีค่าไม่ต่างจากชุดควบคุม ซึ่งเมื่อได้รับภาวะทั้งสองเป็นเวลา 6 วัน ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่ความสูงไม่ต่างจากชุดควบคุม ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภาวะแล้งที่ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ และภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีความสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีความสูงน้อยที่สุด และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติความสูงของถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่มีเพียงถั่วเหลืองชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่ 35 องศาเซลเซียส และชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งเท่านั้นที่มีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ 3 วันที่ผ่านมา

ความยาวราก(รูปที่ 10 และ ตารางที่ 4) ของถั่วเหลืองในวันที่ 3 ของการได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ยกเว้นชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสที่มีความยาวรากมากที่สุด และชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่มีความยาวรากน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อวันที่ 6 ความยาวรากของทุกชุดการ

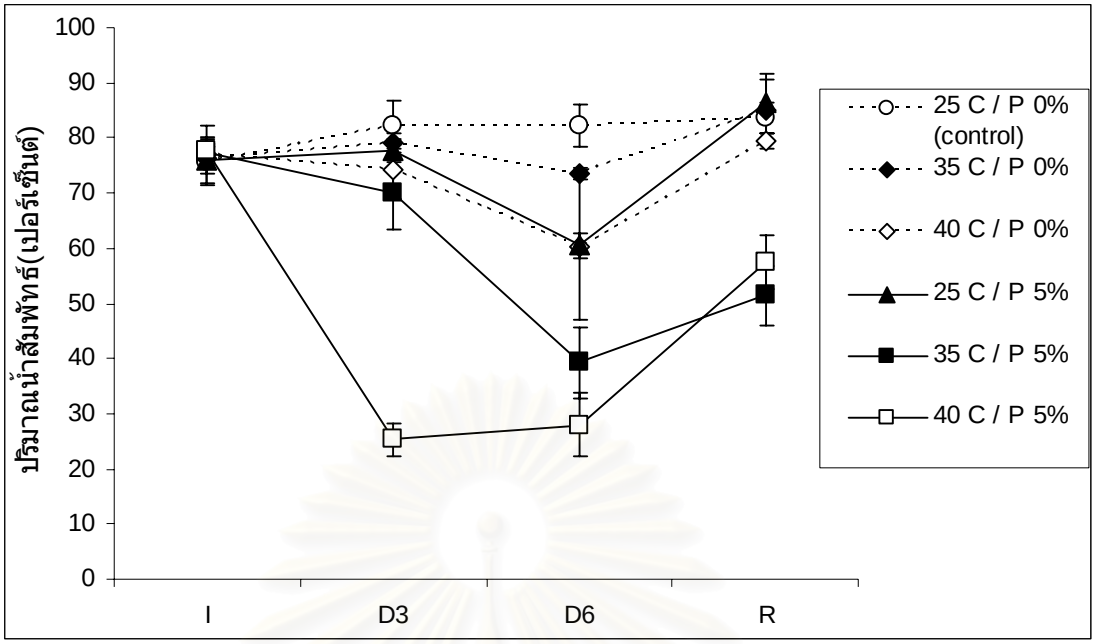
ทดลองมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองมีความยาวรากเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง ยกเว้นชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่มีความยาวรากลดลง

น้ำหนักสดต้น(รูปที่ 11 และ ตารางที่ 5) ของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทั้งสองระดับเป็นเวลา 3 วันมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุมและชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะเมื่อเวลา 6 วัน น้ำหนักสดของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งทุกชุดการทดลองมีค่าคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับ 3 วันที่ผ่านมา แต่เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีการปรับตัวและมีน้ำหนักต้นเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่าชุดควบคุม

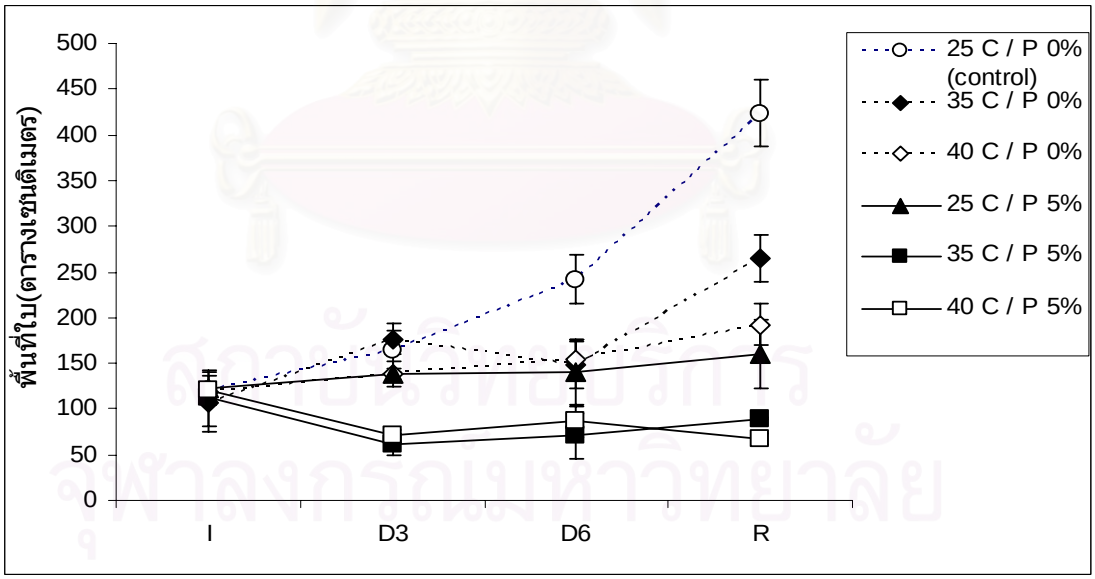
น้ำหนักแห้งต้น(รูปที่ 12 และ ตารางที่ 6) ของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วันมีค่าไม่ต่างจากชุดควบคุม ในขณะที่ชุดที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งมีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในวันที่ 6 ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งทุกมีค่าต่ำกว่าขุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งยังคงมีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นและเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น

น้ำหนักสดราก(รูปที่ 13 และตารางที่ 7) ของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมในวันที่ 3 และชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีน้ำหนักสดรากน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนในวันที่ 6 ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งมีน้ำหนักสดรากเท่ากับชุดควบคุมอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีน้ำหนักสดรากน้อยที่สุด และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักสดรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

สำหรับน้ำหนักแห้งราก(รูปที่ 14 และตารางที่ 8) ของถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกับกับชุดควบคุมทั้งก่อนการได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง และเมื่อได้รับภาวะทั้งสองเป็นเวลา 3 วัน ส่วนในวันที่ 6 น้ำหนักแห้งในทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักสดรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 7 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



รูปที่ 8 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R)

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		ปริมาณน้ำสัมพัทธ์(%) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	75.58 ± 4.09^{aA}	82.32 ± 4.36^{aA}	82.21 ± 3.77^{aA}	83.58 ± 2.75^{aA}
35	0	76.40 ± 1.88^{aAB}	79.13 ± 1.69^{aAB}	73.62 ± 1.10^{bB}	85.01 ± 5.50^{aA}
40	0	77.17 ± 5.16^{aA}	74.28 ± 5.14^{aA}	60.32 ± 2.27^{abB}	79.37 ± 1.33^{aA}
25	5	75.40 ± 2.39^{aAB}	77.58 ± 2.04^{aAB}	60.63 ± 13.70^{abB}	86.28 ± 5.45^{aA}
35	5	77.19 ± 1.30^{aA}	69.90 ± 6.58^{aA}	39.28 ± 6.45^{bC}	51.49 ± 5.42^{bAB}
40	5	77.84 ± 2.18^{aA}	25.26 ± 2.91^{cB}	28.02 ± 5.70^{cB}	57.41 ± 4.86^{bA}

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์(P< 0.05)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์(P< 0.05)

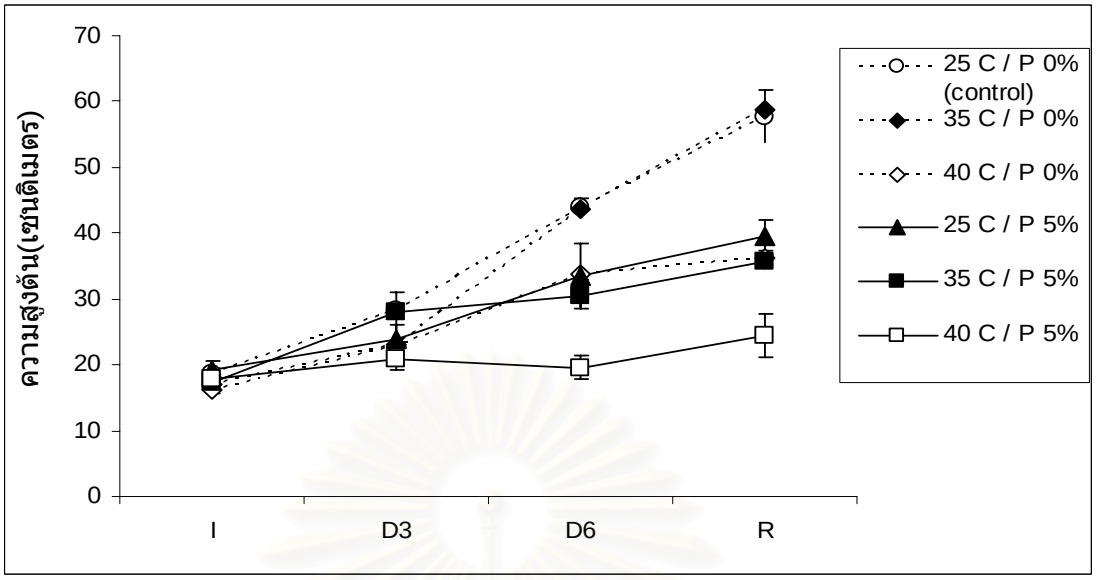
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

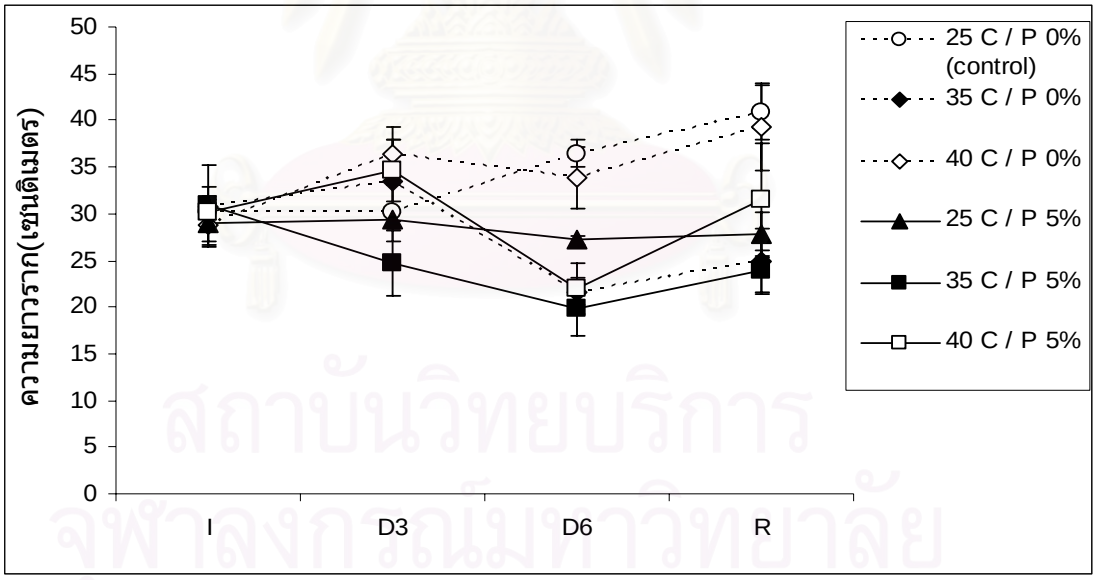
ทรีตเมนต์		พื้นที่ใบ(ตารางเซนติเมตร) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	119.79 ± 15.96^{aD}	163.06 ± 23.56^{aCD}	241.63 ± 27.08^{aB}	423.42 ± 36.24^{aA}
35	0	107.27 ± 32.36^{aB}	176.82 ± 16.35^{aB}	147.78 ± 25.74^{bB}	264.99 ± 26.02^{bA}
40	0	118.75 ± 0.72^{aB}	138.28 ± 13.91^{aAB}	155.10 ± 21.74^{bAB}	192.53 ± 23.20^{bcA}
25	5	122.57 ± 4.50^{aA}	138.58 ± 5.35^{aA}	139.79 ± 36.96^{bA}	160.22 ± 36.70^{cdA}
35	5	112.16 ± 30.52^{aA}	60.60 ± 12.00^{bA}	70.16 ± 24.00^{bA}	89.85 ± 1.71^{deA}
40	5	121.28 ± 1.01^{aA}	70.37 ± 6.77^{bB}	87.39 ± 17.32^{bB}	67.40 ± 6.56^{eB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



รูปที่ 10 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		ความสูง(เซนติเมตร) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	18.73 ± 0.85^{abD}	28.25 ± 1.10^{aC}	43.80 ± 1.47^{aB}	57.78 ± 3.95^{aA}
35	0	17.15 ± 0.45^{abD}	23.18 ± 1.38^{abC}	43.60 ± 1.13^{aB}	58.65 ± 1.72^{aA}
40	0	16.28 ± 0.74^{bC}	22.90 ± 0.41^{abB}	33.83 ± 0.86^{bA}	36.15 ± 0.99^{bA}
25	5	19.18 ± 1.49^{aB}	23.88 ± 2.12^{abB}	33.55 ± 4.93^{bA}	39.65 ± 2.28^{bA}
35	5	17.25 ± 0.68^{abC}	27.88 ± 3.06^{aB}	30.43 ± 1.50^{bAB}	35.63 ± 1.09^{bA}
40	5	17.95 ± 0.45^{abA}	20.98 ± 1.77^{bA}	19.63 ± 1.75^{cA}	24.40 ± 3.23^{cA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

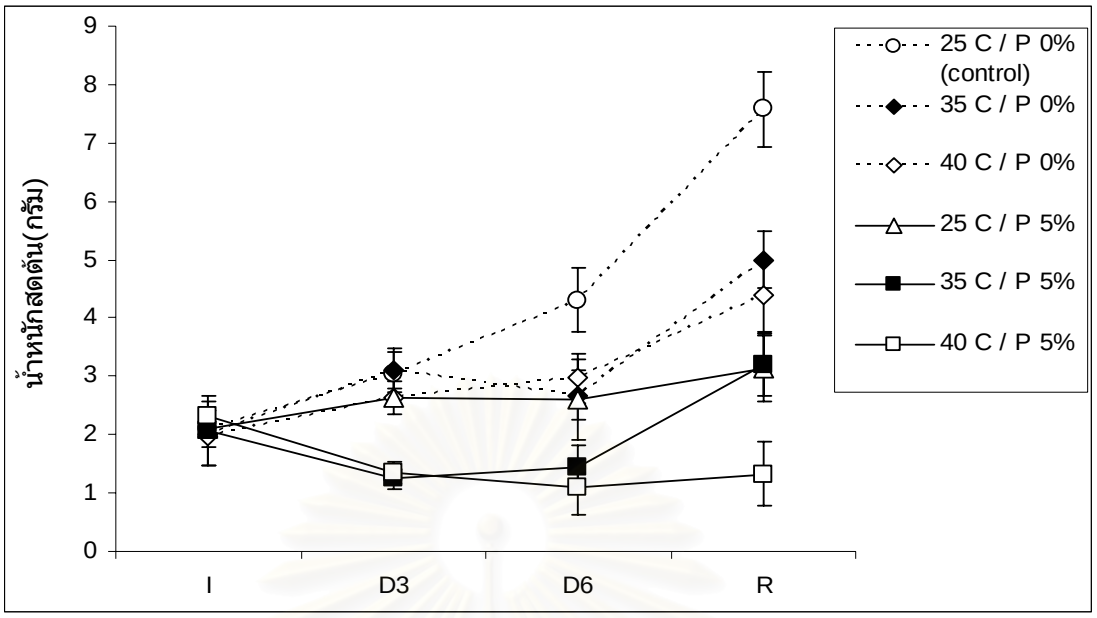
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

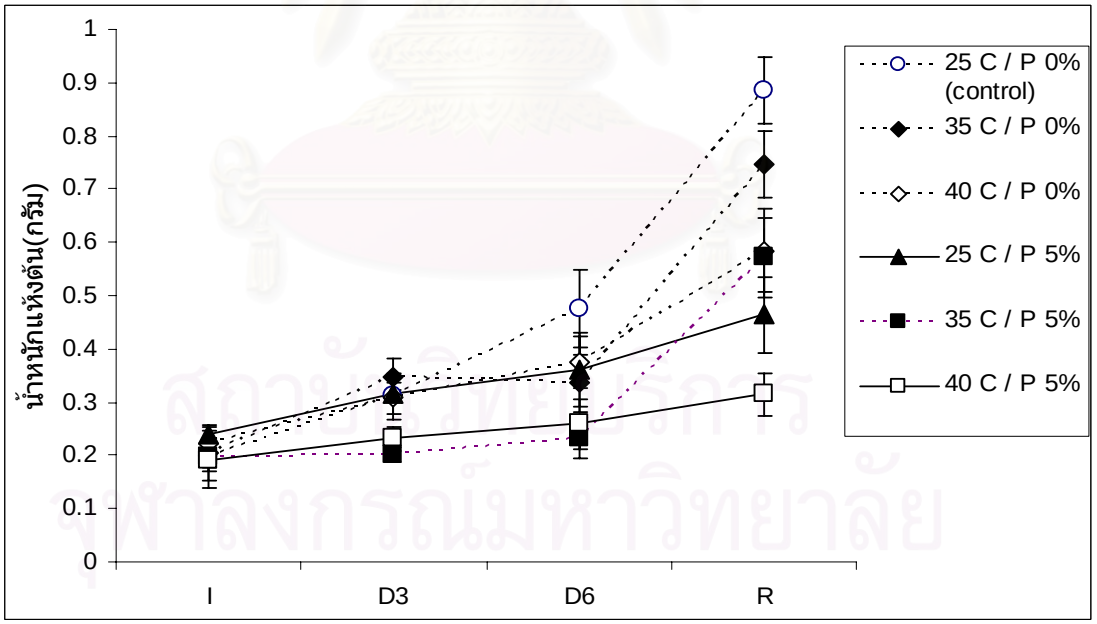
ทรีตเมนต์		ความยาวราก(เซนติเมตร) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	30.20 ± 0.86^{aB}	30.10 ± 2.98^{abB}	36.40 ± 1.46^{aAB}	40.83 ± 2.86^{aA}
35	0	30.78 ± 2.12^{aAB}	33.53 ± 4.39^{abA}	21.63 ± 1.48^{bcB}	24.85 ± 3.48^{cAB}
40	0	28.75 ± 1.75^{aA}	36.40 ± 2.86^{aA}	33.88 ± 3.26^{aA}	39.30 ± 4.63^{abA}
25	5	29.05 ± 2.42^{aA}	29.30 ± 0.94^{abA}	27.15 ± 0.49^{bA}	27.73 ± 2.38^{bcA}
35	5	30.85 ± 4.36^{aA}	24.70 ± 3.52^{bAB}	19.75 ± 2.73^{cB}	23.85 ± 2.28^{cAB}
40	5	30.08 ± 1.84^{aAB}	34.63 ± 3.32^{abA}	22.03 ± 2.68^{bcB}	31.55 ± 6.00^{abcAB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 11 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



รูปที่ 12 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 5 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		น้ำหนักสดต้น(กรัม) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	2.094 ± 0.01^{aC}	3.057 ± 0.42^{aBC}	4.307 ± 0.56^{aB}	7.585 ± 0.64^{aA}
35	0	2.011 ± 0.55^{aB}	3.109 ± 0.32^{aB}	2.675 ± 0.42^{bcB}	4.996 ± 0.49^{bA}
40	0	1.975 ± 0.20^{aB}	2.638 ± 0.28^{aB}	2.972 ± 0.42^{abB}	4.376 ± 0.61^{bcA}
25	5	2.092 ± 0.04^{aA}	2.640 ± 0.08^{aA}	2.602 ± 0.68^{bcA}	3.132 ± 0.57^{cA}
35	5	2.059 ± 0.60^{aAB}	1.247 ± 0.17^{bB}	1.440 ± 0.38^{bcB}	3.207 ± 0.54^{cA}
40	5	2.318 ± 0.10^{aA}	1.350 ± 0.19^{bA}	1.108 ± 0.47^{cA}	1.332 ± 0.55^{dA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

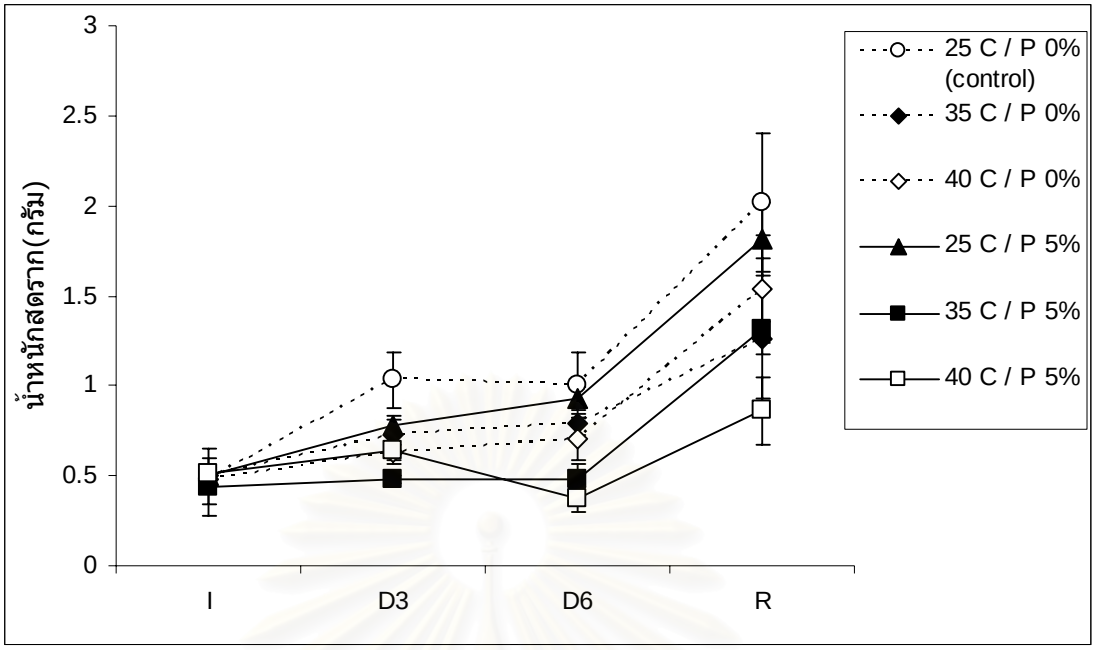
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

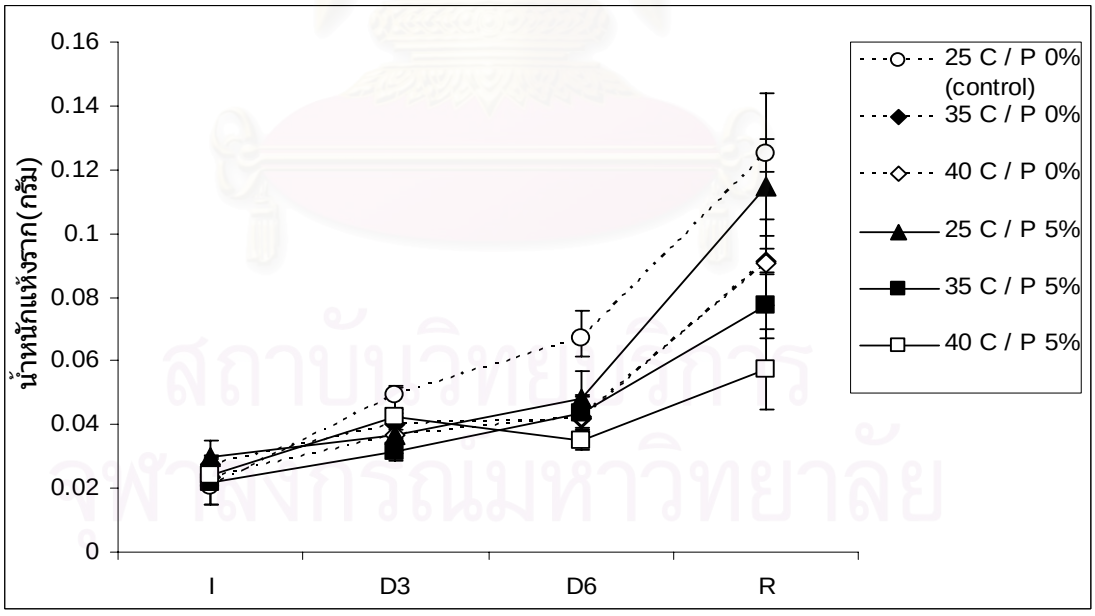
ทรีตเมนต์		น้ำหนักแห้งต้น(กรัม) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	0.1973 ± 0.0249^{aC}	0.3123 ± 0.0434^{abBC}	0.4753 ± 0.0716^{aB}	0.8860 ± 0.0829^{aA}
35	0	0.2043 ± 0.0510^{aB}	0.3470 ± 0.0356^{aB}	0.3358 ± 0.0536^{abB}	0.7463 ± 0.0629^{abA}
40	0	0.2223 ± 0.0089^{aB}	0.3078 ± 0.0304^{abB}	0.3755 ± 0.0482^{abB}	0.5848 ± 0.0785^{bcA}
25	5	0.2403 ± 0.0064^{aB}	0.3145 ± 0.0085^{abAB}	0.3615 ± 0.0700^{abAB}	0.465 ± 0.0710^{cdA}
35	5	0.1968 ± 0.0577^{aB}	0.2013 ± 0.0143^{cB}	0.2328 ± 0.0382^{bB}	0.5725 ± 0.0748^{bcA}
40	5	0.1914 ± 0.0147^{aB}	0.2313 ± 0.0203^{bcB}	0.2593 ± 0.0155^{bAB}	0.3153 ± 0.0393^{dA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 13 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



รูปที่ 14 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 7 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		น้ำหนักสดราก(กรัม) ± standard error			
อุณหภูมิ(^{o}C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	0.481 ± 0.026^{aB}	1.031 ± 0.154^{aB}	1.005 ± 0.1784^{aB}	2.015 ± 0.385^{aA}
35	0	0.498 ± 0.153^{aB}	0.725 ± 0.090^{bcB}	0.785 ± 0.062^{abB}	1.265 ± 0.095^{abA}
40	0	0.481 ± 0.028^{aB}	0.628 ± 0.040^{bcB}	0.704 ± 0.118^{abB}	1.536 ± 0.298^{abA}
25	5	0.498 ± 0.035^{aC}	0.784 ± 0.050^{abBC}	0.927 ± 0.062^{aB}	1.814 ± 0.206^{aA}
35	5	0.440 ± 0.1578^{aB}	0.478 ± 0.019^{cB}	0.485 ± 0.086^{bcB}	1.314 ± 0.390^{abA}
40	5	0.511 ± 0.034^{aAB}	0.645 ± 0.084^{bcAB}	0.371 ± 0.071^{cB}	0.860 ± 0.192^{bA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		น้ำหนักแห้งราก(กรัม) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	0.0205 ± 0.0022^{aC}	0.0493 ± 0.0025^{aBC}	0.0670 ± 0.0089^{aB}	0.1250 ± 0.0187^{aA}
35	0	0.0275 ± 0.0072^{aB}	0.0400 ± 0.0045^{aB}	0.0420 ± 0.0042^{bB}	0.0913 ± 0.0041^{abcA}
40	0	0.0235 ± 0.0010^{aB}	0.0368 ± 0.0019^{aB}	0.0425 ± 0.0060^{bB}	0.0908 ± 0.0135^{abcA}
25	5	0.0300 ± 0.0004^{aB}	0.0368 ± 0.0055^{aB}	0.0480 ± 0.0089^{abB}	0.1145 ± 0.0151^{aA}
35	5	0.0220 ± 0.0070^{aB}	0.0315 ± 0.0029^{aB}	0.0438 ± 0.0057^{bB}	0.0775 ± 0.0104^{bcA}
40	5	0.0240 ± 0.0011^{aB}	0.0423 ± 0.0101^{aAB}	0.0353 ± 0.0033^{bAB}	0.0575 ± 0.0126^{cB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ปริมาณ Chl *a* (รูปที่ 15 และตารางที่ 9)ก่อนได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 15.99 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg g^{-1} DW) เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3วันพบว่าถั่วเหลืองทุกชุดมีปริมาณ Chl *a* ลดต่ำกว่าชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีปริมาณ Chl *a* น้อยที่สุดคือต่ำกว่าชุดควบคุม 27.23 เปอร์เซ็นต์ วันที่ 6 ปริมาณ Chl *a* ในทุกชุดการทดลองยังคงลดต่ำลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 และ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีการลดลงของปริมาณ Chl *a* มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยลดลงต่ำกว่าชุดควบคุม 59.36 และ53.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับ และภาวะแล้งมีการปรับตัวโดยมีการเพิ่มปริมาณ Chl *a* ขึ้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงของปริมาณ Chl *a* อย่างต่อเนื่อง

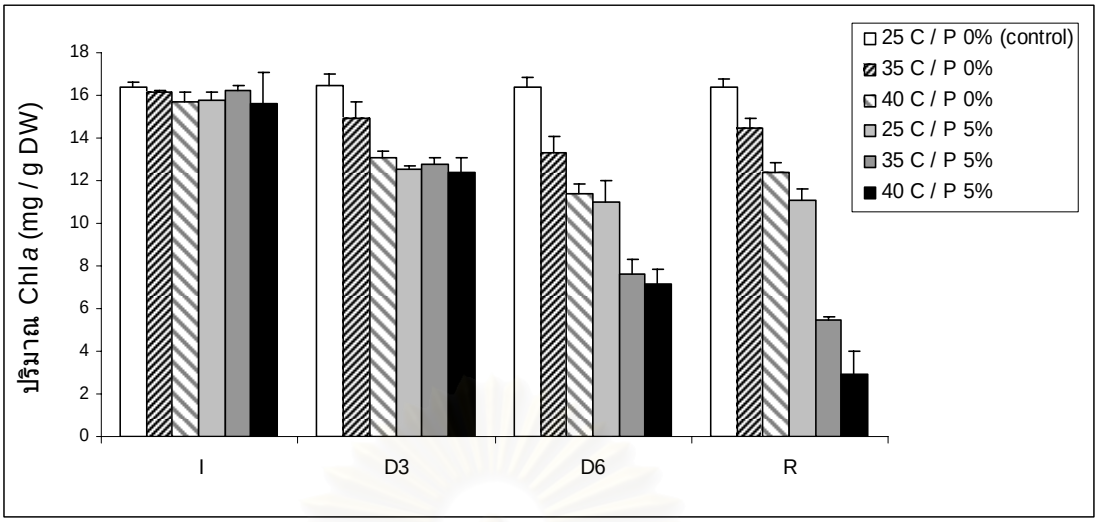
ปริมาณ Chl *b* (รูปที่16 และตารางที่ 10) ก่อนได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 5.70 mg g^{-1} DW ในขณะที่เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองมีปริมาณ Chl *b* ลดลงต่ำกว่าชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีปริมาณ Chl *b* น้อยที่สุด วันที่ 6 ปริมาณ Chl *b* ในทุกชุดการทดลองยังคงลดต่ำลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีการลดลงของปริมาณ Chl *b* มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยลดลงต่ำกว่าชุดควบคุม 54.77 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับ และภาวะแล้งมีการเพิ่มปริมาณ Chl *b* ขึ้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงของปริมาณ Chl *b* อย่างต่อเนื่องโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)

ปริมาณ total Chl (รูปที่ 17 และตารางที่ 11) ก่อนได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 22.82 mg g^{-1} DW ในขณะที่เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองมีปริมาณ total Chl ลดลงต่ำกว่าชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีร่วมกับภาวะแล้งมีปริมาณ total Chl น้อยที่สุด และในวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง

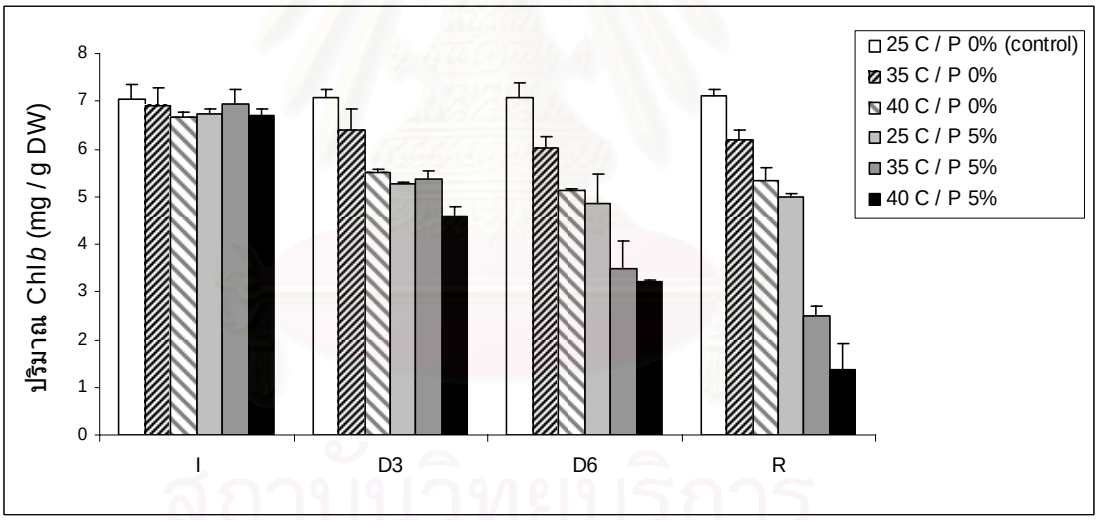
ปริมาณ total Chl ในทุกชุดการทดลองยังคงลดต่ำลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 และ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีการลดลงของปริมาณ total Chl มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยลดลงต่ำกว่าชุดควบคุม 57.98 และ 52.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับ และภาวะแล้งมีการปรับตัวโดยมีการเพิ่มปริมาณ total Chl ขึ้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงของปริมาณ total Chl อย่างต่อเนื่อง

ส่วนปริมาณ carotenoids (รูปที่ 18 และตารางที่ 12) ของถั่วเหลืองก่อนได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.66 mg g^{-1} DW โดยเมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองมีปริมาณ carotenoids ลดลงต่ำกว่าชุดควบคุม โดยชุดที่รักษาปริมาณ carotenoids ไว้ได้ดีที่สุดคือ ชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในขณะที่ชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีร่วมกับภาวะแล้งมีปริมาณ carotenoids น้อยที่สุด และในวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง ปริมาณ carotenoids ในทุกชุดการทดลองยังคงลดต่ำลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งยังคงมีปริมาณ carotenoids น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับ และภาวะแล้งมีการปรับตัวโดยมีการเพิ่มปริมาณ carotenoids ขึ้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งยังคงมีการลดลงของปริมาณ carotenoids

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 15 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



รูปที่ 16 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 9 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		ปริมาณ Chl *a* (mg g^{-1} DW) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	16.38 ± 0.24^{aA}	16.50 ± 0.50^{aA}	16.42 ± 0.46^{aA}	16.42 ± 0.34^{aA}
35	0	16.19 ± 0.03^{aA}	14.91 ± 0.78^{bAB}	13.33 ± 0.71^{bAB}	14.45 ± 0.44^{bB}
40	0	15.70 ± 0.47^{aA}	13.06 ± 0.36^{cB}	11.38 ± 0.49b^{cBC}	12.36 ± 0.45^{cC}
25	5	15.79 ± 0.36^{aA}	12.50 ± 0.19^{cB}	11.01 ± 0.98^{cB}	11.11 ± 0.51^{cB}
35	5	16.25 ± 0.23^{aA}	12.79 ± 0.27^{cB}	7.63 ± 0.68^{dC}	5.47 ± 0.18^{dD}
40	5	15.64 ± 1.44^{aA}	10.89 ± 0.69^{dB}	6.67 ± 0.68^{dC}	2.98 ± 1.05^{eD}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

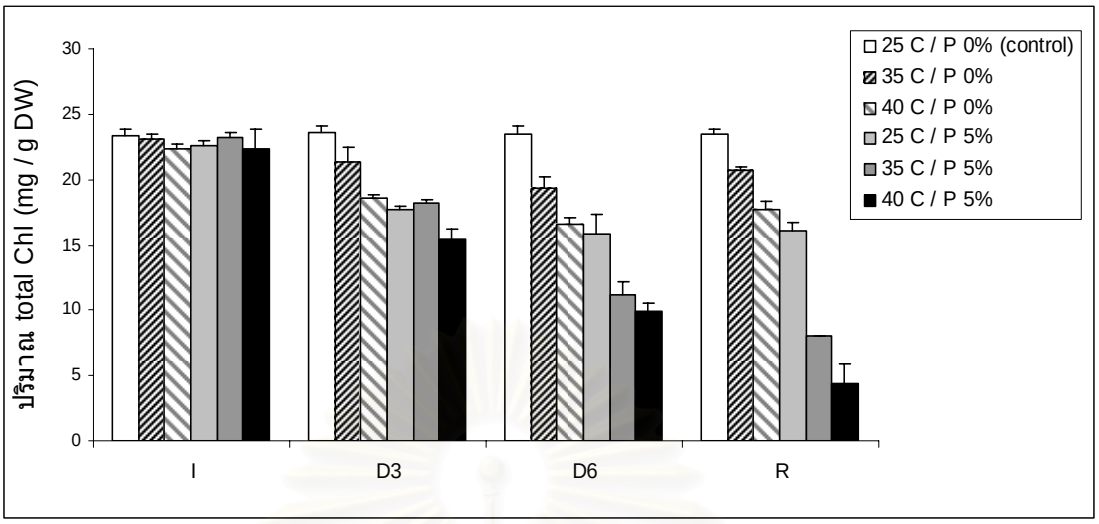
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

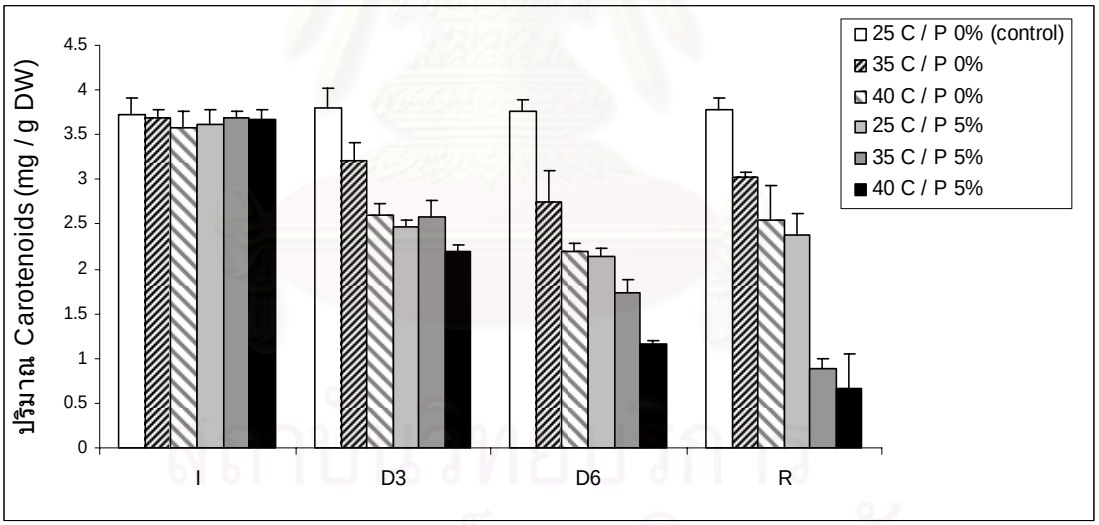
ทรีตเมนต์		ปริมาณ Chl *b* (mg g^{-1} DW) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	7.03 ± 0.32^{aA}	7.07 ± 0.16^{aA}	7.09 ± 0.29^{aA}	7.11 ± 0.14^{aA}
35	0	6.92 ± 0.37^{aA}	6.40 ± 0.44^{bA}	6.01 ± 0.24^{abA}	6.20 ± 0.20^{bA}
40	0	6.65 ± 0.12^{aA}	5.50 ± 0.08^{cB}	5.13 ± 0.03^{bB}	5.34 ± 0.26^{cB}
25	5	6.74 ± 0.08^{aA}	5.25 ± 0.05^{cB}	4.84 ± 0.64^{bB}	4.99 ± 0.09^{cB}
35	5	6.95 ± 0.28^{aA}	5.38 ± 0.16^{cB}	3.48 ± 0.58^{cC}	2.50 ± 0.19^{dC}
40	5	6.69 ± 0.14^{aA}	4.57 ± 0.20^{dB}	3.21 ± 0.05^{cC}	1.38 ± 0.52^{eD}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 17 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



รูปที่ 18 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 11 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		ปริมาณ Total Chl (mg g^{-1} DW) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	23.41 ± 0.50^{aA}	23.57 ± 0.57^{aA}	23.51 ± 0.55^{aA}	23.53 ± 0.38^{aA}
35	0	23.11 ± 0.37^{aA}	21.31 ± 1.18^{bAB}	19.35 ± 0.80^{bB}	20.66 ± 0.30^{bB}
40	0	22.36 ± 0.37^{aA}	18.55 ± 0.31^{cB}	16.51 ± 0.51^{cBC}	17.70 ± 0.64^{cC}
25	5	22.53 ± 0.38^{aA}	17.75 ± 0.20^{cB}	15.85 ± 1.44^{cB}	16.10 ± 0.55^{cB}
35	5	23.20 ± 0.39^{aA}	18.17 ± 0.32^{cB}	11.11 ± 1.09^{dC}	7.98 ± 0.09^{dD}
40	5	22.33 ± 1.58^{aA}	15.46 ± 0.75^{dB}	9.88 ± 0.64^{dC}	4.33 ± 1.52^{eD}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		ปริมาณ Carotenoids (mg g^{-1} DW) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	3.73 ± 0.18^{aA}	3.79 ± 0.23^{aA}	3.76 ± 0.13^{aA}	3.79 ± 0.13^{aA}
35	0	3.69 ± 0.10^{aA}	3.20 ± 0.22^{bAB}	2.75 ± 0.35^{bAB}	3.02 ± 0.07^{bB}
40	0	3.57 ± 0.19^{aA}	2.60 ± 0.14^{cB}	2.20 ± 0.09^{cB}	2.54 ± 0.40^{bB}
25	5	3.62 ± 0.17^{aA}	2.47 ± 0.07^{cB}	2.15 ± 0.09^{cB}	2.38 ± 0.24^{bB}
35	5	3.69 ± 0.07^{aA}	2.57 ± 0.20^{cB}	1.69 ± 0.15^{cC}	1.08 ± 0.11^{cD}
40	5	3.68 ± 0.10^{aA}	2.20 ± 0.07^{cB}	1.17 ± 0.03^{dC}	0.66 ± 0.39^{cC}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 ผลของภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 35

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก

เมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียส ภาวะแล้ง ที่ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ และภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับภาวะแล้งที่ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าถั่วเหลืองมีการแสดงอาการคล้ายคลึงกับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 โดยในถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งแสดงอาการของการขาดน้ำอย่างชัดเจนใน 3 วันของการได้รับภาวะแล้ง โดยใบมีขอบใบมีการม้วนงอ และการเจริญเติบโตโดยรวมชะลอลง ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งมีอาการคล้ายคลึงกับถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้ง ส่วนถั่วเหลืองที่ได้รัยภาวะร้อนทั้งสองระดับมีการเจริญเติบโตโดยรวมใกล้เคียงกับชุดควบคุม เมื่อเวลาผ่านไป 6 วัน พบว่า การเจริญเติบโตโดยรวมของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งและ ภาวะร้อนร่วมทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งมีการเจริญเติบโตลดลงอย่างมาก มีการม้วนตัวของใบซึ่งคาดว่าเพื่อลดการสูญเสียน้ำ และพบว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งนอกจากจะมีอาการขอบใบม้วนงอแล้ว ยังพบอาการใบแห้ง อาการใบจุดสีขาวเนื่องจากภาวะร้อน

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์(รูปที่ 19 และตารางที่ 13) ของถั่วเหลืองเมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่ามีเพียงถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่ 35 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่ปริมาณน้ำไม่แตกต่างจากชุดควบคุม โดยถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) และเมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน ถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงต่างจากจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ถั่วเหลืองชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการยังคงมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์น้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากเมื่อ 3 วันที่ผ่านมาและเมื่อถั่วเหลืองได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ พบว่าในทุกชุดการทดลองที่ได้รับภาวะร้อนหรือภาวะแล้งเพียงอย่างเดียวมีการปรับตัวโดยมีปริมาณสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ส่วนถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนสองระดับร่วมกับภาวะแล้งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นแต่ยังคงมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)

พื้นที่ใบ(รูปที่ 20 และตารางที่ 14) พบว่าเมื่อได้รับภาวะร้อนและแล้งเป็นระยะเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเท่านั้นที่มีพื้นที่ใบไม่แตกต่างจากชุดควบคุม โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับกับภาวะแล้งมีการพื้นที่ใบน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ชุดที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับ และและชุดที่ได้รับภาวะแล้ง ในวันที่ 6 ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและแล้งทุกชุดการทดลองมีพื้นที่ใบน้อยกว่าชุดควบคุมและและมีพื้นที่ใบไม่แตกต่างจากเมื่อ 3 วันที่ผ่านมา ซึ่งเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วันแล้วจึงมีการปรับตัวและมีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นยกเว้นชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งเท่านั้นไม่มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบ

ความสูง(รูปที่ 21 และตารางที่ 15) ของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งที่เวลา 3 วันพบว่าภาวะร้อนและภาวะแล้งเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งมีผลต่อความสูงของต้นถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญและเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะทั้งสองร่วมกันก็ยิ่งทำให้ต้นถั่วเหลืองมีความสูงน้อยกว่าชุดควบคุมชัดเจนยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับในวันที่ 6 ที่ถั่วเหลือง ความสูงของถั่วเหลืองในทุกชุดการทดลองยังคงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติมีถั่วเหลืองชุดที่ได้รับภาวะแล้ง และชุดที่ได้ภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีความสูงลดลงและในขณะที่ถั่วเหลืองชุดอื่นๆมีความสูงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับชุดควบคุม

ความยาวราก(รูปที่ 22 และตารางที่ 16) ของถั่วเหลืองในวันที่ 3 ของการได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง ในทุกชุดการทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อวันที่ 6 ความยาวรากของทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่าความยาวรากของชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนและแล้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีความยาวรากน้อยที่สุด เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองมีความยาวรากคงที่ในทุกชุดการทดลอง ยกเว้นชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสที่มีความยาวรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

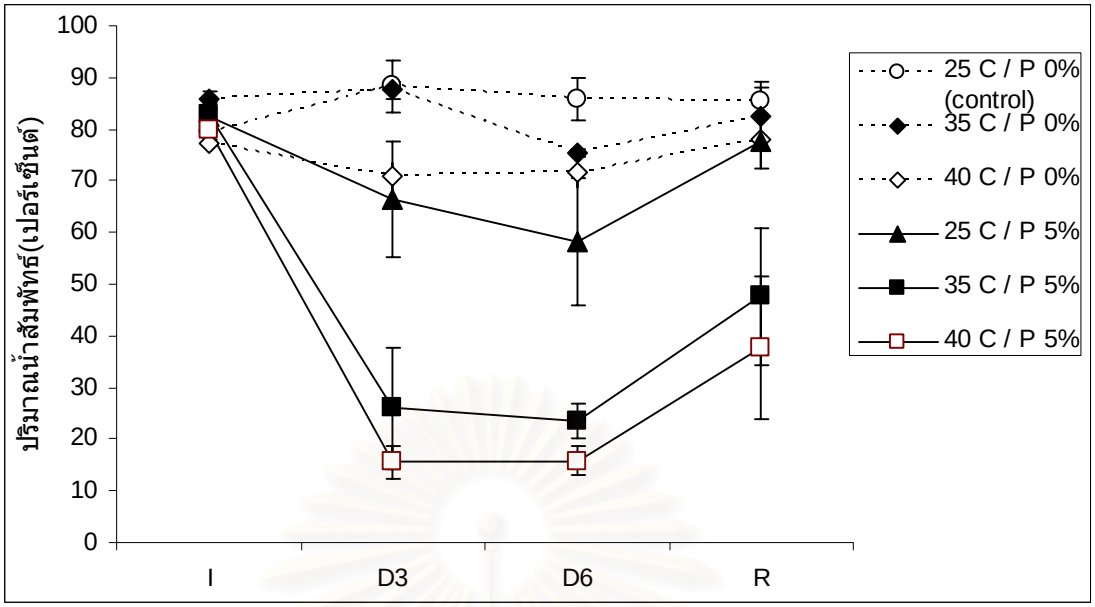
น้ำหนักสดต้น(รูปที่ 23 และตารางที่ 17) ของถั่วเหลืองในวันที่ 3 ของการได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง มีเพียงชุดที่ได้ภาวะแล้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่มีค่าไม่ต่างจากชุดควบคุม ในขณะที่ชุดอื่นมีค่าน้อยกว่าและ ชุดที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะเมื่อเวลา 6 วัน น้ำหนักสดของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งทุกชุดการทดลองมีค่าคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับ 3 วันที่ผ่านมา แต่เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีการปรับตัวและมีน้ำหนักต้นเพิ่มขึ้นแต่

น้อยกว่าชุดควบคุม ยกเว้นชุดที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งที่น้ำหนักสดต้นยังคงไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

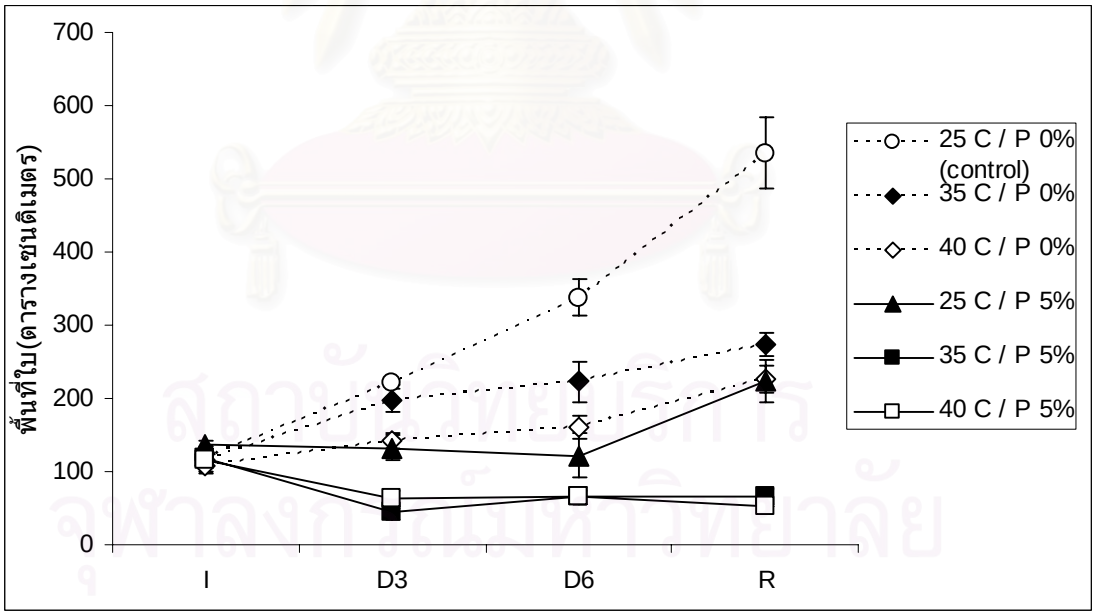
น้ำหนักแห้งต้น(รูปที่ 24 และตารางที่ 18)ในวันที่ 3 ของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม และเมื่อเวลาผ่านไป 6 วันถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับยังมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมแต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อ 3 วันที่ผ่านมาและมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองชุดที่ได้รับภาวะแล้งและชุดที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วันถั่วเหลืองมีน้ำหนักแห้งต้นเพิ่มขึ้นยกเว้นชุดที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งที่มีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างจากวันที่ 6 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)

น้ำหนักสดราก(รูปที่ 25 และตารางที่ 19) ในวันที่ 3 ของการได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง มีเพียงถั่วเหลืองชุดที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะร้อนที่ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งเท่านั้นที่มีน้ำหนักสดรากน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนในวันที่ 6 ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีน้ำหนักสดรากน้อยที่สุด และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองมีปรับตัวให้มีน้ำหนักสดรากเพิ่มขึ้น

สำหรับน้ำหนักแห้งราก(รูปที่26 และตารางที่ 20) การได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทั้งสองระดับทำให้น้ำหนักแห้งน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อได้รับภาวะทั้งสองเป็นเวลา 6 วัน น้ำหนักแห้งในทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองมีน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ยกเว้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งที่การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งรากยังไม่มากพอที่จะเห็นความแตกต่างทางสถิติ



รูปที่ 19 ปริมาณน้ำส้มพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



รูปที่ 20 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 13 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		ปริมาณน้ำสัมพัทธ์(เปอร์เซ็นต์) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	79.65 ± 2.87^{abA}	88.29 ± 5.06^{aA}	85.83 ± 3.94^{aA}	85.38 ± 2.91^{aA}
35	0	85.65 ± 1.68^{aAB}	87.60 ± 1.08^{aA}	75.29 ± 0.84^{abB}	82.59 ± 6.52^{aAB}
40	0	77.22 ± 1.01^{bA}	70.81 ± 2.70^{aA}	71.49 ± 2.86^{abA}	78.09 ± 5.37^{aA}
25	5	82.29 ± 2.65^{abA}	66.42 ± 11.12^{aA}	58.23 ± 12.48^{bA}	77.43 ± 4.97^{aA}
35	5	82.65 ± 2.87^{abA}	25.94 ± 11.62^{bB}	23.70 ± 3.29^{cB}	47.64 ± 13.18^{bB}
40	5	79.99 ± 1.88^{abA}	15.58 ± 3.23^{bB}	15.80 ± 2.87^{cB}	37.84 ± 13.78^{bB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

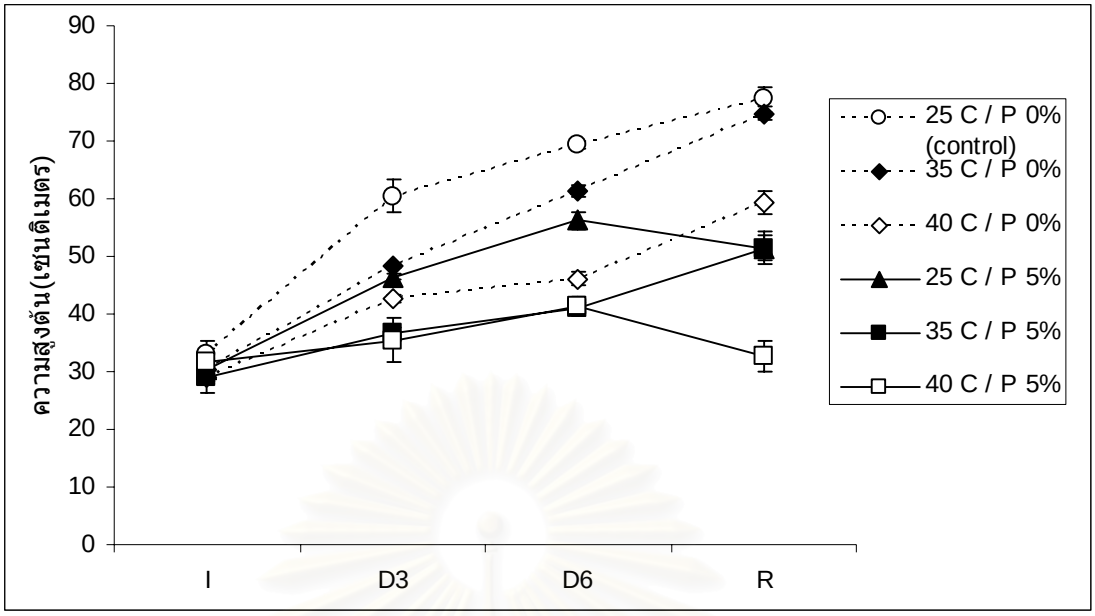
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

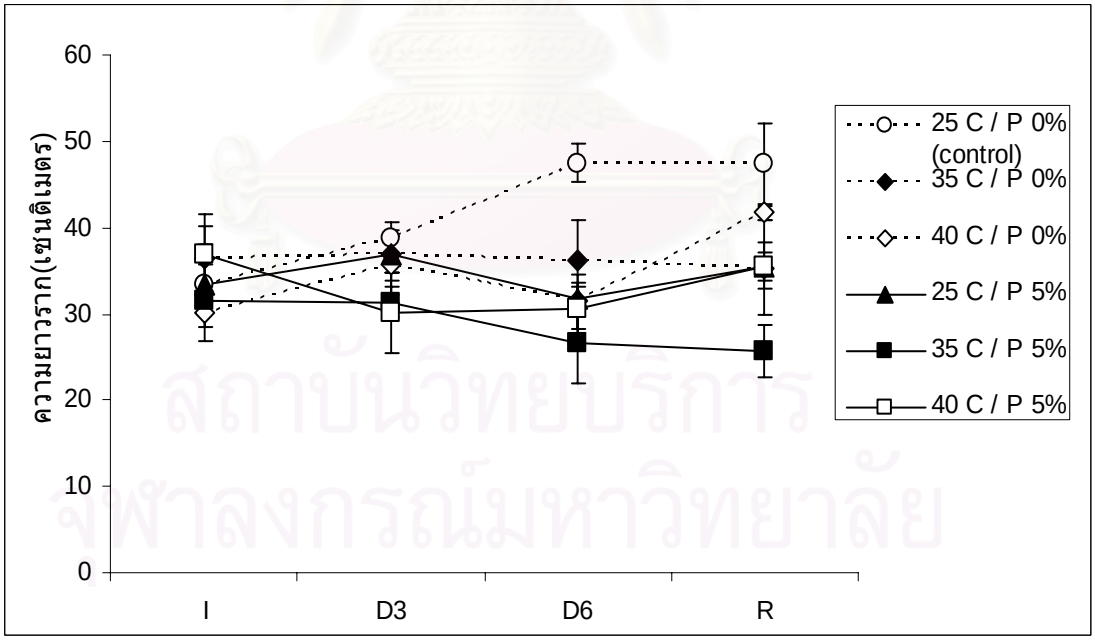
ทรีตเมนต์		พื้นที่ใบ(ตารางเซนติเมตร) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	119.28 ± 5.248^{aD}	222.36 ± 4.885^{aC}	338.10 ± 26.140^{aB}	534.84 ± 48.093^{aA}
35	0	115.86 ± 7.344^{aC}	197.48 ± 16.274^{aB}	223.32 ±27.693^{bAB}	273.62 ± 16.180^{bA}
40	0	109.11 ± 9.878^{aC}	142.25 ± 11.238^{bBC}	160.85 ± 16.227^{bcB}	226.59 ±18.785^{bA}
25	5	137.43 ± 5.174^{aB}	132.13 ± 17.397^{bB}	122.22 ± 30.765^{cdB}	223.25 ± 28.784^{bA}
35	5	118.77 ± 12.789^{aA}	44.17 ± 9.140^{cB}	66.67 ± 12.350^{dAB}	65.88 ± 10.835^{cAB}
40	5	115.05 ± 17.869^{aA}	62.12 ± 12.104^{cB}	64.55 ± 9.639^{dB}	52.99 ± 0.279^{cB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 21 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 22 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 15 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		ความสูง(เซนติเมตร) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	32.95 ± 0.99^{aD}	60.48 ± 2.78^{aC}	69.35 ± 0.56^{aB}	77.20 ± 2.28^{aA}
35	0	30.25 ± 2.21^{aD}	48.28 ± 0.42^{bC}	61.35 ± 1.15^{bB}	74.80 ± 1.27^{aA}
40	0	29.05 ± 2.85^{aC}	42.60 ± 0.69^{bB}	46.08 ± 1.23^{dB}	59.30 ± 1.96^{bA}
25	5	30.20 ± 0.57^{aD}	46.50 ± 0.59^{bC}	56.20 ± 1.46^{cA}	51.48 ± 2.04^{cB}
35	5	29.05 ± 0.69^{aC}	36.58 ± 0.99^{cB}	41.13 ± 0.89^{eB}	51.50 ± 2.78^{cA}
40	5	31.78 ± 3.59^{aA}	35.43 ±3.80^{cA}	41.30 ± 1.77^{eA}	32.53 ± 2.65^{dB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

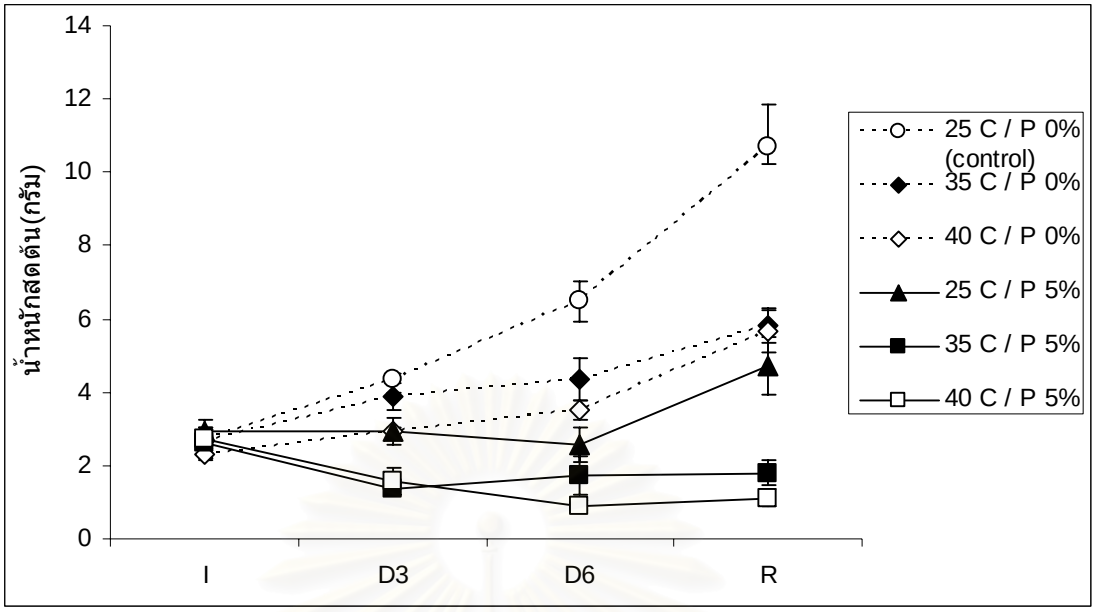
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

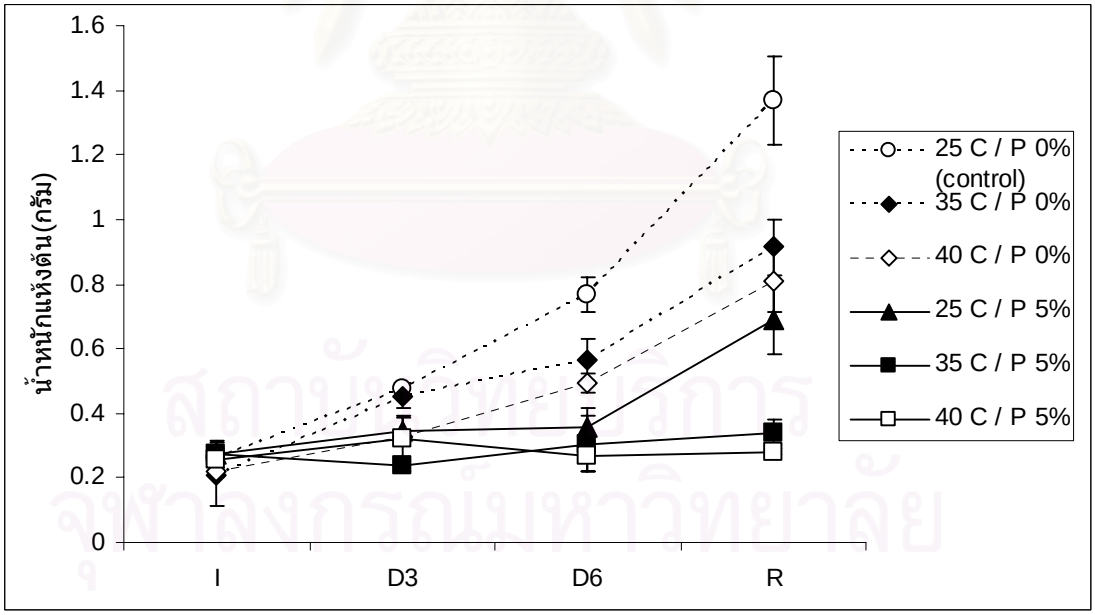
ทรีตเมนต์		ความยาวราก(เซนติเมตร) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	33.45 ± 2.22^{aB}	38.73 ± 1.79^{aAB}	47.43 ± 2.20^{aA}	47.38 ± 4.63^{aA}
35	0	36.50 ± 3.71^{aA}	36.80 ± 2.89^{aA}	36.20 ± 4.62^{bA}	35.35 ± 5.48^{bcA}
40	0	30.08 ± 3.21^{aB}	35.68 ± 3.40^{aAB}	31.43 ± 3.22^{bB}	41.73 ± .79^{abA}
25	5	33.38 ± 4.79^{aA}	36.90 ± 2.01^{aA}	31.83 ± 1.27^{bA}	35.50 ± 2.68^{bA}
35	5	31.58 ± 1.49^{aA}	31.35 ± 1.79^{aA}	26.68 ± 4.62^{bA}	25.73 ± 2.98^{cA}
40	5	36.88 ± 4.66^{aA}	30.10 ± 4.70^{aA}	30.68 ± 2.99^{bA}	35.45 ± 1.61^{bA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 23 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



รูปที่ 24 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 17 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		น้ำหนักสดต้น(กรัม) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	2.728 ± 0.085^{aC}	4.348 ± 0.168^{aC}	6.523 ± 0.521^{aB}	10.681 ± 1.150^{aA}
35	0	2.700 ± 0.333^{aC}	3.876 ± 0.349^{aBC}	4.346 ± 0.584^{bB}	5.808 ± 0.480^{bA}
40	0	2.307 ± 0.181^{aC}	2.912 ± 0.134^{bBC}	3.501 ± 0.260^{bcB}	5.666 ± 0.562^{bA}
25	5	2.912 ± 0.119^{aB}	2.940 ± 0.389^{bB}	2.564 ± 0.477^{cdB}	4.736 ± 0.794^{bA}
35	5	2.601 ± 0.393^{aA}	1.367 ± 0.139^{cA}	1.739 ± 0.524^{dA}	1.802 ± 0.346^{cA}
40	5	2.738 ± 0.518^{aA}	1.557 ± 0.367^{cB}	0.916 ± 0.133^{dB}	1.122 ± 0.234^{cB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

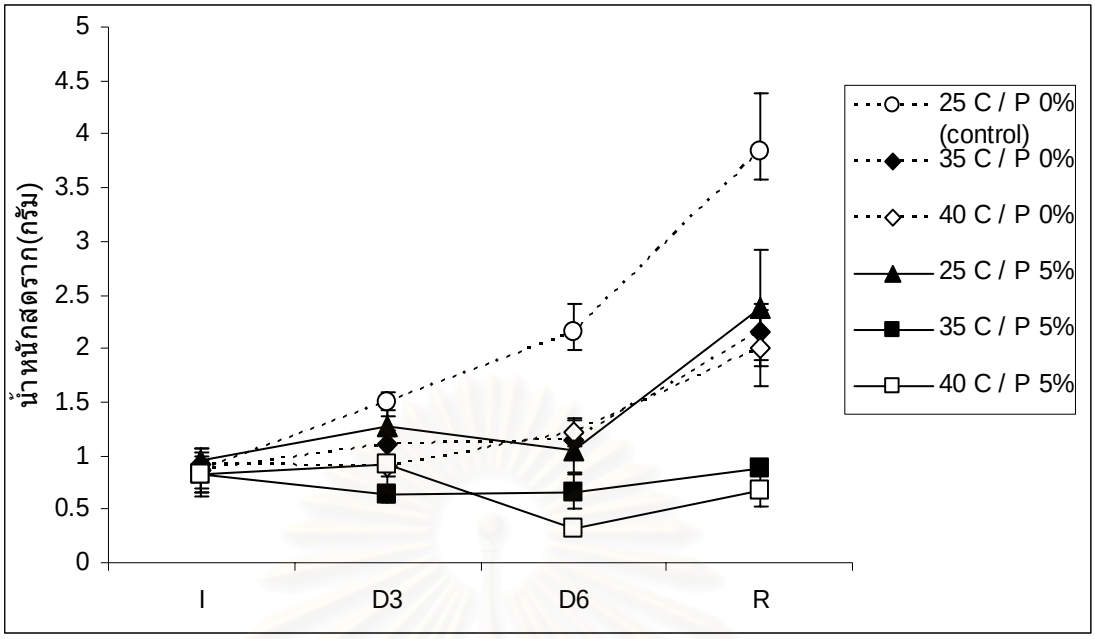
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 18 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

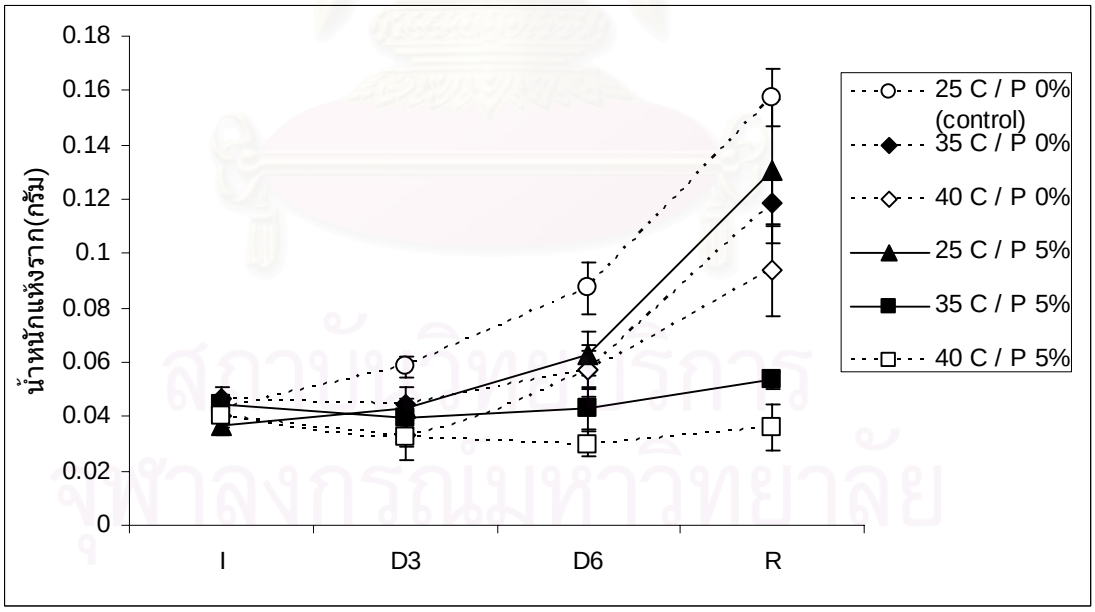
ทรีตเมนต์		น้ำหนักแห้งต้น(กรัม) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	0.2593 ± 0.0101^{aC}	0.4775 ± 0.0170^{aC}	0.7673 ± 0.0515^{aB}	1.3678 ± 0.1365^{aA}
35	0	0.2055 ± 0.0094^{aA}	0.4540 ± 0.0382^{abB}	0.5660 ± 0.0657^{bB}	0.9135 ± 0.0877^{bA}
40	0	0.2195 ± 0.0147^{aC}	0.3263 ± 0.0097^{cC}	0.4920 ± 0.0310^{bcB}	0.8100 ± 0.0973^{bA}
25	5	0.2750 ± 0.0154^{aB}	0.3478 ± 0.0366^{bcB}	0.3563 ± 0.0582^{cdB}	0.6913 ± 0.1098^{bA}
35	5	0.2738 ± 0.0429^{aA}	0.2378 ± 0.0206^{cA}	0.3058 ± 0.0854^{dA}	0.3413 ± 0.0399^{cA}
40	5	0.2573 ± 0.0493^{aA}	0.3200 ± 0.0713^{cA}	0.2673 ± 0.0481^{dA}	0.2813 ± 0.0087^{cA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 25 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



รูปที่ 26 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 19 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		น้ำหนักสดราก(กรัม) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	0.863 ± 0.036^{aC}	1.495 ± 0.092^{aBC}	2.159 ± 0.248^{aB}	3.844 ± 0.537^{aA}
35	0	0.858 ± 0.211^{aB}	1.104 ± 0.126^{abB}	1.149 ± 0.179^{bcB}	2.151 ± 0.261^{bA}
40	0	0.925 ± 0.077^{aB}	0.895 ± 0.094^{bcB}	1.226 ± 0.131^{bB}	2.011 ± 0.354^{bA}
25	5	0.961 ± 0.102^{aB}	1.274 ± 0.146^{abB}	1.053 ± 0.206^{bcB}	2.381 ± 0.538^{bA}
35	5	0.830 ± 0.134^{aA}	0.634 ± 0.069^{cA}	0.660 ± 0.156^{cdA}	0.886 ± 0.063^{cA}
40	5	0.826 ± 0.210^{aA}	0.914 ± 0.260^{bcA}	0.323 ± 0.042^{dB}	0.680 ± 0.156^{cA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 20 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		น้ำหนักแห้งราก(กรัม) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	0.0428 ± 0.0038^{aC}	0.0583 ± 0.0042^{aC}	0.0873 ± 0.0095^{aB}	0.1573 ± 0.0104^{aA}
35	0	0.0468 ± 0.0041^{aB}	0.0448 ± 0.0058^{abB}	0.0570 ± 0.0097^{bB}	0.1185 ± 0.0087^{abA}
40	0	0.0402 ± 0.0053^{aB}	0.0333 ± 0.0040^{bB}	0.0573 ± 0.0069^{bB}	0.0940 ± 0.0169^{bcA}
25	5	0.0370 ± 0.0040^{aB}	0.0430 ± 0.0039^{abB}	0.0630 ± 0.0081^{bB}	0.1303 ± 0.0264^{abA}
35	5	0.0443 ± 0.0040^{aA}	0.0393 ± 0.0033^{bA}	0.0428 ± 0.0078^{bcA}	0.0535 ± 0.0031^{cdA}
40	5	0.0403 ± 0.0043^{aA}	0.0328 ± 0.0088^{bA}	0.0298 ± 0.0045^{cA}	0.0360 ± 0.0085^{dA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ปริมาณ Chl *a* (รูปที่ 27 และตารางที่ 21)ก่อนได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 17.56 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg g^{-1} DW) เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3วันพบว่ามีเพียงถั่วเหลืองชุดที่ได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสที่ยังคงรักษา ปริมาณ Chl *a* ให้มีค่าไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นๆมีปริมาณ Chl *a* ลดต่ำกว่าชุดควบคุม ในขณะที่ในวันที่ 6 ปริมาณ Chl *a* ในทุกชุดการทดลองมีการลดลงต่างจากชุดควบคุมอย่างชัดเจน โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 และ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีการลดลงของปริมาณ Chl *a* มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยลดลงต่ำกว่าชุดควบคุม 64.88 และ50.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับ และภาวะแล้งมีการปรับตัวโดยมีการเพิ่มปริมาณ Chl *a* ขึ้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงของปริมาณChl *a* อย่างต่อเนื่องโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีปริมาณ Chl *a* น้อยที่สุด

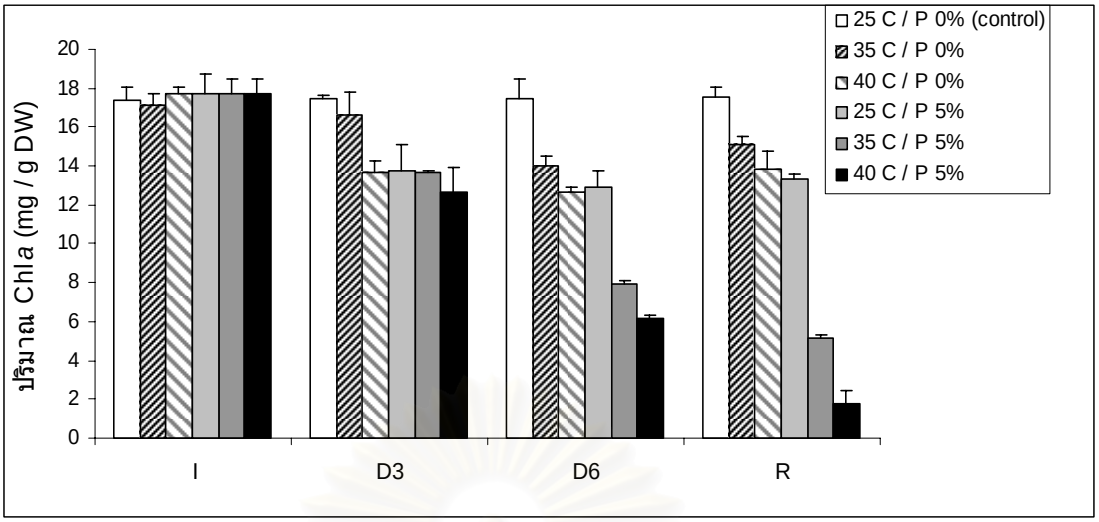
ปริมาณ Chl *b* (รูปที่ 28 และตารางที่ 22) ก่อนได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 5.70 mg g^{-1} DW ในขณะที่เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่ยังคงมีปริมาณ Chl *b* ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม โดยถั่วเหลืองชุดอื่น มีปริมาณ Chl *b* ลดลงต่ำกว่าชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีปริมาณ Chl *b* น้อยที่สุด และในวันที่ 6 ปริมาณ Chl *b* ในทุกชุดการทดลองยังคงลดต่ำลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 และ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีการลดลงของปริมาณ Chl *b* มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยลดลงต่ำกว่าชุดควบคุม 63.64 และ 48.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับ และภาวะแล้งมีการปรับตัวโดยมีการเพิ่มปริมาณ Chl *b* ขึ้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงของปริมาณ Chl *b* อย่างต่อเนื่อง

ปริมาณ total Chl (รูปที่ 29 และตารางที่ 23) ก่อนได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 24.68 mg g^{-1} DW ในขณะที่เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน มีเพียงถั่วเหลืองชุดที่ได้รับอุณหภูมิ

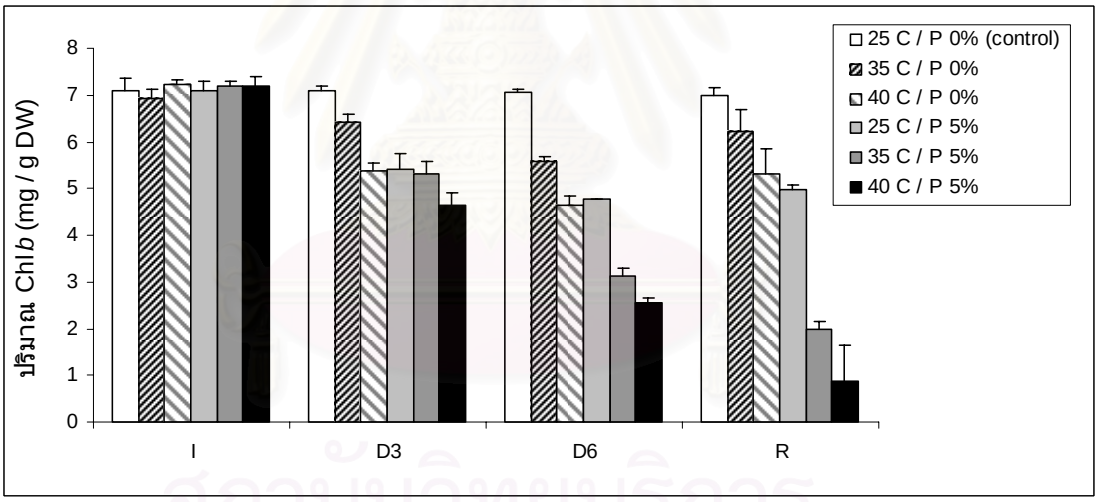
35 องศาเซลเซียสที่ยังคงรักษา ปริมาณ total Chl ให้มีค่าไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองมีปริมาณ total Chl ลดลงต่ำกว่าชุดควบคุม โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีปริมาณ total Chl น้อยที่สุด วันที่ 6 ปริมาณ Total Chl ในทุกชุดการทดลองยังคงลดต่ำลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีการลดลงของปริมาณ total Chl มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยลดลงต่ำกว่าชุดควบคุม 57.98 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับ และภาวะแล้งมีการปรับตัวโดยมีการเพิ่มปริมาณ total Chl ขึ้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งที่ยังมีการลดลงของปริมาณ total Chl ต่อไป

ปริมาณ carotenoids (รูปที่ 30 และตารางที่ 24) ของถั่วเหลืองก่อนได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยมีเพียงถั่วเหลืองชุดที่ได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสที่ยังคงรักษา ปริมาณ carotenoids ให้มีค่าไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ถั่วเหลืองชุดการทดลองอื่นมีปริมาณ carotenoids ลดลงต่ำกว่าชุดควบคุม และชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีร่วมกับภาวะแล้งมีปริมาณ carotenoids น้อยที่สุด และในวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้ง ปริมาณ carotenoids ในทุกชุดการทดลองยังคงลดต่ำลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง ยังคงมีปริมาณ carotenoids น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับ และภาวะแล้งมีการปรับตัวโดยมีการเพิ่มปริมาณ carotenoids ขึ้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งยังคงมีการลดลงของปริมาณ carotenoids

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 27 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



รูปที่ 28 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 21 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		ปริมาณ Chl *a* (mg g^{-1} DW) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	17.37 ± 0.71^{aA}	17.43 ± 0.24^{aA}	17.50 ± 0.97^{aA}	17.53 ± 0.52^{aA}
35	0	17.13 ± 0.59^{aA}	16.60 ± 1.21^{abA}	14.02 ± 0.50^{bAB}	15.08 ± 0.46^{bB}
40	0	17.74 ± 0.30^{aA}	13.70 ± 0.56^{bcB}	12.66 ± 0.26^{bB}	13.86 ± 0.92^{bB}
25	5	17.69 ± 1.01^{aA}	13.78 ± 1.29^{bcB}	12.91 ± 0.84^{bB}	13.32 ± 0.28^{bB}
35	5	17.71 ± 0.80^{aA}	14.40 ± 0.10^{bcB}	8.72 ± 0.14^{cC}	6.27 ± 0.12^{cD}
40	5	17.72 ± 0.79^{aA}	12.69 ± 1.23^{cB}	6.15 ± 0.17^{dC}	2.96 ± 0.73^{dD}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

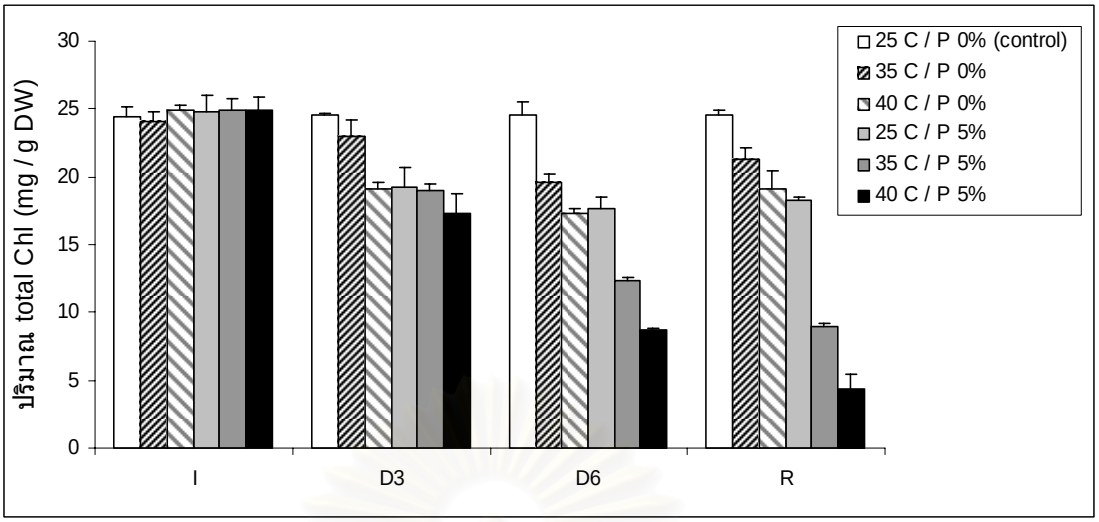
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 22 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

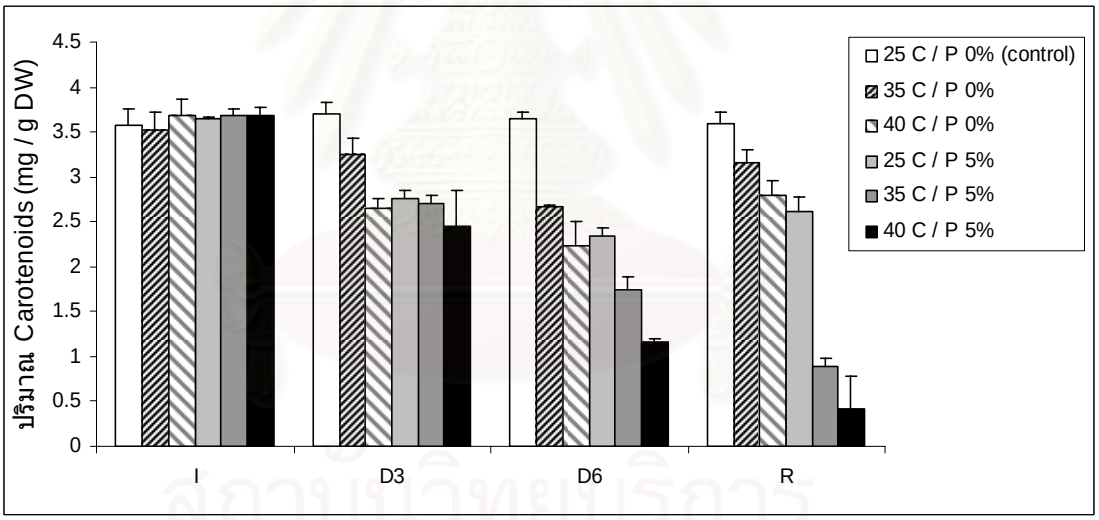
ทรีตเมนต์		ปริมาณ Chl *b* (mg g^{-1} DW) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	7.08 ± 0.28^{aA}	7.09 ± 0.09^{aA}	7.05 ± 0.08^{aA}	6.98 ± 0.16^{aA}
35	0	6.93 ± 0.20^{aA}	6.42 ± 0.18^{abAB}	5.59 ± 0.10^{bAB}	6.22 ± 0.48^{abB}
40	0	7.21 ± 0.12^{aA}	5.39 ± 0.15^{cB}	4.63 ± 0.22^{cB}	5.31 ± 0.53^{bB}
25	5	7.11 ± 0.18^{aA}	5.40 ± 0.34^{cB}	4.76 ± 0.03^{cB}	4.97 ± 0.12^{bB}
35	5	7.20 ± 0.10^{aA}	5.89 ± 0.26^{bcB}	3.63 ± 0.17^{dC}	2.67 ± 0.17^{cD}
40	5	7.20 ± 0.20^{aA}	4.65 ± 0.25^{dB}	2.57 ± 0.09^{eC}	1.36 ± 0.79^{cC}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 29 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)



รูปที่ 30 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 23 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		ปริมาณ Total Chl (mg g^{-1} DW) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	24.46 ± 0.75^{aA}	24.53 ± 0.19^{aA}	24.56 ± 0.96^{aA}	24.51 ± 0.42^{aA}
35	0	24.07 ± 0.72^{aA}	23.02 ± 1.15^{aA}	19.61 ± 0.56^{bB}	21.30 ± 0.89^{bA}
40	0	24.95 ± 0.38^{aA}	19.09 ± 0.49^{bB}	17.29 ± 0.36^{cB}	19.17 ± 1.30^{bcB}
25	5	24.80 ± 1.16^{aA}	19.18 ± 1.49^{bB}	17.67 ± 0.83^{cB}	18.29 ± 0.24^{cB}
35	5	24.91 ± 0.85^{aA}	18.94 ± 0.56^{bB}	12.34 ± 0.27^{dC}	8.94 ± 0.27^{dD}
40	5	24.92 ± 0.95^{aA}	17.33 ± 1.42^{bB}	8.71 ± 0.14^{eC}	4.32 ± 1.15^{eD}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 24 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ทรีตเมนต์		ปริมาณ Carotenoids (mg g^{-1} DW) ± standard error			
อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
25	0	3.58 ± 0.17^{aA}	3.71 ± 0.12^{aA}	3.65 ± 0.08^{aA}	3.60 ± 0.12^{aA}
35	0	3.51 ± 0.20^{aA}	3.25 ± 0.19^{abA}	2.67 ± 0.02^{bB}	3.15 ± 0.15^{abA}
40	0	3.69 ± 0.18^{aA}	2.65 ± 0.11^{bcB}	2.24 ± 0.26^{bcB}	2.79 ± 0.18^{bB}
25	5	3.64 ± 0.02^{aA}	2.76 ± 0.09^{bcB}	2.33 ± 0.10^{cC}	2.61 ± 0.18^{bBC}
35	5	3.44 ± 0.19^{aA}	2.69 ± 0.10^{bcB}	1.69 ± 0.15^{dC}	1.08 ± 0.11^{cD}
40	5	3.58 ± 0.08^{aA}	$2.20 \pm 0.40c^{B}$	1.17 ± 0.03^{eC}	0.41 ± 0.38^{dC}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

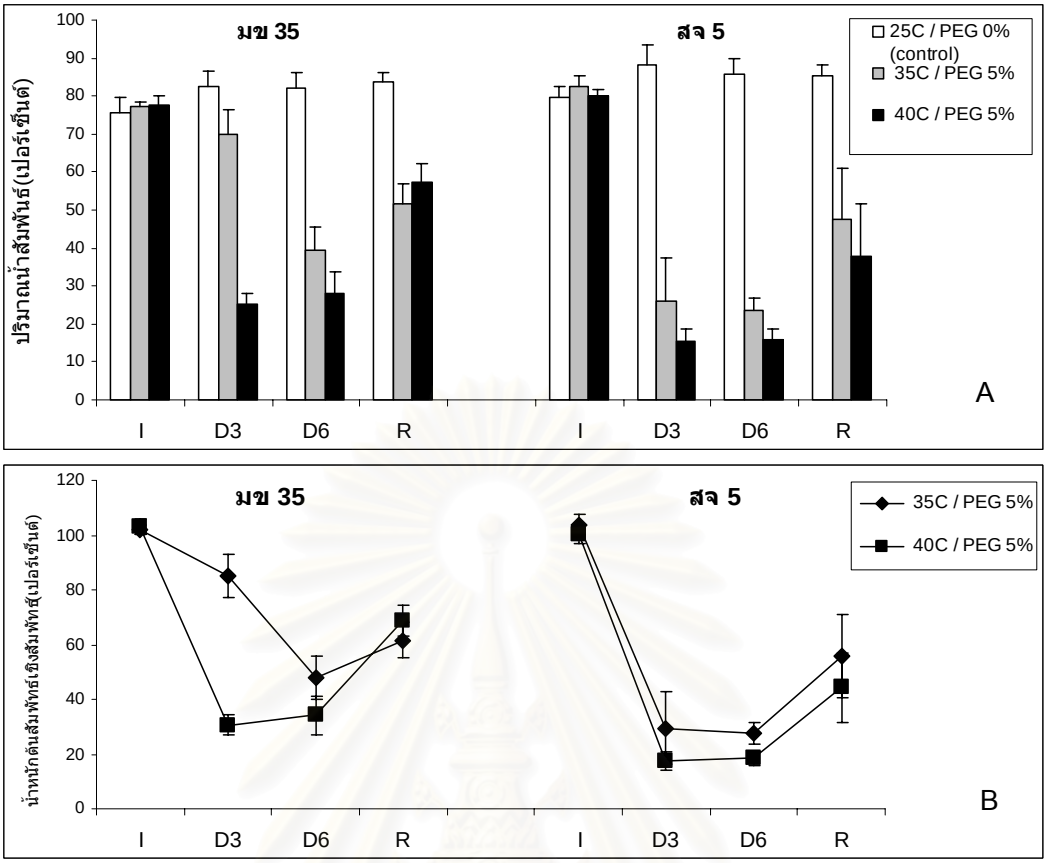
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การศึกษาผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อการเติบโตและ ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงในถั่วเหลืองพันธุ์มข. 35 และ สจ. 5

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์(รูปที่ 31 และตารางที่ 25) ของถั่วเหลืองพบว่าก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 76.87 และ 80.76 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์น้อยกว่า ซึ่งเมื่อดูจากปริมาณน้ำสัมพัทธ์เชิงสัมพัทธ์ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าคิดเป็น 84.91 และ 30.67 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม ในขณะที่ในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีค่าเพียง 29.37 และ 17.65 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม เช่นเดียวกับในวันที่ 6 ที่ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ยังคงมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์มากกว่าพันธุ์ สจ. 5 และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีการปรับตัวให้มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น

พื้นที่ใบ (รูปที่ 32 และตารางที่ 26) ของถั่วเหลืองพบว่าก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 มีพื้นที่ใบ เท่ากับ 117.74 และ 117.54 ตารางเซนติเมตรตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองทั้งพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 มีการลดลงของพื้นที่ใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยจากพื้นที่ใบสัมพัทธ์ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีพื้นที่ใบลดลงน้อยกว่าโดยคิดเป็นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าคิดเป็น 37.16 และ 43.15 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม ในวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ยังคงมีไม่มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบเมื่อเทียบกับชุดควบคุมแต่เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อ 3 วัน ที่ผ่านมาในพันธุ์มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งพบว่ามีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 31 (A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์เชิงสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

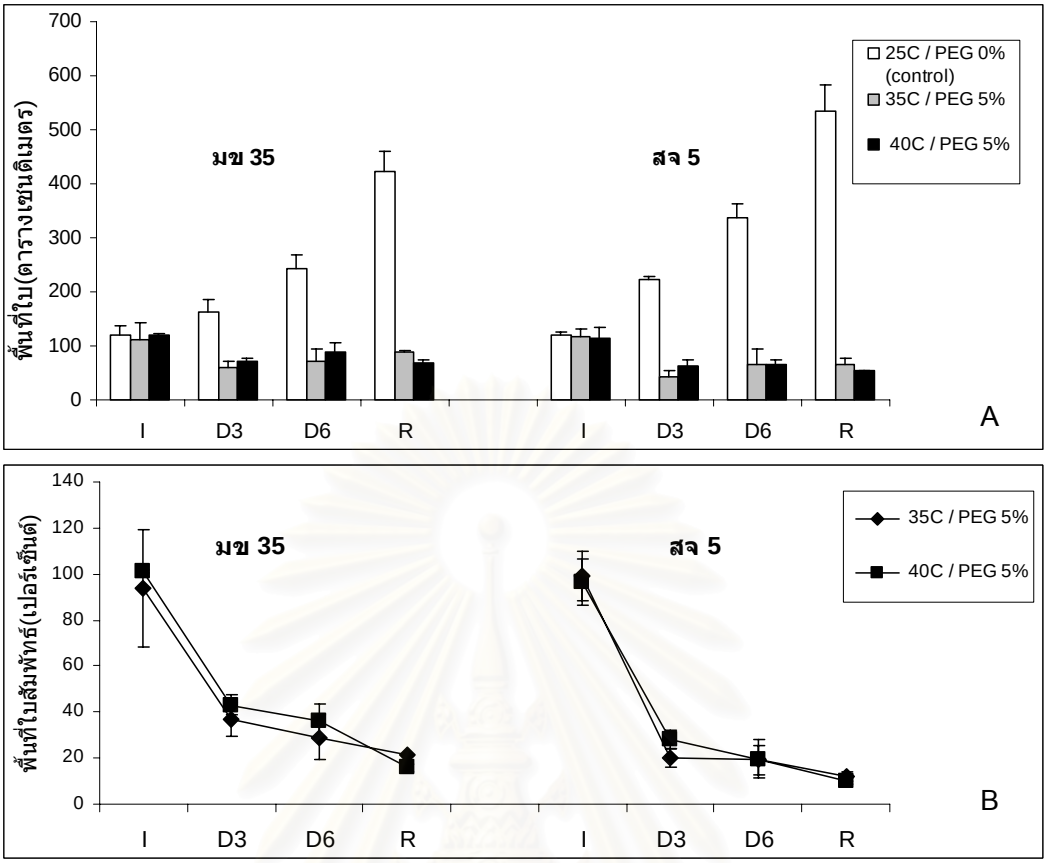
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 25 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		ปริมาณน้ำสัมพัทธ์(กรัม) ± standard error			
	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	75.58 ± 4.09^{aA}	82.32 ± 4.36^{aA}	82.21 ± 3.77^{aA}	83.58 ± 2.75^{aA}
	35	5	77.19 ± 1.30^{aA}	69.90 ± 6.58^{aB}	39.28 ± 6.45.^{bC}	51.49 ± 5.42^{bBC}
	40	5	77.84 ± 2.18^{aA}	25.26 ± 2.91^{cB}	28.02 ± 5.71^{cB}	57.41 ± 4.86^{bA}
สจ. 5	25	0	79.65 ± 2.87^{aA}	88.29 ± 5.06^{aA}	85.83 ± 3.94^{aA}	85.38 ± 2.91^{aA}
	35	5	82.65 ± 2.87^{aA}	25.94 ± 11.62^{bB}	23.70 ± 3.29^{cB}	47.64 ± 13.18^{bB}
	40	5	79.99 ± 1.88^{aA}	15.58 ± 3.23^{bB}	15.80 ± 2.87^{cB}	37.84 ± 13.78^{bB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 32 (A) พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 26 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		พื้นที่ใบ(ตารางเซนติเมตร) ± standard error			
	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	119.79 ± 15.96^{aC}	163.06 ± 23.56^{bBC}	241.63 ± 27.08^{bB}	423.42 ± 36.24bA
	35	5	112.16 ± 30.52^{aA}	60.60 ± 12.79^{cA}	70.16 ± 24.00^{cA}	89.85 ± 1.71cA
	40	5	121.28 ± 1.01^{aA}	70.37 ± 17.87^{cB}	87.39 ± 17.32^{cB}	67.40 ± 6.56cB
สจ. 5	25	0	119.28 ± 5.25^{aD}	222.36 ± 4.89^{aC}	338.10 ± 26.14^{aB}	534.84 ± 48.09aA
	35	5	118.77 ± 12.79^{aA}	44.17 ± 9.14^{cB}	66.67 ± 27.42^{cAB}	65.88 ± 10.84cAB
	40	5	115.05 ± 17.87^{aA}	62.12 ± 12.10^{cB}	64.55 ± 9.64^{cB}	52.99 ± 0.28cB

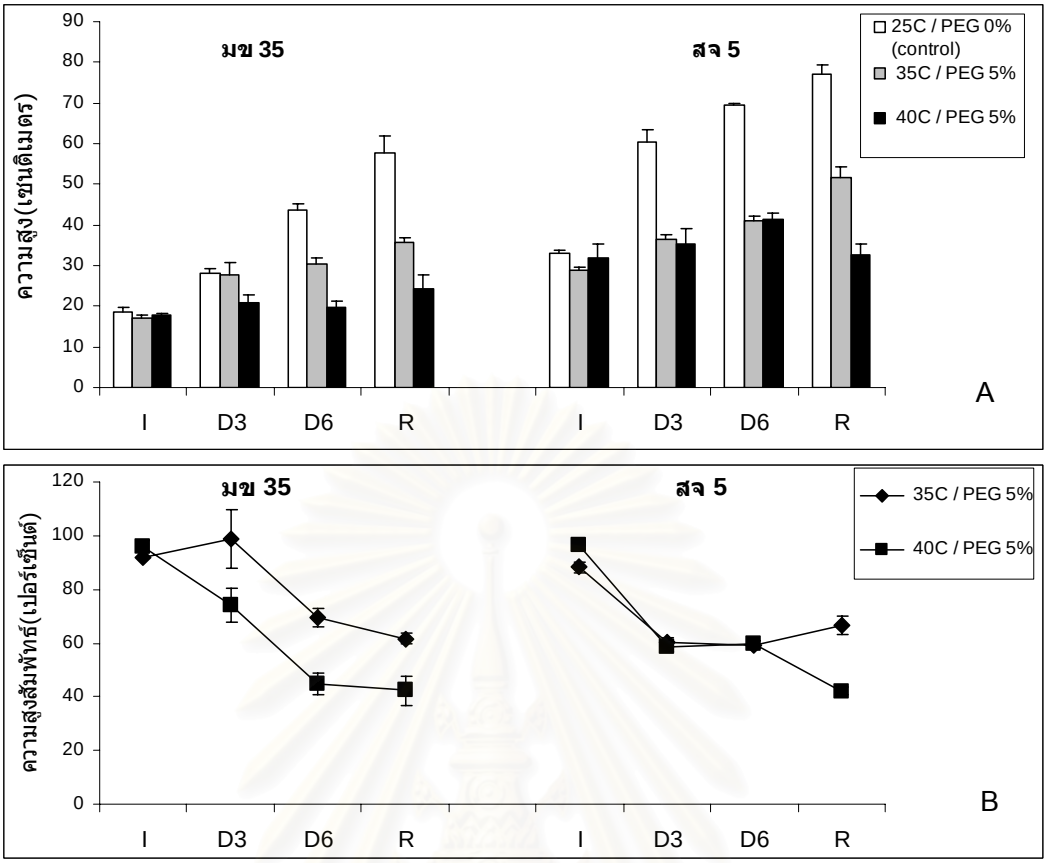
* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสูง (รูปที่ 33 และตารางที่ 27) ของถั่วเหลืองก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.98 และ 31.26 เซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 3 วัน ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีค่าลดลงต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) และเมื่อดูจากค่าความสูงสัมพัทธ์จะคิดเป็นเพียง 60.48 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม เมื่อเวลาผ่านไป 6 วัน ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีการลดลงของพื้นที่ใบทั้งในชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง และที่ได้รับภาวะอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีความสูงไม่แตกต่างจากเมื่อ3วันที่ผ่านมา และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติมีเพียงถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งเท่านั้นที่มีการปรับตัวเพิ่มความสูงขึ้น

ความยาวราก (รูปที่ 34 และตารางที่ 28) ของถั่วเหลืองก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.38 และ 33.97 เซนติเมตรตามลำดับ ในขณะที่เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน ความยาวรากของถั่วเหลืองของทุกชุดการทดลองไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 6 วัน ถั่วเหลืองมีการลดลงของความยาวรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติความยาวรากของถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นยกเว้นในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่มีความยาวรากไม่แตกต่างจากช่วงได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 33 (A) ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) ความสูงสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

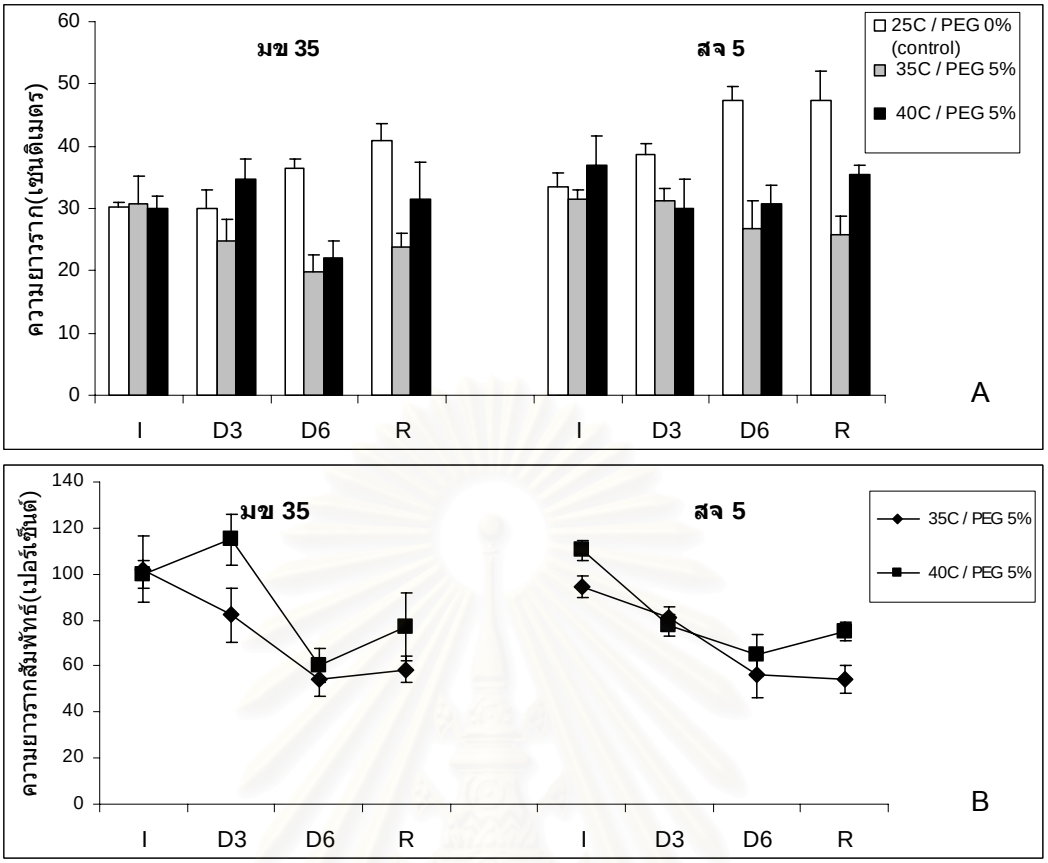
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 27 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		ความสูง(เซนติเมตร) ± standard error			
	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	18.73 ± 0.85^{bD}	28.25 ± 1.10^{cdC}	43.80 ± 1.47^{bB}	57.78 ± 3.95^{bA}
	35	5	17.25 ± 0.68^{bC}	27.88 ± 3.06^{cdB}	30.43 ± 1.50^{cAB}	35.63 ± 1.09^{cA}
	40	5	17.95 ± 0.45^{bA}	20.98 ± 1.77^{dA}	19.63 ± 1.75^{dA}	24.40 ± 3.23^{dA}
สจ. 5	25	0	32.95 ± 0.99^{aD}	60.48 ± 2.78^{aC}	69.35 ± 0.56^{aB}	77.20 ± 2.28^{aA}
	35	5	29.05 ± 0.69^{aC}	36.58 ± 0.99^{bB}	41.13 ± 0.89^{bB}	51.50 ± 2.78^{bA}
	40	5	31.78 ± 3.59^{aA}	35.43 ±3.80^{bcA}	41.30 ± 1.77^{bA}	32.53 ± 2.65^{cdA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 34 (A) ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B)ความยาวรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 28 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		ความยาวราก(เซนติเมตร) ± standard error			
	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	30.20 ± 0.86^{aB}	30.10 ± 2.98^{abB}	36.40 ± 1.46^{bAB}	40.83 ± 2.86^{abA}
	35	5	30.85 ± 4.36^{aA}	24.70 ± 3.52^{bAB}	19.75 ± 2.73^{dB}	23.85 ± 2.28^{cAB}
	40	5	30.08 ± 1.84^{aAB}	34.63 ± 3.32^{abA}	22.03 ± 2.68^{cdB}	31.55 ± 6.00b^{cAB}
สจ. 5	25	0	33.45 ± 2.22^{aB}	38.73 ± 1.79^{aAB}	47.43 ± 2.20^{aA}	47.38 ± 4.63^{aA}
	35	5	31.58 ± 1.49^{aA}	31.35 ± 1.79^{abA}	26.68 ± 4.62^{cdA}	25.73 ± 2.98^{cA}
	40	5	36.88 ± 4.66^{aA}	30.10 ± 4.70^{abA}	30.68 ± 2.99^{bcA}	35.45 ± 1.61^{bcA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำหนักสดต้น (รูปที่ 35 และตารางที่ 29) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.157 และ 2.689 กรัมตามลำดับ ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 3 วัน ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ พันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าลดลงอย่างมากและมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกับในวันที่ 6 ที่น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองทั้ง 2 พันธุ์ยังลงมีค่าลดลง โดยเมื่อดูจากค่าน้ำหนักสดต้นสัมพัทธ์ ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงของน้ำหนักสดต้นมากกว่าโดยคิดเป็น 25.72 และ14.05 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วันมีเพียงถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งเท่านั้นที่มีการปรับตัวเพิ่มน้ำหนักสดต้นขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

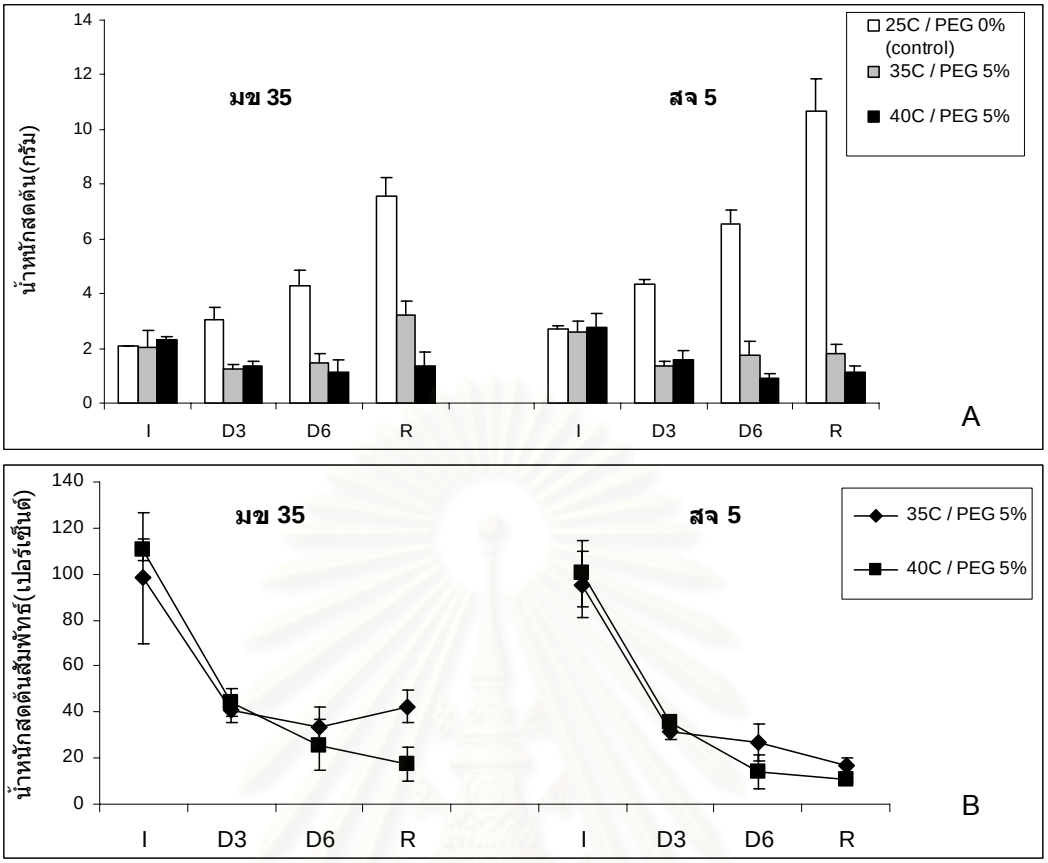
สำหรับน้ำหนักแห้งต้น(รูปที่ 36 และตารางที่ 30) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1952 และ 0.2635 กรัมตามลำดับ และเมื่อได้รับภาวะทั้งสองเป็นเวลา 3วัน ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้ง มีน้ำหนักแห้งต้นไม่แตกต่างจากชุดควบคุมในขณะที่ในพันธุ์ สจ. 5 มีการลดลงของน้ำหนักแห้งต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)ในทั้งสองชุดการทดลอง และเมื่อดูจากค่าน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ ในวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งน้ำหนักแห้งต้นในทั้งสองพันธุ์ก็ยังคงมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ค่าน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองของทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะร้อยและภาวะแล้งทั้งสองระดับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P \leq 0.05$) และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน มีเพียงถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งเท่านั้นที่มีการปรับตัวเพิ่มน้ำหนักแห้งต้นขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

น้ำหนักสดราก(รูปที่ 37 และตารางที่ 31) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.477 และ 0.840 กรัมตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3วันพบว่า น้ำหนักสดรากมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมเช่นเดียวกับในวันที่ 6 โดยเมื่อดูจากค่าน้ำหนักสดรากสัมพัทธ์ ถั่วเหลืองชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งในทั้งสองพันธุ์มีค่าน้อยที่สุดโดยค่าคิดเป็น 36.88 และ 14.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีการปรับตัวให้มีน้ำหนักสดรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(P $\leq$ 0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อ 3 วันที่ผ่านมา ในขณะที่ในพันธุ์ สจ. 5 มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดรากเพียงเล็กน้อย

น้ำหนักแห้งราก(รูปที่ 38 และตารางที่ 32) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0222 และ 0.0425 กรัมตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่าน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีน้ำหนักแห้งรากต่างจากชุดควบคุมจนกระทั่งในวันที่ 6 ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งจึงมีค่าลดลงต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P $\leq$ 0.05) แต่เมื่อดูจากค่าน้ำหนักแห้งรากสัมพัทธ์ พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง สามารถรักษาน้ำหนักแห้งรากเอาไว้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 เท่านั้นที่สามารถปรับตัวและมีค่าน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ(P $\leq$ 0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อ 3 วันที่ผ่านมา ในขณะที่ในพันธุ์ สจ. 5 มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดรากเพียงเล็กน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 35(A) น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองมข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) น้ำหนักสดต้นสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองมข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

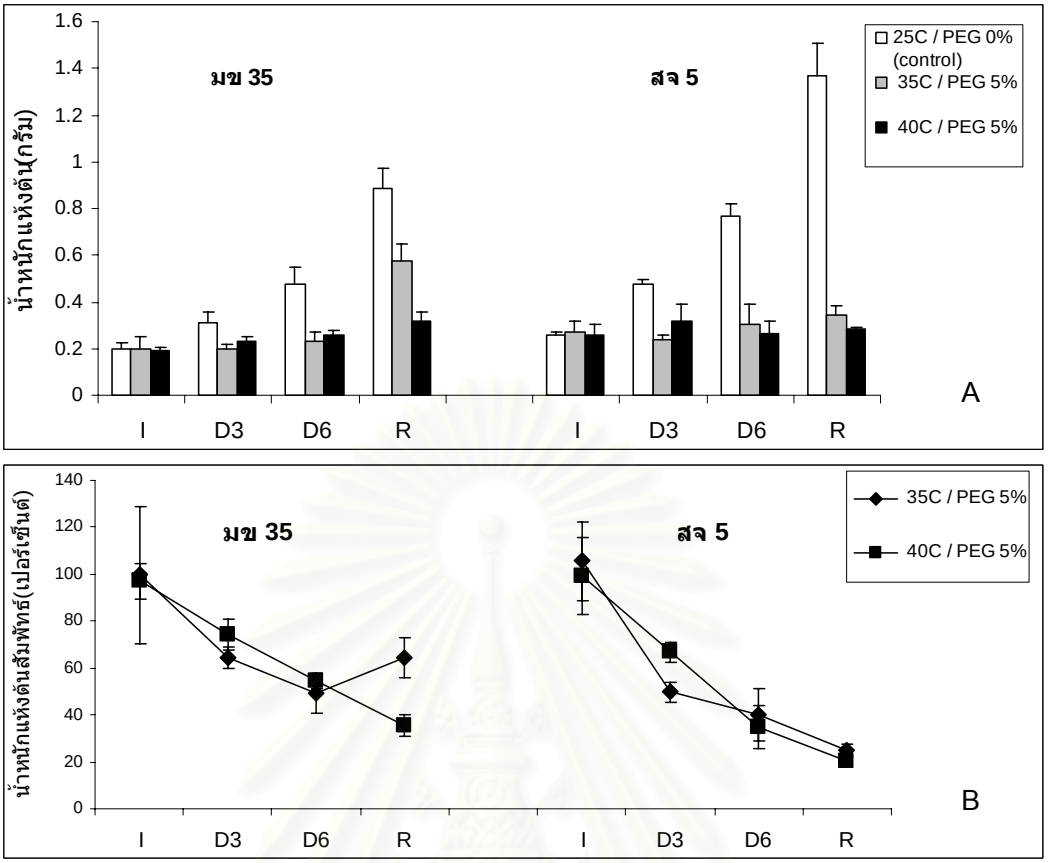
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 29 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน(D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		น้ำหนักสดต้น(กรัม) ± standard error			
	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	2.094 ± 0.015^{aC}	3.057 ± 0.417^{bBC}	4.307 ± 0.556^{bB}	7.585 ± 0.643^{bA}
	35	5	2.059 ± 0.594^{aAB}	1.247 ± 0.166^{cB}	1.440 ± 0.376^{cB}	3.207 ± 0.537^{cA}
	40	5	2.318 ± 0.101^{aA}	1.350 ± 0.190^{cA}	1.108 ± 0.474^{cA}	1.332 ± 0.552^{cdA}
สจ. 5	25	0	2.728 ± 0.085^{aC}	4.348 ± 0.168^{aC}	6.523 ± 0.521^{aB}	10.681 ± 1.150^{aA}
	35	5	2.601 ± 0.393^{aA}	1.367 ± 0.139^{cA}	1.739 ± 0.524^{cA}	1.802 ± 0.346^{cdA}
	40	5	2.738 ± 0.518^{aA}	1.557 ± 0.367^{cB}	0.916 ± 0.133^{cB}	1.122 ± 0.234^{dB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 36(A)น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B)น้ำหนักแห้งต้นสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

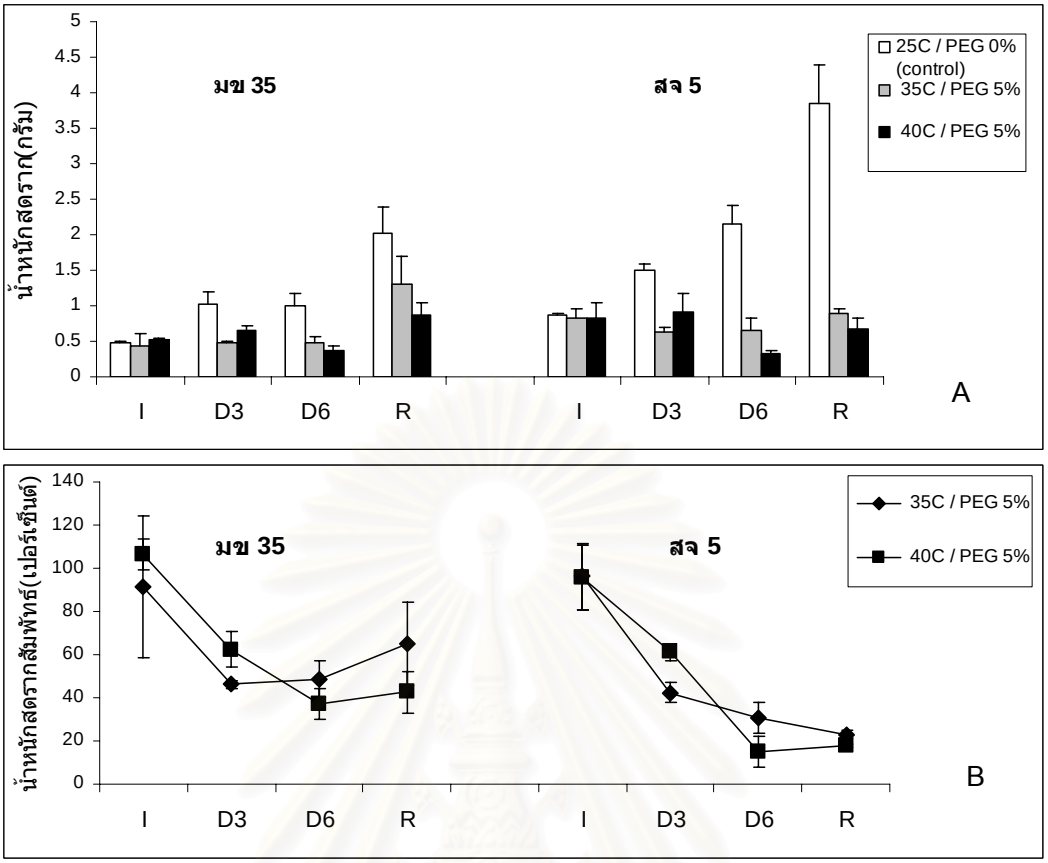
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 30 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		น้ำหนักแห้งต้น(กรัม) ± standard error			
	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	0.1973 ± 0.0249^{aB}	0.3123 ± 0.0434^{bB}	0.4753 ± 0.0716^{bB}	0.8860 ± 0.0829^{bA}
	35	5	0.1968 ± 0.0577^{aB}	0.2013 ± 0.0143^{bB}	0.2328 ± 0.0382^{cB}	0.5725 ± 0.0748^{cA}
	40	5	0.1914 ± 0.0147^{aB}	0.2313 ± 0.0203^{bB}	0.2593 ± 0.0155^{cAB}	0.3153 ± 0.0393^{dA}
สจ. 5	25	0	0.2593 ± 0.0101^{aC}	0.4775 ± 0.0170^{aC}	0.7673 ± 0.0515^{aB}	1.3678 ± 0.1365^{aA}
	35	5	0.2738 ± 0.0429^{aA}	0.2378 ± 0.0206^{bA}	0.3058 ± 0.0854^{cA}	0.3413 ± 0.0399^{dA}
	40	5	0.2573 ± 0.0493^{aA}	0.3200 ± 0.0713^{bA}	0.2673 ± 0.0481^{cA}	0.2813 ± 0.0987^{dA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 37(A) น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) น้ำหนักสดรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

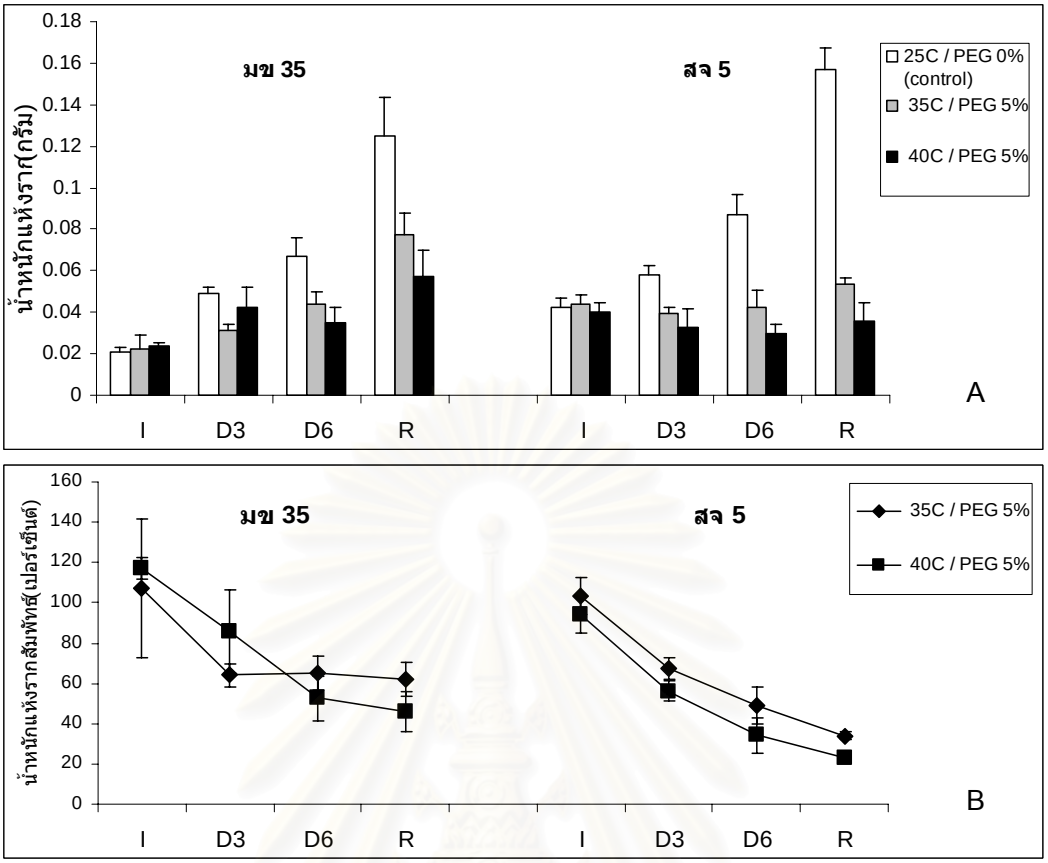
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน(D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		น้ำหนักสดราก(กรัม) ± standard error			
	อุณหภูมิ(^{o}C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	0.481 ± 0.026^{abB}	1.031 ± 0.154^{bB}	1.005 ± 0.178^{bB}	2.015 ± 0.385^{bA}
	35	5	0.440 ± 0.158^{bB}	0.478 ± 0.019^{cB}	0.485 ± 0.087^{cB}	1.314 ± 0.390^{bcA}
	40	5	0.511 ± 0.034^{abAB}	0.645 ± 0.084^{bcAB}	0.371 ± 0.071^{cB}	0.860 ± 0.192^{cA}
สจ. 5	25	0	0.863 ± 0.036^{aC}	1.495 ±0.092^{aBC}	2.159 ± 0.248^{aB}	3.844 ± 0.537^{aA}
	35	5	0.830 ±0.134^{abA}	0.634 ± 0.069^{bcA}	0.660 ± 0.156^{bcA}	0.886 ± 0.063^{cA}
	40	5	0.826 ± 0.210^{abA}	0.914 ± 0.260^{bcA}	0.323 ± 0.042^{cA}	0.680 ± 0.156^{cA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 38 (A) น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) น้ำหนักแห้งรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 32 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน(D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		น้ำหนักแห้งราก(กรัม) ± standard error			
	อุณหภูมิ(^{o}C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	0.0205 ± 0.0022^{bC}	0.0493 ± 0.0025^{abBC}	0.0670 ± 0.0089^{aB}	0.1250 ± 0.0187^{aA}
	35	5	0.0220 ± 0.0070^{bB}	0.0315 ± 0.0029^{bB}	0.0438 ± 0.0057^{bB}	0.0775 ± 0.0104^{bA}
	40	5	0.0240 ± 0.0011^{bB}	0.0423 ± 0.0101^{abAB}	0.0353 ± 0.0074^{bAB}	0.0575 ± 0.0126^{bcA}
สจ. 5	25	0	0.0428 ± 0.0038^{aC}	0.0583 ± 0.0042^{aC}	0.0873 ± 0.0095^{aB}	0.1573 ± 0.0104^{aA}
	35	5	0.0443 ± 0.0040^{aA}	0.0393 ± 0.0033^{abA}	0.0428 ± 0.0078^{bA}	0.0535 ± 0.0031^{bcA}
	40	5	0.0403 ± 0.0043^{aA}	0.0328 ± 0.0088^{bA}	0.0298 ± 0.0045^{bA}	0.0360 ± 0.0085^{cA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ปริมาณ Chl *a* (รูปที่ 39 และตารางที่ 33) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.09 และ 17.60 mg g^{-1} DW ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่าถั่วเหลืองทุกชุดมีปริมาณ Chl *a* ลดต่ำกว่าชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีปริมาณ Chl *a* น้อยกว่าชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง โดยในพันธุ์ มข. 35 นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ในวันที่ 6 การลดลงของปริมาณ Chl *a* ก็ยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งในทั้งสองพันธุ์มีปริมาณ Chl *a* น้อยที่สุด และถึงแม้จะได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณก็ยังคงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)เมื่อเปรียบเทียบกับ 3 วันที่ผ่านมา และเมื่อสังเกตจากค่าปริมาณ Chl *a* สัมพัทธ์ พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ . 5 มีค่าปริมาณ Chl *a* สัมพัทธ์มากกว่าแสดงว่ามีความสามารถในการรักษาปริมาณ Chl *a* เอาไว้ได้ดีกว่าพันธุ์ มข . 35 ในวันที่ 3 และวันที่ 6 แต่ก็ไม่สามารถฟื้นตัวให้มีการสร้าง Chl *a* ขึ้นใหม่ได้ภายหลังจากการได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ

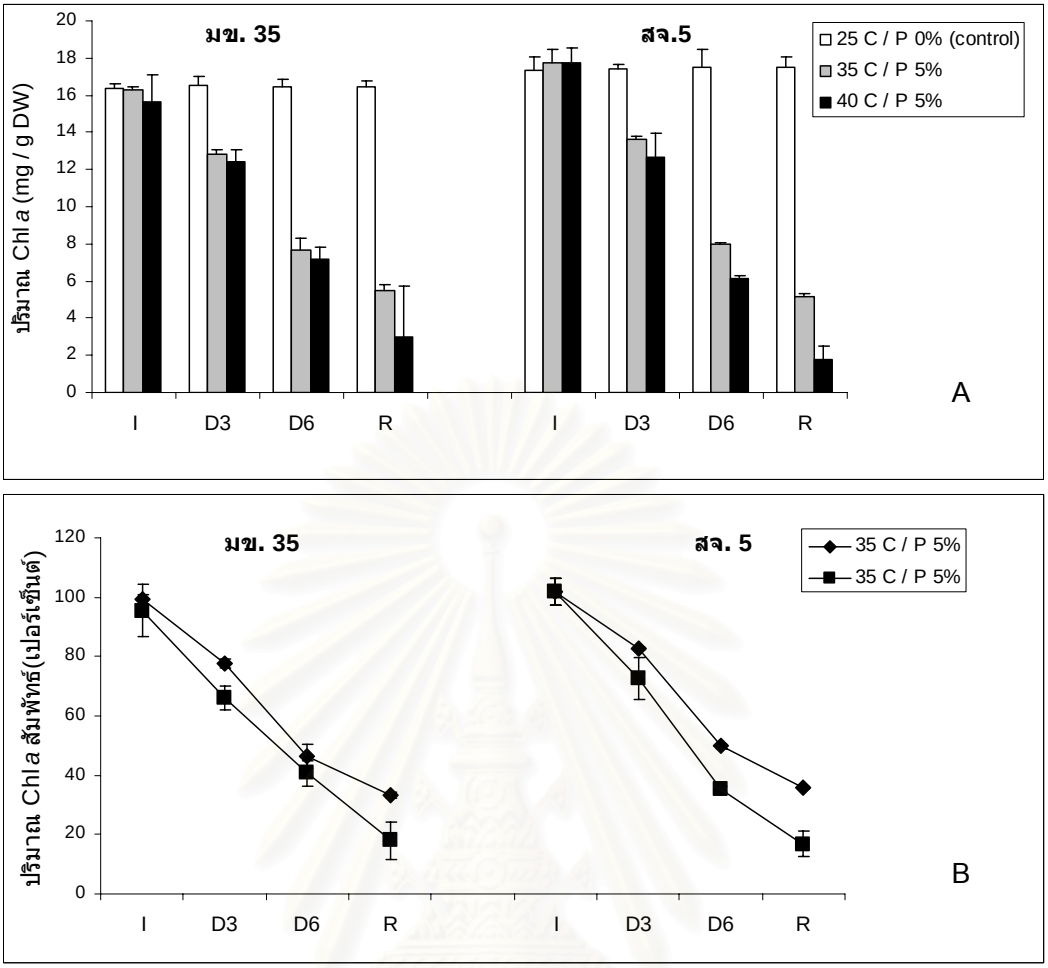
ปริมาณ Chl *b* (รูปที่ 40และตารางที่ 34) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.89 และ 7.16 mg g^{-1} DW ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วันพบว่าถั่วเหลืองทุกชุดมีปริมาณ Chl *b* ลดต่ำกว่าชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีปริมาณ Chl *b* น้อยกว่าชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง อย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทั้งสองพันธุ์ ในขณะที่ในวันที่ 6 การลดลงของปริมาณ Chl *b* ก็ยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งในพันธุ์ สจ. 5 มีปริมาณ Chl *b* ลดลงต่ำกว่าปริมาณ Chl *b* ของชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) และการได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณ Chl *b* ก็ยังคงลดลงโดยในชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ 3 วันที่ผ่านมา และเมื่อสังเกตจากค่าปริมาณ Chl *b* สัมพัทธ์ พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ . 5 มีการรักษาปริมาณ Chl *b* เอาไว้ได้ดีกว่าพันธุ์ มข . 35 ในวันที่ 3 และวันที่ 6 แต่ก็ไม่สามารถฟื้นตัวให้มีการสร้าง Chl *b* ขึ้นใหม่ได้ภายหลังจากการได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ

ปริมาณ total Chl (รูปที่ 41 และตารางที่ 35) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.98 และ 24.76 mg g^{-1} DW ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วันพบว่าถั่วเหลืองทุกชุดมีปริมาณ total Chl ลดต่ำกว่าชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีปริมาณ total Chl น้อยกว่าชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง อย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ในทั้งสองพันธุ์ ในขณะที่ในวันที่ 6 การลดลงของปริมาณ total Chl ก็ยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องโดยในพันธุ์ สจ. 5 ชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีปริมาณ total Chl ลดลงมากกว่าชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ในพันธุ์มข. 35 ไม่มีความแตกต่างกันในทั้งสองชุดการทดลอง และการได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณ total Chl ก็ยังคงลดลงโดยในชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ 3 วันที่ผ่านมา และเมื่อสังเกตจากค่าปริมาณ total Chl สัมพัทธ์ พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์สจ . 5 มีการรักษาปริมาณ total Chl เอาไว้ได้ดีกว่าพันธุ์ มข . 35 ในวันที่ 3 และวันที่ 6 แต่ก็ไม่สามารถฟื้นตัวให้มีการสร้าง total Chl ขึ้นใหม่ได้ภายหลังจากการได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ

ส่วนปริมาณ carotenoids (รูปที่ 42 และตารางที่ 36) ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.7 และ 3.53 mg g^{-1} DW ตามลำดับ โดย เมื่อได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วันพบว่าถั่วเหลืองทุกชุดมีปริมาณ carotenoids ลดต่ำกว่าชุดควบคุมแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งและชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง ในทั้งสองพันธุ์ ในขณะที่ในวันที่ 6 การลดลงของปริมาณ carotenoids ก็ยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งในพันธุ์ สจ. 5 มีปริมาณ carotenoids ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติของทั้งชุดการทดลองในพันธุ์ มข. 35 และการได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณ carotenoids ก็ยังคงลดลงโดยในชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)เมื่อเปรียบเทียบกับ 3 วันที่ผ่านมา และเมื่อดูจากค่าปริมาณ carotenoids สัมพัทธ์ พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ . 5 มีการรักษาปริมาณ carotenoids เอาไว้ได้ดีกว่าพันธุ์ มข . 35 ในวันที่

3 และวันที่ 6 แต่ก็ไม่สามารถฟื้นตัวให้มีการสร้าง carotenoids ขึ้นใหม่ได้ภายหลังจากการได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 39 (A) ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) ปริมาณ Chl *a* สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

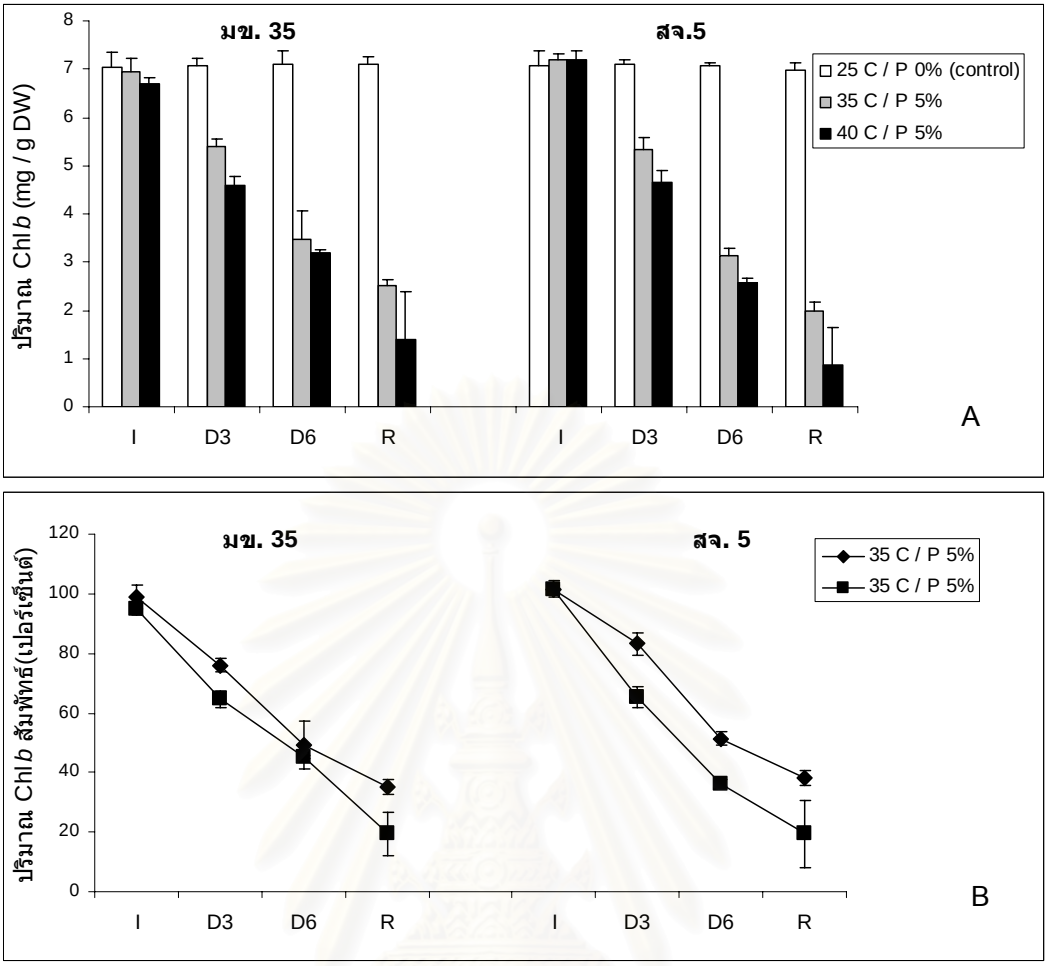
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 33 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน(D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		ปริมาณ Chl *a* (mg g^{-1} DW) ± standard error			
	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	16.38 ± 0.24^{aA}	16.50 ± 0.50^{aA}	16.42 ± 0.46^{aA}	16.42 ± 0.34^{aA}
	35	5	16.25 ± 0.23^{aA}	12.79 ± 0.27^{bcB}	7.63 ± 0.68^{bcC}	5.47 ± 0.18^{bD}
	40	5	15.64 ± 1.44^{aA}	10.89 ± 0.69^{dB}	6.67 ± 0.68^{cC}	2.95 ± 1.05^{cD}
สจ. 5	25	0	17.37 ± 0.71^{aA}	17.43 ± 0.24^{aA}	17.50 ± 0.97^{aA}	17.53 ± 0.52^{aA}
	35	5	17.71 ± 0.80^{aA}	14.40 ± 0.10^{bB}	8.72 ± 0.14^{bC}	6.27 ± 0.12^{bD}
	40	5	17.72 ± 0.79^{aA}	12.69 ± 1.23^{bcB}	6.15 ± 0.17^{cC}	2.96 ± 0.73^{cD}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 40 (A) ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

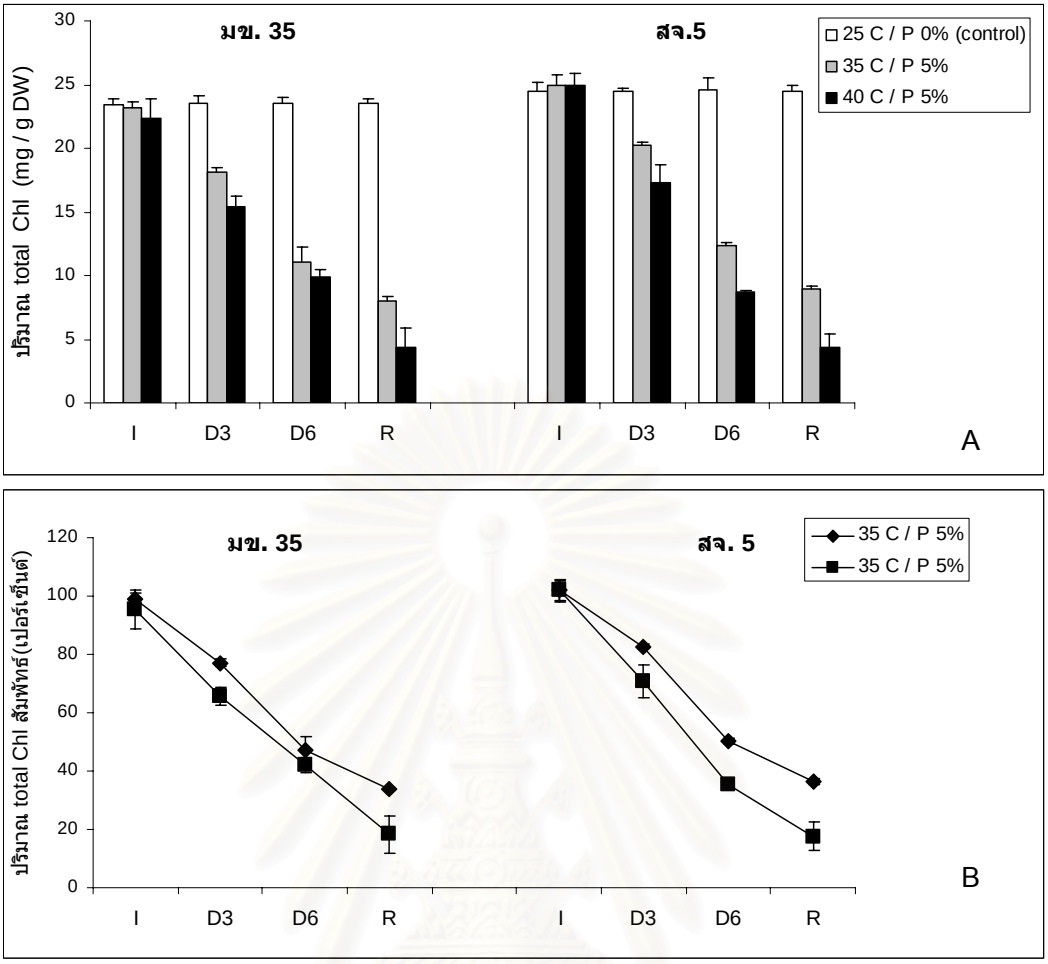
(B) ปริมาณ Chl *b* สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 34 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		ปริมาณ Chl *b* (mg g^{-1} DW) ± standard error			
	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	7.03 ± 0.32^{aA}	7.07 ± 0.16^{aA}	7.09 ± 0.29^{aA}	7.11 ± 0.14^{aA}
	35	5	6.95 ± 0.28^{aA}	5.38 ± 0.16^{bB}	3.48 ± 0.58^{bC}	2.50 ± 0.19^{bC}
	40	5	6.69 ± 0.14^{aA}	4.57 ± 0.20^{cB}	3.21 ± 0.05^{bcC}	1.38 ± 0.52^{bD}
สจ. 5	25	0	7.08 ± 0.28^{aA}	7.09 ± 0.09^{aA}	7.05 ± 0.08^{aA}	6.98 ± 0.16^{aA}
	35	5	7.20 ± 0.10^{aA}	5.89 ± 0.26^{bB}	3.63 ± 0.17^{bC}	2.67 ± 0.17^{bD}
	40	5	7.20 ± 0.20^{aA}	4.65 ±0.25^{cB}	2.57 ± 0.09^{cC}	1.36 ± 0.79^{bC}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 41 (A) ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

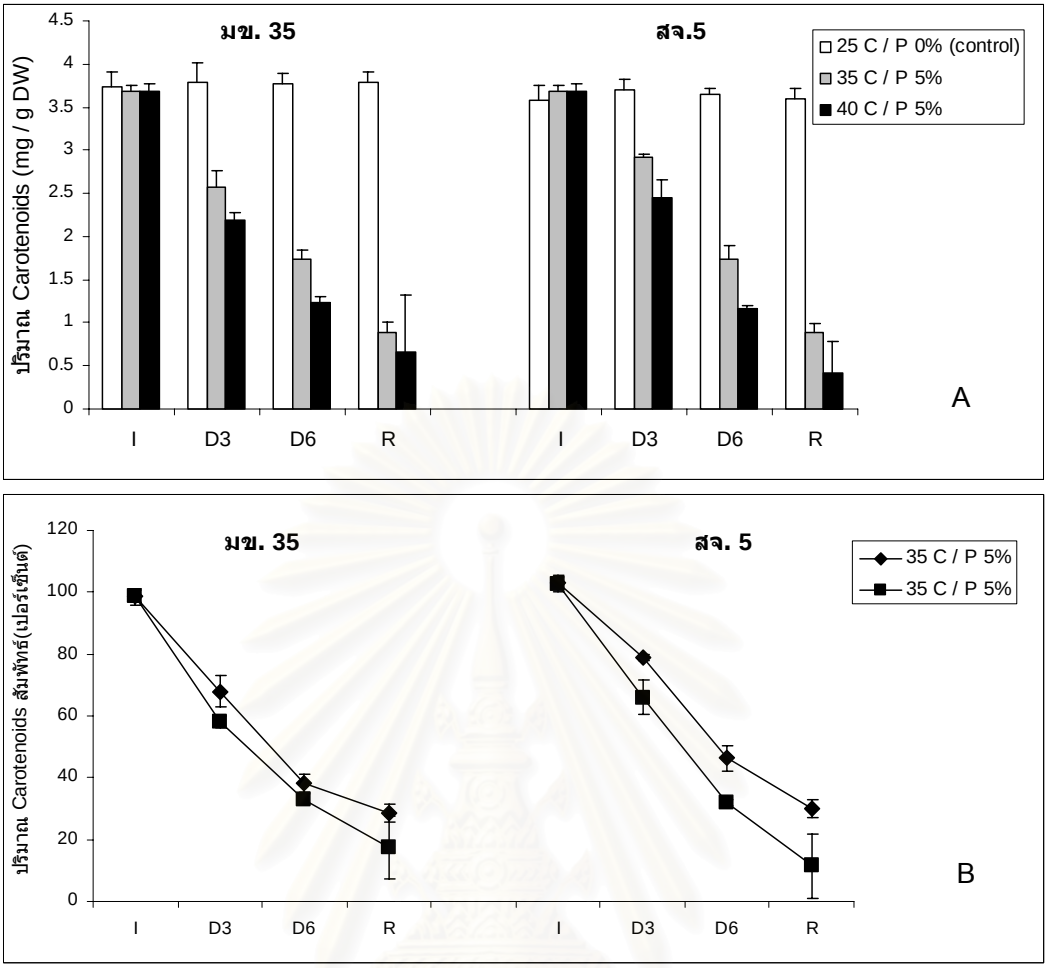
(B) ปริมาณ total Chl สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 35 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		ปริมาณ Total Chl (mg g^{-1} DW) ± standard error			
	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	23.41 ± 0.50^{aA}	23.57 ± 0.57^{aA}	23.51 ± 0.55^{aA}	23.53 ± 0.38^{aA}
	35	5	23.20 ± 0.39^{aA}	18.17 ± 0.32^{bcB}	11.11 ± 1.09^{bcC}	7.98 ± 0.09^{bD}
	40	5	22.33 ± 1.58^{aA}	15.46 ± 0.75^{dB}	9.88 ± 0.64^{cdC}	4.33 ± 1.52^{cD}
สจ. 5	25	0	24.46 ± 0.75^{aA}	24.53 ± 0.19^{aA}	24.56 ± 0.96^{aA}	24.51 ± 0.42^{aA}
	35	5	24.91 ± 0.85^{aA}	20.29 ± 0.16^{bB}	12.34 ± 0.27^{bC}	8.94 ± 0.27^{bD}
	40	5	24.92 ± 0.95^{aA}	17.33 ± 1.42^{cdB}	8.71 ± 0.14^{dC}	4.32 ± 1.15^{cD}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 42(A) ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) ปริมาณ carotenoids สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก่อนได้รับภาวะทั้งสอง(I) ได้รับภาวะทั้งสอง 3 วัน (D3) ได้รับภาวะทั้งสอง 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 36 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์		ปริมาณ Carotenoids (mg g^{-1} DW) ± standard error			
	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	0	3.73 ± 0.18^{aA}	3.79 ± 0.23^{aA}	3.76 ± 0.13^{aA}	3.79 ± 0.13^{aA}
	35	5	3.69 ± 0.07^{aA}	2.57 ± 0.20^{bcB}	1.44 ± 0.11^{bcC}	1.08 ± 0.11^{bC}
	40	5	3.68 ± 0.10^{aA}	2.20 ± 0.07^{cB}	1.24 ± 0.06^{cC}	0.66 ± 0.39^{bC}
สจ. 5	25	0	3.58 ± 0.17^{aA}	3.71 ± 0.12^{aA}	3.65 ± 0.08^{aA}	3.60 ± 0.12^{aA}
	35	5	3.44 ± 0.19^{aA}	2.69 ± 0.10^{bB}	1.69 ± 0.15^{bC}	1.08 ± 0.11^{bD}
	40	5	3.58 ± 0.08^{aA}	2.20 ± 0.40^{bcB}	1.17 ± 0.03^{cC}	0.41 ± 0.38^{bD}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

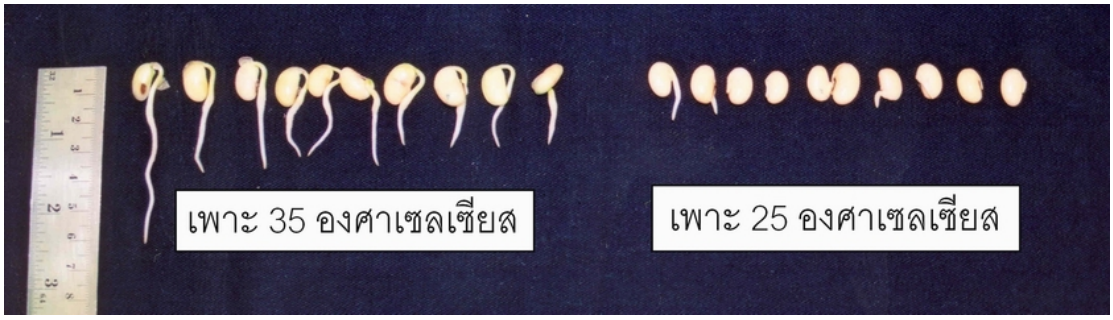
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. 3 การศึกษาผลของการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงต่อการเติบโต และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงภายใต้ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งใน ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5

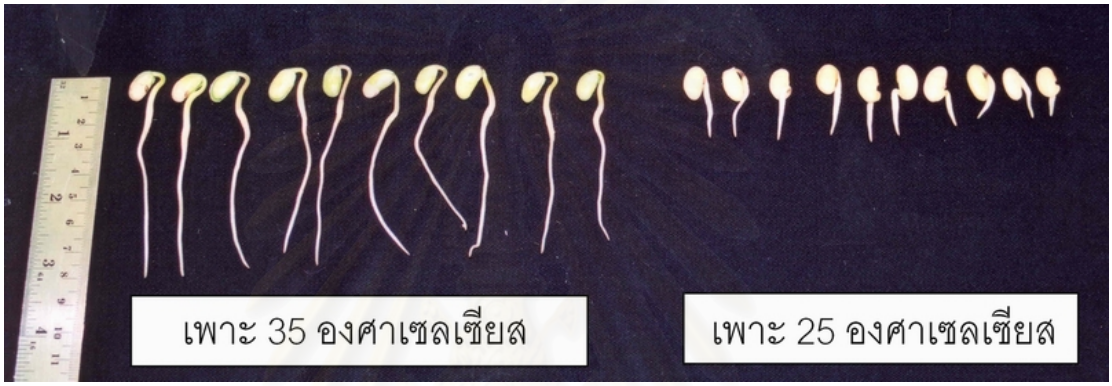
4.3.1 ผลของอุณหภูมิสูงต่อการเพาะเมล็ดถั่วเหลือง

การเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน เปรียบเทียบเทียบกับชุดควบคุมที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า เมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 พันธุ์ที่ เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีการงอกของเมล็ดเร็วกว่าโดยในวันที่ 2 ของการเพาะเมล็ด ถั่วเหลืองที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มี radical งอกออกจากเมล็ดยาวกว่าพันธุ์ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสโดยเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่ อุณหภูมิ 35 และ 25 องศาเซลเซียส มีความยาวเฉลี่ยของ radical เท่ากับ 3.4 และ 0.3 เซนติเมตร ตามลำดับ (รูปที่ 43) และเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่เพาะที่ อุณหภูมิ 35 และ 25 องศาเซลเซียส มีความยาวเฉลี่ยของ radical เท่ากับ 7.2 และ 1.8 เซนติเมตร ตามลำดับ (รูปที่ 44)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 43 เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน



รูปที่ 44 เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 **ผลของการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงต่อ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงภายใต้ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง**

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์(รูปที่ 45 และตารางที่ 37) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 76.87 และ 82.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เฉลี่ย เท่ากับ 80.76 และ 82.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองมีค่าลดลง โดยมีเพียงถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ในวันที่ 6 มีเฉพาะถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นและมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วันในขณะที่ชุดการทดลองอื่นมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสัมพัทธ์ เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ

พื้นที่ใบ(รูปที่ 46 และตารางที่ 38) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 117.74 และ 159.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เฉลี่ย เท่ากับ 117.70 และ 109.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่าพื้นที่ใบของถั่วเหลืองมีค่าลดลงแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกับในวันที่ 6 และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วันพื้นที่ใบก็ยังมีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกชุดการทดลอง และเมื่อดูจากค่าพื้นที่ใบสัมพัทธ์จะพบว่าถั่วเหลืองในทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีการลดลงของพื้นที่ใบน้อยกว่าชุดที่เพาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทั้งในวันที่ 3 และวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง

ความสูงของถั่วเหลือง(รูปที่ 47 และตารางที่ 39) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 17.98 และ 32.83 เซนติเมตรตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 31.26 และ 43.36 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่าความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะในทั้ง 2 อุณหภูมิ และได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีความสูงไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่มีความสูงไม่แตกต่างจากชุดควบคุม และในวันที่ 6ถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองมีความสูงน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)โดยเฉพาะในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีเฉพาะถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นและมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วันในขณะที่ชุดการทดลองอื่นมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสัมพัทธ์ เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ

ความยาวรากของถั่วเหลือง (รูปที่ 48 และตารางที่ 40) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.36 และ 32.83 เซนติเมตรตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 33.97 และ 36.33 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วันพบว่าความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับเท่านั้นที่มีความยาวรากลดลงจนมีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีความยาวรากสัมพัทธ์คิดเป็น 61.22 เปอร์เซ็นต์ แต่ในวันที่ 6 ถั่วเหลืองชุดที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีความรากรากมากกว่าชุดควบคุม ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นมีการลดลงของความยาวรากเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในชุดการทดลองมีการความยาวรากคงที่หรือเพิ่มขึ้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีเฉพาะพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งเท่านั้นที่มีการเพิ่มขึ้นของความยาวราก

น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลือง (รูปที่ 49 และตารางที่ 41) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.157 และ 2.366กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 2.689และ 2.501 กรัม ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ทุกชุดการทดลองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงของน้ำหนักสดต้นต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในวันที่ 6 ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีน้ำหนักสดต้นค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อ 3 วันที่ผ่านมา ในขณะที่ชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีการลดลงของน้ำหนักสดต้นมากกว่า โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีการลดลงมากที่สุดโดยมีน้ำหนักสดต้นสัมพัทธ์คิดเป็น 13.83 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งต้นแต่ไม่เท่ากับชุดควบคุม โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดต้นมากกว่าชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง และเมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักสดต้นสัมพัทธ์ พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการปรับตัวให้มีน้ำหนักสดต้นให้ลดลงน้อยกว่าถั่วเหลืองที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสทั้งในวันที่ 3 และวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง

น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลือง (รูปที่ 50 และตารางที่ 42) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1952 และ 0.3280 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.2635 และ 0.2509กรัม ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ทุกชุดการทดลองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงของน้ำหนักแห้งต้นต่างจากชุดควบคุม แต่ไม่แตกต่างในระหว่างชุดที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งในทั้งสองระดับ ส่วนในวันที่ 6 ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะร้อนที่ได้รับร่วมกับภาวะแล้งยังคงมีน้ำหนักแล้งค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อ 3 วันที่ผ่านมา และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 เท่านั้นที่มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อ 3 วันที่ผ่านมาโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดต้นมากกว่าชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง และเมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักแห้งต้นสัมพัทธ์

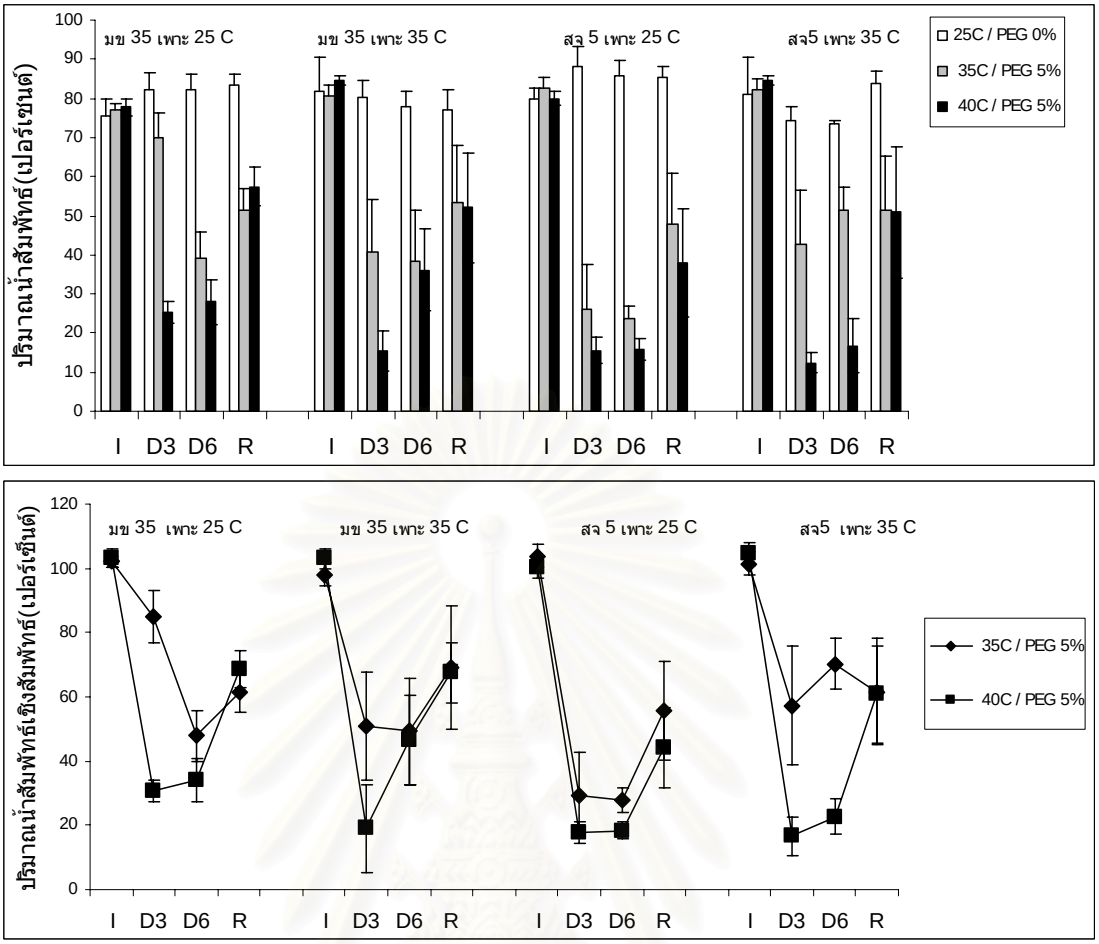
พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนทั้ง 2 ระดับร่วมกับภาวะแล้งมีการปรับตัวให้มีน้ำหนักแห้งต้นให้ลดลงน้อยกว่าถั่วเหลืองที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสทั้งในวันที่ 3 และวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง

น้ำหนักสดรากของถั่วเหลือง (รูปที่ 51 และตารางที่ 43) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.477และ 0.665 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.840 และ 0.813 กรัม ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่ามีน้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม ยกเว้นเพียงถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ชุดที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับเท่านั้นที่มีน้ำหนักสดต้นไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ส่วนในวันที่ 6 พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งในทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักสดรากลดลงค่อนข้างคงที่หรือมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อ 3 วันที่ผ่านมา ในขณะที่ชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งทุกชุดการทดลอง มีการลดลงของน้ำหนักสดราก และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งรากแต่ไม่เท่ากับชุดควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักสดรากสัมพัทธ์ พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการปรับตัวให้มีน้ำหนักสดรากให้ลดลงน้อยกว่าถั่วเหลืองที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสทั้งในวันที่ 3 และวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งแต่เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีการปรับตัวให้มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดรากได้ดีกว่าถั่วเหลืองที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลือง (รูปที่ 52 และตารางที่ 44) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0222 และ 0.0344 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.0425 และ 0.0363 กรัม ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3วัน พบว่ามีน้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุมโดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ชุดที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับมีน้ำหนักแห้งต้นลดลงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ส่วนในวันที่ 6พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่เพาะที่

อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทั้ง 2 ระดับในทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักแห้งรากลดลงค่อนข้างชัดเจนในขณะที่ชุดที่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุม และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งรากแต่ไม่เท่ากับชุดควบคุมโดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง และเมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักแห้งรากสัมพัทธ์ พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการปรับตัวให้มีน้ำหนักแห้งรากให้ลดลงน้อยกว่าถั่วเหลืองที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสทั้งในวันที่ 3 และวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 45(A) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

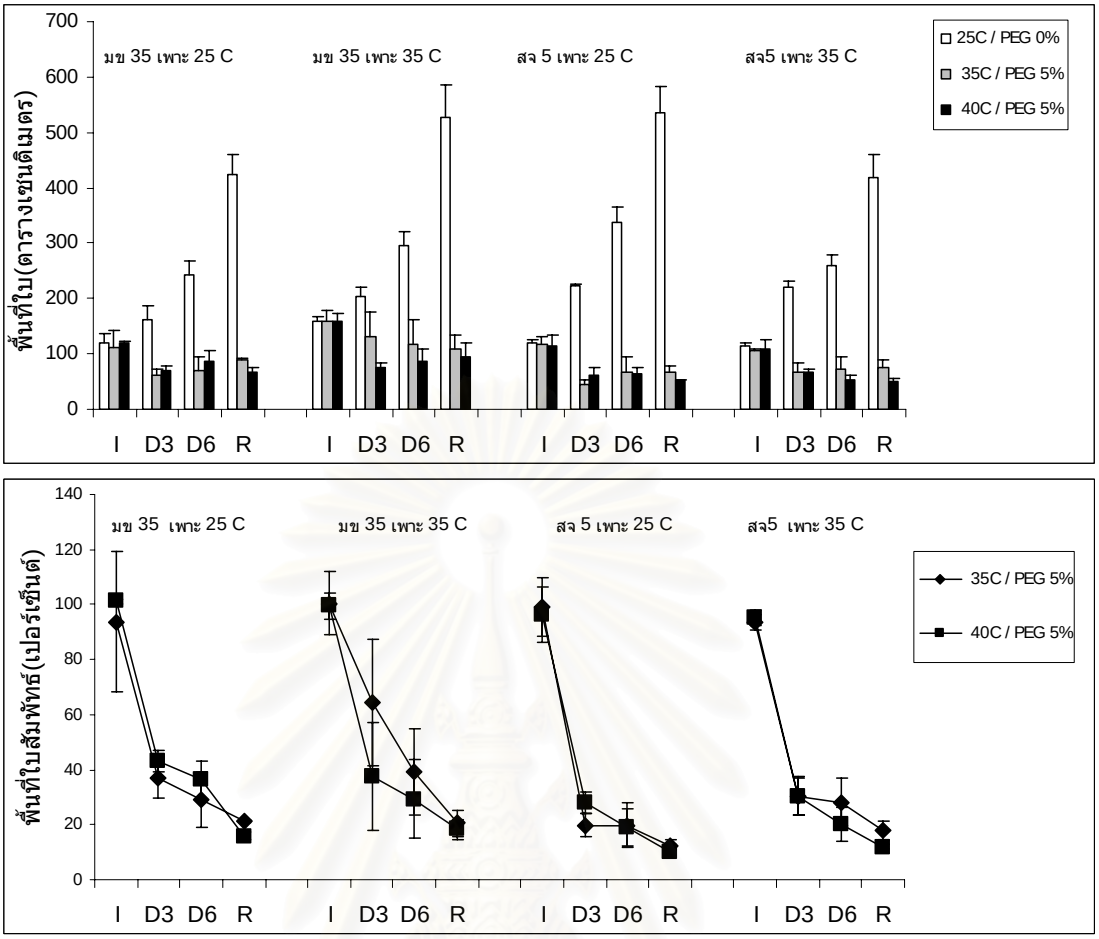
(B) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์เชิงสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 37 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			พื้นที่ใบ(ตารางเซนติเมตร) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
	25	25	0	75.58 ± 4.09^{aA}	82.32 ± 4.36^{aA}	82.21 ± 3.77^{aA}	83.58 ± 2.75^{aA}
มข. 35	25	35	5	77.19 ± 1.30^{aA}	69.90 ± 6.58^{aA}	39.28 ± 6.45^{bB}	51.49 ± 5.42^{bAB}
	25	40	5	77.84 ± 2.18^{aA}	25.26 ± 2.91^{cB}	28.02 ± 5.71^{cB}	57.41 ± 4.86^{bA}
	35	25	0	82.00 ± 8.55^{aA}	80.23 ± 4.19^{aA}	77.73 ± 3.90^{aA}	77.12 ± 5.16^{abA}
มข. 35	35	35	5	80.49 ± 2.87^{aA}	40.74 ± 13.47^{bB}	38.30 ± 12.90^{abB}	53.19 ± 14.85^{abcAB}
	35	40	5	84.50 ± 1.15^{aA}	15.35 ± 5.21^{cC}	36.17 ± 10.63^{abcBC}	52.10 ± 14.00^{abcB}
	25	25	0	79.65 ± 2.87^{aA}	88.29 ± 5.06^{aA}	85.83 ± 3.94^{aA}	85.38 ± 2.91^{aA}
สจ. 5	25	35	5	82.65 ± 2.87^{aA}	25.94 ± 11.62^{bcB}	23.70 ± 3.29^{cdB}	47.64 ± 13.18^{bcB}
	25	40	5	79.99 ± 1.88^{aA}	15.58 ± 3.23^{cB}	15.80 ± 2.87^{dB}	37.84 ± 13.78^{cB}
	35	25	0	80.91 ± 9.47^{aA}	74.41 ± 3.45^{aA}	73.50 ± 0.75^{aA}	83.60 ± 3.16^{aA}
สจ. 5	35	35	5	82.05 ± 2.86^{aA}	42.67 ± 13.68^{bB}	51.58 ± 5.86^{bAB}	51.42 ± 13.87^{abcAB}
	35	40	5	84.50 ± 1.15^{aA}	12.38 ± 2.61^{cC}	16.72 ± 6.99^{dC}	50.81 ± 16.88^{abcB}

***** เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

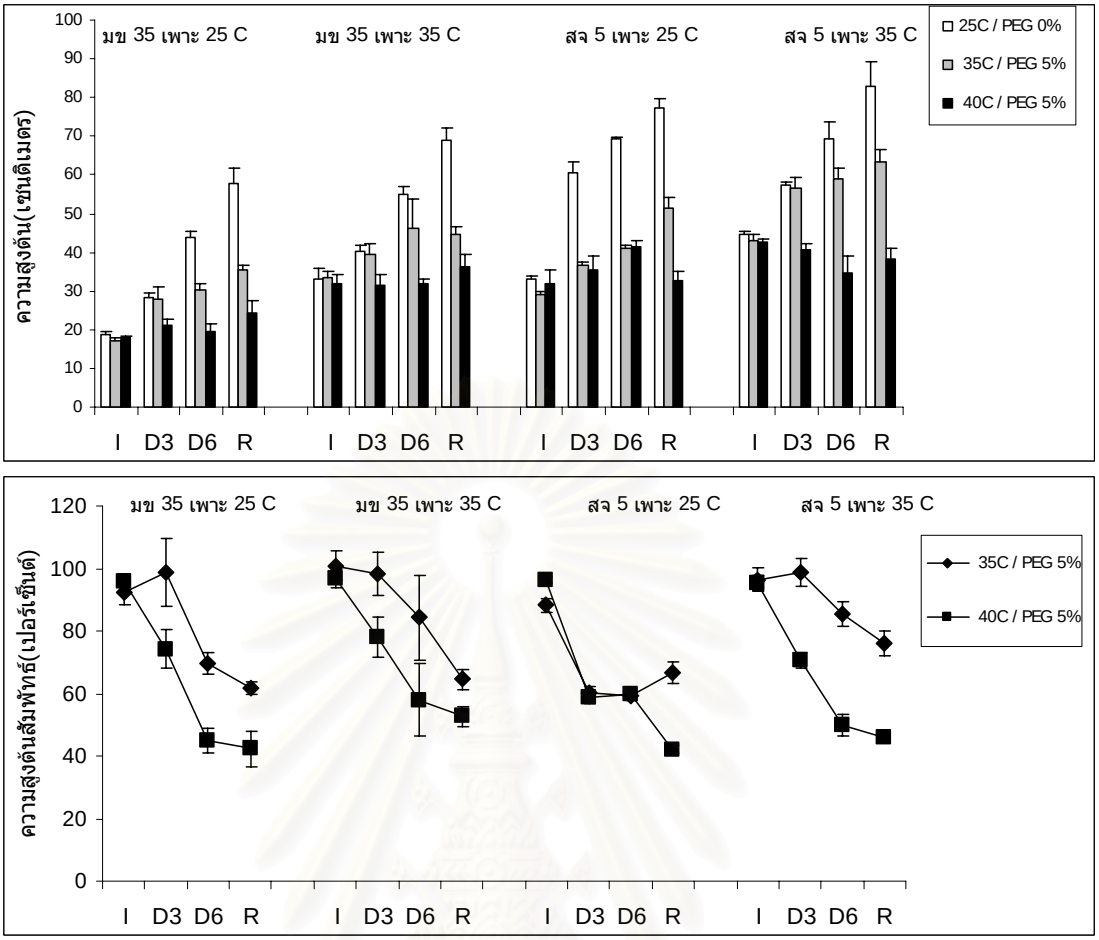
รูปที่ 46(A) พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) พื้นที่ใบสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 38 พื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			พื้นที่ใบ(ตารางเซนติเมตร) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
	25	25	0	119.79 ± 15.96^{abC}	163.06 ± 23.56^{bcBC}	241.63 ± 27.08^{bB}	423.42 ± 36.24^{bA}
มข. 35	25	35	5	112.16 ± 30.52^{abA}	60.60 ± 12.00^{dA}	70.16 ± 24.00^{cA}	89.85 ± 1.71^{cA}
	25	40	5	121.28 ± 1.01^{abA}	70.37 ± 6.77^{dB}	87.39 ± 17.32^{cB}	67.40 ± 6.56^{cB}
	35	25	0	159.60±6.81^{aC}	202.50±16.91^{abBC}	295.47±26.55^{abB}	528.22±56.56^{aA}
มข. 35	35	35	5	160.26±18.53^{aA}	130.16±46.59^{cA}	115.83±47.08^{cA}	108.00±24.79^{cA}
	35	40	5	158.75±14.51^{aA}	76.02±8.21^{dB}	86.48±21.91^{cB}	96.18±22.63^{cB}
	25	25	0	119.28 ± 5.25^{abD}	222.36 ± 4.89^{aC}	338.10 ± 26.14^{aB}	534.84 ± 48.09^{aA}
สจ. 5	25	35	5	118.77 ± 12.79^{abA}	44.17 ± 9.14^{dB}	66.67 ± 27.42^{cAB}	65.88 ± 10.84^{cAB}
	25	40	5	115.05 ± 17.87^{abA}	62.12 ± 12.10^{dB}	64.55 ± 9.64^{cB}	52.99 ± 0.28^{cB}
	35	25	0	114.04±5.83^{abC}	221.28±9.83^{aB}	260.66±17.09^{bB}	417.68±41.93^{bA}
สจ. 5	35	35	5	106.57±3.36^{bA}	67.25±15.64^{dA}	73.31±22.59^{cA}	74.05±14.31^{cA}
	35	40	5	108.66±15.46^{bA}	67.36±5.31^{dB}	52.98±9.56^{cB}	49.85±6.83^{cB}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

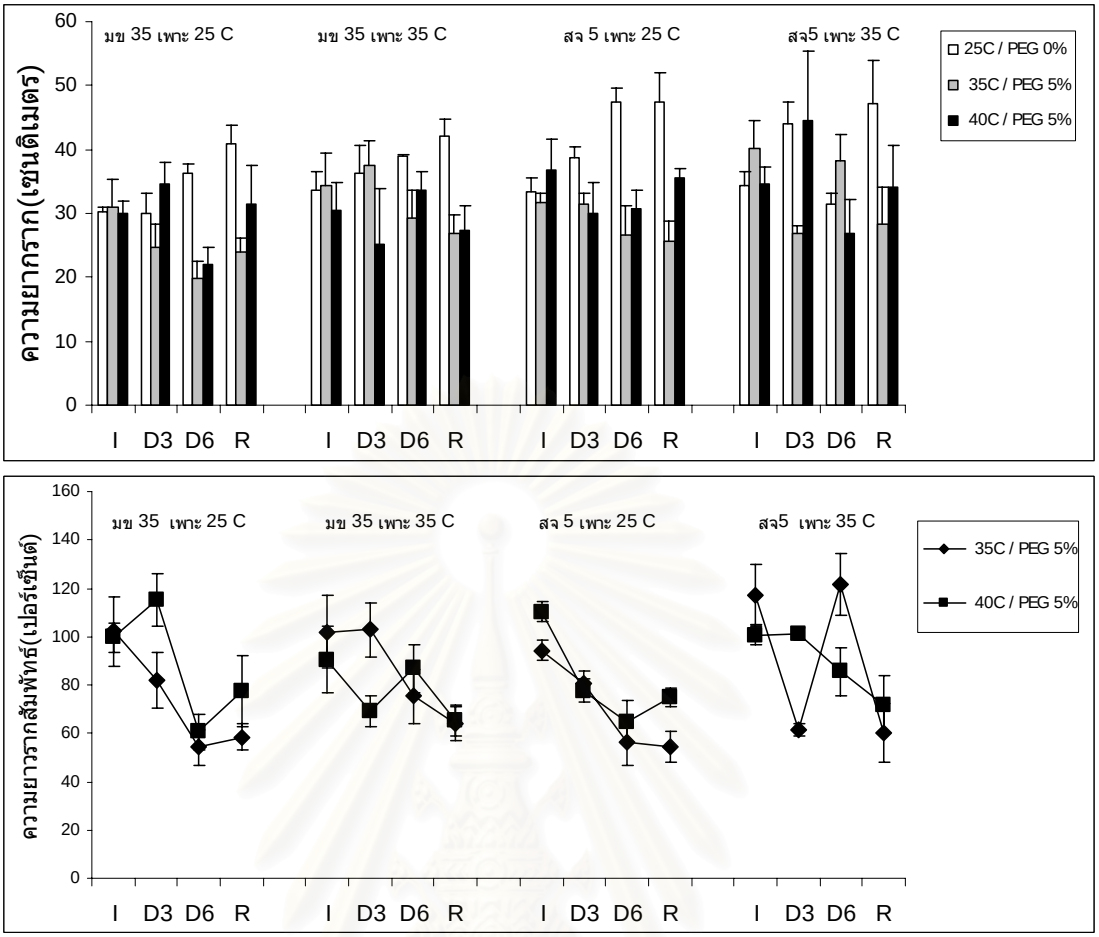
รูปที่ 47(A) ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) ความสูงสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 39 ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			พื้นที่ใบ(ตารางเซนติเมตร) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
	25	25	0	18.73 ± 0.85^{cD}	28.25 ± 1.10^{dC}	43.80 ± 1.47^{deB}	57.78 ± 3.95^{deA}
มข. 35	25	35	5	17.25 ± 0.68^{cC}	27.88 ± 3.06^{dB}	30.43 ± 1.50^{gAB}	35.63 ± 1.09^{ghAB}
	25	40	5	17.95 ± 0.45^{cA}	20.98 ± 1.77^{eA}	19.63 ± 1.75^{hA}	24.40 ± 3.23^{iA}
	35	25	0	33.05 ± 2.72^{bC}	40.22±1.57^{bC}	54.88±2.14^{bcB}	69.00±3.13^{bcA}
มข. 35	35	35	5	33.38 ±1.58^{bA}	39.55±2.80^{bA}	46.33±7.45^{cdA}	44.53±2.21^{fgA}
	35	40	5	32.05 ±2.12^{bA}	31.40±2.86^{cdA}	31.80±1.10^{fgA}	36.43±3.21^{ghA}
	25	25	0	32.95 ± 0.99^{bD}	60.48 ± 2.78^{aC}	69.35 ± 0.56^{aB}	77.20 ± 2.28^{abA}
สจ. 5	25	35	5	29.05 ± 0.69^{bC}	36.58 ± 0.99^{bcB}	41.13 ± 0.89^{defB}	51.50 ± 2.78^{efA}
	25	40	5	31.78 ± 3.59^{bA}	35.43 ±3.80^{bcA}	41.30 ± 1.77^{defA}	32.53 ± 2.65^{hiA}
	35	25	0	44.60±1.01^{aC}	57.50±0.65^{aB}	69.25±4.31^{aB}	83.05±6.35^{aA}
สจ. 5	35	35	5	43.03±1.66^{aB}	56.75±2.59^{aA}	59.08±2.80^{bA}	63.15±3.32^{cdA}
	35	40	5	42.45±0.90^{aA}	40.70±1.52^{bA}	34.53±4.40^{efgA}	38.18±3.05^{ghA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 48(A) ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

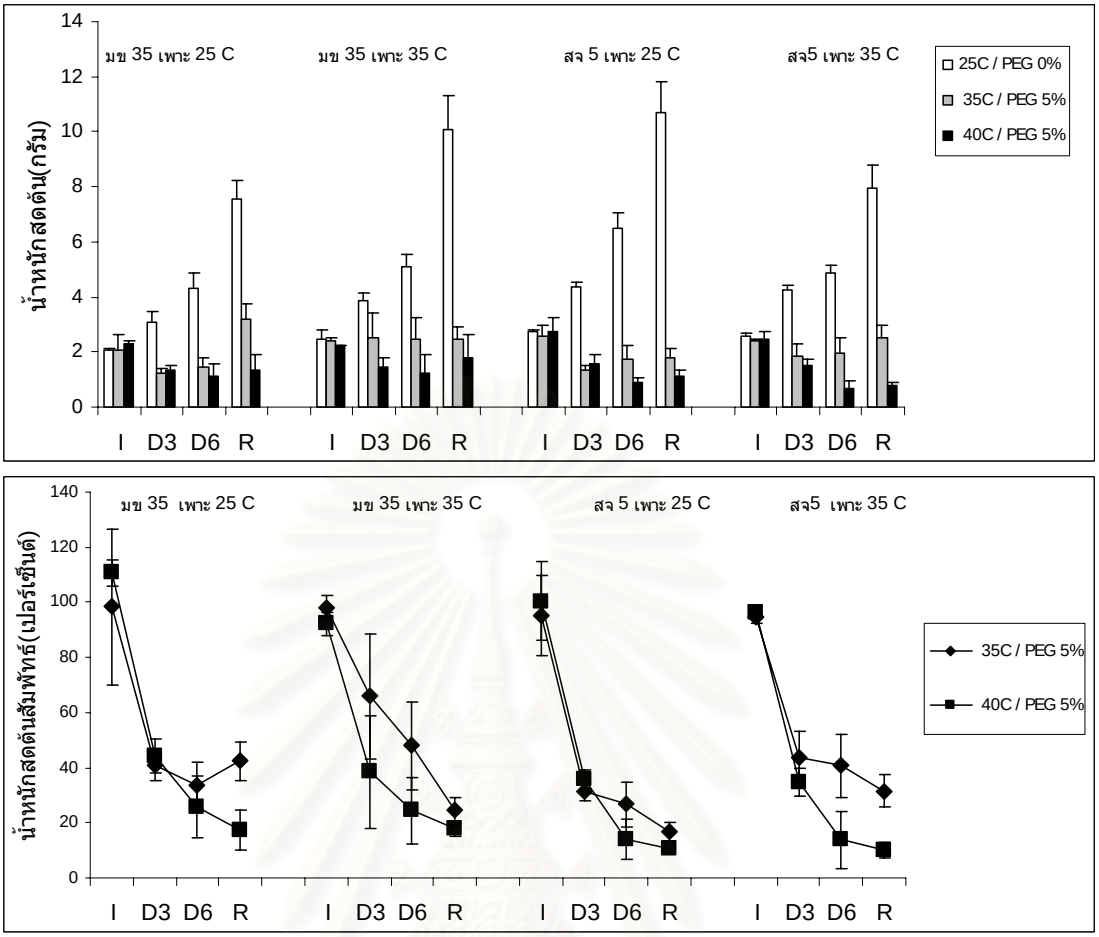
(B) ความยาวรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 40 ความยาวรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			พื้นที่ใบ(ตารางเซนติเมตร) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
	25	25	0	30.20 ± 0.86^{aB}	30.10 ± 2.98^{abB}	36.40 ± 1.46^{bcAB}	40.83 ± 2.86^{abcA}
มข. 35	25	35	5	30.85 ± 4.36^{aA}	24.70 ± 3.52^{bAB}	19.75 ± 2.73^{eB}	23.85 ± 2.28^{dAB}
	25	40	5	30.08 ± 1.84^{aAB}	34.63 ± 3.32^{abA}	22.03 ± 2.68^{deB}	31.55 ± 6.00^{bcdAB}
	35	25	0	33.68± 2.97^{aA}	36.38 ±4.28^{abA}	38.85 ±0.30^{abA}	42.18 ±2.60^{abA}
มข. 35	35	35	5	34.35±4.99^{aA}	37.40 ±4.02^{abA}	29.23 ±4.40^{bcdeA}	26.88 ±2.99^{cdA}
	35	40	5	30.48 ±4.27^{aA}	25.15 ±8.73^{bA}	33.75 ±2.76^{bcA}	27.45 ±3.65^{cdA}
	25	25	0	33.45 ± 2.22^{aB}	38.73 ± 1.79^{abAB}	47.43 ± 2.20^{aA}	47.38 ± 4.63^{aA}
สจ. 5	25	35	5	31.58 ± 1.49^{aA}	31.35 ± 1.79^{abA}	26.68 ± 4.62^{cdeA}	25.73 ± 2.98^{dA}
	25	40	5	36.88 ± 4.66^{aA}	30.10 ± 4.70^{abA}	30.68 ± 2.99^{bcdA}	35.45 ± 1.61^{abcdA}
	35	25	0	34.28 ±2.27^{aB}	44.03 ±3.31^{aAB}	31.50 ±1.59^{bcdB}	47.25 ±6.75^{aA}
สจ. 5	35	35	5	40.20 ±4.31^{aA}	26.95 ±1.11^{bA}	38.33 ±3.98^{abA}	28.43 ±5.68^{bcdA}
	35	40	5	34.50 ±2.75^{aA}	44.48 ±10.93^{aA}	26.93 ±5.19^{cdeA}	34.00 ±6.71^{abcdA}

***** เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

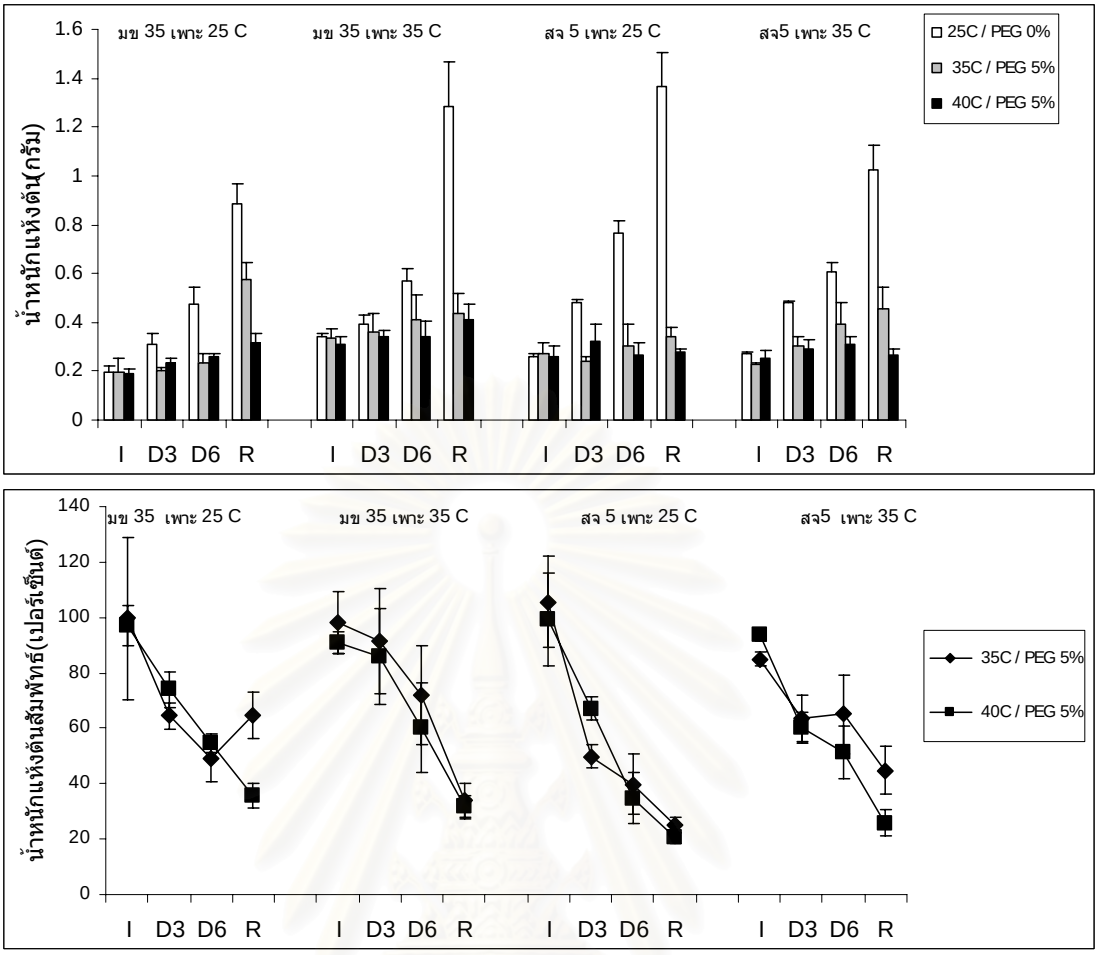
รูปที่ 49(A) น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) น้ำหนักสดต้นเชิงสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 41 น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			พื้นที่ใบ(ตารางเซนติเมตร) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	25	0	2.094 ± 0.01^{aC}	3.057 ± 0.42^{bcBC}	4.307 ± 0.56^{bB}	7.585 ± 0.64^{bA}
	25	35	5	2.059 ± 0.60^{aAB}	1.247 ± 0.17^{eB}	1.440 ± 0.38^{cdB}	3.207 ± 0.54^{cA}
	25	40	5	2.318 ± 0.10^{aA}	1.350 ± 0.19^{deA}	1.108 ± 0.47^{cdA}	1.332 ± 0.55^{cdA}
มข. 35	35	25	0	2.449 ±0.37^{aC}	3.844 ±0.32^{abBC}	5.092 ±0.47^{abB}	10.054 ±1.29^{aA}
	35	35	5	2.393 ±0.12^{aA}	2.531 ±0.88^{cdA}	2.447 ±0.81^{cA}	2.459 ±0.48^{cdA}
	35	40	5	2.256 ±0.01^{aA}	1.476 ±0.30^{deA}	1.247 ±0.68^{cdA}	1.808 ±0.81^{cdA}
สจ. 5	25	25	0	2.728 ± 0.085^{aC}	4.348 ± 0.168^{aC}	6.523 ± 0.521^{aB}	10.681 ± 0.377^{aA}
	25	35	5	2.601 ± 0.393^{aA}	1.367 ± 0.139^{deA}	1.739 ± 0.524^{cdA}	1.802 ± 0.346^{cdA}
	25	40	5	2.738 ± 0.518^{aA}	1.557 ± 0.367^{deB}	0.916 ± 0.133^{cdB}	1.122 ± 0.234^{cdB}
สจ. 5	35	25	0	2.580 ±0.10^{aC}	4.275 ±0.12^{aB}	4.880 ±0.28^{bB}	7.951 ±0.85^{bA}
	35	35	5	2.435 ±0.05^{aA}	1.872 ±0.41^{deA}	1.982 ±0.56^{cdA}	2.509 ±0.47^{cdA}
	35	40	5	2.490 ±0.24^{aA}	1.488 ±0.22^{deB}	0.675 ±0.27^{dC}	0.794 ±0.11^{dC}

***** เช่นเดียวกับตารางที่ 1



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

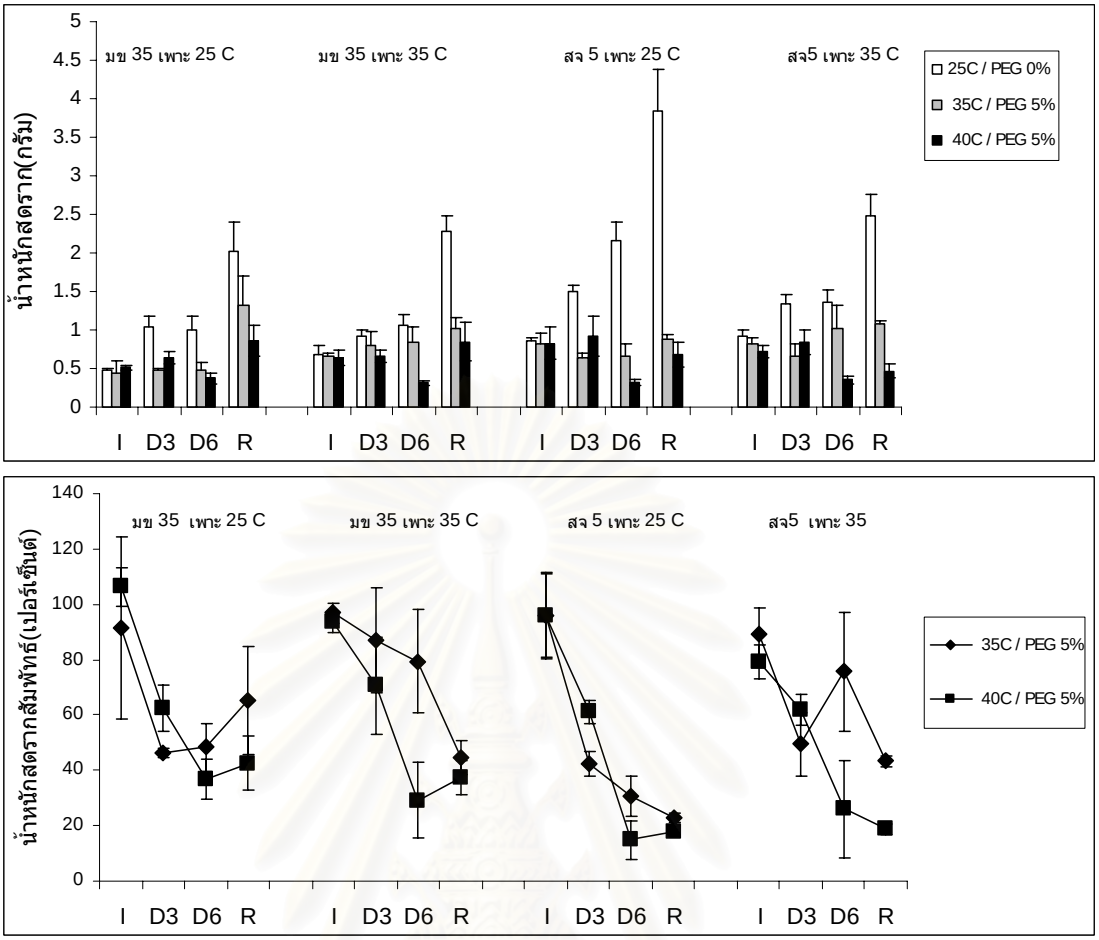
รูปที่ 50(A)น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B)น้ำหนักแห้งต้นสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 42 น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			พื้นที่ใบ(ตารางเซนติเมตร) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	25	0	0.1973 ± 0.0249^{cC}	0.3123 ± 0.0434^{bcdBC}	0.4753 ± 0.0716^{bcdB}	0.8860 ± 0.0829^{bA}
	25	35	5	0.1968 ± 0.0577^{cB}	0.2013 ± 0.0143^{dB}	0.2328 ± 0.0382^{eB}	0.5725 ± 0.0748^{cA}
	25	40	5	0.1914 ± 0.0147^{cB}	0.2313 ± 0.0203^{cdB}	0.2593 ± 0.0155^{eAB}	0.3153 ± 0.0393^{cdA}
มข. 35	35	25	0	0.3405 ±0.0157^{aB}	0.3953 ±0.0378^{abB}	0.5680 ±0.0507^{bcB}	1.2865 ±0.1776^{aA}
	35	35	5	0.3338 ±0.0381^{abA}	0.3615 ±0.0750^{abcA}	0.4098 ±0.1018^{cdeA}	0.4370 ±0.0826^{cdA}
	35	40	5	0.3098 ±0.0326^{abA}	0.3395 ±0.0273^{bcA}	0.3422 ± 0.0630^{deA}	0.4090 ±0.0685^{cdA}
สจ. 5	25	25	0	0.2593 ± 0.0101^{abcC}	0.4775 ± 0.0170^{aC}	0.7673 ± 0.0515^{aB}	1.3678 ± 0.1365^{aA}
	25	35	5	0.2738 ± 0.0429^{abcA}	0.2378 ± 0.0206^{cdA}	0.3058 ± 0.0854^{deA}	0.3413 ± 0.0399^{cdA}
	25	40	5	0.2573 ± 0.0493^{abcA}	0.3200 ± 0.0713^{bcdA}	0.2673 ± 0.0481^{eA}	0.2813 ± 0.0099^{cdA}
สจ. 5	35	25	0	0.2700 ±0.0112^{abcC}	0.4783 ±0.0110^{aB}	0.6050 ±0.0419^{abB}	1.0220 ±0.1065^{bA}
	35	35	5	0.2295 ±0.0064^{bcB}	0.3048 ±0.0393^{bcdAB}	0.3945 ±0.0860^{cdeAB}	0.4583 ±0.0862^{cdA}
	35	40	5	0.2533 ±0.0291^{abcA}	0.2883 ±0.0420^{bcdA}	0.3103 ±0.0301^{deA}	0.2650 ±0.0286^{dA}

***** เช่นเดียวกับตารางที่ 1



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

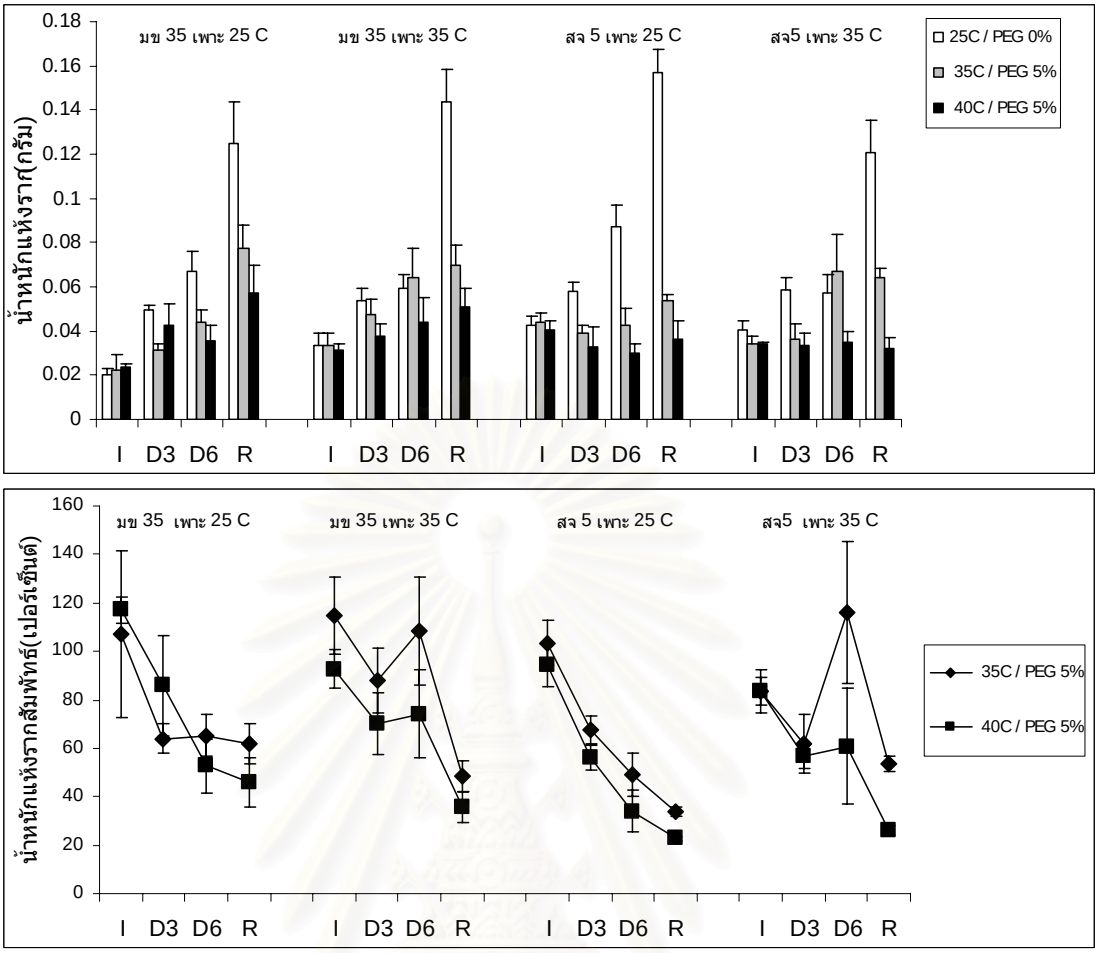
รูปที่ 51(A) น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) น้ำหนักสดรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 43 น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			พื้นที่ใบ(ตารางเซนติเมตร) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
	25	25	0	0.481 ± 0.026^{cdB}	1.031 ± 0.154^{bcB}	1.005 ± 0.178^{bcB}	2.015 ± 0.384^{bcA}
มข. 35	25	35	5	0.440 ± 0.158^{dB}	0.478 ± 0.0185^{dB}	0.485 ± 0.864^{deB}	1.314 ± 0.390^{cdA}
	25	40	5	0.511 ± 0.034^{bcdAB}	0.645 ± 0.083^{cdAB}	0.371 ± 0.071^{deB}	0.860 ± 0.192^{dA}
	35	25	0	0.687 ±0.107^{abcdB}	0.926 ±0.074^{cdB}	1.070 ±0.122^{bcB}	2.280 ±0.204^{bA}
มข. 35	35	35	5	0.666 ±0.025^{abcdA}	0.807 ±0.176^{cdA}	0.850 ±0.199^{cdA}	1.017 ±0.136^{dA}
	35	40	5	0.643 ±0.097^{abcdAB}	0.654 ±0.084^{cdAB}	0.313 ±0.023^{eB}	0.850 ±0.240^{dA}
	25	25	0	0.863 ± 0.036^{aC}	1.495 ±0.092^{aBC}	2.159 ± 0.495^{aB}	3.844 ± 0.537^{aA}
สจ. 5	25	35	5	0.830 ±0.134^{abA}	0.634 ± 0.069^{cdA}	0.660 ± 0.156^{cdeA}	0.886 ± 0.063^{dA}
	25	40	5	0.826 ± 0.210^{abA}	0.914 ± 0.260^{cdA}	0.323 ± 0.042^{eA}	0.680 ± 0.156^{dA}
	35	25	0	0.910 ±0.082^{aB}	1.350 ±0.116^{abB}	1.359 ±0.164^{bB}	2.483 ±0.271^{bA}
สจ. 5	35	35	5	0.814 ±0.084^{abcA}	0.668 ±0.154^{cdA}	1.028 ±0.294^{bcA}	1.073 ±0.050^{dA}
	35	40	5	0.719 ±0.075^{abcdAB}	0.835 ±0.160^{cdA}	0.353 ±0.053^{deC}	0.469 ±0.082^{dC}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 52 (A) น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) น้ำหนักแห้งรากสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 44 น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			พื้นที่ใบ(ตารางเซนติเมตร) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
	25	25	0	0.0205 ± 0.0022^{cC}	0.0493 ± 0.0025^{abcBC}	0.0670 ± 0.0089^{abB}	0.1250 ± 0.0187^{abA}
มข. 35	25	35	5	0.0220 ± 0.0070^{bcB}	0.0315 ± 0.0029^{dB}	0.0438 ± 0.0057^{bcdB}	0.0775 ± 0.0104^{cA}
	25	40	5	0.0240 ± 0.0011^{bcB}	0.0423 ± 0.0101^{abcAB}	0.0353 ± 0.0074^{cdAB}	0.0575 ± 0.0126^{cdeA}
	35	25	0	0.0335 ± 0.0056^{abcB}	0.0540 ± 0.0051^{abB}	0.0590 ± 0.0064^{abcdB}	0.1438 ± 0.0146^{abA}
มข. 35	35	35	5	0.0385 ± 0.0054^{aB}	0.0475 ± 0.0071^{abcAB}	0.0640 ± 0.0132^{abcAB}	0.0698 ± 0.0094^{cdA}
	35	40	5	0.0311 ± 0.0032a^{bcA}	0.0380 ± 0.0051^{bcA}	0.0438 ± 0.0110^{bcdA}	0.0513 ± 0.0078^{cdeA}
	25	25	0	0.0428 ± 0.0038^{aC}	0.0583 ± 0.0042^{aC}	0.0873 ± 0.0095^{aB}	0.1573 ± 0.0104^{aA}
สจ. 5	25	35	5	0.0443 ± 0.0040^{aA}	0.0393 ± 0.0033^{abcA}	0.0428 ± 0.0078^{bcdA}	0.0535 ± 0.0031^{cdeA}
	25	40	5	0.0403 ± 0.0043^{aA}	0.0328 ± 0.0088^{dA}	0.0298 ± 0.0045^{dA}	0.0360 ± 0.0085^{deA}
	35	25	0	0.0408 ± 0.0040^{aB}	0.0588 ± 0.0055^{aB}	0.0575 ± 0.0083^{abcdB}	0.1210 ± 0.0146^{bA}
สจ. 5	35	35	5	0.0340 ± 0.0078^{abB}	0.0363 ± 0.0072^{bcAB}	0.0668 ± 0.0168^{abAB}	0.0645 ± 0.0039^{cdeA}
	35	40	5	0.0341 ± 0.0015^{abA}	0.0333 ± 0.0055^{dA}	0.0350 ± 0.0045^{cdA}	0.0318 ± 0.0053^{eA}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

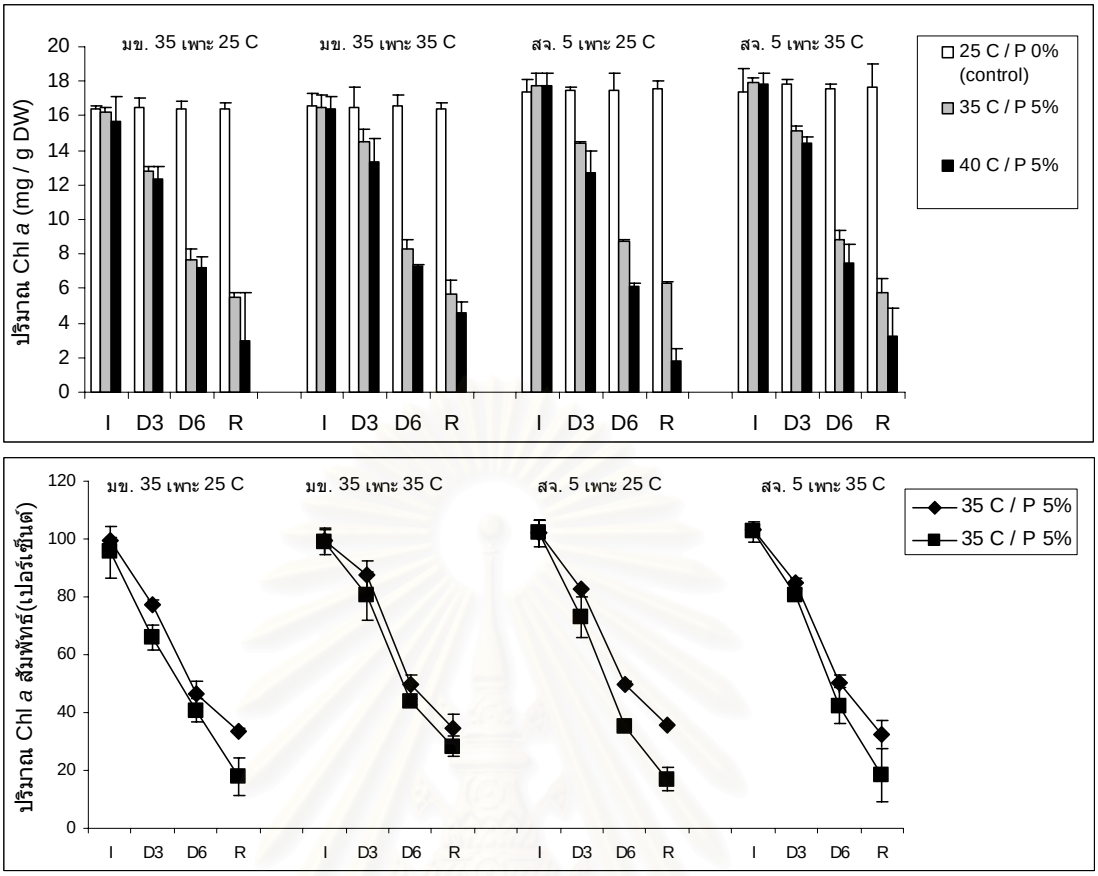
ปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids

ปริมาณ Chl *a* (รูปที่ 53 และตารางที่ 45) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 16.09 และ 16.50 mg g^{-1} DW ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 17.60 และ 17.69 mg g^{-1} DW ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่ามีปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองทุกชุดการทดลอง มีค่าลดลง โดยมีเพียงถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ชุดที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่านั้นมีค่าปริมาณ Chl *a* ชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 ร่วมกับภาวะแล้งที่มีปริมาณ Chl *a* สูงกว่าชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 ร่วมกับภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)ส่วนในวันที่ 6พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าปริมาณ Chl *a* ลดลงไปอย่างต่อเนื่องโดยมีถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ชุดที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่านั้นมีค่าปริมาณ Chl *a* ชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 ร่วมกับภาวะแล้งที่มีปริมาณ Chl *a* สูงกว่าชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Chl *a* โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งของทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยที่สุด

ปริมาณ Chl *b* (รูปที่ 54 และตารางที่ 46) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 6.89 และ 7.33 mg g^{-1} DW ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 7.16 และ 7.40 mg g^{-1} DW ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่ามีปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองทุกชุดการทดลอง มีค่าลดลง โดยมีเพียงถั่วเหลืองพันธุ์ชุดที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสของทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งเท่านั้นมีค่าปริมาณ Chl *b* ไม่ต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนในวันที่ 6 พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าปริมาณ Chl *b* ลดลงไปอย่างต่อเนื่องแต่ไม่มีความแตกต่างของปริมาณ Chl *b* ของชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 ร่วมกับภาวะแล้งกับชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Chl *b* โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งของทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยที่สุด

ปริมาณ total Chl (รูปที่ 55 และตารางที่ 47) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 22.98 และ 23.80 mg g^{-1} DW ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 24.76 และ 25.10 mg g^{-1} DW ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่ามีปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองทุกชุดการทดลอง มีค่าลดลงต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) และมีเพียงถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 พันธุ์ชุดที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่ชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีค่าปริมาณ total Chl ต่างจากชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ส่วนในวันที่ 6พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าปริมาณ total Chl ลดลงไปอย่างต่อเนื่องแต่มีเพียงถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่ชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีค่าปริมาณ total Chl ต่างจากชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ total Chl โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งของทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยที่สุด

ปริมาณ carotenoids (รูปที่ 56 และตารางที่ 48) ก่อนได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.70และ 4.46 mg g^{-1} DW ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.53 และ 3.91 mg g^{-1} DW ตามลำดับ เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 วัน พบว่ามีปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองมีค่าลดลงยกเว้นพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่มีปริมาณ carotenoids ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ส่วนในวันที่ 6พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าปริมาณ carotenoids ลดลงไปอย่างต่อเนื่องแต่ไม่มีความแตกต่างของชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งกับชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองทุกชุดการทดลองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ carotenoids โดยชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งของทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยที่สุด



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 53(A) ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

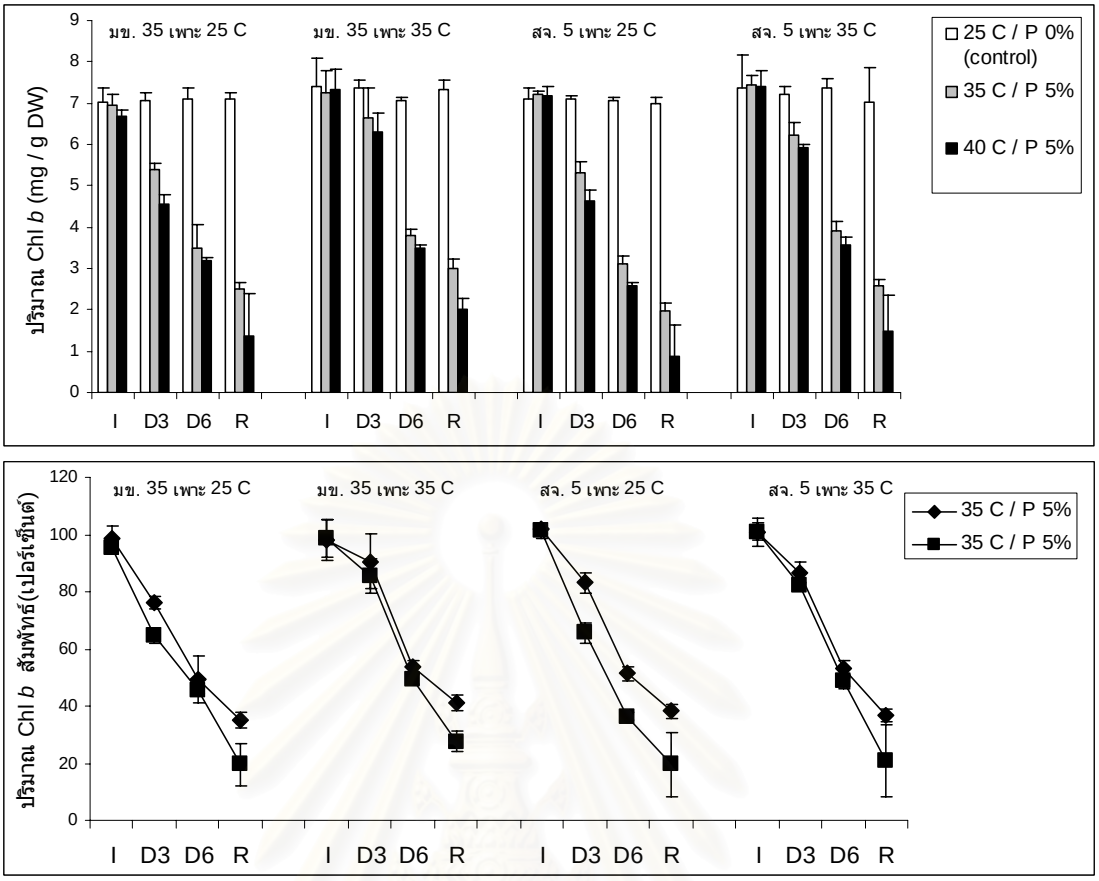
(B) ปริมาณ Chl *a* สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 45 ปริมาณ Chl *a* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			ปริมาณ Chl *a* (mg g^{-1} DW) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	25	0	16.38 ± 0.24^{aA}	16.50 ± 0.50^{abA}	16.42 ± 0.46^{aA}	16.42 ± 0.34^{aA}
	25	35	5	16.25 ± 0.23^{aA}	12.79 ± 0.27^{deB}	7.63 ± 0.68^{bcdC}	5.47 ± 0.18^{bcdD}
	25	40	5	15.64 ± 1.44^{aA}	10.89 ± 0.69^{eB}	6.67 ± 0.68^{cdC}	2.95 ± 1.05^{dD}
มข. 35	35	25	0	16.56 ± 0.73^{aA}	16.53 ± 1.11^{abA}	16.60 ± 0.63^{aA}	16.38 ± 0.40^{aA}
	35	35	5	16.49 ± 0.71^{aA}	14.51 ± 0.73^{abcA}	8.27 ± 0.52^{bcB}	5.70 ± 0.76^{bcC}
	35	40	5	16.38 ± 0.72^{aA}	13.31 ± 1.39^{cdB}	7.27 ± 0.15^{bcdC}	4.63 ± 0.57^{bcdD}
สจ. 5	25	25	0	17.37 ± 0.71^{aA}	17.43 ± 0.24^{aA}	17.50 ± 0.97^{aA}	17.53 ± 0.52^{aA}
	25	35	5	17.71 ± 0.80^{aA}	14.40 ± 0.10^{abcB}	8.72 ± 0.14^{bC}	6.27 ± 0.12^{bD}
	25	40	5	17.72 ± 0.79^{aA}	12.69 ± 1.23^{deB}	6.15 ± 0.17^{dC}	2.96 ± 0.73^{dD}
สจ. 5	35	25	0	17.36 ± 1.37^{aA}	17.84 ± 0.30^{aA}	17.60 ± 0.20^{aA}	17.66 ± 1.30^{aA}
	35	35	5	17.90 ± 0.29^{aA}	15.16 ± 0.27^{bcB}	8.81 ± 0.53^{bC}	5.76 ± 0.79^{bcD}
	35	40	5	17.82 ± 0.62^{aA}	14.42 ± 0.33^{abcB}	7.44 ± 1.09^{bcdC}	3.23 ± 1.60^{cdD}

***** เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

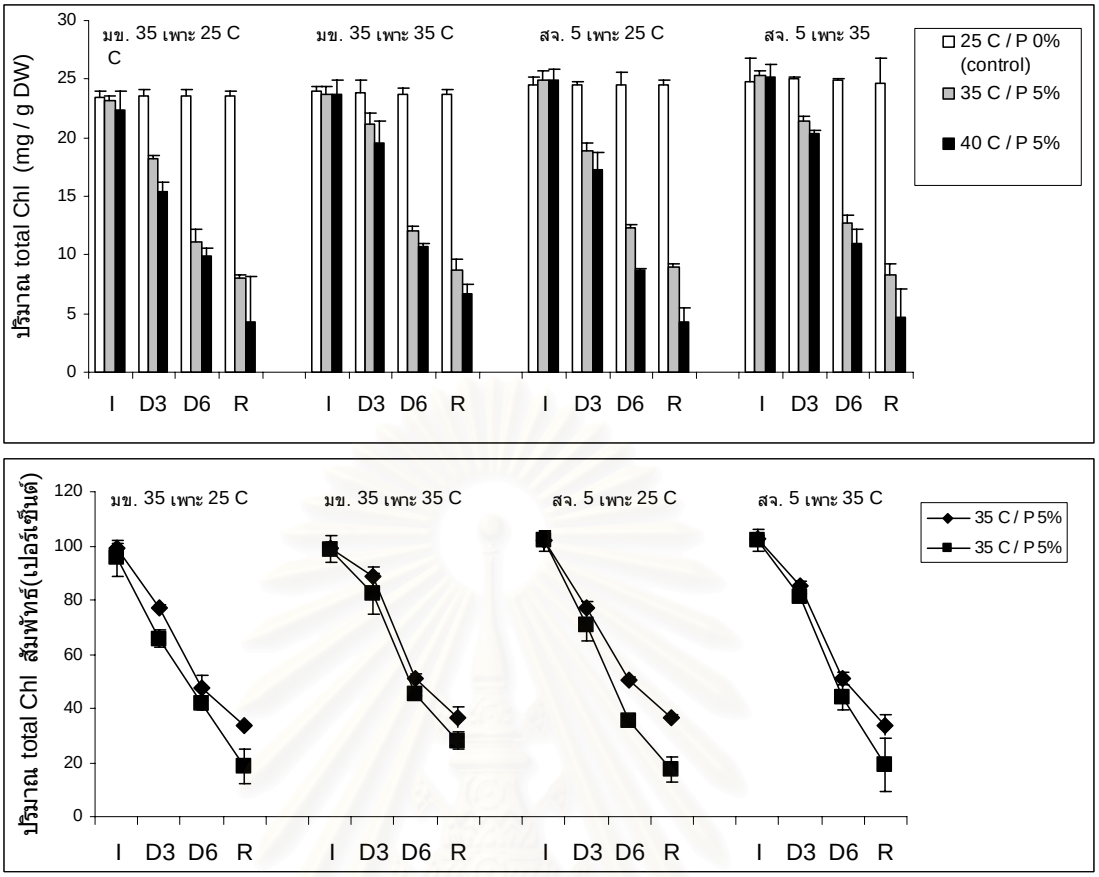
รูปที่ 54(A) ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ (R) (mean ± standard error)

(B) ปริมาณ Chl *b* สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 46 ปริมาณ Chl *b* ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่าง ๆ(I) ได้รับภาวะต่าง ๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่าง ๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			ปริมาณ Chl *b* (mg g^{-1} DW) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
	25	25	0	7.03 ± 0.32^{aA}	7.07 ± 0.16^{abA}	7.09 ± 0.29^{aA}	7.11 ± 0.14^{aA}
มข. 35	25	35	5	6.95 ± 0.28^{aA}	5.38 ± 0.16^{deB}	3.48 ± 0.58^{bC}	2.50 ± 0.19^{bcC}
	25	40	5	6.69 ± 0.14^{aA}	4.57 ± 0.20^{eB}	3.21 ± 0.05^{bcC}	1.38 ± 0.52^{cD}
	35	25	0	7.41 ± 0.67^{aA}	7.36 ± 0.19^{aA}	7.05 ± 0.10^{aA}	7.34 ± 0.21^{aA}
มข. 35	35	35	5	7.27 ± 0.51^{aA}	6.66 ± 0.71^{abcA}	3.78 ± 0.16^{bB}	3.01 ± 0.21^{bB}
	35	40	5	7.32 ± 0.49^{aA}	6.30 ± 0.45^{bcdA}	3.48 ± 0.11^{bB}	2.02 ± 0.25^{bcC}
	25	25	0	7.08 ± 0.28^{aA}	7.09 ± 0.09^{abA}	7.05 ± 0.08^{aA}	6.98 ± 0.16^{aA}
สจ. 5	25	35	5	7.20 ± 0.10^{aA}	5.89 ± 0.26^{cdB}	3.63 ± 0.17^{bC}	2.67 ± 0.17^{bcD}
	25	40	5	7.20 ± 0.20^{aA}	4.65 ± 0.25^{eB}	2.57 ± 0.09^{cC}	1.36 ± 0.79^{cC}
	35	25	0	7.36 ± 0.80^{aA}	7.20 ± 0.21^{abA}	7.36 ± 0.24^{aA}	7.03 ± 0.84^{aA}
สจ. 5	35	35	5	7.44 ± 0.24^{aA}	6.24 ± 0.28^{bcdB}	3.90 ± 0.22^{bC}	2.57 ± 0.15^{bcD}
	35	40	5	7.41 ± 0.37^{aA}	5.92 ± 0.09^{cdA}	3.57 ± 0.18^{bB}	1.46 ± 0.89^{cC}

***** เช่นเดียวกับตารางที่ 1



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 55(A) ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

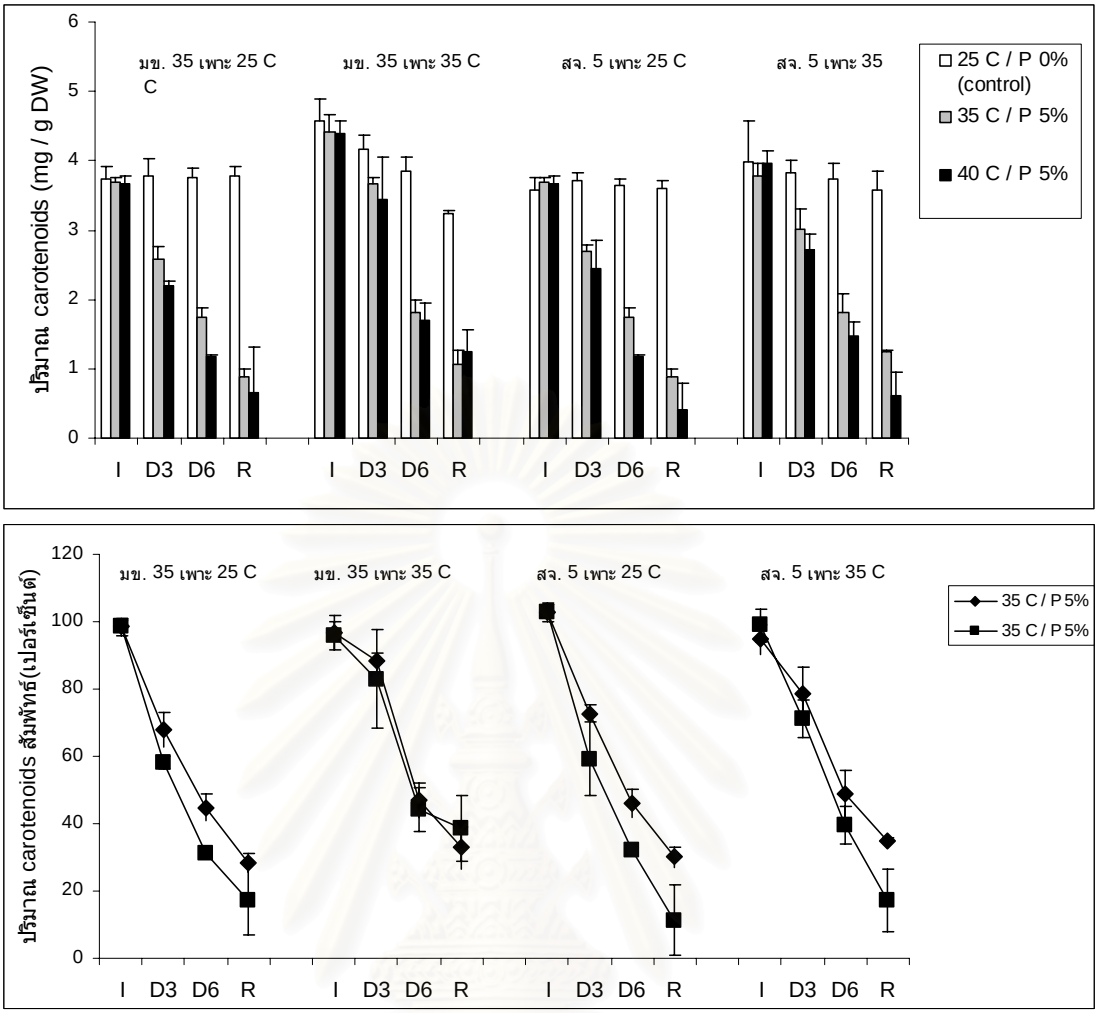
(B) ปริมาณ total Chl สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 47 ปริมาณ total Chl ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			ปริมาณ Total Chl (mg g^{-1} DW) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
	25	25	0	23.41 ± 0.50^{aA}	23.57 ± 0.57^{abcA}	23.51 ± 0.55^{aA}	23.53 ± 0.38^{aA}
มข. 35	25	35	5	23.20 ± 0.39^{aA}	18.17 ± 0.32^{efB}	11.11 ± 1.09^{bcC}	7.98 ± 0.09^{bcdD}
	25	40	5	22.33 ± 1.58^{aA}	15.46 ± 0.75^{gB}	9.88 ± 0.64^{cdC}	4.33 ± 1.52^{dD}
	35	25	0	23.97 ± 0.38^{aA}	23.89 ± 1.01^{abA}	23.65 ± 0.58^{aA}	23.72 ± 0.33^{aA}
มข. 35	35	35	5	23.75 ± 0.62^{aA}	21.17 ± 0.87^{cdB}	12.05 ± 0.42^{bC}	8.71 ± 0.91^{bD}
	35	40	5	23.69 ± 1.19^{aA}	19.61 ± 1.81^{defB}	10.75 ± 0.20^{bcC}	6.65 ± 0.78^{bcdD}
	25	25	0	24.46 ± 0.75^{aA}	24.53 ± 0.19^{aA}	24.56 ± 0.96^{aA}	24.51 ± 0.42^{aA}
สจ. 5	25	35	5	24.91 ± 0.85^{aA}	18.94 ± 0.56^{defB}	12.34 ± 0.27^{bC}	8.94 ± 0.27^{bD}
	25	40	5	24.92 ± 0.95^{aA}	17.33 ± 1.42^{fgB}	8.71 ± 0.14^{dC}	4.32 ± 1.15^{dD}
	35	25	0	24.72 ± 2.13^{aA}	25.05 ± 0.20^{aA}	24.96 ± 0.15^{aA}	24.69 ± 2.10^{aA}
สจ. 5	35	35	5	25.34 ± 0.32^{aA}	21.40 ± 0.41^{bcdB}	12.71 ± 0.63^{bC}	8.33 ± 0.94^{bcD}
	35	40	5	25.23 ± 0.97^{aA}	20.34 ± 0.34^{deB}	11.01 ± 1.20^{bcC}	4.69 ± 2.45^{cdD}

* เช่นเดียวกับตารางที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ค่าสัมพัทธ์ได้จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 56 (A) ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

(B) ปริมาณ carotenoids สัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

ตารางที่ 48 ปริมาณ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ซึ่งถูกเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R) (mean ± standard error)

พันธุ์	ทรีตเมนต์			ปริมาณ Carotenoids (mg g^{-1} DW) ± standard error			
	อุณหภูมิเพาะ(°C)	อุณหภูมิ(°C)	(%PEG)	I	D3	D6	R
มข. 35	25	25	0	3.73 ± 0.18^{bcdA}	3.79 ± 0.23^{abA}	3.76 ± 0.13^{aA}	3.79 ± 0.13^{aA}
	25	35	5	3.69 ± 0.07^{bcdA}	2.57 ± 0.20^{dB}	1.69 ± 0.15^{bcC}	1.08 ± 0.11^{bcC}
	25	40	5	3.68 ± 0.10^{bcdA}	2.20 ± 0.07^{dB}	1.17 ± 0.03^{cC}	0.66 ± 0.39^{bcC}
มข. 35	35	25	0	4.57 ± 0.31^{aA}	4.16 ± 0.22^{aAB}	3.85 ± 0.21^{aBC}	3.24 ± 0.05^{aC}
	35	35	5	4.42 ± 0.24^{abA}	3.67 ± 0.10^{abB}	1.81 ± 0.19^{bC}	1.06 ± 0.21^{bcD}
	35	40	5	4.38 ± 0.19^{abcA}	3.45 ± 0.61^{abcA}	1.70 ± 0.25^{bcB}	1.26 ± 0.3^{2bB}
สจ. 5	25	25	0	3.58 ± 0.17^{cdA}	3.71 ± 0.12^{abA}	3.65 ± 0.08^{aA}	3.60 ± 0.12^{aA}
	25	35	5	3.44 ± 0.19^{dA}	2.69 ± 0.10^{cdB}	1.69 ± 0.15^{bcC}	1.08 ± 0.11^{bcD}
	25	40	5	3.58 ± 0.08^{cdA}	2.20 ± 0.40^{dB}	1.17 ± 0.03^{cC}	0.41 ± 0.38^{cD}
สจ. 5	35	25	0	3.99 ± 0.58^{abcdA}	3.83 ± 0.19^{abA}	3.74 ± 0.23^{aA}	3.58 ± 0.28^{aA}
	35	35	5	3.78 ±0.18^{abcdA}	3.01 ± 0.31^{bcdB}	1.82 ± 0.26^{bC}	1.24 ± 0.03^{bC}
	35	40	5	3.95 ± 0.19^{abcdA}	2.72 ± 0.22^{cdB}	1.48 ± 0.20^{bcC}	0.61 ± 0.33^{bcD}

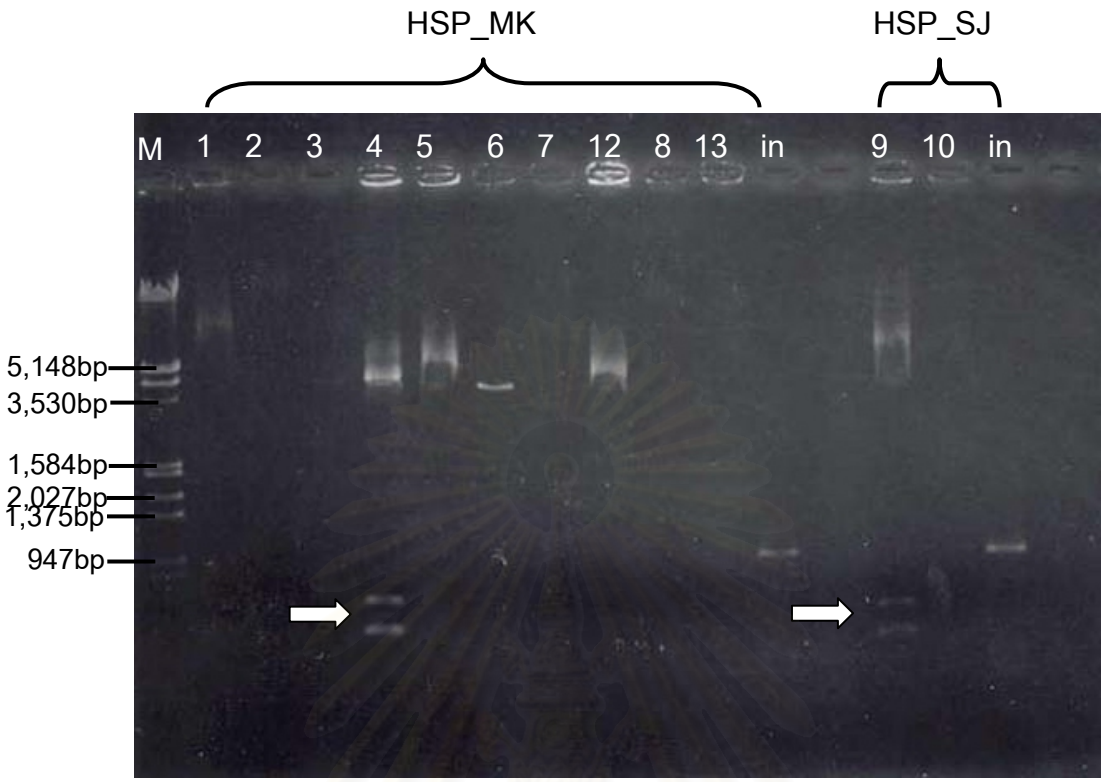
* เช่นเดียวกับตารางที่

4. การศึกษาการแสดงออกของยีนฮีตช็อคโปรตีน70 ในถั่วเหลือง

การโคลนชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ amplified ขึ้นด้วย primer ที่ออกแบบให้มีความจำเพาะต่อยีน *Hsp70*

1. **HSP_MK_4** ได้จากการเพิ่มปริมาณ DNA ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ด้วย ไพรเมอร์ HSPS (5' – gAAYgCYgTTgTCACT-3') และ ไพรเมอร์ HSPA(5' –gCRTCRATgTCgAAgC-3') มีขนาดประมาณ 1,000 คู่เบส ทำการโคลนชิ้นส่วน DNA ที่ได้โดยใช้ QIAGEN PCR cloning kit (QIAGEN) ซึ่งมี pDrive เป็น DNA พาหะ ผลการ transformation ได้โคโลนีสีขาว ประมาณ 13 โคโลนี นำ positive clones (โคโลนีสีขาว) ที่ได้ไปตรวจสอบพบว่าเมื่อนำ plasmid ในแต่ละโคลนมาตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Eco*RI ซึ่งจะสามารถตรวจสอบขนาดของ inserted fragment ได้โดยเปรียบเทียบ insert fragment กับชิ้นส่วน DNA HSP_MK ที่ได้จากได้จากปฏิกิริยา PCR(รูปที่ 57) ผลปรากฏว่า HSP_ MK โคลน หมายเลข 4 มีชิ้นส่วนของ DNA 2 ชิ้น ที่เป็น insert ที่มีขนาดประมาณ 600 และ 500 คู่เบส ซึ่งการที่ พบ insert 2 ชิ้นอาจเป็นเพราะ ภายใน insert มี restriction site ที่จำเพาะกับ เอนไซม์ตัดจำเพาะ *Eco*RI เมื่อนำ plasmid มาตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Eco*RI จึงทำให้ insert ถูกตัดเป็น 2 ชิ้นด้วย จึงนำ HSP_MK_4 มาใช้มาตรวจสอบลำดับเบสต่อไป

2. **HSP_SJ_9** ได้จากการเพิ่มปริมาณ DNA ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ด้วย ไพรเมอร์ HSPS (5' – gAAYgCYgTTgTCACT-3') และไพรเมอร์ HSPA (5' –gCRTCRATgTCgAAgC-3') มีขนาดประมาณ 1,000 คู่เบส ทำการโคลนชิ้นส่วน DNA ที่ได้โดยใช้ QIAGEN PCR cloning kit (QIAGEN) ซึ่งมี pDrive เป็น DNA พาหะ ผลการ transformation ได้โคโลนีสีขาว ประมาณ 10 โคโลนี นำ positive clones (โคโลนีสีขาว) ที่ได้ไปตรวจสอบพบว่าเมื่อนำ plasmid ในแต่ละโคลนมาตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Eco*RI ซึ่งจะสามารถตรวจสอบขนาดของ inserted fragment ได้โดยเปรียบเทียบ insert fragment กับชิ้นส่วน DNA HSP_SJ ที่ได้จากได้จากปฏิกิริยา PCR(รูปที่ 57) ผลปรากฏว่า HSP_ SJ โคลน หมายเลข 9 มีชิ้นส่วนของ DNA 2 ชิ้น ที่เป็น insert ที่มีขนาดประมาณ 600 และ 500 คู่เบส ซึ่งการที่ พบ insert 2 ชิ้นอาจเป็นเพราะ ภายใน insert มี restriction site ที่จำเพาะกับ เอนไซม์ตัดจำเพาะ *Eco*RI เมื่อนำ plasmid มาตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *Eco*RI จึงทำให้ insert ถูกตัดเป็น 2 ชิ้นด้วยจึงนำ HSP_SJ_9 มาใช้มาตรวจสอบลำดับเบสต่อไป



รูปที่ 57 การตรวจสอบขนาดของชิ้นส่วนDNA HSP_MK ที่โคลนได้ (เลนหมายเลข 1-7, 8,12 และ 13) กับชิ้นส่วนของ HSP_MK ที่ได้จากปฏิกิริยา PCR (in) และ HSP_SJ ที่โคลนได้ (เลนหมายเลข 9 และ 10) กับชิ้นส่วนของ HSP_SJ ที่ได้จาก ปฏิกิริยา PCR

M = marker(Lamda DNA digested with *Eco*RI and *Hind*III)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การตรวจสอบหาลำดับเบสของชิ้นส่วนดีเอ็นที่โคลนและเปรียบเทียบลำดับเบสที่ได้ในฐานข้อมูลลำดับเบส(Genbank)

HSP_MK_4 มีขนาด 1,194 คู่เบส (ลำดับเบสตำแหน่งที่ 1 – 1055 แสดงในภาคผนวก ค) เมื่อทำการตรวจสอบหาชิ้นส่วน DNA ที่มีลำดับเบสคล้ายคลึงกันด้วย program BLASTN 2.2.8 (Altschu et al., 1997) แล้วพบว่าคล้ายคลึงกับลำดับเบสในฐานข้อมูลลำดับเบสดังนี้

ตารางที่ 49 แสดงความคล้ายคลึงของลำดับเบสในฐานข้อมูลลำดับเบสของ HSP_MK_4

ลำดับเบสที่คล้ายคลึงกัน	Accession number	Nucleotide sequence identity(%)
Glycine max cDNA clone SOYBEAN CLONE ID: Gm-c1036-12348 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	BU964658	99%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1027-209 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	AW200669	96%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1027-8249 5' similar to SW:HS72_LYCES P27322 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN 2.	AW832325	96%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1036-570 5' similar to SW:HS72_LYCES P27322 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN 2.	AW755697	98%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1028-5838 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	BI942924	97%
Glycine max cDNA clone SOYBEAN CLONE ID: Gm-c1063-3982 5' similar to SW:HS72_LYCES P27322 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN 2.	BM885397	94%

ลำดับเบสที่คล้ายคลึงกัน	Accession number	Nucleotide sequence identity(%)
Glycine max cDNA clone SOYBEAN CLONE ID: Gm-c1069-4194 5' similar to SW:HS72_LYCES P27322 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN 2.	BM892666	94%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1016-7355 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI942407	99%
Glycine max cDNA clone SOYBEAN CLONE ID: Gm-c1087-482 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	BM523330	97%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1039-748 5' similar to SW:HS72_LYCES P27322 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN 2	BE210451	93%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1036-5103 5' similar to TR:Q9S986 Q9S986 HSP70=HEAT SHOCK 70 KDA PROTEIN {CLONE PCR1}	BI424521	93%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-r1030-3715 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	BI942497	93%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1028-9326 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	BE023459	97%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1062-707 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI945833	93%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1065-7174 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI972530	94%

ลำดับเบสที่คล้ายคลึงกัน	Accession number	Nucleotide sequence identity(%)
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1050-1974 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI943640	99%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1051-8743 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN	BI674199	93%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1065-6431 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI787614	89%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1074-1792 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI944691	90%
Glycine max cDNA clone SOYBEAN CLONE ID: Gm-c1069-5213 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN	BM954973	92%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HSP_SJ_9 มีขนาด 915 คู่เบส (ลำดับเบสตำแหน่งที่ 1 – 860 แสดงในภาคผนวก ค)เมื่อทำการตรวจสอบหาชิ้นส่วน DNA ที่มีลำดับเบสคล้ายคลึงกันด้วย program BLASTN 2.2.8 (Altschu et al., 1997) แล้วพบว่าคล้ายคลึงกับลำดับเบสในฐานข้อมูลลำดับเบสดังนี้

ตารางที่ 50 แสดงความคล้ายคลึงของลำดับเบสในฐานข้อมูลลำดับเบสของ HSP_SJ_9

ลำดับเบสที่คล้ายคลึงกัน	Accession number	Nucleotide sequence identity(%)
Glycine max cDNA clone SOYBEAN CLONE ID: Gm-c1036-12348 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	BU964658	99%)
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1027-209 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	AW200669	96%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1027-8249 5' similar to SW:HS72_LYCES P27322 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN 2.	AW832325	96%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1036-570 5' similar to SW:HS72_LYCES P27322 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN 2.	AW755697	98%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1028-5838 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	BI942924	97%
Glycine max cDNA clone SOYBEAN CLONE ID: Gm-c1063-3982 5' similar to SW:HS72_LYCES P27322 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN 2.	BM885397	94%
Glycine max cDNA clone SOYBEAN CLONE ID: Gm-c1069-4194 5' similar to SW:HS72_LYCES P27322 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN 2.	BM892666	94%

ลำดับเบสที่คล้ายคลึงกัน	Accession number	Nucleotide sequence identity(%)
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1016-7355 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI942407	99%
Glycine max cDNA clone SOYBEAN CLONE ID: Gm-c1087-482 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	BM523330	97%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1039-748 5' similar to SW:HS72_LYCES P27322 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN 2	BE210451	93%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1036-5103 5' similar to TR:Q9S986 Q9S986 HSP70=HEAT SHOCK 70 KDA PROTEIN {CLONE PCR1}	BI424521	93%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-r1030-3715 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	BI942497	93%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1028-9326 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN.	BE023459	97%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1062-707 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI945833	93%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1065-7174 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI972530	94%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1050-1974 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI943640	99%

ลำดับเบสที่คล้ายคลึงกัน	Accession number	Nucleotide sequence identity(%)
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1051-8743 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN	BI674199	93%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1065-6431 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI787614	89%
Glycine max cDNA clone GENOME SYSTEMS CLONE ID: Gm-c1074-1792 5' similar to TR:O22329 O22329 HEAT SHOCK COGNATE PROTEIN.	BI944691	90%
Glycine max cDNA clone SOYBEAN CLONE ID: Gm-c1069-5213 5' similar to SW:HS7C_PETHY P09189 HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN	BM954973	92%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

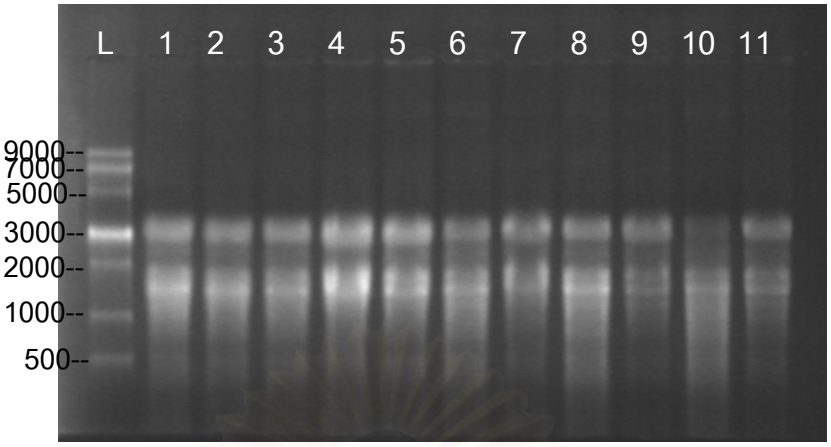
การศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในถั่วเหลืองโดยวิธี Northern blot analysis

จากการศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในถั่วเหลืองโดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ในการศึกษา โดยวิธี Northern blot analysis โดยใช้โคลน HSP_SJ_9 ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับลำดับเบสบางส่วนของ Hsp 70 mRNA ของ ถั่วเหลือง เป็น probe โดยเปรียบเทียบการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในถั่วเหลือง ที่ได้รับภาวะดังนี้

1. ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 2 และ 4 ชั่วโมง
2. ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40องศาเซลเซียส ร่วมกับภาวะแล้ง เป็นเวลา 0 2 และ 4 ชั่วโมง
3. ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับภาวะแล้ง เป็นเวลา 0 2 และ 4 ชั่วโมง

โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมคือถั่วเหลืองที่เพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส และปลูกภายใต้สภาวะปกติ ผลการทดลองพบว่า มีสัญญาณ mRNA ขนาดประมาณ 2,500 kb ในทุกชุดการทดลอง รวมทั้งชุดควบคุม ดังรูปที่ 59 โดยพบความแตกต่างของระดับสัญญาณ mRNA ของยีน *Hsp*70 เพียงในชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง โดยมีระดับแถบสัญญาณการแสดงออกของยีน *Hsp*70 มากกว่าชั่วโมงที่ 0 และชุดควบคุม ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งและถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับภาวะแล้ง เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ไม่พบความแตกต่างของระดับสัญญาณ mRNA ของยีน *Hsp*70 อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับชั่วโมงที่ 0 และ ชุดควบคุม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 58 รูปแบบของ Total RNA ที่สกัดจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งในช่วงเวลาต่างๆเมื่อแยกด้วย 1 % formaldehyde-agarose gel

โดย L = RNA ladder

1 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เติบโตในภาวะปกติ(ชุดควบคุม) ที่เวลา 0 ชั่วโมง

2 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และเติบโตในภาวะปกติ (ชุดควบคุม) ที่เวลา 0 ชั่วโมง

3 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0 ชั่วโมง

4 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 2 ชั่วโมง

5 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4 ชั่วโมง

6 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่เวลา 0 ชั่วโมง

7 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่เวลา 2 ชั่วโมง

8 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่เวลา 4 ชั่วโมง

9 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่เวลา 0 ชั่วโมง

10 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่เวลา 2 ชั่วโมง

11 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่เวลา 4 ชั่วโมง

G	N	N	N	N	N	N	N	N	35	35	35
D	-	-	-	-	-	0	2	4	0	2	4
H	-	-	0	2	4	0	2	4	0	2	4

L 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

รูปที่ 59 Northern blot analysis ของ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 เมื่อได้รับภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกัน โดยใช้ โคลน HSP_SJ_9 เป็น probe

โดย L = RNA ladder

1 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เติบโตในภาวะปกติ(ชุดควบคุม) ที่เวลา 0 ชั่วโมง

2 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และเติบโตในภาวะปกติ (ชุดควบคุม) ที่เวลา 0 ชั่วโมง

3 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0 ชั่วโมง

4 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 2 ชั่วโมง

5 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4 ชั่วโมง

6 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง ที่เวลา 0 ชั่วโมง

7 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง ที่เวลา 2 ชั่วโมง

8 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง ที่เวลา 4 ชั่วโมง

9 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่เวลา 0 ชั่วโมง

10 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่เวลา 2 ชั่วโมง

11 = ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งที่เวลา 4 ชั่วโมง

* G = ลักษณะการเพาะเมล็ด

โดย N = เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิปกติที่ 25 องศาเซลเซียส

35 = เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงที่ 35 องศาเซลเซียส

D = การได้รับภาวะแล้ง(ชั่วโมง) / H = การได้รับภาวะร้อน(ชั่วโมง)

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

ผลของภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก

ในการทดลองวัดปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ความสูง พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 เมื่อได้รับ ภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 25 (ชุดควบคุม) 35 และ 40 องศาเซลเซียส ภาวะแล้งที่ระดับ PEG 0 (ชุดควบคุม) และ 5 เปอร์เซ็นต์ และภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง พบว่า การได้รับภาวะแล้ง และ ภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียส ทำให้ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก มีแนวโน้มลดลงต่ำกว่าชุดควบคุมไม่มากนัก ซึ่งสาเหตุอาจเป็นเพราะถั่วเหลืองเพิ่งเริ่มได้รับภาวะร้อน และภาวะแล้งหลังจากเมล็ดงอกได้ประมาณ 18 วัน ซึ่งเป็นช่วงแรกของการเจริญเติบโต คือต้นถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตอย่างช้าๆแบบ lag phase จึงทำให้มีการสูญเสียน้ำออกไปไม่มากทำให้ถั่วเหลืองยังคงรักษาปริมาณน้ำในเซลล์ไว้ได้และทำให้การเติบโตของต้นถั่วเหลืองยังไม่ลดลงมากนัก แต่ในชุดที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทั้งสองระดับ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้น ลดลงต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสาเหตุอาจเกิดมาจากการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทำให้มีการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วประกอบกับการได้รับภาวะแล้งถั่วเหลืองไม่สามารถดึงน้ำมาใช้และทำให้น้ำในเซลล์มีปริมาณน้อยลง(Taiz and Zeiger, 1998) และมีการปิดปากใบและการคายน้ำซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการระบายความร้อนของพืชทำได้ไม่ดี การระบายความร้อนลดลง อุณหภูมิใบเพิ่มขึ้นจึงทำให้การระเหยของน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า และทำให้ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงมากกว่าการได้รับภาวะร้อนหรือภาวะแล้งเพียงอย่างเดียวแล้วทำให้การเจริญเติบโตด้านอื่นๆลดลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Rizhsky et al. (2002) ที่พบว่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของยาสูบมีค่าลดลงมากกว่าการได้รับภาวะร้อนหรือภาวะแล้งเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งมีอาการขอบใบม้วนงอและอาการใบแห้งร่วมด้วย(รูปที่ ง- 2)ซึ่งคาดว่าเกิดจากการระเหยของน้ำในใบเนื่องจากความร้อน ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อน ใบแสดงอาการมีจุดสีเหลืองขาว(รูปที่ ง-3 และ ง–4)และรุนแรงจนกลายเป็นจุดสีน้ำตาลที่คาดว่าเป็นอาการของ oxidative stress

หลังจากถั่วเหลืองรับภาวะร้อนและภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน พบว่าภาวะแล้ง ทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ มีค่าลดลงต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับรายงานของอัญชลี ร่มพา(2543) ที่พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะแล้งที่ PEG 5 เปอร์เซ็นต์มีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์เมื่อปรียบเทียบกับชุดควบคุม เช่นเดียวกับ Sairam et al. (1998) ที่ พบว่าข้าวสาลี*(Triticum aestivum* L.)ที่ได้รับภาวะแล้งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลง แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งเป็นระยะเวลานานขึ้นจะส่งผลกระทบต่อต้นถั่วเหลืองมากขึ้น โดยทำให้เซลล์สูญเสียน้ำออกไปมากขึ้น และภาวะแล้งยังมีผลต่อการลดลงของ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นสาเหตุอาจเป็นเพราะปริมาณน้ำสัมพัทธ์มีค่าลดลง ทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงักและส่งผลทำให้ พื้นที่ใบ ความสูงต้น น้ำหนักสดและแห้งของต้นลดลงด้วยนอกจากนี้ยังมีรายงานว่าภาวะแล้งทำให้อัตราการขยายตัวของพื้นที่ใบลดลงเนื่องจากมีการลดลงของจำนวนเซลล์และขนาดของเซลล์ในใบ(Lecoeur, 1995) การลดลงของการเติบโต สอดคล้องกับงานของ Quartacci and Navari- Izzo (1992) ซึ่งรายงานว่าต้นกล้าทานตะวัน*(Helianthus annuus* cv. Ida) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำ 6วัน จนกระทั่งมี water potential เท่ากับ -1.8 MPa มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ความสูง น้ำหนักสดและแห้งน้อยกว่าชุดควบคุม และการทดลองของ Olesson et al. (1996) ที่ทำการทดลองกับต้นกล้า *Lotus corniculatus* และ *Cerastium fontanum* โดยปลูกในทรายและรับภาวะแล้งโดยการเป่าลม (airstream)เป็นเวลา 36 ชั่วโมง พบว่า ทำให้ปริมาณ น้ำ น้ำหนักแห้ง พื้นที่ใบ และความยาวรากน้อยกว่าชุดควบคุม ภาวะร้อนทั้งสองระดับมีผลทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ มีค่าลดลงต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญด้วยเช่นกันซึ่งสาเหตุอาจเกิดมาจากการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยของน้ำเนื่องจากภาวะร้อนทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงักและส่งผลทำให้ พื้นที่ใบ ความสูงต้น น้ำหนักสดและแห้งของต้นลดลง นอกจากนี้ พื้นที่ใบที่ลดลงนอกจากจะเกิดจากการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์แล้วอาจเกี่ยวข้องกับการที่ภาวะร้อนทำให้กระบวนการแบ่งเซลล์ลดลงเนื่องจากภาวะร้อนทำให้ microtubules มีความผิดปกติ (Smerenko et al., 1997) และการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งในวันที่ 6 ทำให้มีการลดลงของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์มากกว่าการได้รับภาวะร้อนหรือภาวะแล้งเพียงอย่างเดียวเช่นเดียวกับในวันที่ 3 ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากผลของการการขาดน้ำ การปิดปากใบและการระเหยของน้ำ

หลังจากการกลับมาให้น้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะแล้ง และภาวะร้อนทั้ง 2 ระดับ มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำสัมพัทธ์จนใกล้เคียงกับชุดควบคุมซึ่งอาจเป็นเพราะการได้รับน้ำทำให้เซลล์พืชที่ขาดน้ำมีการดึงน้ำอย่างรวดเร็ว ในขณะที่พื้นที่ใบ พื้นที่ใบมีเฉพาะที่ในพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนที่ระดับ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะ

แล้งที่มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแสดงว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 อาจมีความสามารถในการฟื้นสภาพเซลล์ใบได้ดีกว่า และขณะที่ ความสูง น้ำหนักสดและแห้งของต้น ของถั่วเหลืองมีการเพิ่มขึ้นแต่ไม่เท่ากับชุดควบคุมอาจเป็นเพราะการปรับตัวในด้านเหล่านี้ใช้ระยะเวลานาน ซึ่งระยะเวลา 3 วันอาจไม่เพียงพอต่อการปรับตัวกลับมาสู่ภาวะปกติของถั่วเหลือง ในขณะที่การกลับมาให้น้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วันของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะร้อนทั้ง 2 ระดับ ร่วมกับภาวะแล้ง มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำสัมพัทธ์แต่ไม่เท่ากับชุดควบคุม สาเหตุอาจเป็นเพราะการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์รุนแรงมากจนสร้างความเสียหายให้กับเซลล์ทำให้การฟื้นฟูสภาพของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งนั้นทำได้ไม่ดี และส่งผลทำให้พื้นที่ใบ ความสูงต้น น้ำหนักสดและแห้งของต้นไม่สามารถปรับตัวให้มีค่าเพิ่มขึ้น

ความยาวรากของถั่วเหลืองที่ตอบสนองต่อภาวะร้อน และภาวะแล้งมีลักษณะที่ค่อนข้างไม่สอดคล้องกับการเติบโตด้านอื่น สาเหตุอาจเป็นเพราะว่าการปลูกถั่วเหลืองในสารละลายธาตุอาหารซึ่งอยู่ในภาชนะขอบเขตจำกัดอาจทำให้การยืดตัวของรากถั่วเหลืองถูกจำกัดได้ ในขณะที่เมื่อดูน้ำหนักสดและแห้งของรากนั้นค่อนข้างมีความสอดคล้องกับการเติบโตด้านอื่นๆ แสดงว่าการตอบสนองต่อภาวะร้อนและภาวะแล้งน่าจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของรากแขนงของถั่วเหลืองมากกว่าความยาวของราก

นอกจากนี้ยังพบว่ารากของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งโดยการจำลองโดยการใช้ PEG 6000 นั้นมีอาการเหี่ยว ซึ่งสาเหตุอาจเกิดมาจากคุณสมบัติของPEG 6000 ที่จะทำให้การเคลื่อนที่ของออกซิเจนในสารละลายที่รากจะนำไปใช้ได้ลดลง โดยมีรายงานว่าการใช้ PEG 6000 ในการจำลองสภาพแล้ง ซึ่งทำให้ออกซิเจนในสารละลายที่รากจะนำไปใช้ได้ลดลง ทำให้อัตราการยืดของรากข้าวโพดลดลง(Verslues et. al., 1998) ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ท่อปั๊มอากาศลงไปในสารละลาย Hoagland's ที่มีPEG 6000 เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในสารละลาย แต่เนื่องจากความแรงของปั๊มที่ส่งอากาศผ่านท่อไปสู่กระบะปลูกไม่สม่ำเสมอและตำแหน่งของท่ออากาศอาจไม่ตรงกับตำแหน่งที่รากจะได้รับอากาศอย่างพอเพียงจึงอาจเป็นสาเหตุให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย Hoagland's ที่มีPEG 6000 นั้นมีไม่สม่ำเสมอทำให้รากมีการเติบโตไม่สัมพันธ์กับการเติบโตด้านอื่นๆ หรืออาจมีอาการเหี่ยวเกิดขึ้นได้

อาการเหี่ยวของรากอาจเกิดมาจากการที่มีการดูดซึมของ PEG 6000 เข้าไปในรากและความเป็นพิษของ PEG 6000 ทำให้เซลล์รากถั่วเหลืองเกิดความเสียหาย (Jacomini, 1988) ซึ่งโดยปกติ PEG ที่มีโมเลกุลใหญ่เช่น PEG 6000 จะไม่สามารถซึมผ่านเซลล์เมมเบรนของเซลล์ราก

ได้แต่หากเกิดบาดแผลขึ้นที่รากหรือมีการฉีกขาดของรากก็จะทำให้มีการดูดซึม PEG เข้าไปในรากได้ (Lawlor, 1970) จึงทำให้การเติบโตของรากค่อนข้างไม่สอดคล้องกับการเติบโตด้านอื่นๆ

ลักษณะของใบถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้งซึ่งทำให้มีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์นี้แสดงอาการ ขอบใบม้วนงอซึ่งอาจเกิดจากแรงดันเต่งของเซลล์พืชลดลง ซึ่งทำให้ใบถั่วเหลืองแสดงอาการใบม้วนงอ ซึ่งลักษณะใบม้วนงอเนื่องจากการได้รับภาวะแล้งสามารถสังเกตพบได้ตั้งแต่วันแรกของการได้รับภาวะแล้ง ซึ่งคล้ายคลึงกับงานของอัญชลี ร่มพา (2543) ความสัมพัทธ์ของการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์กับการม้วนงอของขอบใบนี้สามารถดูได้จากถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับที่มีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์น้อยกว่า ไม่พบการม้วนงอของใบที่ชัดเจนแต่ใบของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนจะแสดงอาการใบจุดสีขาวซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อน ซึ่งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจะทำให้มีอาการรุนแรงที่สุด อาการนี้อาจเกิดมาจากการเกิด oxidative stress ขึ้นภายในเซลล์พืช โดยมีรายงานว่าภาวะแล้งทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่ทำให้เกิด oxidative stress และทำอันตรายต่อโมเลกุลต่างๆ ในเซลล์ เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และ กรดนิวคลีอิก เป็นต้น (Foyer et al., 1994) และยังเกิดความเสียหายต่อเซลล์เมมเบรน เช่น Ebercon and Blum (1981) รายงานว่า เสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน มีค่าลดลงเมื่อได้รับภาวะร้อนซึ่งเซลล์เกิดความเสียหาย แต่เมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ใบถั่วเหลืองจะแสดงอาการใบม้วนงออย่างรวดเร็ว และมีบางต้นมีอาการใบเหี่ยวรุนแรงจนใบจนแห้งในวันที่ 6 สาเหตุอาจเป็นเพราะผลร่วมของการขาดน้ำ การปิดปากใบ และการระเหยของน้ำดังที่กล่าวมา

ผลของภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันต่อปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl **และ** carotenoids

ในการทดลองวัดปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 เมื่อได้รับ ภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 25 (ชุดควบคุม) 35 และ 40 องศาเซลเซียส ภาวะแล้งที่ระดับ PEG 0 (ชุดควบคุม) และ 5 เปอร์เซ็นต์ และภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง ทำให้มีการลดลงของปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ยกเว้นชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่ 35 องศาเซลเซียสที่ *Chl* a มีค่าลดลงไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยการลดลงของปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids เนื่องจากภาวะแล้งสอดคล้อง

กับรายงานของอัญชลี ร่มพา(2543)ที่พบว่าเมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 สจ. 5 และมข. 35 ได้รับภาวะแล้งที่ระดับ PEG 2.5 และ 5%ทำให้มีการลดลงของ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ส่วนการลดลงของปริมาณ Chl เนื่องมาจากภาวะร้อนก็สอดคล้องกับรายงานของ Jiang และ Huang ในปี 2001 ที่พบว่า cool season grass สองชนิด คือ tall fescue (*Festuca arundinacea* L.) และ Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.)ภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณ Chl ลดลงอาจเกิดมาจากการขาดน้ำ และทำให้เกิดความเสียหายกับเมมเบรนต่างๆรวมทั้ง thylakoid membrane โดยมีรายงานว่าการได้รับภาวะแล้งทำให้มีการลดลงของปริมาณรงควัตถุ เช่น ข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* L. Moench) (Zhang and Kirkham, 1996) ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.)(Quartacci and Navari-Izzo, 1992) ถั่ว pea (*Pisum sativum* L. cv. Friene) (Moran et. al, 1994) เป็นต้น ในขณะที่ภาวะร้อนทำให้มีการลดลงของปริมาณรงควัตถุในพืชหลายชนิดเช่น Wheat (*Triticum aestivum* L.) ข้าว (*Oryza sativa* L.) และ Millet *(Pennesitum glaucum* L.) (Al-Khatib and Paulsen, 1999)เป็นต้น โดยการลดลงของ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids นั้น อาจเกิดมาจากภาวะร้อนทำให้เกิดความเสียหายกับระบบเมมเบรนต่างๆของพืชซึ่งอาจรวมถึง thylakoid membrane (Blum and Ebercon, 1981)ซึ่งทำให้ thylakoid activityมีค่าลดลง (Al-Khatib and Paulsen, 1999) โดยความเสียหายอาจเกิดขึ้นกับโปรตีนหรือไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเมมเบรน โดยอาจทำให้เกิดการเสียสภาพจนทำให้เมมเบรนเสียหาย(Ahrens and Singhal, 1992)หรืออาจเกิดขึ้นกับ plasmalemma และทำให้เกิดการรั่วของไอออนต่างๆ(Chaisompongpan et. al., 1990)จึงทำให้มีรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงต่างๆถูกทำลายไปด้วย หรือภาวะร้อนอาจไปมีผลกระทบต่อกระบวนการสร้างรงควัตถุด้วยแสงโดยมีรายงานว่า ภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียสทำให้การทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์ใน cucumber และ wheat ลดลง (Tewari and Tripathy, 1998) จากผลการทดลองภาวะร้อนที่ระดับ 40 องศาเซลเซียสทำให้มีการลดลงของปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids มากกว่าชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส การที่ถั่วเหลืองที่ได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีการลดลงของปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสอาจเป็นเพราะอุณหภูมิระดับนี้ยังไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเมมเบรนภายในเซลล์พืชมากนักเมื่อเวลาผ่านไป 6 วัน ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งทุกชุดการทดลองมีการลดลงของปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งสาเหตุอาจเกิดมาจากทั้งความเสียหายที่เกิดมาจากความเสียหายของ thylakoid membrane(Moffat et al., 1990) และ กระบวนการสร้าง Chlorophyll เสียหาย เช่นเดียวกับรายงานการศึกษาที่พบว่า ภาวะร้อนทำให้ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ในขณะที่ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งให้ปริมาณรงควัตถุในการ

สังเคราะห์ด้วยแสงลดลงมากกว่าการได้รับภาวะร้อนหรือแล้งเพียงอย่างเดียวนั้นสาเหตุอาจเกิดมาจากถั่วเหลืองได้รับผลกระทบร่วมจากทั้งภาวะร้อนและภาวะแล้งจึงทำให้ปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ลดลงอย่างมาก เมื่อเข้าสู่สภาวะปกติเป็นเวลา 3 วัน ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะแล้ง และภาวะร้อนทั้งสองระดับ มีการเพิ่มขึ้นของ ปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ซึ่งแสดงว่าถั่วเหลืองสามารถมีการฟื้นตัวได้เมื่อออกจากสภาวะร้อนและภาวะแล้งที่ไม่รุนแรงมากนัก แต่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งแล้วพบว่าปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ยังคงลดลงเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิ ปกติ แสดงว่าภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทำให้มีการลดลงของ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids อย่างมาก ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการเสียหายของ thylakoid membrane อย่างรุนแรง ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้การฟื้นตัวอาจต้องใช้เวลานานมากกว่า 3 วัน

ผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก

ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทำให้การเติบโตตลอดจนปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีการลดลงมากกว่าการได้รับภาวะร้อนหรือภาวะแล้งเพียงอย่างเดียว แต่ในระหว่างถั่วเหลืองสองพันธุ์คือพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่มีความทนต่อภาวะแล้งต่างกัน (อัญชลี ร่มพา, 2543) นั้นพบว่ามีความสามารถในการทนต่อการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งแตกต่างกันด้วย โดยภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งส่งผลกระทบที่รุนแรงกว่าการได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง

เมื่อดูจากค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์เมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ที่พบว่าเมื่อได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์น้อยกว่าในวันที่ 3 และ 6 ของการทดลอง แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีความสามารถในการรักษาปริมาณน้ำในเซลล์ไว้ได้ดีกว่า และเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองพันธุ์มข. 35 ก็สามารถปรับตัวให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำในเซลล์ได้ดีกว่าอีกด้วย สอดคล้องกับพื้นที่ใบของถั่วเหลือง ที่พบว่าในถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีการลดลงของพื้นที่ใบน้อยกว่าเมื่อได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน แต่เมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติพื้นที่ใบยังคงมีค่าคงที่ในทั้งสองพันธุ์ ซึ่งสาเหตุอาจเกิดมาจากช่วงเวลาที่ได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วันนั้นทำให้มีการฟื้นตัวของเซลล์อาจจะไม่นานพอที่จะทำให้มีการเพิ่มพื้นที่ใบขึ้นอย่างชัดเจน

ความสูงของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งในวันที่ 3 และวันที่ 6 มีการลดลงน้อยกว่าพันธุ์ สจ.5 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมของแต่ละพันธุ์ ในขณะที่ความสูงสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5

น้ำหนักสดต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 เมื่อดูจากค่าน้ำหนักสดต้นสัมพัทธ์ พบว่าที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งนั้นมีค่ามากกว่าพันธุ์ สจ. 5 ในวันที่ 3 และวันที่ 6 และยังสามารถเพิ่มน้ำหนักสดต้นได้อย่างชัดเจนเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติแต่เมื่อดูที่ค่าน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์พบว่าค่าไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนในขณะที่การได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง ทำให้ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าน้ำหนักสดต้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกับการได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งนั้นมีค่ามากกว่าพันธุ์ สจ. 5 ในวันที่ 3 แต่มีค่าน้อยกว่าในวันที่ 6 และยังไม่สามารถเพิ่มน้ำหนักสดต้นได้ แสดงว่าภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งระดับนี้มีความรุนแรงมากต่อพืช

เมื่อดูจากค่าน้ำหนักสดและแห้งของต้นแสดงว่าการที่ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 สามารถทนต่อภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งได้ดีกว่าน่าจะเกี่ยวข้องกับการรักษาปริมาณน้ำในลำต้นได้ดีกว่าพันธุ์ สจ.5 จึงทำให้มีค่าน้ำหนักสดต้นมากกว่าสาเหตุหนึ่งที่น่าจะทำให้ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 สามารถรักษาน้ำหนักสดต้นไว้ได้ดีอาจเป็นเพราะลำต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่มีลักษณะอวบและแข็งแรงกว่าลำต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 จึงทำให้รักษาปริมาณน้ำเอาไว้ได้ดีกว่า

น้ำหนักสดรากของถั่วเหลือง ก็มีลักษณะคล้ายคลึงกับน้ำหนักสดต้น โดยเมื่อดูจากค่าน้ำหนักสดรากสัมพัทธ์ พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งนั้นมีค่ามากกว่าพันธุ์ สจ. 5 ในวันที่ 3 และวันที่ 6 และยังสามารถเพิ่มน้ำหนักสดรากได้อย่างชัดเจนเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ ในขณะที่ค่าน้ำหนักแห้งรากเมื่อดูจากค่าน้ำหนักแห้งรากสัมพัทธ์มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนักแสดงว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 สามารถรักษาปริมาณน้ำในรากไว้ได้ดีกว่าพันธุ์ สจ. 5 แต่มีข้อสังเกตว่า การได้รับภาวะร้อนที่ระดับ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งทำให้ถั่วเหลืองมีน้ำหนักสดรากและน้ำหนักแห้งรากบางค่าสูงกว่าการได้รับภาวะร้อนที่ระดับ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง ซึ่งสาเหตุอาจเกิดมาจากความไม่สม่ำเสมอของการได้รับออกซิเจนดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นซึ่งอาจส่งผลทำให้ความยาวรากของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งมีค่าไม่สม่ำเสมออีกด้วย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองพันธุ์มข. 35 มีความทนต่อภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งได้ดีกว่าพันธุ์ สจ. 5 ซึ่งเมื่อสังเกตจากค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเปรียบเทียบกันจะพบว่ากลไกความทนที่เกิดขึ้นของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 นั้นเกี่ยวข้องกับการรักษาปริมาณน้ำได้ดีกว่าซึ่งสาเหตุหนึ่งอาจเกิดมาจากโครงสร้างของลำต้นถั่วเหลืองที่มีลักษณะอวบ และแข็งแรงกว่าพันธุ์ สจ. 5 ตลอดจนลักษณะของใบที่มีลักษณะหนากว่าพันธุ์ สจ. 5 โครงสร้างเหล่านี้อาจทำให้ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 รักษาปริมาณน้ำได้ดีกว่าภาวะใต้ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งที่มีความรุนแรง

ผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl **และ** carotenoids

ผลร่วมของภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทำให้ปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าลดลงทั้งในวันที่ 3 และวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งอย่างมาก ซึ่งมีรายงานว่าในชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีการลดลงของปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids มากกว่าโดยเมื่อได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติถั่วเหลืองเป็นเวลา 3 วันก็ยังไม่สามารถเพิ่มปริมาณปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids แสดงว่าภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งเป็นภาวะที่รุนแรงมากจนกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสร้างรงควัตถุอาจหยุดชะงักซึ่งหากถั่วเหลืองได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลานานกว่านี้อาจจะทำให้มีการเพิ่มปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีค่าปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids สัมพัทธ์มากกว่าพันธุ์ มข. 35 เมื่อได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทั้งสองระดับ สาเหตุอาจเป็นเพราะถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีความสามารถในการรักษาสภาวะของ thylakoid membrane ได้ดีกว่าเพราะว่า การทนต่อภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งในด้านการรักษาปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงอาจเกี่ยวข้องกับความสามารถในการรักษาสภาพ thylakoid membrane โดยมีรายงานว่าการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับการได้รับภาวะร้อนหรือภาวะแล้งเพียงอย่างเดียว (Jiang and Huang, 2001) หรืออาจจะมีความสามารถในการรักษาสภาพเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง Chl ได้ดีกว่า จึงสามารถรักษาปริมาณ Chl เอาไว้ได้ดีกว่าแต่ถึงอย่างไรก็ตาม ถั่วเหลือง

ทั้ง 2 พันธุ์ก็ยังคงไม่สามารถเพิ่มปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ได้หลังจากการได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 วัน แสดงว่า thylakoid membraneน่าจะถูกทำลายไปค่อนข้างมากจึงทำให้การฟื้นฟูยังไม่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

ผลของอุณหภูมิสูงต่อการเพาะเมล็ดถั่วเหลือง

จากผลการทดลองการเพาะเมล็ดที่เมล็ดที่อุณหภูมิ 25(ชุดควบคุม) และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าเมล็ดถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่เพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีการงอกของเมล็ดเร็วกว่าและความยาวของรากในวันที่ 2 ของการเพาะเมล็ดและส่วนของ hypocotyl ก็ยืดตัวอย่างรวดเร็วอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับชุดควบคุม การที่เมล็ดมีการงอกเร็วกว่าและมีการยืดตัวที่เร็วกว่าเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิสูงไปเร่งปฏิกิริยาต่างๆภายในเซลล์ของเมล็ดพืชที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการงอก โดย สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์ (2528) กล่าวว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกระบวนการงอกของเมล็ด โดยอุณหภูมิเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการงอกเช่น Amylase Ribonuclease Protease Lipase เป็นต้น นอกจากนี้การยืดยาวของ hypocotyls อย่างรวดเร็ว อาจเกี่ยวข้องกับ การทำงานของ auxin โดยมีรายงานว่าอุณหภูมิสูงมีผลต่อการยืดตัวของส่วน hypocotyls โดย Gray et al.(1998) พบว่าการปลูกต้นกล้า Arabidopsis ที่อุณหภูมิสูงที่ 29 องศาเซลเซียส ทำให้ hypocotyl ของ Arabidopsis ยืดตัวมากกว่าชุดควบคุมที่ได้รับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของ auxin โดยตรง

ผลของการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงต่อ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก ของถั่วเหลืองภายใต้ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง

จากผลการทดลองการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงต่อ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก ของถั่วเหลืองภายใต้ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งพบว่า ในถั่วเหลืองทั้งพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงมีความสามารถในการทนต่อภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งได้ดีกว่าถั่วเหลืองที่เพาะที่อุณหภูมิปกติ โดยจะเห็นชัดที่การได้รับภาวะร้อนร่วมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งทำให้ถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงมีความทนมากกว่า โดยเมื่อดูจากปริมาณน้ำสัมพัทธ์เชิงสัมพัทธ์จะพบว่าในวันที่ 3 ของการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5มีค่า

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ชุดที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิปกติอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับในวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง และถึงแม้ว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 จะมีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์เชิงสัมพัทธ์น้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิปกติในวันที่ 3 แต่ในวันที่ 6 ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์มีค่าค่อนข้างคงที่แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงมีการปรับตัวบางประการในการเพิ่มความสามารถในการรักษาสภาวะน้ำภายใต้ภาวะร้อนและภาวะแล้ง สอดคล้องกับค่าพื้นที่ใบสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ ที่พบว่าในวันที่ 3 ของการได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งถั่วเหลืองโดยเฉพาะในพันธุ์ มข. 35 ที่ค่าพื้นที่ใบสัมพัทธ์เฉลี่ยมากกว่าในชุดควบคุมอย่างชัดเจน ในขณะที่พันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งก็มีค่าพื้นที่ใบสัมพัทธ์ สูงกว่าในชุดควบคุมเช่นกัน

ความสูงสัมพัทธ์ของต้นถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูง ในวันที่ 3 ของการได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองชุดที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิปกติและในวันที่ 6 ค่าความสูงสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงก็ยังมีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะที่อุณหภูมิปกติ เช่นเดียวกับน้ำหนักสดต้นสัมพัทธ์ และน้ำหนักแห้งต้นสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงที่มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิปกติในวันที่ 3 และวันที่ 6 ของการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง โดยเฉพาะชุดที่ได้รับภาวะร้อนร่วมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง

น้ำหนักสดรากของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่เพาะที่อุณหภูมิสูงมีค่ามากกว่าชุดที่ได้รับการเพาะที่อุณหภูมิปกติ เมื่อเข้าสู่ภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน สอดคล้องกับน้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงที่มีค่าน้ำหนักแห้งรากสัมพัทธ์มากกว่าชุดที่ได้รับการเพาะที่อุณหภูมิปกติ เมื่อเข้าสู่ภาวะร้อนที่อุณหภูมิทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ 6 วัน

ความยาวรากของถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงนั้นมีความยาวรากที่ไม่สม่ำเสมอโดยสาเหตุอาจเกิดมาจากความไม่สม่ำเสมอของระดับออกซิเจนในสารละลาย PEG 6000 ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

อย่างไรก็ตามการเติบโตของถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะที่อุณหภูมิสูงค่อนข้างมีการเจริญเติบโตที่ไม่สม่ำเสมอโดยเมื่อสังเกตจากกราฟค่าการเติบโตเชิงสัมพัทธ์บางค่าที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ค่อนข้างสูง สาเหตุที่การเติบโตของถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงมีการเติบโตที่ค่อนข้างไม่สม่ำเสมออาจเป็นเพราะการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงทำให้ต้นถั่วเหลืองแต่ละต้นมีระดับของการปรับตัวเพื่อให้ทนต่อภาวะร้อนที่ไม่เท่ากันเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งจึงมีความทนต่อภาวะร่วมได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ

ความสามารถในการทนต่อภาวะร้อนและภาวะแล้งที่เพิ่มขึ้นจากการที่ทำให้ถั่วเหลืองทีได้รับภาวะร้อนก่อน(preconditioning)ในการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานที่มีการทดลองให้พืชได้รับภาวะเครียดเช่น ภาวะร้อนหรือภาวะแล้งก่อนที่จะเข้าสู่ภาวะนั้นๆ แล้วทำให้พืชมีความทนมากขึ้น เช่น การเพาะเมล็ดถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำให้ต้นกล้าถั่วเหลืองสามารถเติบโตได้ดีกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเมื่อได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิเท่ากัน นอกจากนี้ถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสสามารถเติบโตได้เมื่อได้รัยภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Ortiz and Cardemil, 2001) หรือการให้ Kentucky Bluegrass ได้รับภาวะแล้งก่อน(drought preconditioning) 2 ครั้งก่อนที่จะเข้าสู่ภาวะร้อนพบว่าทำให้ Kentucky Bluegrass มีการเติบโตดีกว่า และมี ปริมาณน้ำสัมพัทธ์สูงกว่าและเซลล์พืชสามารถปรับค่า osmotic adjustment ได้ดีกว่า และทำให้น้ำหนักแห้งรากมีค่ามากกว่าชุดที่ไม่ได้ผ่าน drought preconditioning (Jiang and Huang, 2001b)

ผลของการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงต่อปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ของถั่วเหลืองภายใต้ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง

การเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการปรับตัวในการรักษาปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids โดยในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งถึงแม้ว่าจะมีการลดลงของ ปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ในลักษณะคล้ายคลึงกับถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิปกติ แต่เมื่อดูจากค่าเชิงสัมพัทธ์โดยเปรียบเทียบกับกับชุดควบคุมแล้วพบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงมีค่าปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids เชิงสัมพัทธ์ที่สูงกว่าชุดที่

ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิปกติในแต่ละพันธุ์ เมื่อได้รับภาวะร้อนทั้งสองระดับร่วมกับภาวะแล้งเป็นเวลา 3 และ6 วัน นอกจากนี้เมื่อดูจากค่าปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids เชิงสัมพัทธ์พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงมีการรักษา Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids ได้ดีกว่าพันธุ์ สจ. 5 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิปกติของแต่ละพันธุ์ การที่ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 สามารถมีการปรับตัวให้มีการรักษาปริมาณรงควัตถุเอาไว้ได้ดีกว่าเมื่อได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงอาจเป็นเพราะถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีการปรับตัวทางด้านองค์ประกอบของเมมเบรนดังที่ได้กล่าวมาแล้วที่ทำให้มีความทนต่อภาวะร้อนและภาวะแล้งได้ดีขึ้น

การโคลนชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ amplified ขึ้นด้วย primer ที่ออกแบบให้มีความจำเพาะเจาะต่อยีน *Hsp70*

การเพิ่มปริมาณชิ้นส่วน DNA ด้วยใช้วิธี PCR โดยใช้ primer HSPA/HSPS เพื่อโคลนยีน *Hsp70* โดยอ้างอิงจากลำดับเบสของ ยีน *Hsp70* ของ *Arabidopsis thaliana* และ *Glycine max* L. ทำให้ได้ fragment ขนาดประมาณ 1,000 bp จากการใช้ DNA ที่สกัดจากถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 เป็น template และ fragment ขนาดประมาณ 1,000 bp จากการใช้ DNA ที่สกัดจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 เป็น template ตามลำดับ (HSP_MK_4 และ HSP_SJ_9) ซึ่งจากการศึกษาลำดับเบสของโคลนที่ได้(ภาคผนวก ค)เทียบกับฐานข้อมูลลำดับเบสพบว่าโคลนที่ได้ทั้งสองชิ้นมีความคล้ายคลึงกันกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของ *Glycine max* Heat Shock Cognate 70 KD Protein cDNA clone (Accession number BU964658) โดยมีความคล้ายคลึงกันสูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงคาดว่าชิ้นส่วน DNAที่โคลนได้สามารถนำมาใช้เป็น probe เพื่อใช้ศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* ได้ นอกจากนี้โคลนที่ได้ทั้งสองชิ้นมีความคล้ายคลึงกันมากโดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์พบว่ามีความแตกต่างกันเพียง 1 เบส สาเหตุอาจเป็นเพราะเป็นยีนที่ความจำเพาะสูงเนื่องจากยีน *Hsp* เป็นยีนที่นอกจากมีความเกี่ยวข้องกับการรักษาสภาพโปรตีนชนิดอื่นๆเมื่อได้รับภาวะร้อนยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการม้วนพับสายโพลีเพปไทด์ในระหว่างการสร้างและเคลื่อนย้ายโมเลกุลโปรตีนโดยทั่วไป นอกจากนี้ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ยังมีการพัฒนาสายพันธุ์ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันโดยพันธุ์ มข. 35 ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ Williams กับพันธุ์ สจ. 2 ในขณะที่ สจ. 5 เป็นถั่วเหลืองพันธุ์ที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ Tainung กับพันธุ์ สจ. 2 จึงทำให้ fragment ที่ได้มีความคล้ายคลึง

ผลของภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันต่อการแสดงออกของยีน *Hsp70*

จากการศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในถั่วเหลืองพบแถบสัญญาณ mRNA ของยีน *Hsp70* ในถั่วเหลืองขนาดประมาณ 2,500 bp โดยพบในถั่วเหลืองชุดการทดลองทั้งชุดที่ได้รับภาวะปกติ ชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส ชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง และชุดที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง แต่พบความแตกต่างของระดับแถบสัญญาณ mRNA ของยีน *Hsp70* ในถั่วเหลืองเฉพาะชุดที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยในชั่วโมงที่ 2 และ 4 มีระดับแถบสัญญาณ mRNA ของยีน *Hsp70* มากกว่าชั่วโมงที่ 0 และชุดควบคุม (รูปที่ 59) การพบการเพิ่มขึ้นของการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงและค่อนข้างคงที่ในชั่วโมงที่ 4 การแสดงออกของยีน *Hsp*70 นี้สอดคล้องกับรายงานการศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* เมื่อได้รับภาวะร้อนในพืชต่างๆเช่น *Arabidopsis thaliana*(Sung, 2001) Soybean (Key, 1990; Ortiz and Cardemil, 2001) Tobacco(Rizhsky, 2002) Spinach (Guy and Li, 1998) ที่มีการแสดงออกของยีนมากที่สุดในช่วงเวลาระหว่าง 1-2 ชั่วโมงแรกของการได้รับภาวะร้อน หรือภาวะแล้ง หลังจากนั้นการแสดงออกของยีน *Hsp70* จะเริ่มคงที่และลดลงตามลำดับ การแสดงออกของยีน *Hsp70* ในลักษณะนี้แสดงว่า การแสดงออกของยีนมีรูปแบบการแสดงออกของยีนแบบชั่วคราว(transient expression) เพื่อทำหน้าที่ในการรักษาสภาพโปรตีนที่อาจเสียสภาพและคลายตัวจากการได้รับภาวะร้อน ในขณะที่การได้รับภาวะร้อนที่ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส การได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง และการได้รับการเพาะเมล็ดที่ 35 องศาเซลเซียสและได้รับภาวะร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้ง ไม่พบความแตกต่างระดับแถบสัญญาณ mRNA ของยีน *Hsp70* อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งต่ำกว่าการแสดงออกของยีน *Hsp70* เมื่อได้รับภาวะร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเกิดมาจากภาวะดังกล่าวไม่สามารถทำให้เกิดการแสดงออกของยีน *Hsp70* จนสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน อีกทั้งการให้ preheat treatment อาจกระตุ้นให้มีการสร้างโปรตีน Hsp70 และมีผลทำให้การชักนำการแสดงออกของยีน Hsp70 ภาวะใต้ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งลดลง การได้รับภาวะร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งมีผลทำให้การแสดงออกของยีน *Hsp70* น้อยกว่าการได้รับภาวะร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส อาจเป็นตัวบ่งชี้หนึ่งที่ทำให้พืชมีความเสียหายรุนแรงในการได้รับภาวะร้อนร่วมภาวะแล้ง เนื่องจากภาวะร่วมดังกล่าวมีผลทำให้มีการสร้าง Hsp70 ได้ลดลง

จากผลการแสดงออกของยีน(รูปที่ 59) พบว่าในชุดควบคุมทั้งชุดที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส นั้นพบการแสดงออกของยีน *Hsp70* ด้วยเช่นกันซึ่งอาจเกิดมาจากการที่ ยีน *Hsp70* เกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน HSP 70 ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการม้วนพับสายโพลีเพปไทด์ในระหว่างการสร้างและเคลื่อนย้ายโมเลกุลโปรตีนโดยทั่วไป นอกเหนือจากการถูกกระตุ้นให้มีการแสดงออกมากขึ้นเมื่อได้รับภาวะร้อน ดังนั้นการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในชุดการทดลองอื่นน่าจะเป็นผลรวมของการแสดงออกของยีน *Hsp70* ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน HSP70 ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการม้วนพับสายโพลีเพปไทด์ในระหว่างการสร้างและเคลื่อนย้ายโมเลกุลโปรตีนโดยทั่วไป กับการแสดงอกของยีน *Hsp70* ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน HSP70 เมื่อเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยภาวะร้อน ภาวะแล้งและภาวะทั้งสองร่วมกัน การแสดงออกของยีน *Hsp70* ในสภาวะปกตินี้มีรายงานในการศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในพืชหลายชนิดเช่นในการศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในใบ spinach (*Spinacia oleracea* L. CV. Longstanding Bloomsdale) พบว่ายีน *Hsp70* สามารถตรวจพบการแสดงออกตลอดเวลาในภาวะปกติ และนอกจากนี้ยีนยังถูกกระตุ้นให้มีการแสดงออกมากขึ้นอย่างชั่วคราวเมื่อได้รับภาวะร้อนและได้รับแสง (Li, et al., 2000) แสดงว่าการแสดงออกของยีน *Hsp70* อาจมีปัจจัยเรื่องการได้รับแสงเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้มีการแสดงออกได้โดยไม่ต้องได้รับภาวะร้อนหรือแล้งเพียงอย่างเดียวเช่นเดียวกับรายงานของ Rossel et al. (2002) ที่พบว่ายีนกลุ่ม molecular chaperone คือ *Hsp70* ในArabidopsis สามารถมีการแสดงออกเพิ่มขึ้นได้เมื่อได้รับแสงซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการป้องกัน oxidative stressที่เกิดขึ้นจากการที่พืชได้รับแสงมากเกินไป

การที่พบการแสดงออกของยีนมากขึ้นเฉพาะในถั่วเหลืองชุดที่ได้รับภาวะร้อนแสดงว่ายีน *Hsp70* ในการทดลองนี้น่าจะถูกกระตุ้นได้ด้วยภาวะร้อนเพียงอย่างเดียว โดยการได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งอาจมีกลไกบางอย่างภายในเซลล์ที่ยับยั้งการกระตุ้นการแสดงออกของยีน *Hsp70* ถึงแม้จะได้รับภาวะร้อน โดยการตอบสนองต่อภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้ง อาจเกี่ยวข้องกับการทำงานของกลไกชนิดอื่นนอกเหนือจาก Hsp70 ซึ่งมีรายงานว่าเป็น ฮีตช็อคโปรตีนกลุ่มหลักที่จะถูกสร้างขึ้นมามากเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยภาวะร้อน (Vierling, 1999) โดยอาจเป็นไปได้ว่า ฮีตช็อคโปรตีนกลุ่มอื่นอาจทำหน้าที่หลักในการตอบสนองต่อภาวะร้อนและภาวะแล้ง และเป็นกลไกในการทำให้ถั่วเหลืองที่ได้รับการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงเกิดความทนภาวะร้อน (thermotolerance) ในถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 เช่น HSP100 ที่มีรายงานว่าเมื่อLima bean (*Phaseolus lunatus*)ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสปรากฏว่ามีการแสดงออกของยีน *Hsp100* เพิ่มขึ้น และในLima bean ที่ผ่านการคัดเลือกโดยการให้ได้รับภาวะร้อนมาก่อนจนเกิดความทนจะมีการแสดงออกของยีน *Hsp100* มากกว่าสายพันธุ์ปกติอีกด้วย

(Keeler, 2000)สอดคล้องกับการทดลองของ Hong และ Verling (2000) ที่พบว่า Arabidopsis mutant ที่มีความบกพร่องในการแสดงออกของยีน *Hsp101* ไม่สามารถมีการปรับตัวให้ทนต่อภาวะร้อนได้เหมือนชุดควบคุมซึ่งแสดงว่า Hsp101มีบทบาทในการช่วยในการทำให้พืชมีการปรับตัวให้ทนต่อภาวะร้อนได้และงานของ Burke และคณะ(2000)ที่ทำการเปรียบเทียบ Arabidopsis mutant ที่มีความบกพร่องในการแสดงออกของยีน *AtHsp101* และ *AtHsp17.6* ต่อการปรับตัวให้ทนต่อภาวะร้อน พบว่า Arabidopsis mutant ที่มีความบกพร่องในการแสดงออกของยีนทั้งสองแบบไม่สามารถปรับตัวให้ทนต่อภาวะร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้ ฮีตช็อคโปรตีนกลุ่ม cytoplasmic low molecular weight(LMW)หรือ small HSP (sHSP) ก็มีรายงานว่าถูกกระตุ้นให้มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับภาวะร้อนเช่นใน พบว่า ใน pea *(Pisum sativum*) LMW HSP ที่มี ขนาด 18.1 และ 17.9 kDa (HSP18.1 HSP 17.9) มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส(DeRocher, 1991) และLMW ยังมีการแสดงออกเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสใน *Medicago sativa* อีกด้วย(Hernandez and Vierling, 1993) ยีน *sHSP* ของ sHSP ที่มีขนาด 16.9 kDa (HSP16.9) ยังถูกพบว่ามีการแสดงออกเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใน Cowpea และ Cransberry (Simoes-Araujo, 2003) และ ยีน *Hsp17.1* class I และ *Hsp17.3* class II มีการแสดงออกของยีนเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสใน cotyledons seedlings red fruit seeds และ whole plant ของ มะเขือเทศ(*Lycopersicon peruvianum* L. Mill.)

ระบบการป้องกันตัวเองจากภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งนอกจากการทำงานของ Hsp70 แล้วยังมีระบบอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มปริมาณของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการป้องกัน oxidative stressต่างๆ เช่นเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) ซึ่งมีรายงานว่า activity ของเอนไซม์ SOD จะมีการเพิ่มขึ้นเมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 และ สจ. 5 ได้รับภาวะแล้ง (อัญชลี ร่มพา, 2543) และการศึกษากลไกความทนต่ออุณหภูมิสูง (thermotolerance) พบว่าใน Mustard(*Sinapis alba* L.) มีปริมาณ salicylic acid เพิ่มขึ้นในเซลล์เมื่อพืชได้รับภาวะร้อน และทำให้ เอนไซม์กลุ่มที่ทำหน้าที่การป้องกัน oxidative stressต่างๆ ได้แก่ Glutathione reductase Dehydroascorbate reductase Monodehydroascorbate reductase และ Ascorbate peroxidase มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วยและ เมื่อ mustard seedling ได้รับการ พ่นสารละลาย salicylic acid โดยตรงทำให้ Mustard seedling มีปริมาณ H_2O_2 และ Catalase เพิ่มขึ้นคล้ายคลึงกับต้นที่ได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (Dat, 1998a,b) แสดงว่า ในระหว่างการได้รับภาวะร้อน กลไกหนึ่งที่สำคัญในการป้องกันตัวเองของพืชคือการสร้าง เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการ

ป้องกัน oxidative stressต่างๆ เพื่อกำจัด H_2O_2 ที่เกิดขึ้น และแสดงว่า การที่พืชได้รับ Salicylic acid จากภายนอกเพื่อกระตุ้นให้พืชสร้าง H_2O_2 อาจเป็นกลไกหนึ่งที่สำคัญในการกระตุ้นให้พืชมีความทนต่อภาวะร้อน (thermotolerance)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 การศึกษาผลของภาวะร้อน ภาวะแล้ง และภาวะทั้งสองร่วมกันต่อการเติบโต และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ในถั่วเหลืองพันธุ์มข. 35 และ สจ. 5

การได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทำให้มีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูง ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้น น้ำหนักสดและแห้งของราก และปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids มากกว่าการได้รับภาวะร้อน หรือภาวะแล้งเพียงอย่างเดียว โดยการได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับ ภาวะแล้งส่งผลกระทบรุนแรงมากที่สุดในทั้งสองพันธุ์

6.2 การศึกษาผลร่วมของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อการเติบโต และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงในถั่วเหลืองพันธุ์มข. 35 และ สจ. 5

การได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งทำให้ถั่วเหลืองมข. 35 มีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ พื้นที่ใบ ความสูง ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของต้น น้ำหนักสดและแห้งของราก น้อยกว่าพันธุ์ สจ. 5 แต่พันธุ์ สจ. 5 มีการลดลงของปริมาณ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoids น้อยกว่าพันธุ์ มข. 35 โดยการได้รับภาวะร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับภาวะแล้งส่งผลกระทบรุนแรงมากที่สุดในทั้งสองพันธุ์

6.3 การศึกษาผลของการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงต่อการเติบโต ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงภายใต้ภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งในถั่วเหลืองพันธุ์มข. 35และสจ. 5

การเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงทำให้มีเมล็ดถั่วเหลืองที่การงอกที่เร็วกว่าในทั้งสองพันธุ์และทำให้มีการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ การเติบโตและปริมาณรงวัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยกว่าการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิปกติในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์

6.4 การศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในถั่วเหลือง

6.4.1 การโคลนชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ amplified ขึ้นด้วย primer ที่ออกแบบให้มีความจำเพาะเจาะจงต่อยีน *Hsp70*

ชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่เพิ่มจำนวนด้วยวิธี PCR โดย primer HSPA/HSPS ได้ 2 ชิ้นส่วนคือ ขนาด ประมาณ 1,000 คู่เบส(HSP_MK_4) จากพันธุ์ มข. 35 และ ขนาดประมาณ 1,000 คู่เบส (HSP_SJ_9) จากพันธุ์ สจ. 5 และเมื่อศึกษาลำดับเบสเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลลำดับเบสพบว่ามีลำดับเบสคล้ายคลึงกับ HEAT SHOCK COGNATE 70 KD PROTEIN cDNA ของถั่วเหลืองที่มีผู้รายงานไว้ในฐานข้อมูล

6.4.2 การศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* ในถั่วเหลือง

พบสัญญาณ mRNA ของยีน *Hsp70* ซึ่งมีขนาดประมาณ 2,500 bp ในทุกชุดการทดลอง แต่พบสัญญาณ mRNAของยีน *Hsp70* มีมากขึ้นในชั่วโมงที่ 2 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบชั่วโมงที่ 0 และชุดควบคุม ของการได้รับภาวะร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะ

1. ในการให้พืชได้รับภาวะแล้งอาจใช้วิธีการปลูกพืชลงดินและควบคุมปริมาณน้ำแทนการจำลองด้วยการใช้ PEG 6000 เพื่อให้มีความใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติมากขึ้น

2. ในการศึกษาผลของภาวะร้อนและภาวะแล้งต่อการเติบโตในถั่วเหลืองควรมีการ rewatering ให้พืชด้วยเพื่อจะได้เห็นความสามารถในการฟื้นตัวของพืชและควรทำการ rewatering ด้วยระยะเวลาที่นานขึ้นเนื่องจากบางพารามิเตอร์ยังไม่สามารถฟื้นตัวได้ในระยะเวลาสั้นๆ

3. ในการศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp*70 ควรเก็บตัวอย่างเพิ่มขึ้นหลังจากชั่วโมงที่ 4 ของการได้รับภาวะร้อนและภาวะแล้งเพื่อจะได้เห็นรูปแบบการแสดงออกของยีนที่ชัดเจนมากขึ้น และทำการศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp*70 ช่วงที่มีการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูงเพื่อตรวจสอบการแสดงออกของยีนในระยะเวลาที่ได้รับภาวะร้อนในขณะงอกซึ่งอาจทำให้ทราบถึงหน้าที่ของ Hsp70 ในการกระตุ้นความทนต่อภาวะร้อนและภาวะแล้งในถั่วเหลือง

4. ในการศึกษากลไกการตอบสนองระดับเซลล์ นอกจากการศึกษาการแสดงออกของยีน *Hsp70* ควรทำการศึกษากลไกแบบอื่นๆ เช่นการศึกษาแอคติวิตีของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระเช่น ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส (Superoxide dismutase; SOD) แอสคอร์เบทเปอร์ออกซิเดส (Ascorbate peroxidase; AP) ซึ่งมีรายงานว่ามีความเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อภาวะร้อนและภาวะแล้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กฤษฎา สัมพันธารักษ์. 2531. พืชไร่ (Guide for field crops in the tropics and subtropics). ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นันทนา อังกินันทน์ และ ศุภจิตรา ชัชวาลย์. 2542. คู่มือปฏิบัติการสรีรวิทยา . ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปารวี ธิกาศ. 2546. เครื่องหมายพันธุกรรมของข้าว *Oryza sativa* L. พันธุ์เหลืองประทิวสายพันธุ์ทนเค็มที่ตรวจสอบโดยวิธีอาร์เอพีดี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภชัย แก้วมีชัย. 2537. การปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองในประเทศไทย. ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. สรีรวิทยาของพืช. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์รั้วเขียว, 2538. หน้า 196.

สมศักดิ์ สุริโย. การผลิตถั่วเหลืองในยุคโลกาภิวัตน์. เอกสารประกอบการอภิปรายในการประชุมวิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติ ครั้งที่ 7 เสนอที่มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 25 -27 สิงหาคม.หน้าที่ 1 – 9.

อัญชลี ร่มพา. 2543. ความสัมพันธ์ของแอคติวิตีของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเติบโตในถั่วเหลือง *Glycine max*(L.) Merrill ภายใต้ภาวะแล้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Abdelmageed, A. H. Gruda, N. and Geyer.2003. Effect of high temperature and heat shock on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) genotypes under controlled conditions. Deutscher Tropentag 2003 Gottingen, October 8-10, 2003. Conference on International Agricultural research for development.

Al-Khatib, K. and Paulsen, G. M. 1999. High-temperature effects on photosythetic Processes in temperate and tropical cereals. Crop. Sci. 39: 119-125.

Altschul, S. F., Madden, T. L., Schäffer, A. A., Zhang, J., Zhang, Z., Miller W., and Lipman D.J. (1997). "Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs", Nucleic Acids Res. 25:3389-3402.

Alvim, F. C. et al. 2001. Enhanced accumulation of BiP in Trangenic plants confers tolerance to water stress. Plant Physiol. 126: 1042 - 1054.

Aronson, L. J., Gold, A. J., and Hull, R. J. 1987. Cool-season turfgrass responses to drought stress. Crop Sci. 27: 1261 - 1266.

Arora, R., Pitchay, D.S. and Bearce, B.C. 1998. Water-stress-induced heat tolerance in geranium leaf tissues: A possible linkage through stress proteins. Physiologia Plantarum. 103: 24-34.

Benaroudj, N., Fouchaq B., Ladjimi M.M. 1997. COOH- terminal peptide binging domain is essential for self association of the molecular chaparone HSC70. J. of Biol. Chem. 272: 8744 -8751.

Burke, J. J., Hatfield, J. L., Klein, R. R., and Mullet, J. E. Accumulation of heat shock proteins in field-grown cotton. Plant Physiol. 78: 394 - 398.

Cascardo, J. C. M., et. al. 2000. The phosphorylation state and expression of soybean BiP isoforms are differentially regulated following abiotic stresses. J. of Biol. Chem. 275: 14494 - 14500.

Cascardo, J. C. M., et. al. 2001. Differential expression of the soybean BiP gene family. Plant Sci. 160: 273 -281.

Chaisompongpan, N., Li P.H., Davis D.W. and Mackhart, A.H. 1990. Photosynthetic Responses to heat stress in common bean genotype differing in heat acclimation potential. Crop. Sci. 30: 100-104.

Crafts-Brandner, S. J., Below, F. E., Harper, J. E., and Hageman, R. H. 1984. Effects of pod removal on metabolism and senesence of nodulating and nonnodulating soybean isolines. Plant. Physiol. 75: 318 - 322.

Dat, J. F. et.al.1998a. Parallel changes in H_2O_2 and catalase durig thermotolerance by salicylic acid or heat acclimaiton in mustard seedings. Plant Physiol. 116: 1351 – 1357.

Dat, J. F., Foyer, C. H. and Scott, I. M. 1998b.Change in salicylic acid and antioxidants during induced thermotolerance in mustard seedings. Plant Physiol.118: 1455 - 1461.

DeRocher, A. E., Helm, K. W., Lauzon, L. M., and Vierling, E. 1991. Expression of a conserved family of cytoplasmic low molecular weight heat shock proteins during heat stress and recovery. Plant Physiol. 96: 1038 - 1047

Ebercon, A. and Blum A. 1981. Cell membrane stability as measurement of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sci. 21 : 43 - 47.

Figueiredo, J. E. F. et al. 1997. Water-stress regulation and molecular analysis of the soybean BiP gene family. R. Bras. Fisiol. Veg. 9(2): 103 - 110.

Guy C.L. and Li. Q.B. 1998. The organization and evolution of the spinach stress 70 molecular chaperone gene family. Plant cell. 10: 539 - 556.

Gray, W. M., et. al. 1998. High temperature promote auxin-mediated hypocotyl elongation in Arabidopsis. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 95: 7197 – 7202.

Hall A. 2001.Heat stress and its impact . Available from: http:// www.Plantstress.com/articles.html[2004, April 25]

Helm, K. W., and Abernethy, R. H. 1990. Heat shock proteins and their mRNAs in dry and early imbibing embryos of wheat. Plant Physiol. 93: 1626 - 1633.

Hernandez, Lorraine. D. and Vierling, E. 1993. Expression of low molecular weight heat-shock proteins under field conditions. Plant Physiol. 101: 1209-1216.

Hohfeld J., Minami Y. and Hartl. F.U. 1995. Hip, a novel cochaparone involved in the eucaryotic Hsc70/Hsp40 reaction cycle. Cell. 83:589 - 598.

Hong, S.W. and Vierling, E. 2000. Mutant of Arabidopsis thaliana defective in the acquisition of tolerance to high temperature stress. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 97: 4392 – 4397.

Jacomini, E. Bertani, A. and Mapelli, S. 1988. Accumulation of polyethylene glycol 6000 and its effects on water content and carbohydrate level in water stressed tomato plant. Can. J. Bot. 66: 970 -973.

Jagtap V., Bhargava S., Streb, P. and Feierabend, J. 1998. Comparative of water, heat and light streseson photosynthetic reaction in Sorghum bicolor(L.) Moench. J of Exp Bot. 49(327): 1715 -1721.

Jiang Y. and Bingru H. 2000. Efffects of drought or heat stress alone and in combination on Kentucky bluegrass. Crop Sci. 40: 1358 - 1362.

Jiang Y.and Bingru H.. 2001. Drought stress injury to two cool-season Turgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Sci: 436: 436-442.

Jiang, Y., and Huang, B. 2001a. Physiological responses to heat stress alone or in combination with drought: A comparison between tall fescue and perenial ryegrass. HortSci. 36: 682 - 686

Jiang, Y. and Huang, B.2001b. Osmotic adjustment and root growth associated with drought preconditioning-enhanced heat tolerance in Kentucky bluegrass. Crop. Sci. 41: 1168- 1173.

Jiang, Y. and Huang, B. 2001c. Effect of calcium on antioxidant activities and water relations associated with heat tolerance in two cool-season grasses. J of Exp. Bot. 52(355): 341-349.

Kalinski, A. 1995. Binding-protein expression is suject to temporal, development, developmental and stress -induced regulation in terminally differentiated soybean organs. Planta. 195: 611 -621.

Keeler, S. J. et.al. 2000. Acquired thermotolerance and expression of the HSP100/ClpB gene sof Lima bean. Plant Physiol. 123: 1121-1132.

Key. J. L., Lin, C.Y. and Chen, Y. M.1981. Heat shock proteins of higher plants. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 78: 3526 -3530.

Kimpel, J. A. and Key, J. L. 1985. Presence of heat shook mRNAs in field grown soybeans. Plant Physiol. 79: 672 - 678.

Kimpel, J. A., Nagao, R. T., Goekjian, V., and Key, J. L. 1990. Regulation of the heat shock response in soybean seedling. Plant Physiol. 94: 988 - 995.

Lafta, A. M. and Lorenzen, J. H. 1995. Effect of high temperature on plant growth and carbohydrate matabolism in potato. Plant Physiol. 109: 637 - 643.

Law, R. D. and Crafts-Brander, S. J. 1999, Inhibition and acclimation of photosynthesis to heat stress is closely correlated with activation of Ribulose- 1, 5- Bisphosphate Carboxylase/ Oxygenase. Plant Physiol. 120: 173- 181.

Lawlor, D.W. 1970. Absorption of polyethylene glycols by plants and their effects on plant growth. New Phytologist. 69: 501 - 514.

Lecoeur, J., Wery, J.,Turc, O. and Tardieu, F. 1995. Expansion of pea leaves subjected to short water deficit: cell number and cell size are sensitive to stress at different periods of leaf development. J of Exp. Bot. 46(290) :1093 – 1101.

Li, Q.B., Haskell D., Zhang, C. Sung, D.Y. and Guy, C. 2000. Diurnal regulation of Hsp 70s in leaf tissue. Plant J. 21(4): 373-378.

Li, Q.B., Haskell D.W., Guy, C.L. 1999. Cordinate and non-cordinate expression of the stress 70 family and other molecular chaparones at high and low temperature in spinach and tomato. Plant Mol Biol. 39: 21-34.

Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In Packer, L., and Douce, R. (eds). Methods Enzymol. pp. 351 – 382. New York: Academic Press.

Lin, C., Roberts, J. K., and Key, J. L. 1984. Acquisition of thermotolrance in soybean seedling. Plant Physiol. 74: 152 - 160.

Low, D., Brandle, K., Nover, L., and Forreiter, C. 2000. Cytosolic heat- stress proteins Hsp17.7 class I and Hsp17.3 class II of tomato act as molecular chaperones in vivo. Planta. 211: 575 – 582.

McNeil, S. D., Nuccio, M. L., and Hanson, A. D. 1999. Betaines and related osmoprotectants. Targets for metabolic engineering of stress resistance. Plant Physiol. 120: 945 – 949.

Miernyk, J. A. and Hayman, G. T. 1996. ATPase activity and molecular chaperone function of the stress70 proteins. Plant Physiol.110: 419 -424.

Mishra,R.K. and Singhal, G.S. 1992. Function of photosynthetic apparatus of intact wheat leaves under high light and heat stress and its relationship with thylakoid lipids. Plant Physiol. 98: 1-6.

Moffat, J. M., Sears,G., Cox, T.S. and Paulsen, G.M. 1990. Wheat high temperature Tolerance during reproductive growth.I.Evaluation by chlorophyll fluorescence. Crop. Sci. 30: 881-885.

Moran, J. F. et. al. 1994. Drought induces oxidative stress in pea plants. Planta. 194: 346- 352.

Mullarkey, M. and Jones, P. 2000. Isolation and analysis of thermotolerant mutants of wheat. J. of Exp. Bot. 51(342): 139-146.

Olesson, M., Nilsson, K. Liijenberg, C., and Hendry, G. A.F. 1996. Drought stress in seedling: Lipid metabolism and lipid peroxidation during recovery from drought in *Lotus corniculatus* and *Cerastium fontanum*. Physiol. Plant. 96: 577- 584.

Ortiz, C., and Cardemil, L. 2001. Heat-shock responses in two leguminous plant: A comparative study. J. of Exp. Bot. 52: 1711 - 1719.

Park, S., Shivaji, R., Krans,J. V., Luthe, D. L. Heat shock response in heat-tolerant and nontolerant variants of *Agrostis palustris* Huds. Plant Physiol.111: 515 -524.

Quartacci, M. F. and Navari-Izzo, F. 1992. Water stress and free radical mediate changes in sunflower seedling. J. Plant. Physiol. 139: 621-625.

Rizhsky, L. 2002. The combined effect of drought stress and heat shock on gene expression in tobacco. Plant physiol. 130: 1143-1151.

Rizhsky, L. 2004. When defense pathways collides: The response of Arabidopsis to a combination of drought and heat stress. Plant Physiol. In press.

Rossel, J. B., Wilson, I. W. and Pogson, B .J. 2002. Global changes in gene expression in response to high light in Arabidopsis. Plant Physiol.130: 1109-1120.

Sairam, R. K., Deshmukh, P. S. and Saxena, D. C. 1998. Role of antioxidant systems in wheat genotype tolerance to water stress. Biol. Plant. 41: 387 – 394.

Schoffl, F. Prandl, R. and Reindl, A. 1998. Regulation of heat shock response. Plant Physiol. 117: 1135 -1141.

Simoes-Araujo, J. L. 2003. Small heat shock proteins genes are differentially expressed in distinct varieties of common bean. Braz. J. of Plant Physiol. 15(1): 33-41.

Smertenko, A., Draber, B. Viklicky, V. and Opatrny, Z. 1997. Heat stress affects the organization of microtubules and cell division in *Nicotiana tabacum* cells. Plant, Cell and Environment. 20: 1534 - 1542.

Sung, D. L., Kaplan, F. and Guy, C. L. 2001. Plant Hsp70 molecular chaperones: Protein structure, gene family expression and function. Physiologia Plantarum. 113: 443 -451.

Sung, D. Y., Vierling, E. and Guy, C. L. 2001. Comprehensive expression profile analysis of the Arabidopsis Hsp70 gene family. Plant physiol. 126: 789 - 800.

Taiz, L., and Zeiger, E. 1998. Plant Physiology. 2nd ed. Massachusetts. Sinauer Associates.

Tewari, A. K. and Tripathy, B. C. 1998. Temperature-stress-induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat. Plant Physiol. 117: 851 - 858.

Turner, N. C. 1981. Technigues and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant Soil. 58: 339 - 366. Cited in Pattanagul, W., and Madore, M. A. 1998. Water deficit effects on raffinose family oligosaccharide metabolism in coleus. Plant Physiol. 121: 987 - 993.

Verslues, P.E., Ober, E. S. and Sharp, R. E.1998. Root growth and oxygen relations at Low water potentials. Impact of oxygen avaiability in polyethylene glycol solutions. Plant Physiol. 116: 1403 - 1412.

Vierling, E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol. 42: 579 - 620.

Wolfe. S. L.1993. Molecular and cellular Biology. California. Wadworth Publishing Company.

Wu, C. W., Casper, T., Browse, J., Lindquist, S. and Somerville, C. 1988. Characterization of an HSP70 gene family in Arabidopsis. Plant Physiol. 88: 731 -740.

Yamaguchi-Shinozaki, K. et al. 2002. Biological mechanisms of drought stress response. JIRCAS Working Report. 1-8.

Yong, C. B., and Jung, J. 1990. Water deficit induced oxidative stress and antioxidative defenses in rice plants. J. of Plant Physiol. 155: 807 – 812.

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

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารละลายที่ใช้ในการทดลอง

สารละลาย	ส่วนประกอบ
RNA extraction buffer	100 mM Tris pH 9.0 100 mM Nacl 20 mM EDTA 1% lauryl sarcosinate 0.1% (v/v) B- mercaptoethanol 0.1% DEPC (diethyl pyrocarbonate)
Formaldehyde gel	1.5 g. agarose ในน้ำกลั่น 105 ml. 30 ml. formaldehyde 15 ml. 10X MOPS
10X formaldehyde gel-running buffer (10X MOPS)	0.2 M MOPS 80 mM sodium acetate 10 mM EDTA
RNA loading dye	50% glycerol 1 mM EDTA 0.25 % bromophenol blue
Primary wash buffer	0.5X SSC pH 7.0 0.4% SDS 6 M Urea
Secondary wash buffer	2X SSC
Denaturation buffer for RNA total volume 40 ul	11 μl RNA sample 20 μl formamide 7 μl 37% formaldehyde 2 μl 10X MOPS
DNA extraction buffer(CTAB)	2% (w/v) CTAB 1.4M NaCl 0.2%(v/v) mercaptoethanol 20mM EDTA 100mM Tris –HCl pH 8.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	2% (w/v) polyvinylpyrollidone(PVP)
Formaldehyde gel	1.2 agarose ใน DEPC-water 84 ml 24 ml 37% formaldehyde 12 ml 10X MOPS
20X SSC	3M NaCl 0.3M sodium acetate ปรับ pH เป็น 7.0
50X TBE	54 g Tris-base 27.5 g Boric acid 20ml 0.5M EDTA pH 8.0
DNA loading dye	50% Glycerol 0.25% bromophenol blue
TE	10mM Tris pH 8.0 1mM EDTA

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารเคมีสำหรับเตรียมสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's

วิธีการเตรียม stock solution

1. $Ca(NO_3)_4H_2O$ 1 โมลาร์

ชั่ง $Ca(NO_3)_4H_2O$ 236.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

2. KNO_3 1 โมลาร์

ชั่ง KNO_3 101.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

3. $MgSO_4$ 1 โมลาร์

ชั่ง $MgSO_4 . 7H_2O$ 246.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

4. KH_2PO_4 1 โมลาร์

ชั่ง KH_2PO_4 136.39 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

5. Fe-EDTA (มี Fe 2.5 มิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร)

ชั่ง EDTA disodium salt ($C_{10}H_{14}O_8Na_2.H_2O$) 22.4 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 372 มิลลิลิตร

ชั่ง $FeCl_3.6H_2O$ 13.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 728 มิลลิลิตร เทสารละลายทั้งสองผสมกันทีละน้อย หรือพ่นอากาศประมาณ 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน

6. micronutrients

ชั่ง H_3BO_3 2.86 กรัม $CuCl_2.H_2O$ 0.05 กรัม $MnCl_2.4H_2O$ 1.81 กรัม $ZnCl_2$ 0.11 กรัม $Na_2MoO_4. 2H_2O$ 0.025 กรัม แยกละลายในน้ำกลั่นทีละตัวแล้วเทสารละลายรวมกันปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's (Half strength) **ปริมาตร 2 ลิตร**

ประกอบด้วยสารเคมีดังนี้

1. $Ca(NO_3)4H_2O$ 1 โมลาร์	5 มิลลิลิตร
2. KNO_3 1 โมลาร์	5 มิลลิลิตร
3. $MgSO_4$ 1 โมลาร์	2 มิลลิลิตร
4. KH_2PO_4 1 โมลาร์	1 มิลลิลิตร
5. Fe-EDTA (มี Fe 2.5 มิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร)	4 มิลลิลิตร
6. micronutrients	1 มิลลิลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการสกัด DNA ด้วยวิธี modified CTAB (ปารวี ธิกาศ, 2546)

1. ตัวอย่างใบถั่วเหลือง 0.1 กรัมด้วยไนโตรเจนเหลวให้เป็นผงละเอียด
2. เติม Extraction buffer 0.6 ml. ซึ่งอุ่นให้ร้อนที่ 65องศาเซลเซียส ผสมให้เข้ากัน
3. เทส่วนผสมทั้งหมดลงหลอด microcentrifuge นำไป incubate 60 องศาเซลเซียส 30 นาที
4. เติม Phenol : Chloroform : Isoamylalcohol ปริมาตรเท่าส่วนผสมในหลอด
5. ปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที ที่ 4 องศาเซลเซียส 10 นาที
6. แยก supernatant มาสกัดด้วย Chloroform 2 ครั้งโดยใช้ปริมาตรเท่ากับสารละลายในหลอด
7. ปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที ที่ 4 องศาเซลเซียส 10 นาที ดูดสารละลายใส่หลอดใหม่
8. เติม Sodium acetate 0.1 เท่าและ Isopropanol ที่แช่เย็น 0.6 เท่า เก็บที่ -20°C 30 นาที
9. ปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที ที่ 4 °C 10 นาที
10. ล้าง pellet ด้วย 70 % Ethanol นำไป air-dry เพื่อกำจัด Ethanol
11. ละลาย pellet ด้วย TE buffer 40 μl.
12. เติม Rnase ให้มีความเข้มข้นสุดท้าย 20 μg/ μl. และนำไป incubate ที่ 37°C 1 ชั่วโมง
13. ปรับปริมาตรของ DNA ในหลอดให้เป็น 250 μl. โดยใช้ TE buffer และเติม Phenol : Chloroform : Isoamylalcohol 250 μl. พลิกหลอดกลับไปกลับมา
14. ปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที ที่ 4 องศาเซลเซียส 10 นาที ดูดสารละลายใส่หลอดใหม่
15. สกัดซ้ำด้วย Chloroform 2 ครั้ง และตกตะกอน DNA ด้วย Sodium acetate 0.1 เท่า และ Absolute ethanol ที่แช่เย็น 2 เท่า
16. ปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที ที่ 4 องศาเซลเซียส 10 นาที
17. ล้าง pellet ด้วย 70 % Ethanol นำไป air – dry เพื่อกำจัด Ethanol
18. ละลาย pellet ด้วย TE buffer ตามความต้องการ
19. วัดความเข้มข้นของสารละลายด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 260 nm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทำ Frozen stock (Sambrook และ คณะ, 1978)

1. streak *E. coli* ที่มี DNA พาหะที่ถูกตัดต่อโดยใส่ชิ้นส่วน DNA เป็น insert ลงบนอาหารแข็ง LB ที่มียาปฏิชีวนะ Ampicilin 100 mg/ml. นำไป incubate ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

2. เขี่ย single colony ลงบนอาหารลงบนอาหารแข็ง LB ที่มียาปฏิชีวนะ Ampicilin 100 mg/ml ปริมาตร 10 ml. นำไป incubate ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

3. หลังจากนั้นปิเปตอาหารเหลว LB ที่มี *E. coli* เจริญเติบโตอยู่ 1 ml. ใส่ใน vial ที่มี glycerol 87.7% 1ml. (ผ่านการอบฆ่าเชื้อแล้ว) เขย่าให้เข้ากัน

4. นำ vial ไปแช่ในไนโตรเจนเหลว และนำไปเก็บไว้ในตู้แช่แข็ง อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส

การสกัด RNA ด้วยวิธี hot phenol (ปารวี ธิกาศ, 2546)

1. บดตัวอย่างถั่วเหลืองที่อยู่ในภาวะแช่แข็งประมาณ 0.2 กรัมกับไนโตรเจนเหลว ในโกร่งบดที่ผ่านการทำลาย RNase แล้ว จากนั้นตักตัวอย่างพืชใสหลอด microcentrifuge ที่ทำให้เย็นจัดด้วยไนโตรเจนเหลว

2. เท RNA extraction buffer และ Phenol : Chloroform อย่างละ 800 µl. ซึ่งอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นำไป vortex และแช่ลงในน้ำแข็ง

3. ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

4. แยกส่วน supernatant และนำมาสกัดซ้ำด้วย Phenol: Chloroform อีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ปริมาตรเท่ากับสารละลายในหลอด ดูดสารละลายชั้นบนใส่หลอดใหม่

5. เติม 95% Ethanol 2 เท่า เก็บที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

6. ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

7. ล้าง pellet ด้วย 80 % Ethanol และนำไป air dry ที่อุณหภูมิห้อง ให้ ethanol ระเหยจนหมด

8. ละลาย pellet ใน DEPC treated TE buffer 100 µl.

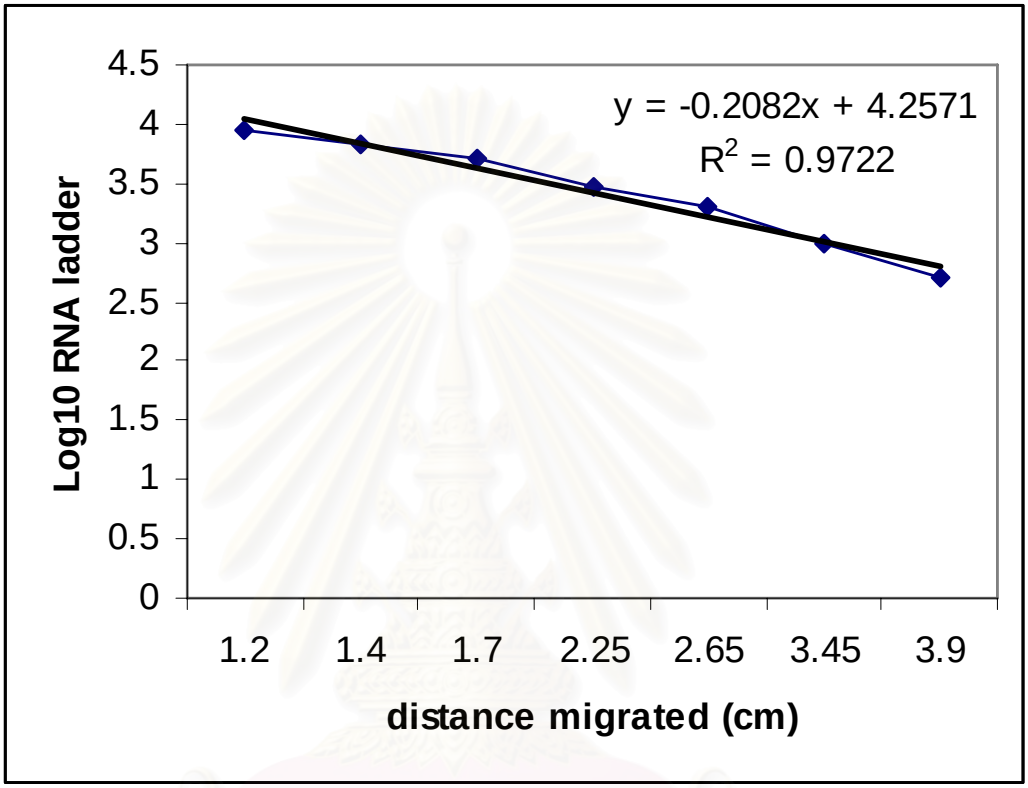
9. เติม DEPC treated TE buffer 60 µl. และ 10 M LiCl2 40 µl. (ให้ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 2 M $LiCl_2$) เก็บไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส ประมาณ 16 ชั่วโมง

10. ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

11. ดูด supernatant ทิ้งให้หมด และละลายpellet ใน DEPC treated TE buffer 15µl.

12. วัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร เพื่อประมาณค่าความเข้มข้นของRNA

การหาขนาดของ RNA ladder



ภาพที่ ข-1 ตัวอย่าง กราฟ มาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาขนาดของ RNA ladder (New England Biolab, USA)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับเบสของโคลนทั้งหมด

* แถบสีเทาแสดง restriction site ของ *Eco*RI

1. HSP_MK_4

GGTNCCGCATGCTGCAGAGCGTTCCCATCGGATCCAGAATTCGTGAT

1 TGCATCANCT GTCGAAGCAC ACAGTAATCT GAGGAACACC CCTGGGGGCA

51 GGAGGAATGC CAGAAAGTTC AAATTTGCCC AACAAATTGT TATCTTTAGT

101 CCTTGCTCTT TCACCTTCAA AGACCTGGAT CAACACACCA GGCTGGTTGTC

151 AGAGTATGTT GAGAAAACCT GTTCCTTCTT GGTTGGAATT GTAGTGTTCC

201 TAGGGATCAA GACAGTCATC ACACCGCCAG CAGTCTCCAA ACCAAGAGAT

251 AGAGGGGTGA CATCAAGGAG GAGAAGATCC TGAACCTTCTC ATTGCCCTCA

301 CCACTTAAAA TTGCAGCCTG AACAGCAGCA CCATATGCAA CAGCTTCATC

351 AGGATTGATG CTCTTGCACA GCTCCTTTCC ATTAAAGAAG TCCTGCAGCA

401 GTTGTTGAAC CTTGGGAATT CTGGTAGAAC CACCAACAAG GACAACATCA

451 TCAACACTTC TTTTGTCCAT TTTAGCATCC CTCAAACATT TCTCCACCGG

501 CTCCATACAC TTCCTAAAGA GATCCATGTT CAGTTCCTCG AATCTGGCAC

551 GAGTAACAGT GGAGTAGAAA TCAATTCCCT CATAGAGAGA ATCAATTTCA

601 ATGGTGGTCT GGGCAGTGGA TGACAATGTT CTCTTGGCCC TCTCACAAGC

651 AGTCCTCAAC NTTCTAGTGC TCTGGGGTTC CCACTTATGT CCTTCTTGGT

701 CTTTCTCTTA ACTCTTGAAC AAGTGGTTCA CATTCTGNTA TCAAAATCC

751 TCACCTCNAG ATGGTGTCAC AGCTGTGGCT TCACTCAAGA TCCCNCTCAT

801 GGTAGTAAGA ACATCAATGC CACCCCAGNC AAATCACCAT CTCTCCCACC

851 TGTGGCTCCT NCAGACATAG NAGGCGCGCG NGNTTTGNAT CNTCATNAAC

901 ACAGANCGNN CTGGNCTGCT AATTGAAAAG GAGGAAGGTA TGATNCAATT

951 CNCNGTANTA CNGGGGCAGC GCGTTNGCAG CATNGGTACG GGACGCNNCC

1001 CCNCGGNACC CCCCGGGGGT TTTTTNNCCA AAGGGNCACN NCCCCCCCCG

1051 NCNCC

2. HSP_SJ_9

NGGTCCGCATGCTGCAGAGCGTTCNCNATCGGATCCAGAATTCGTGAT

1 TGCATCAATG TCGAAGCACA CAGTAATCTG AGGAACACCC CTGGGGGCAG

51 GAGGAATGCC AGAAAGTTCA AATTTGCCCA ACAAATTGTT ATCTTTAGTC

101 CTTGCTCTTT CACCTTCAAA GACCTGGATC AACACACCAG GCTGGTTGTC

151 AGAGTATGTT GAGAAAACC TGTTCCTTCT TGGTTGGAAT TGTAGTGTTC

201 CTAGGGATCA AGACAGTCAT CACACCGCCA GCAGTCTCCA AACCAAGAGA

251 TAGAGGGGTG ACATCAAGGA GGAGAAGATC CTGAACCTTC TCATTGCCCT

301 CACCACTTAA AATTGCAGCC TGAACAGCAG CACCATATGC AACAGCTTCA

351 TCAGGATTGA TGCTCTTGCA CAGCTCCTTT CCATTAAAGA AGTCCTGCAG

401 CAGTTGTTGA ACCTTGGGAA TTCTGGTAGA ACCACCAACA AGGACAACAT

451 CATCAACACT TCTTTTGTCC ATTTTAGCAT CCCTCAAACA TTTCTCCACC

501 GGCTCCATAC ACTTCCTAAA GAGATCCATG TTCAGTTCCT CGAATCTGGC

551 ACGAGTAACA GTGGAGTAGA AATCAATTCC CTCATAGAGA GAATCAATTT

601 CAATGGTGGC CTGGGCAGTG GATGACAATG TTCTCTTGGC CCTCTCACAA

651 GCAGTCCTCA ACCTTCTAAG TGCTCTGGGG NTCCCACTTA TGTCCTTCTT

701 GGTCTTTCTC TNAACTCTTG AACAAAGTGG NTCACCATTC TGTTATCAAA

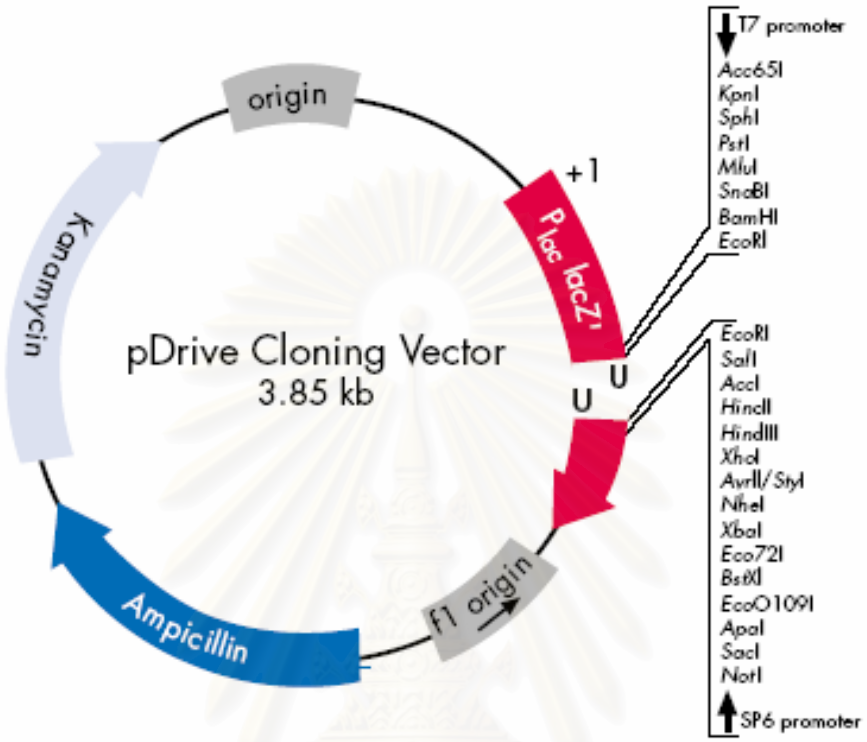
751 TCCTCACCTC CAAAAGGGGN GTCCCNGCTG TGGCTTCACC TCAAAANACC

801 CNCCNCATGG NTAGNAAGAA CNTCAAAGGC CCNCCCCCA GGNCAAAATC

851 NANCATTCCC CCCNCCNNN

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

pDrive cloning vector (QIAGEN, USA)



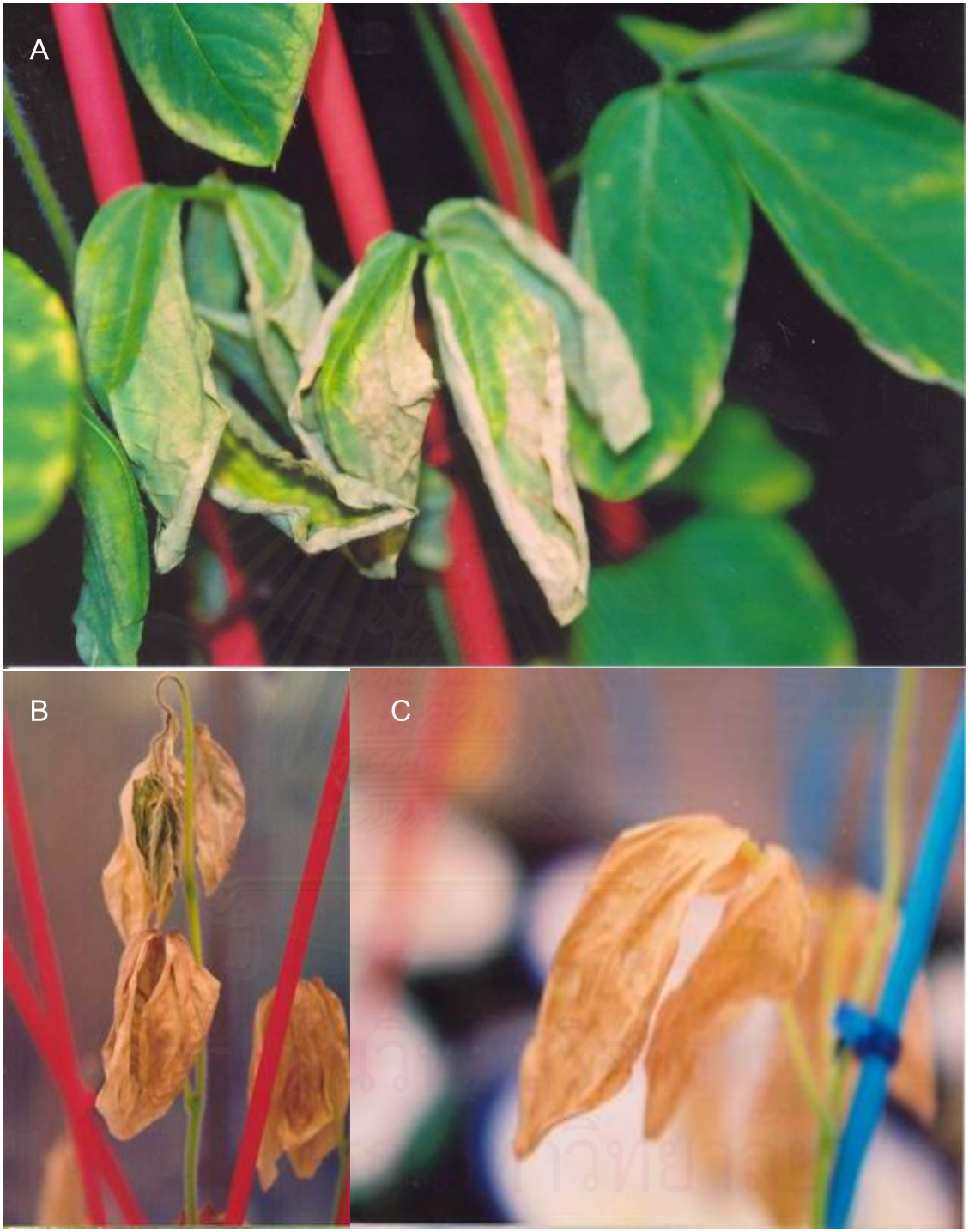
Positions of various elements	
Vector size (bp)	3851
Multiple cloning site	266–393
LacZ α-peptide	216–593
T7 RNA polymerase promoter	239–258
T7 transcription start	256
SP6 RNA polymerase promoter	398–417
SP6 transcription start	400
Ampicillin resistance gene	1175–2032
Kanamycin resistance gene	2181–2993
pUC origin	3668
Phage f1 origin	588–1043
Primer binding sites:*	
M13 forward (–20)	431–447
M13 forward (–40)	451–467
M13 reverse	209–224
T7 promoter primer	239–258
SP6 promoter primer	400–418

ภาคผนวก ง

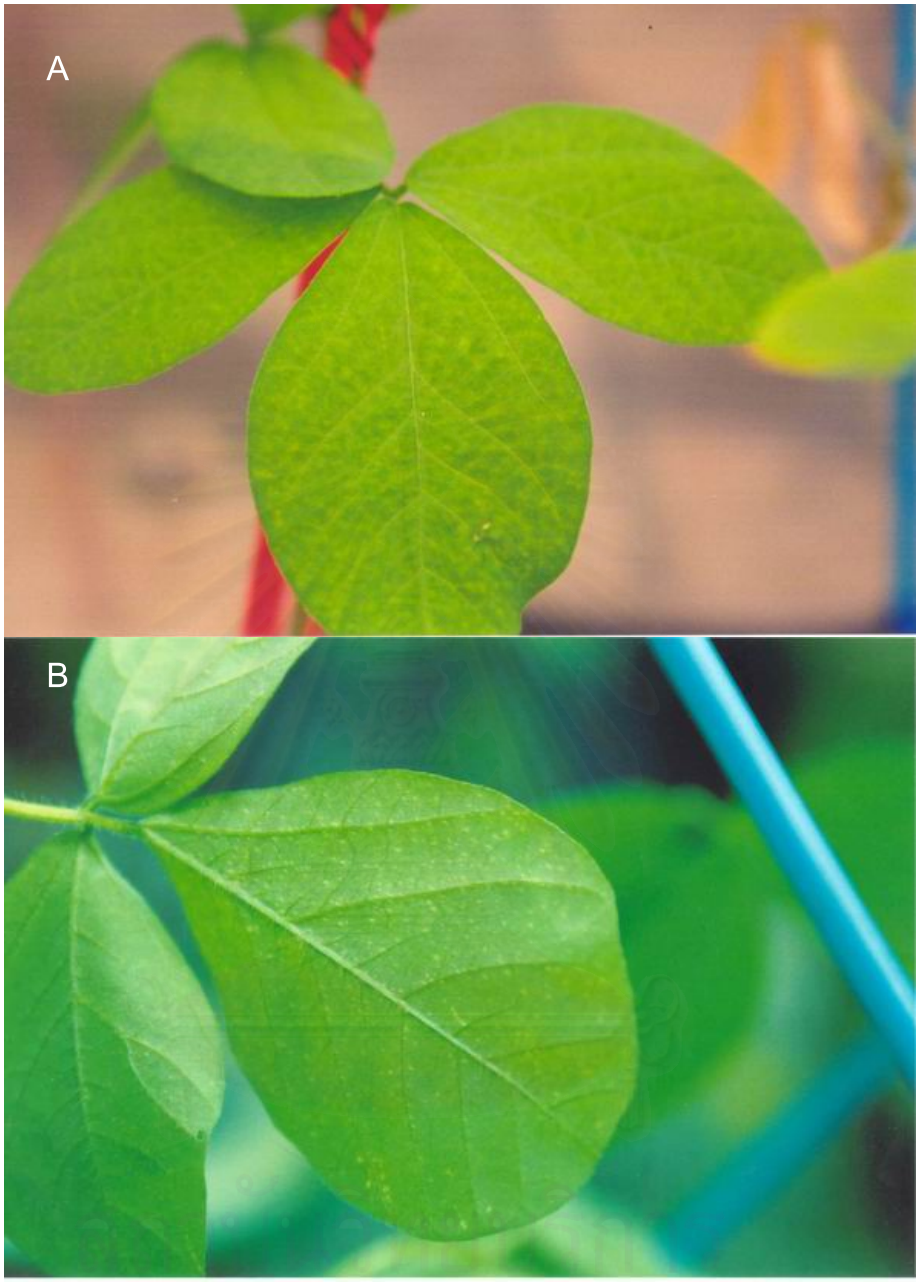
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ง - 1 ลักษณะของใบถั่วเหลืองที่แสดงอาการของใบม้วน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



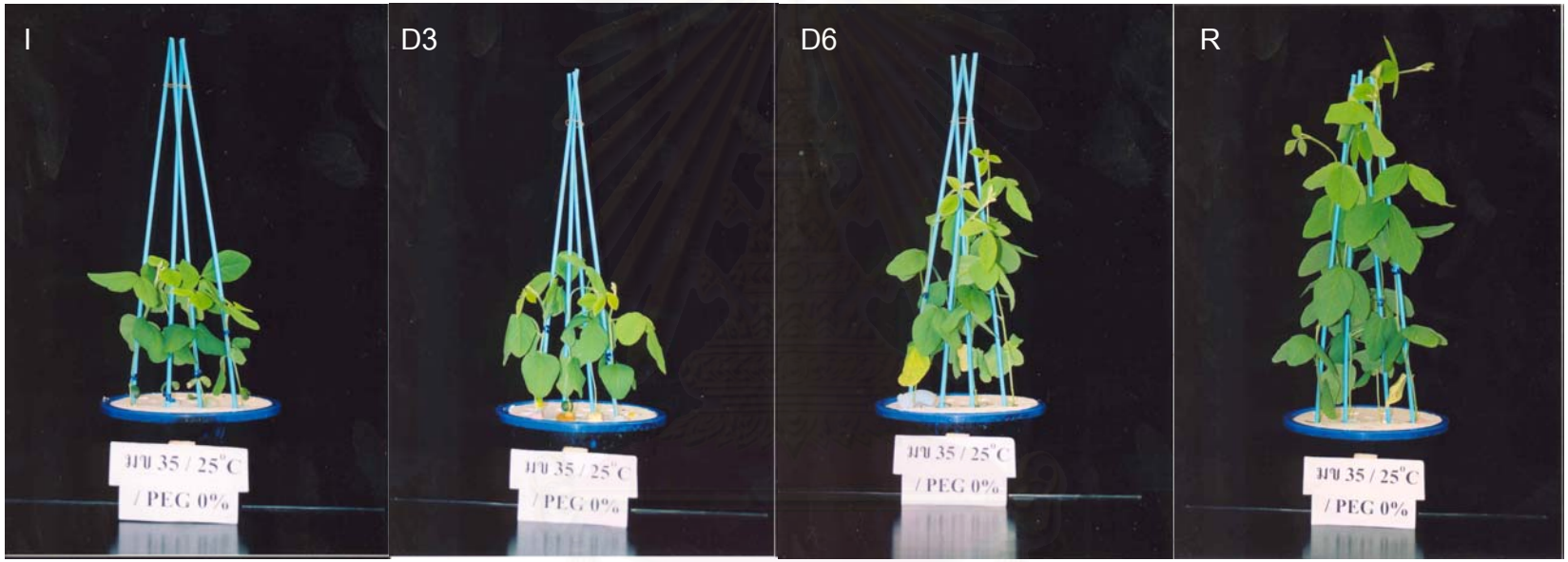
รูปที่ ง - 2 ลักษณะของใบถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนร่วมกับภาวะแล้งที่แสดงอาการใบแห้งร่วมกับขอบใบม้วน (A) และบางใบที่มีความรุนแรงมากจนมีอาการใบแห้งอย่างรุนแรง(B)และ(C)



รูป ง- 3 ลักษณะใบถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่แสดงอาการจุดสีเหลืองและขาวบนแผ่นใบทั้งด้านหน้า(A)และหลังใบ(B)

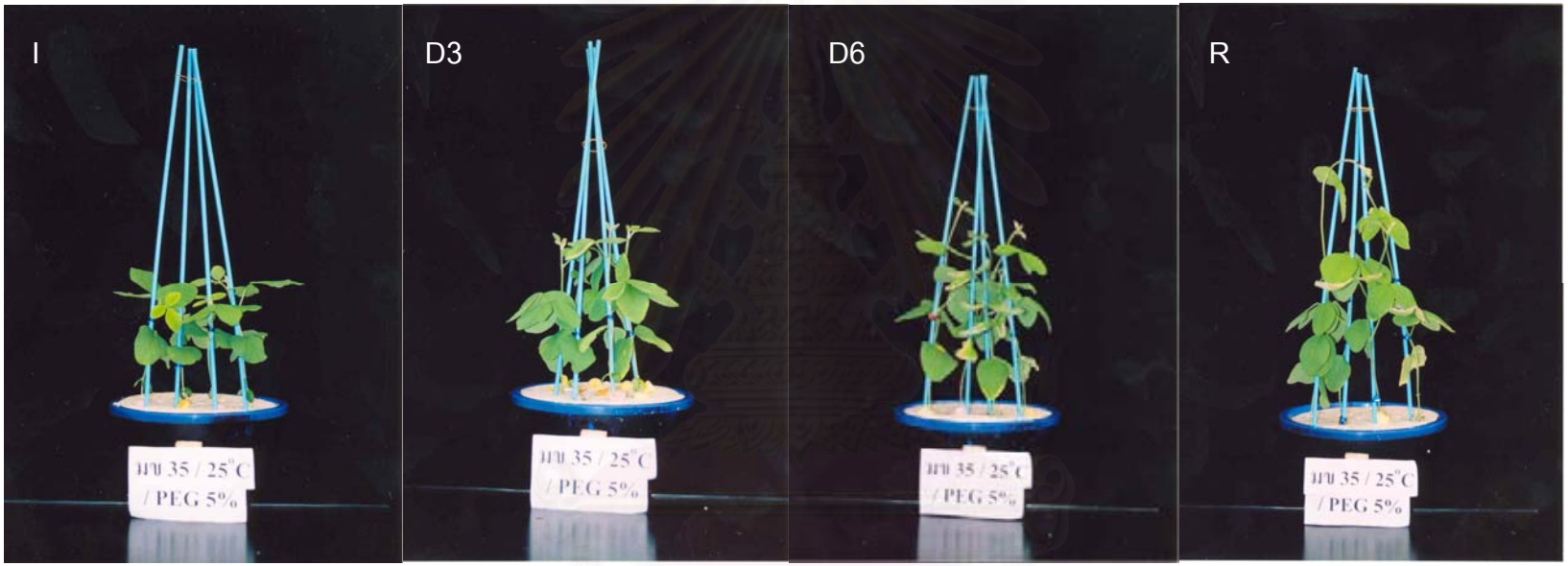
รูป ง - 4 ลักษณะใบถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะร้อนที่แสดงอาการจุดสีเหลืองและขาวและรุนแรงมากจนกลายเป็นจุดสีน้ำตาลบนแผ่นใบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



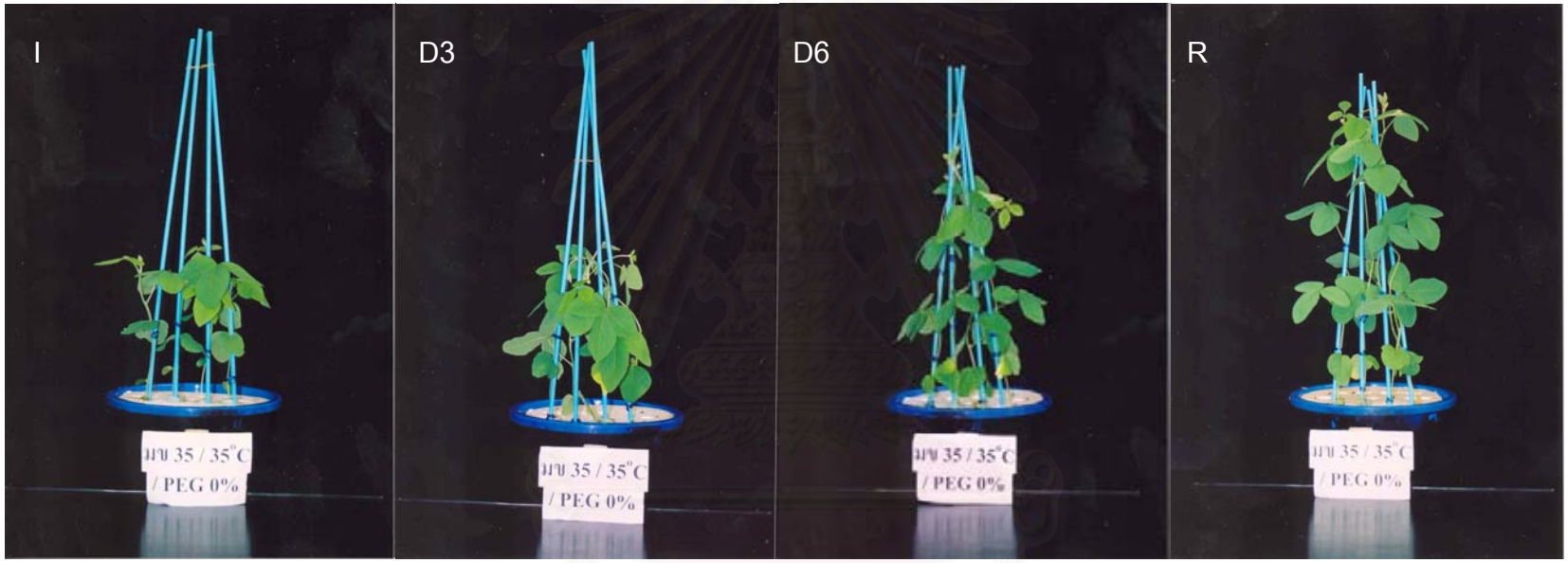
รูปที่ ง-5 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและ PEG 0 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม) ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



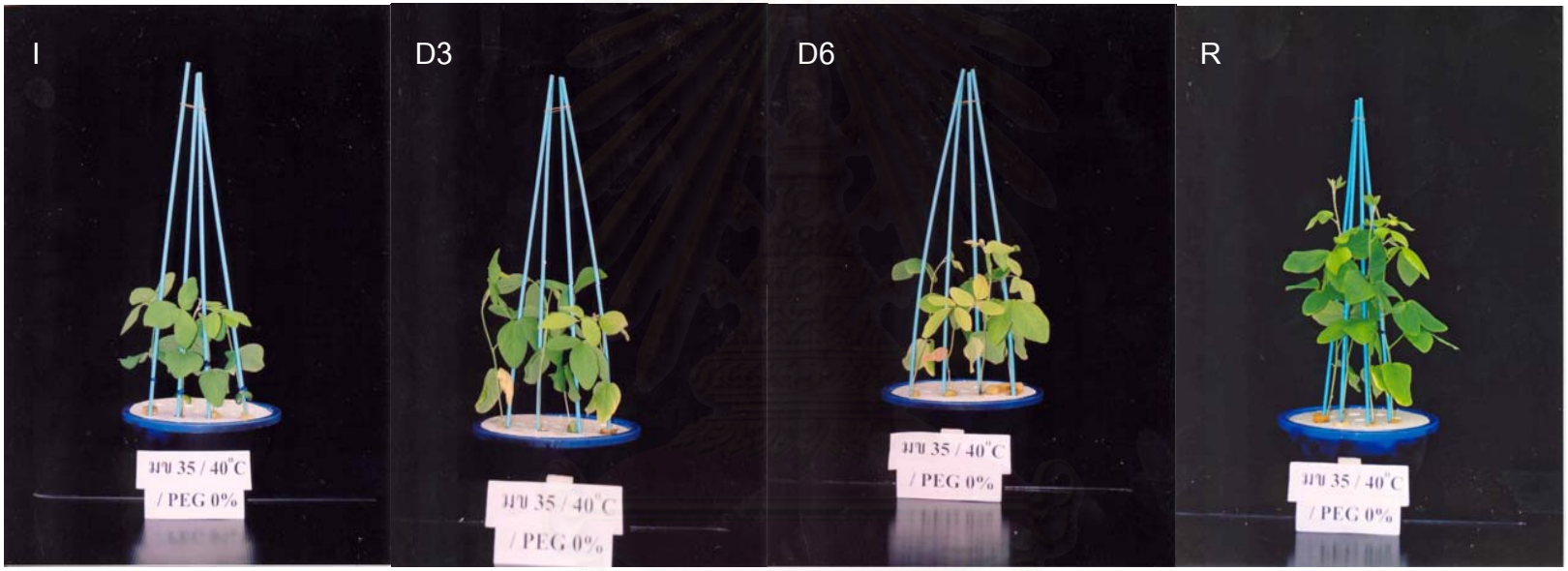
รูปที่ ง- 6 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม) ก่อนได้รับภาวะต่างๆ (I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



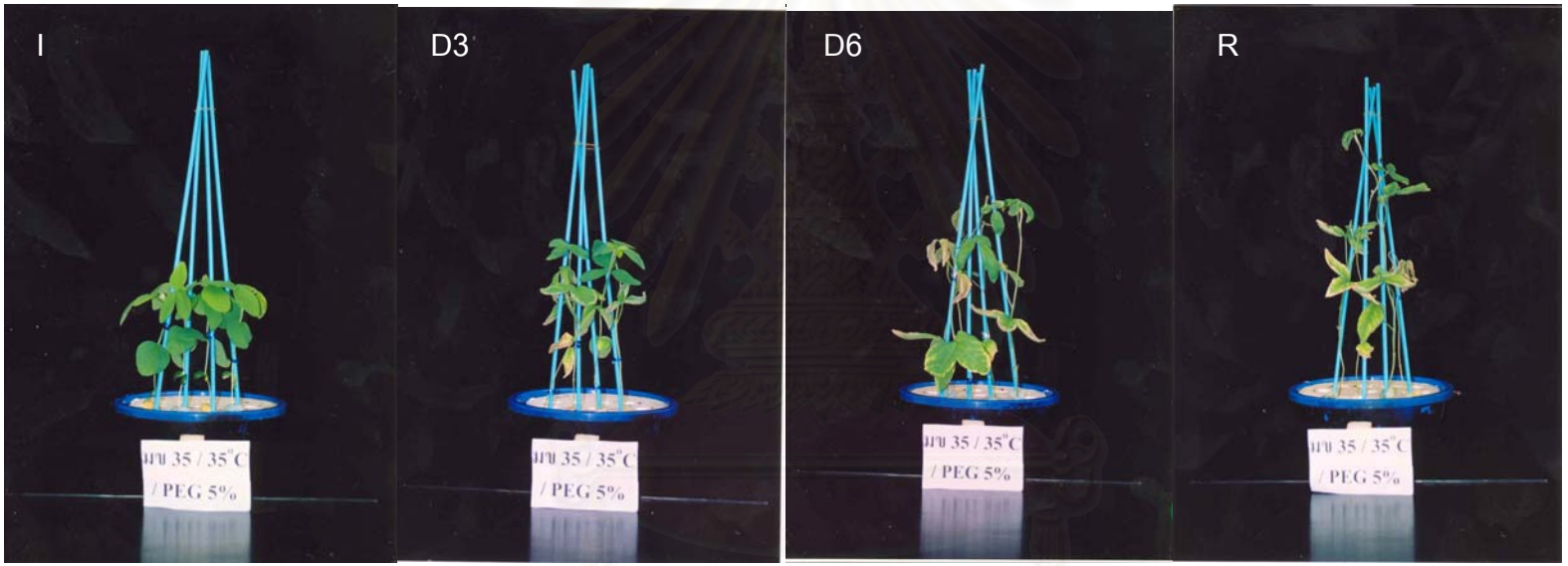
รูปที่ ง- 7 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและ PEG 0 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม) ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



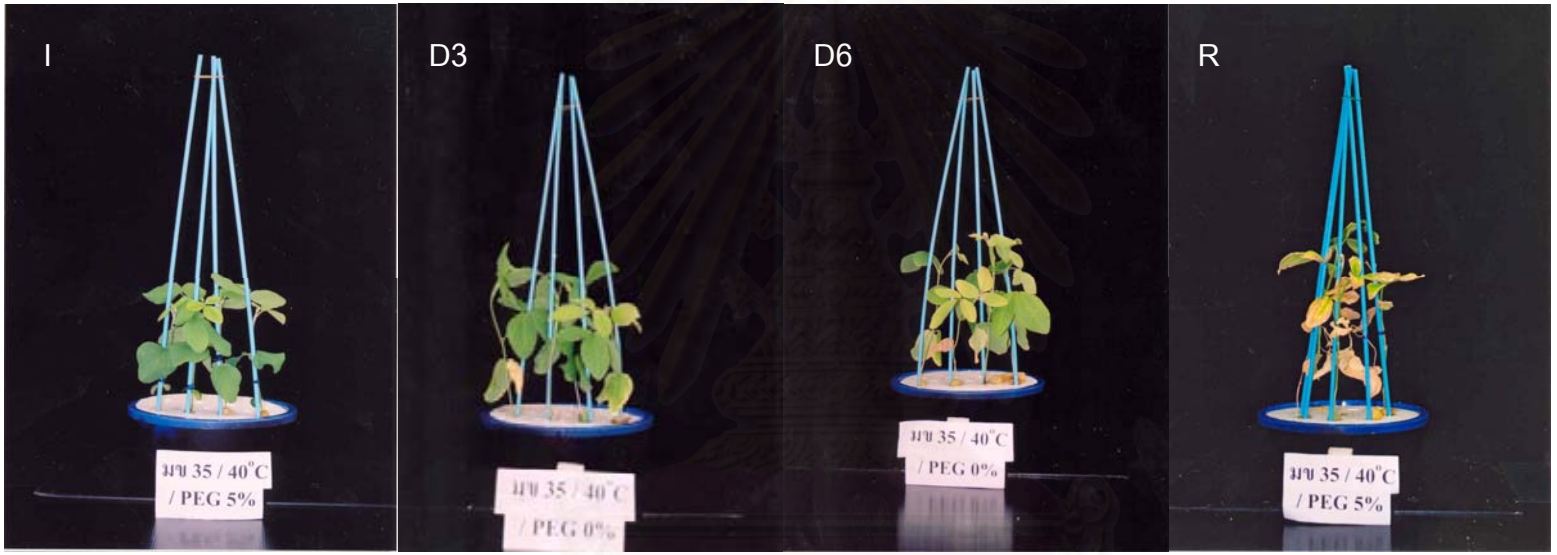
รูปที่ ง - 8 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและ PEG 0 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม) ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง - 9 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม) ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

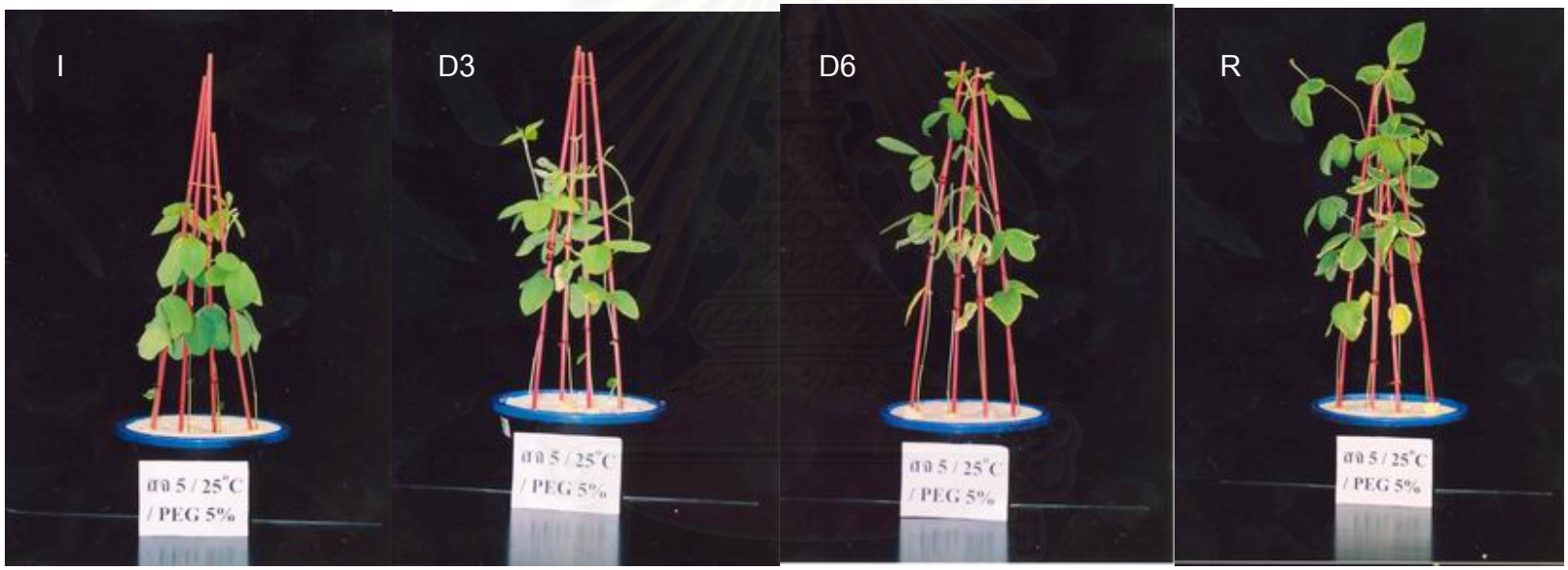


รูปที่ ง - 10 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม) ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ง - 11 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและ PEG 0 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม) ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง - 12 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ (ชุดควบคุม) ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

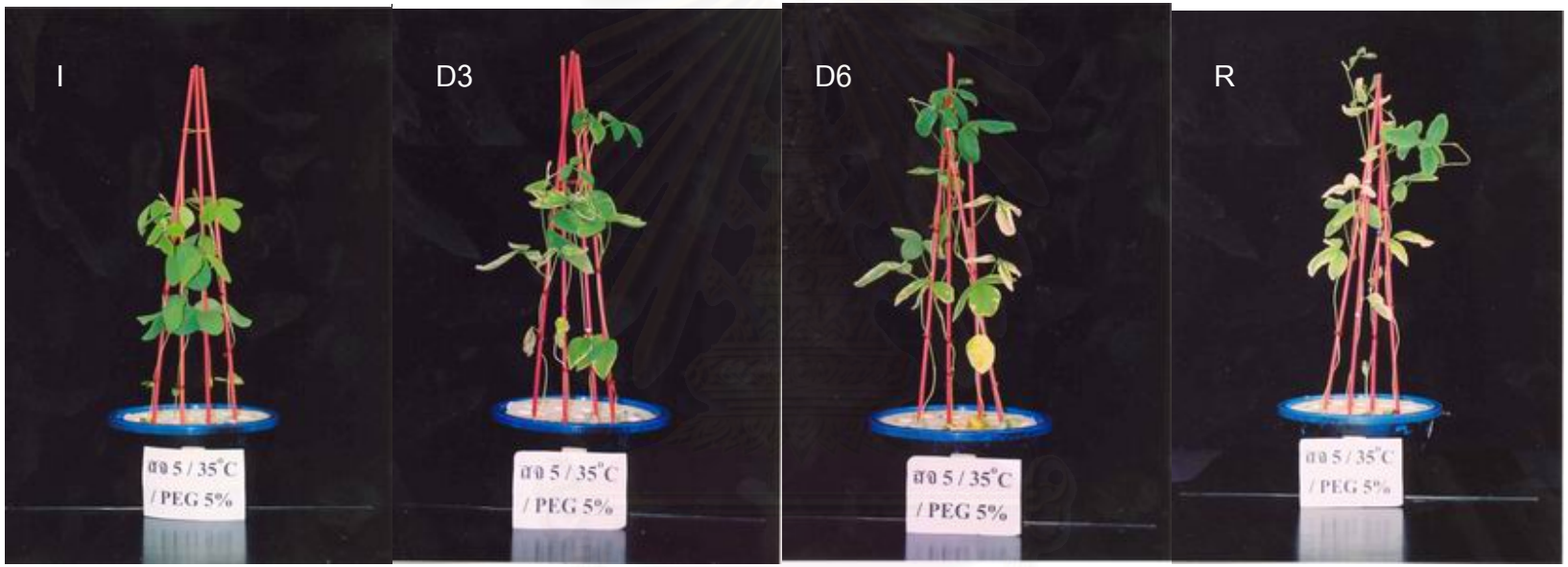
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ง - 13 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและ PEG 0 เปอร์เซ็นต์ ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน(D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

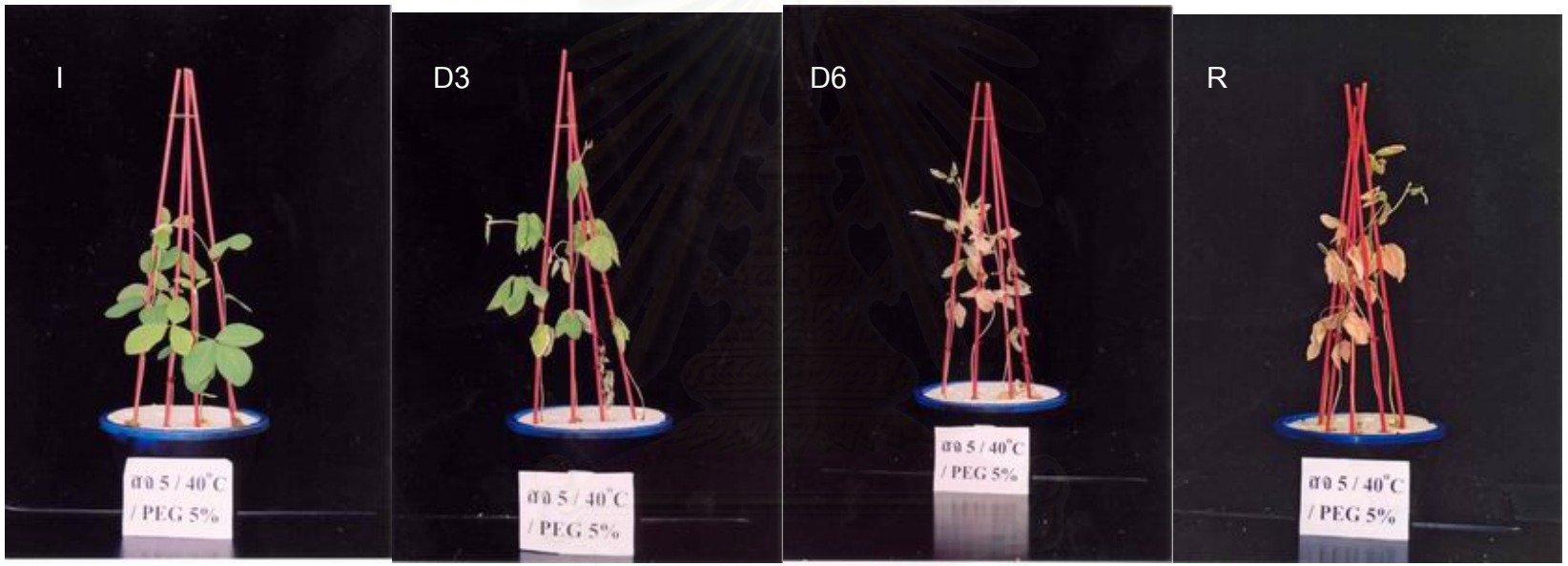
รูปที่ ง - 14 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและ PEG 0 เปอร์เซ็นต์ ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



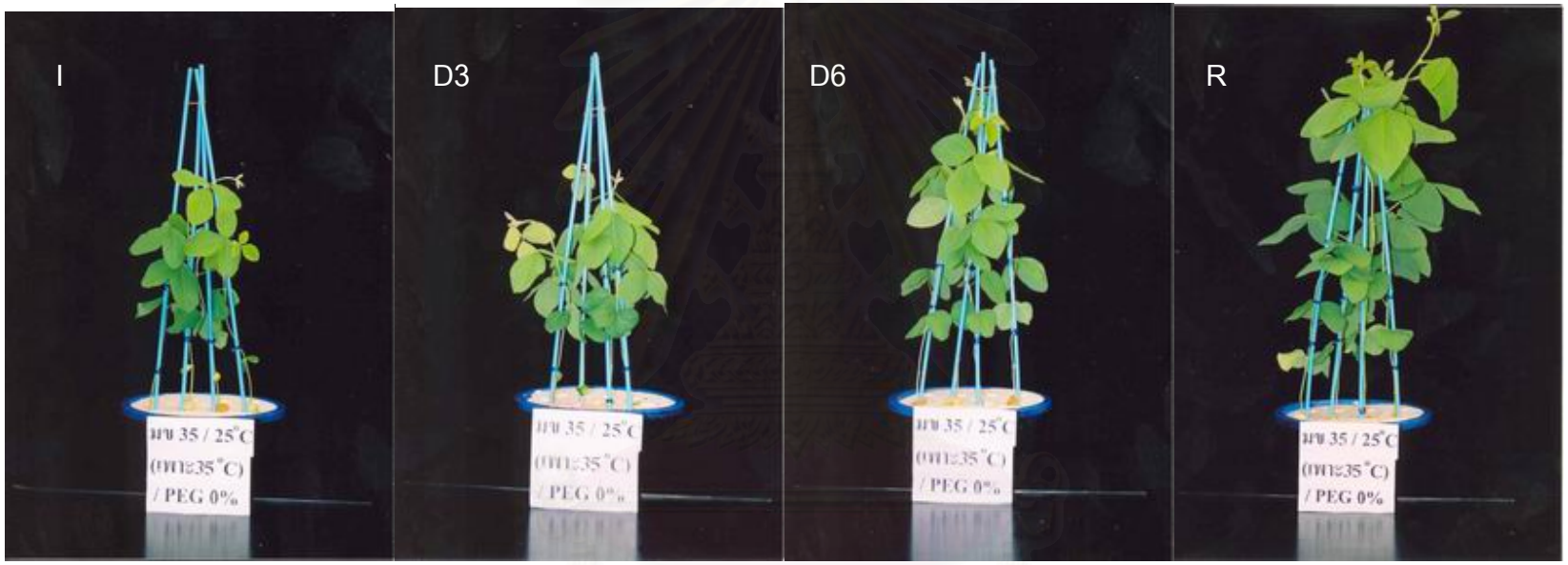
รูปที่ ง - 15 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง -16 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3) ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

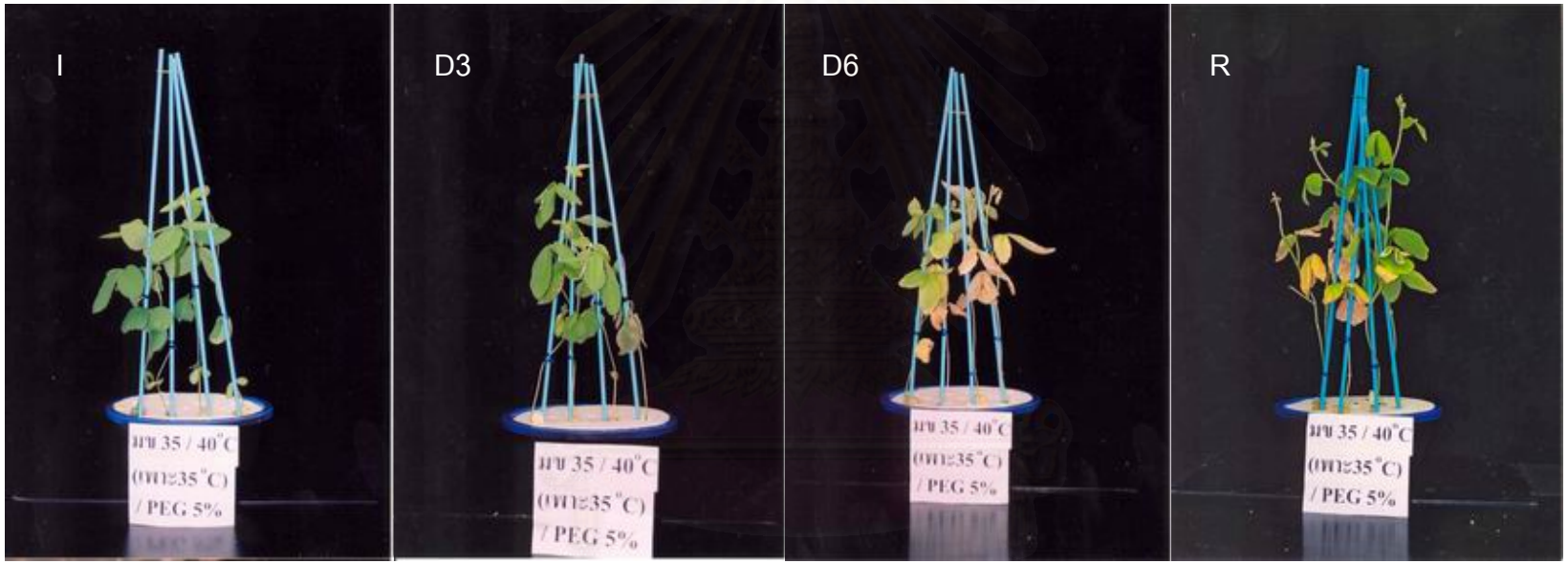


รูปที่ ง - 17 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูง ที่ได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3)ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

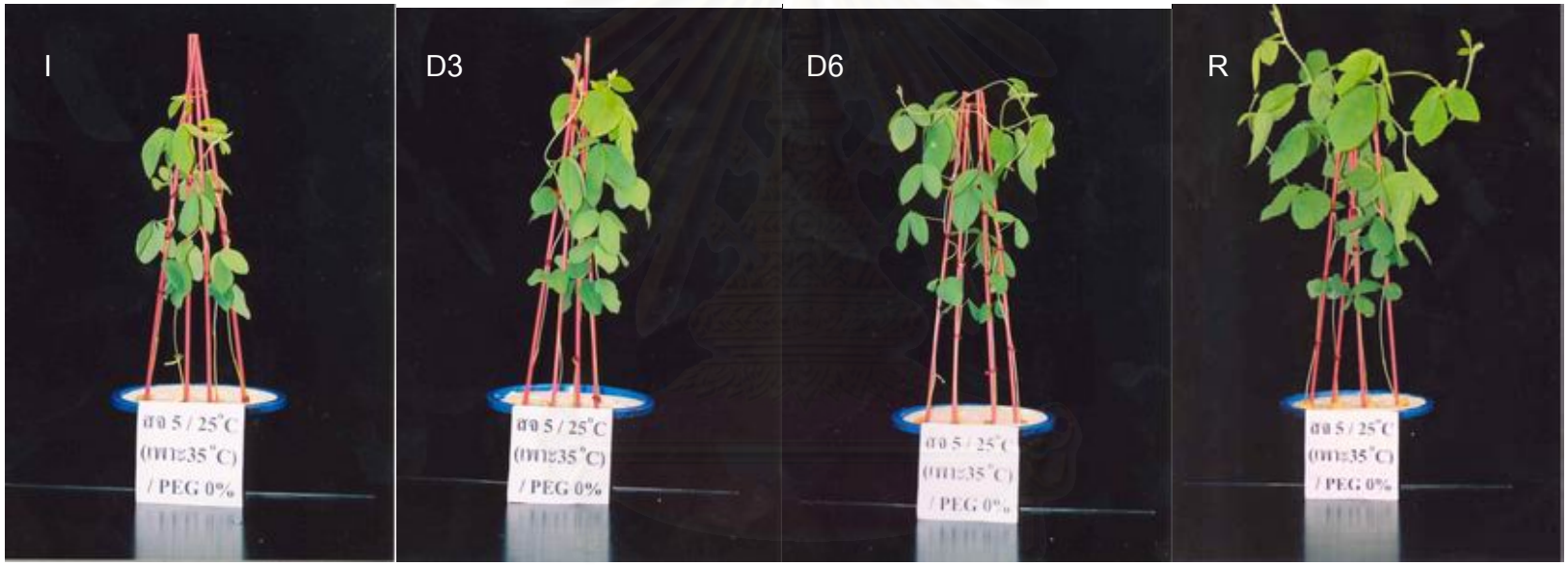
รูปที่ ง -18 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูง ที่ได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3)ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



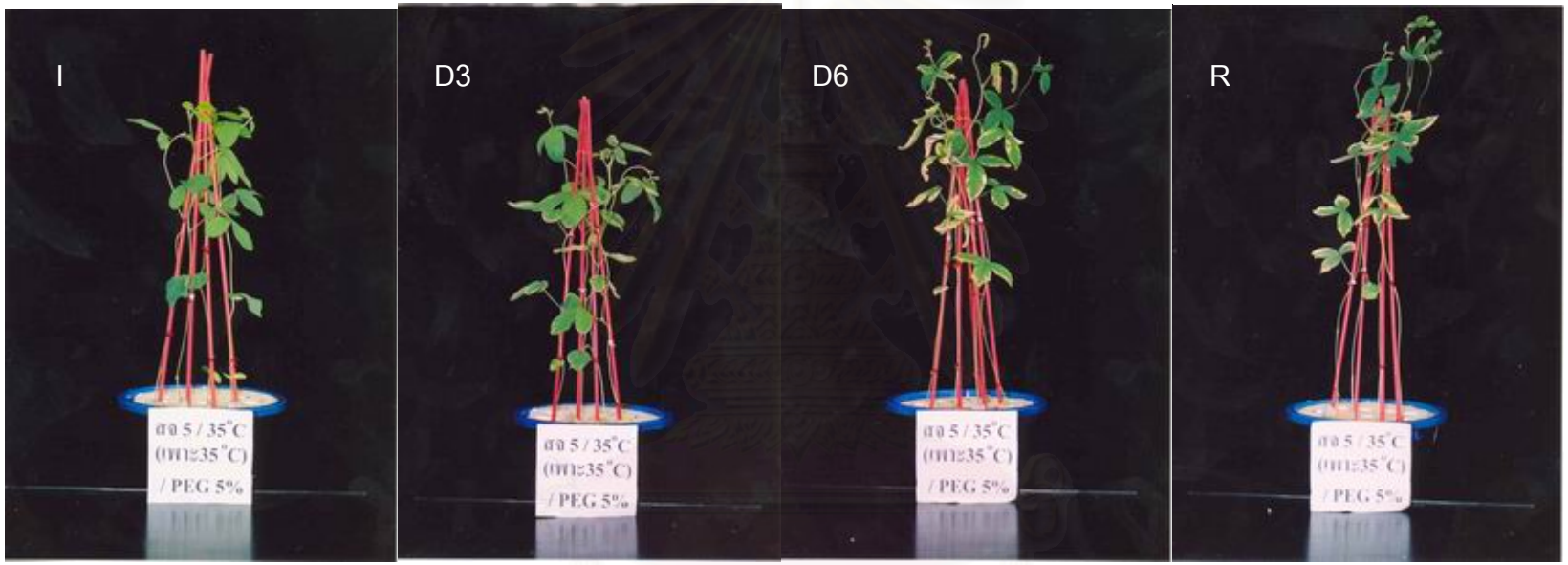
รูปที่ ง - 19 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูง ที่ได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3)ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง - 20 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูง ที่ได้รับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและ PEG 0 เปอร์เซ็นต์ ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3)ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง - 21 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูง ที่ได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3)ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ง - 22 ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิสูง ที่ได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและ PEG 5 เปอร์เซ็นต์ ก่อนได้รับภาวะต่างๆ(I) ได้รับภาวะต่างๆ 3 วัน (D3)ได้รับภาวะต่างๆ 6 วัน (D6) และหลังจากได้รับน้ำและอุณหภูมิปกติ(R)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณภัศศรณ์ ปัญญาสุข เกิดวันที่ 19 เมษายน พศ. 2522 ที่จังหวัดแพร่ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพิริยาลัยจังหวัดแพร่ จังหวัดแพร่ในปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา (เกียรตินิยมอันดับสอง)จากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2543 โดยได้รับทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ขณะกำลังศึกษาอยู่ในชั้นปีที่ 4 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544 โดยได้รับทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.)ในการสนับสนุนเงินทุนการศึกษาและวิจัยและทุนทบวงมหาวิทยาลัยในการสนับสนุนเงินทุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย