

รายงานผลการวิจัย

บทบาทของเอทิฟอน สภาพเครียดจากการขาดน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ต่อการ
เสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก

**Roles of ethephon, water stress and relative humidity on senescence of
sacred lotus flowers (*Nelumbo nicifera* Gaertn.)**

เสนอ



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

โดย



หลักสูตรเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว
คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ชื่อโครงการ	บทบาทของเอทิลฟอน สภาพเครียดจากการขาดน้ำและความชื้นสัมพันธ์ต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก
หัวหน้าโครงการ	ดร. มณฑนา บัวหนอง
ผู้ร่วมโครงการ	ผศ.ดร.เฉลิมชัย วงษ์อารี ดร. ชัยรัตน์ เตชะวุฒิพร
ปีงบประมาณ	2552

บทคัดย่อ

การศึกษารูปแบบของเอทิลฟอนต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก โดยการปักชำดอกบัวในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 °C, 70-80% RH ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน ตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่า เอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 500 ppm ชักนำให้ดอกบัวมีการผลิตเอทิลีน การร่วงไหลของประจุ และกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ CAT ในกลีบดอกเพิ่มขึ้นสูงกว่าดอกบัวหลวงที่ปักในน้ำกลั่น (Control) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ในชั่วโมงที่ 24 - 48 ของการปักแจกัน และยังสัมพันธ์กับการเปลี่ยนสีของกลีบดอก โดยกลีบดอกบัวมีสีดำเร็วขึ้นและหมดสภาพการยอมรับภายใน 24 ชั่วโมง ในขณะที่ดอกบัวหลวงปักในน้ำกลั่น (Control) มีการเปลี่ยนสีของกลีบดอกและหมดสภาพการยอมรับ ในวันที่ 3 ของการปักแจกัน และยังคงพบว่า ดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 200 ppm มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) โดยเฉพาะในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่ปักในน้ำกลั่น (Control) มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX และปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นสูงกว่าดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอน อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ในชั่วโมงที่ 48 - 72 อย่างไรก็ตาม อัตราการหายใจและปริมาณฟีนอลทั้งหมดในกลีบดอกไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง การศึกษารูปแบบของสภาพเครียดจากการขาดน้ำต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก โดยทำการปักชำดอกบัวในน้ำทันทีหลังการเก็บเกี่ยว (Control) และวางทิ้งไว้ให้ขาดน้ำนาน 3 และ 6 ชั่วโมง หลังจากนั้น ย่างมาปักในน้ำกลั่น ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 °C, 70-80% RH ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน ตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่า สภาพเครียดจากการขาดน้ำนาน 6 ชั่วโมง กระตุ้นให้ดอกบัวมีกิจกรรมเอนไซม์ SOD CAT และปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นสูงกว่าในดอกบัวที่ปักในน้ำกลั่น (Control) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) นอกจากนี้ สภาพเครียดจากการขาดน้ำ 3 ชั่วโมง กลับพบกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงที่สุดในชั่วโมงที่ 6 ของการปักแจกัน และสภาพเครียดจากการขาดน้ำยังเร่งให้กลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีดำเร็วกว่า Control อย่างไรก็ตาม อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน การร่วงไหลของประจุในกลีบดอก กิจกรรมของเอนไซม์ SOD และปริมาณฟีนอลทั้งหมดในกลีบดอกไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง การศึกษารูปแบบของความชื้นสัมพันธ์ต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก โดยทำการวางดอกบัวไว้โถแก้ว

ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70 ± 5 % (Control), 60 ± 5 % (ต่ำ) และ 80 ± 5 % (สูง) ณ ห้องควบคุม อุณหภูมิ 21 ± 2 °C ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน ตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่า สภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกระตุ้นดอกบัวมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX CAT และปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ดอกบัวที่วางภายใต้สภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 70 % (Control) กลับพบกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน การร่วงไหลของประจุในกลีบดอก การเปลี่ยนสีกลีบดอก กิจกรรมของเอนไซม์ SOD และปริมาณฟีนอลทั้งหมดในกลีบดอกไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุด การทดลอง

คำสำคัญ: การเสื่อมสภาพ, ความชื้นสัมพัทธ์, บัวหลวง, สภาพเครียดจากการขาดน้ำ, เอทิลีน

Title	Roles of ethylene, water stress and relative humidity on senescence of sacred lotus flowers (<i>Nelumbo nicifera</i> Gaertn.)
Project Leader	Dr. Mantana BUANONG
Co-Worker	Asso Prof. Dr. Chalermchai WONGS-AREE Dr. Chairat TECHAVUTTHIPORN
Fiscal Year	2009

Abstract

Roles of ethylene on senescence of sacred lotus flowers were investigated holding flowers in 0 (control), 200 and 500 ppm ethephon in an observation room (21 ± 2 °C, 70-80% RH, cool-white fluorescence lights for 12 h/d) throughout experimental period. The results showed flowers held in 500 ppm ethephon had significantly higher ethylene production, electrolyte leakage and activities of SOD and CAT enzymes ($P\leq 0.01$) than flowers held in distilled water (control) during 24-48 h of vase period. In addition, this was related to petal blackening which became blackening and unacceptable within 24 h, while the petal blackening of control flowers occurred and unacceptable in 3 d. Roles of water stress on senescence of sacred lotus flowers were investigated by placing flowers in tap water after harvest (control), placed horizontally to simulate water deficit stress for 3 and 6 h, then place in distilled water in an observation room (21 ± 2 °C, 70-80% RH, cool-white fluorescence lights for 12 h/d) throughout experimental period. It was found that treatment of 200 ppm ethephon induced the significantly higher POD enzyme activity than other treatments in h 48 of vase period while activities of LOX enzyme and MDA content in control flowers were significantly greater than flowers held in ethephon ($P\leq 0.01$). However, No significant differences were found in respiration rate, total phenolic content in all treatments. Additionally, a 6-h water stress stimulated the significantly higher activities of SOD, CAT enzymes and MDA content than flowers held in distilled water (control) ($P\leq 0.01$) while POD activity increased greatly in h 6. However, there was not significantly different in respiration rate, ethylene production, electrolyte leakage, SOD activity and total phenolic content in all treatments. Roles of relative humidity on senescence of sacred lotus flowers were investigated by placing flower in a chamber with 70 ± 5 % (control), 60 ± 5 % (low) and 80 ± 5 % (high) RH in an observation room (21 ± 2 °C, cool-white fluorescence lights for 12 h/d) throughout experimental period. It was revealed that LOX, CAT enzyme activities and MDA content of flowers placed in high RH increased significantly higher ($P\leq 0.01$) while POD

activity in the control flowers was more than other treatments. However, no significant differences were observed in respiration rate, ethylene production, electrolyte leakage, petal blackening, SOD activity and total phenolic content in all treatments.

Keywords: ethylene, relative humidity, sacred lotus flowers, senescence, water stress

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
- ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	
- วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	
- ขอบเขตของโครงการวิจัย	
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	3
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	10
- การเตรียมวัสดุทดลอง	10
- การวางแผนการทดลอง	10
- การบันทึกผลการทดลอง	11
- สถานที่ทำการทดลอง	14
บทที่ 4 ผลการทดลอง	15
4.1 บทบาทของเอทิลีนต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก	15
4.2 บทบาทของสภาพเครียดจากการขาดน้ำต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก	25
4.3 บทบาทของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก	35
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง	45
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	56
- ก. การวิเคราะห์ทางสถิติ	

รายการตารางประกอบ

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
<p>ก. 1 อัตราการหายใจของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	56
<p>ก. 2 อัตราการผลิตเอทิลีนของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	57
<p>ก. 3 การรั่วไหลของประจุดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	58
<p>ก. 4 คะแนนการเกิดสีน้ำตาลของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	59
<p>ก. 5 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipxygenase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	60
<p>ก. 6 ปริมาณ Malondialdehyde ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	61
<p>ก. 7 กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	62

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
ก. 8 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	63
ก. 9 กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	64
ก. 10 ปริมาณ Total Phenol ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	65
ก. 11 อัตราการหายใจของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	66
ก. 12 การผลิตเอทิลีนของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	67
ก. 13 การร่วงไหลของประจุของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	68
ก. 14 คะแนนการเกิดสีน้ำตาลของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	69
ก. 15 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxxygenase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	70

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
ก. 16 ปริมาณ Malondialdehyde ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	71
ก. 17 กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	72
ก. 18 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	73
ก. 19 กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	74
ก. 20 ปริมาณ Total Phenol ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	75
ก. 21 อัตราการหายใจของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	76
ก.22 การผลิตเอทิลีนของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	77
ก.23 การร่วงไหลของประจุของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	78

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
<p>ก.24 คะแนนการเกิดสีน้ำตาลของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	79
<p>ก.25 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxigenase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	80
<p>ก.26 ปริมาณ Malondialdehyde ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	81
<p>ก.27 กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	82
<p>ก.28 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	83
<p>ก.29 กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	84
<p>ก.30 ปริมาณ Total Phenol ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	85

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 บัวพันธุ์สัตตบงกช	4
2.2 บัวพันธุ์สัตตบุษย์	4
3.1 คะแนนการเกิดสีน้ำตาลที่กลีบดอกบัว	12
4.1 อัตราการหายใจดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	15
4.2 การผลิตเอทิลีนของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	16
4.3 การร่วงไหลของประจุของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	17
4.4 การเกิดสีดำของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน เส้นประหมายถึง ดอกบัวหลวงหมดสภาพการยอมรับ	18
4.5 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	19
4.6 ปริมาณของ Malondialdehyde ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	20

รูปที่	หน้า
4.7 กิจกรรมของ Superoxide dismutase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	21
4.8 กิจกรรมของ Catalase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	22
4.9 กิจกรรมของ Peroxidase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	23
4.10 ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	24
4.11 อัตราการหายใจของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	25
4.12 การผลิตเอทิลีนของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	26
4.13 การรั่วไหลของประจุของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	27
4.14 คะแนนการเกิดสีดำของกลีบดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน เส้นประหมายถึง ดอกบัวหลวงหมดสภาพการยอมรับ	28

รูปที่	หน้า
4.15 กิจกรรมของ Lipoxygenase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	29
4.16 ปริมาณของ Malondialdehyde ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	30
4.17 กิจกรรมของ Superoxide dismutase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	31
4.18 กิจกรรมของ Catalase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	32
4.19 กิจกรรมของ Peroxidase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	33
4.20 ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	34
4.21 อัตราการหายใจของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	35
4.22 การผลิตเอทิลีนของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	36

รูปที่	หน้า
<p>4.23 การร่วไหลของประจุของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	37
<p>4.24 คะแนนการเกิดสีด้าของกลีบดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน เส้นประ หมายถึง ดอกบัวหลวงหมดสภาพการยอมรับ</p>	38
<p>4.25 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	39
<p>4.26 ปริมาณของ Malondialdehyde ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	40
<p>4.27 กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide distumutase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	41
<p>4.28 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	42
<p>4.29 กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน</p>	43

รูปที่	หน้า
4.30 ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70±5 % RH (Control) 60±5 % RH (Low RH) และ 80±5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

บัวเป็นที่รู้จักมานานตั้งแต่สมัยพุทธกาล คนไทยมักจะนิยมใช้ดอกบัวถวายพระในวันพระ และช่วงเทศกาลที่สำคัญทางพุทธศาสนาทำให้ดอกบัวขายได้ทุกวัน ดอกบัวจึงถือว่าเป็นสินค้าหลักของวงการไม้ตัดดอก บัวหลวงนิยมใช้เป็นบัวตัดดอกและตลาดมีความต้องการตลอดปี สามารถส่งออกไปขายยังทั่วโลกได้ เช่น ออสเตรเลีย อเมริกาและญี่ปุ่น บัวหลวงจะเก็บเกี่ยวในระยะที่ดอกตูม โดยตัดให้มีก้านดอกยาว 40-50 ซม. อย่างไรก็ตาม ดอกบัวหลวงมีอายุการใช้งานสั้นเพียง 2-3 วัน กลีบดอกจะเหี่ยวและร่วงเร็ว และกลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีดำ (Jaree, 1976) สาเหตุของการเสื่อมสภาพนั้นอาจมาจากการขาดน้ำซึ่งสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และเอทิลีนที่ได้รับจากภายนอกหรือที่สร้างขึ้นภายในตัวดอกบัวเอง โดยในระหว่างการเสื่อมสภาพของกลีบดอก การเปลี่ยนแปลงไขมันบนเยื่อหุ้มดอกออกซิไดซ์มากขึ้นและสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ lipoxygenase และ Malondialdehyde (MDA) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการสลายกรดไขมัน การเสื่อมสภาพของกลีบดอกยังอาจส่งผลให้มีอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species; ROS) ในเซลล์มากขึ้นและเป็นสิ่งกระตุ้นให้เกิดการเสื่อมสภาพมากขึ้น โดย ROS ที่เกิดขึ้น ได้แก่ superoxide hydroxyl radical ดังนั้นพืชจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณของอนุมูลอิสระเพื่อไม่ให้มีปริมาณผิดปกติมากเกินไปจนก่อให้เกิดความเป็นพิษ โดยการใช้เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant enzyme) เช่น superoxide dismutase (SOD) ซึ่งเปลี่ยน superoxide ไปเป็น ออกซิเจนและ peroxide (H_2O_2) อย่างไรก็ตาม H_2O_2 ที่สร้างขึ้นอาจเปลี่ยนไปเป็น hydroxyl radical ซึ่งมีฤทธิ์ร้ายแรง พืชจึงต้องมีกลไกควบคุม H_2O_2 โดย catalase (CAT) ช่วยเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยน H_2O_2 ไปเป็นน้ำ นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ peroxidase ที่สามารถเปลี่ยน H_2O_2 ไปเป็นน้ำได้ เช่นเดียวกัน จึงเป็นไปได้ว่า เอทิลีน สภาพเครียดจากการขาดน้ำ และความชื้นสัมพัทธ์เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก โดยทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น ดังนั้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระและการกำจัดอนุมูลอิสระจึงเป็นตัวชี้วัดระดับการเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวงได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่กลไกและสาเหตุที่ทำให้ดอกบัวหลวงเสื่อมสภาพหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อพัฒนาวิธีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องเพื่อให้ดอกบัวหลวงมีอายุการใช้งานได้นานขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาบทบาทของเอทิลีนต่อการเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาบทบาทของสภาพเครียดจากการขาดน้ำต่อการเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาบทบาทของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อทราบถึงบทบาทของเอทิลีนต่อการเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวงโดยวิเคราะห์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด ROS และเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลทั้งหมด การร่วไหลของอ็อกซิเจน การผลิตเอทิลีน อัตราการหายใจ และอายุการปักแจกัน
- 1.3.2 เพื่อทราบถึงบทบาทของสภาพเครียดจากการขาดน้ำต่อการเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวงโดยวิเคราะห์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด ROS และเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลทั้งหมด การร่วไหลของอ็อกซิเจน การผลิตเอทิลีน อัตราการหายใจ และอายุการปักแจกัน
- 1.3.3 เพื่อทราบถึงบทบาทของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวงโดยวิเคราะห์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด ROS และเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลทั้งหมด การร่วไหลของอ็อกซิเจน การผลิตเอทิลีน อัตราการหายใจ และอายุการปักแจกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงผลของเอทิลีนต่อการเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวง
- 1.4.2 ทราบถึงผลของสภาพเครียดจากการขาดน้ำต่อการเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวง
- 1.4.3 ทราบถึงผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวง

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของบัวหลวง

บัวหลวง บัวก้านแข็ง หรือปทุมชาติ (LOTUS) จัดอยู่ในวงศ์ Nelumbonaceae มีสกุลเดียว คือ สกุล *Nelumbo* ซึ่งแยกออกเป็น 2 ชนิด คือ 1) *Nelumbo nucifera* Gaertn. มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย ดอกสีขาวและสีชมพู และ 2) *Nelumbo lutea* Pers. มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาเหนือ ดอกสีเหลือง ส่วนบัวหลวงที่พบทั่วไปในประเทศไทยมีเพียงชนิดเดียวคือ *Nelumbo nucifera* Gaertn. แต่มีหลายพันธุ์ แบ่งเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

- 1) บัวหลวงปทุม ดอกสีชมพูกลีบไม่ซ้อน เรียก ปทุม ปัทมา โภกกระณต
- 2) บัวหลวงสัตตบงกช ดอกสีชมพูกลีบซ้อน เรียก บัวสัตตบงกช บัวฉัตรชมพู
- 3) บัวหลวงปทุมทริก ดอกสีขาวกลีบไม่ซ้อน เรียก บุณฑริก ปุณฑริก
- 4) บัวหลวงสัตตบุษย์ ดอกสีขาวกลีบซ้อน เรียก บัวสัตตบุษย์ บัวฉัตรขาว

ลำต้นบัวมีทั้งที่เป็นเหง้าใต้ดิน และเป็นไหลเหนือดิน ใต้น้ำ ใบเดี่ยวแตกจากข้อของลำต้น ก้านใบกลมเรียวยาว แข็ง ส่งให้ใบเจริญที่ผิวน้ำหรือเหนือน้ำ แผ่นใบรูปร่างกลม ขอบใบเรียบและเป็นคลื่น ผิวน้ำเรียบ ก้านใบมีหนามเป็นตุ่มเล็ก ๆ ภายในก้านใบมีน้ำยางใส เมื่อถูกอากาศเป็นสีคล้ำ ดอกเดี่ยวมีกลิ่นหอมเกิดจากข้อของเหง้าใต้ดินตรงซอกใบ ก้านดอกมีลักษณะเหมือนก้านใบส่งดอก ขึ้นมาบานเหนือน้ำ ดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 4-5 กลีบ ขนาดเล็ก กลีบดอกจำนวนมากสีขาว สีชมพู เรียงซ้อนกันหลายชั้น (สมาคมพืชสวนแห่งประเทศไทย, 2550) การปลูกบัวหลวงเป็นไม้ตัดดอก ที่ใช้สำหรับจัดดอกไม้และบูชาพระ ในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงพันธุ์ทั้งดอกสีชมพูและดอกสีขาว คือ ดอกสีขาวจากบัวหลวงปทุม ซึ่งมีกลีบไม่ซ้อน ไปเป็นบัวหลวงสัตตบงกช ซึ่งมีกลีบดอกซ้อนมาก และดอกสีขาวจากบัวหลวงปทุมทริก (กลีบไม่ซ้อน) ไปเป็นบัวหลวงสัตตบุษย์ (กลีบดอกซ้อน) ความนิยมใช้บัวหลวงชนิดกลีบดอกซ้อน คงจะเนื่องจากมีความสวยงามและอยู่ทนนานกว่า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลของการกลายพันธุ์ในธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเกสรเพศผู้ (stamen) ไปเป็นกลีบดอก (petal) โดยมีขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องกันไป กล่าวคือ เกสรชั้นในสุดยังคงไม่เปลี่ยนแปลง มีก้านเกสร (filament) อับเรณู (anther) และรยางค์ (appendage) แต่ชั้นถัดออกไป เริ่มเป็นหมันเพราะอับเรณูลีบไป แต่ยังคงมีรยางค์ เรียกอวัยวะนี้ว่า เกสรเพศผู้เป็นหมัน (staminode) ในชั้นถัดออกไป มีการเปลี่ยนแปลงของเกสรเพศผู้ โดยที่ก้านเกสรเพศผู้เริ่มแผ่กว้างออก แต่ยังคงมีอับเรณูและรยางค์ เรียกอวัยวะนี้ว่า เกสรเพศผู้คล้ายกลีบดอก (petaloid stamen) ชั้นถัดออกไปอีก เปลี่ยนเป็นเกสรเพศผู้เป็นหมันคล้ายกลีบดอก (petaloid staminode) มีรูปร่างคล้ายกลีบดอก แต่ไม่มีอับเรณู ส่วนรยางค์เริ่มหดหายไป เกสรเพศผู้ชั้นนอกเปลี่ยนไปเป็นกลีบดอกอย่างสมบูรณ์ และไม่มียางค์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว มีผลให้รูปทรงของดอกเปลี่ยนไป กลีบดอกหนากว่า ดอกใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นที่นิยมกันมาก และการที่ไม่มีเรณูและไม่ติดเมล็ด ทำให้ดอกบานทนกว่า

1) พันธุ์สัตตบงกช

ดอกมีขนาดใหญ่ ดอกตูมเป็นรูปไข่ทรงป้อม สีชมพู ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง เป็นรูปรี มี 4-7 กลีบ กลีบเล็กเรียงซ้อนกันเป็นชั้น 2-3 ชั้น สีเขียวอมชมพู กลีบดอก สีชมพูตลอด ส่วนโคนกลีบดอก ที่ติดกับฐานรองดอก มีสีขาวอมเหลือง กลีบดอกมีประมาณ 12-16 กลีบ กลีบดอกชั้นนอกและชั้นใน มีขนาดเล็กกว่าชั้นกลาง เป็นรูปไข่ ที่ส่วนกว้างอยู่ด้านบน



รูปที่ 2.1 บัวพันธุ์สัตตบงกช

ที่มา: <http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=loyebook&month=20-12-2009&group=17&gblog=1>

2) พันธุ์สัตตบุษย์

ดอกมีขนาดใหญ่ ดอกตูมเป็นรูปไข่ทรงป้อม คล้ายบัวพันธุ์สัตตบงกช ดอกมีสีขาว ประกอบด้วยกลีบดอกสีเขียวอมขาว ส่วนกลีบชั้นในสีขาวตลอด มีรูปทรงและการเรียงตัวของกลีบดอกคล้ายบัวพันธุ์สัตตบงกช (สมาคมพืชสวนแห่งประเทศไทย, 2550)



รูปที่ 2.2 บัวพันธุ์สัตตบุษย์

ที่มา: http://cdn.gotoknow.org/assets/media/files/000/551/032/original_sirik79.jpg?1285778035

การเสื่อมคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวของบัวหลวง

บัวหลวงจะเก็บเกี่ยวในระยะที่ดอกตูม โดยตัดให้มีก้านดอกยาว 40-50 ซม. อย่างไรก็ตาม ดอกบัวหลวงมีอายุการใช้งานสั้นเพียง 2-3 วัน กลีบดอกจะเหี่ยวและร่วงเร็ว และกลีบดอก เปลี่ยนเป็นสีดำ การเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวงมีหลายสาเหตุ เช่น การขาดน้ำที่อาจเกิดจากท่อ ลำเลียงอุดตัน โดยในชั้น cortex ของก้านดอกบัวประกอบด้วย ชั้น sclerenchyma ที่มีท่อน้ำยางและ ท่ออากาศ (Jaree, 1976) ดังนั้นเมื่อเก็บเกี่ยวบัวโดยการหักก้านดอกด้วยมือ (Kaneungnit, 2001) อาจจะเป็นสาเหตุให้น้ำยางไหลออกมาอุดตันท่อลำเลียงก้านดอก และบาดแผลที่เกิดตรงปลายก้าน ดอกทำให้มีการหลั่งสาร suberin tannin และยางออกมา (Van Doorn และ Perik, 1990) โดยผู้ปลูก ใช้เวลาเก็บเกี่ยวบัว 2-3 ชั่วโมงเป็นผลให้เกิดการขาดน้ำ (Roongtiwa, 2001) ถ้าดอกไม้ไม่อยู่ในสภาพ ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ดอกไม้จะสูญเสียน้ำได้อย่างรวดเร็ว (นิธิยา และดนัย, 2537) นอกจากนั้น บาดแผลที่เกิดยังกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์เอทิลีน โดยเอทิลีนเป็นสาเหตุหนึ่งที่เร่งการ เสื่อมสภาพของดอกบัว สุจริต และคณะ (2006) พบว่าการใช้เอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 500 ppm ชักนำให้ดอกบัวเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Suisuwan และ Pichatyanon (2002) ที่พบว่าดอกบัวที่มีการผลิตเอทิลีนสูง จะปรากฏรอยดำที่กลีบดอกอย่างรวดเร็ว เอทิลีนจากภายนอก เป็นสาเหตุให้กลีบดอกคาร์เนชันเหี่ยวพับ และกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีน (Nichols, 1968) อีกทั้ง ยังชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพใน microsomal membrane lipid (Thompson และคณะ, 1982) การสังเคราะห์เอทิลีนและการเสื่อมสภาพของเมมเบรนยังเกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ (free radical) โดยการเปลี่ยนแปลง lipid ทำให้ membrane เสื่อมสภาพและ free radical ที่เกิดจาก กระบวนการ peroxidation กระตุ้นให้มีการสร้างเอทิลีนขึ้น (Paulin และคณะ, 1986)

อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (free radical) เป็นสารที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (unrepaired electron) อยู่ในวงนอก ของอะตอมหรือโมเลกุล ในวงจรดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจน จะมีอนุมูลอิสระของออกซิเจน เช่น hydroxyl radical (OH^\cdot) superoxide anion ($\text{O}_2^{\cdot-}$) hydroperoxyl radical (HOO^\cdot) และ alkoxyl radical (RO^\cdot) เป็นต้น ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ของเซลล์ เกิดขึ้นตลอดเวลา นอกจากนั้นปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ได้แก่รังสียูวี และโอโซนยังสามารถชักนำให้มีการก่อตัวของอนุมูลอิสระเหล่านี้เพิ่มขึ้นได้อีกด้วย อนุมูลอิสระส่วนใหญ่มีความไม่ คงตัว และไวต่อการทำปฏิกิริยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical) ซึ่งจัดเป็น สารออกซิไดซ์แรงสูง (reactive oxygen species; ROS) ที่มีความว่องไวสูงสุด (Halliwell, 1999) ภายใต้สภาวะปกติพืชชั้นสูงจะมีการผลิต ROS จากขบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ (Quartacci และ Navari-Izzo, 1992) แต่เมื่อได้รับความเครียด เช่น การขาดน้ำ (Quartacci และ Navari-Izzo, 1992) หรือการได้รับอุณหภูมิสูง (Sairam และคณะ, 2000) ทำให้มีการผลิต ROS เพิ่มขึ้นและเป็นสาเหตุ ให้พืชเกิดความเสียหายจากการออกซิเดชัน (Shigeoka และคณะ, 2002) ROS สามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น ๆ ได้ง่าย โดยเฉพาะ hydroxyl radical นั้นมีฤทธิ์รุนแรงมากทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับโมเลกุลอื่น ๆ ได้ทุกชนิด (unselective) ทำให้โมเลกุลของโปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิก

เสียหายได้ง่าย และส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์เยื่อหุ้มและสารพันธุกรรมต่าง ๆ ทำงานผิดปกติไป (จริงแท้, 2549) ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต จะพบอนุมูลอิสระของออกซิเจนชนิดต่าง ๆ เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา

อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (O_2^-)

เป็นอนุมูลอิสระที่พบได้ภายในเซลล์ทั่วไป ส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่งอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำภายในไมโทคอนเดรีย อนุมูลนี้จะไม่เข้าทำปฏิกิริยาทำลายเซลล์โดยตรงแต่เมื่อทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดยมี Fe^{2+} หรือ Cu^{2+} ช่วยเร่งในปฏิกิริยา Fenton จะได้เป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH\cdot$) ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความว่องไวสูง นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตยังสามารถสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จากซูเปอร์ออกไซด์ (O_2^-) ได้โดยตรงจากปฏิกิริยา dismutation ของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) (Akoh และ Min, 1998)

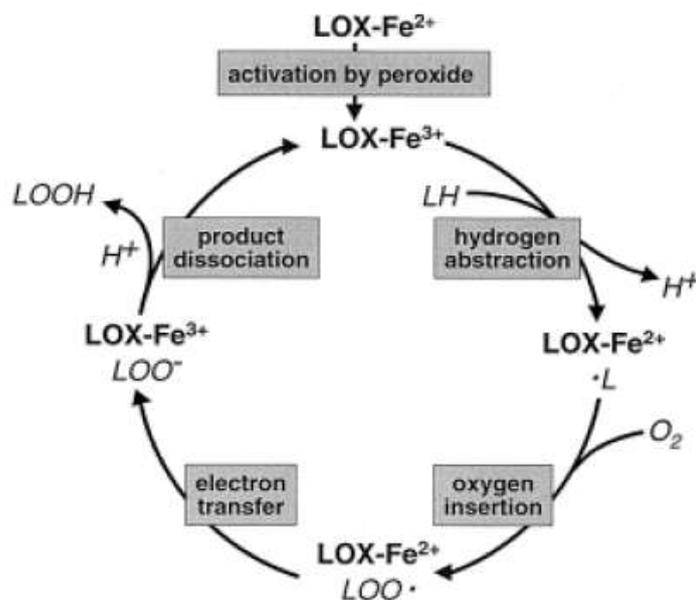
อนุมูลไฮดรอกซิล ($OH\cdot$)

จัดเป็นสารออกซิไดซ์แรงสูงที่มีความว่องไวสูง สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น ดังนั้น อนุมูลนี้จึงเป็นอันตรายต่อสารชีวโมเลกุลในสิ่งมีชีวิตมากกว่าอนุมูลชนิดอื่น ๆ (Halliwell, 1999) อนุมูลไฮดรอกซิลสร้างขึ้นจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่มีโลหะทรานสิชันอยู่ในระบบโดย Fe^{2+} จะทำลายพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างออกซิเจนของสารเปอร์ออกไซด์ได้เป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH\cdot$) และไฮดรอกไซด์ไอออน (hydroxide ion, OH^-)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง

โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบบนเยื่อหุ้มเซลล์ของพืชจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพเยื่อหุ้มเซลล์เมื่อดอกไม้เกิดการเสื่อมสภาพ ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์หลายอย่างลดลง นอกจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันบนเยื่อหุ้มระหว่างการเสื่อมสภาพของกลีบดอกแล้ว ยังพบว่าไขมันบนเยื่อหุ้มถูกออกซิไดส์มากขึ้น สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) (จริงแท้, 2549) เอนไซม์ LOX ทำหน้าที่ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่าหนึ่ง (polyunsaturated fatty acid, PUFA) โดยเฉพาะกรดไขมันพันธะคู่ cis-cis 1,4-pentadiene ได้แก่ กรด linoleic และกรด lenolenic ซึ่งพบมากในเยื่อหุ้มเซลล์ (Siedow, 1991) โมเลกุลของเอนไซม์นี้มีเหล็ก (Fe^{2+}) เป็นส่วนประกอบทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมันและเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมันเกิดเป็น cis-trans diene ซึ่งเป็น hydroperoxide ของกรดไขมันเป็นอนุมูลอิสระอย่างหนึ่งซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องโดยเอนไซม์ LOX เช่นเดียวกัน (Halliwell และคณะ, 1995; จริงแท้, 2549) โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการสลายกรดไขมันจะได้ malondialdehyde (MDA) (Scandalios, 1993; Hodges และคณะ, 1999) ดังนั้นการสูญเสีย membrane integrity ซึ่งทำให้มีการเพิ่มขึ้นของ membrane permeability จึงเป็นระยะสุดท้ายของการเสื่อมสภาพ (Marangoni และคณะ, 1996) โดยจะสัมพันธ์กันกับการเปลี่ยนแปลง lipid เนื่องจากกระบวนการ peroxidation (Paulin และคณะ, 1986) กระบวนการ peroxidation เกิดขึ้นจาก ROS และ Lipoxygenase (Paulin

และ Droillard, 1989; Marangoni และคณะ, 1996) ROS ไม่ถูกกำจัดออกจากเซลล์ทันที ROS จะเป็นสาเหตุให้เกิดการทำลายเซลล์ protein modification และ lipid peroxidase



รูปที่ 1 การทำงานของเอนไซม์ lipoxygenase ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน
ที่มา: O' Donnell และคณะ (1999)

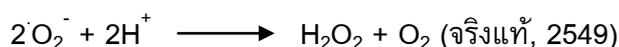
ดังนั้น การสะสม ROS อาจไปทำลายไขมัน (lipid) และสร้างสารพิษ เช่น Malondialdehyde (MDA) ROS จึงเป็นตัวบ่งชี้ระดับความเครียดที่เกิดจากการออกซิเดชัน (oxidative stress) ของพืชได้ (Scandalios, 1993; Hodges และคณะ, 1999)

ระบบต้านอนุมูลอิสระ

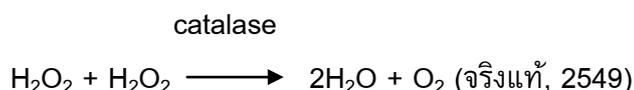
ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ต่างก็มีระบบที่เรียกว่า antioxidant defense system เพื่อขจัดอนุมูลอิสระของอนุมูลอิสระระบบทั้งสิ้น ระบบกำจัดอนุมูลอิสระดังกล่าวเกิดจากการทำงานของสารต่าง ๆ ที่รวมเรียกว่า สารต้านออกซิเดชัน (antioxidants) โดยสารเหล่านี้มีหน้าที่คอยควบคุมอนุมูลอิสระต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับพอเหมาะ แต่ถ้าเมื่อใดที่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นในปริมาณมากเกินไปที่ระบบป้องกันจะยับยั้งได้หมด จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า oxidative stress ขึ้นภายใต้สภาวะดังกล่าว อนุมูลอิสระที่หลงเหลืออยู่อาจนำไปสู่ความผิดปกติต่าง ๆ ดังนั้นพืชจึงมีกลไกที่จะลดผลของ ROS โดยเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant enzyme) (Asada, 1999) เอนไซม์หลักในระบบต้านอนุมูลอิสระประกอบด้วย superoxide dismutase (SOD) และ catalase (CAT)

superoxide dismutase (SOD)

เอนไซม์ SOD พบทั่วไปในทุก ๆ เซลล์ ในพืชพบว่ามีความมากถึง 2.5% ของโปรตีนพืชทั้งหมด จึงจัดว่าเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญมากชนิดหนึ่ง SOD เป็นเอนไซม์ที่หลักเป็นองค์ประกอบ พบได้ 3 รูป คือ Cu/Zn (Cu/Zn-SOD) Mn (Mn-SOD) และ Fe (Fe-SOD) (Mckersie และคณะ, 1993) เนื่องจาก superoxide และ ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ peroxidation ของ lipid bilayer เป็นพิษต่อเซลล์ พืชจึงจำเป็นต้องใช้ SOD ในระดับที่สูงอยู่ตลอดเวลา เพื่อที่จะป้องกันความเสียหายที่เกิดจากเมตาบอลิซึมต่าง ๆ โดย SOD เร่งปฏิกิริยา dismutation ซึ่งจะเปลี่ยน superoxide ไปเป็นออกซิเจนและ peroxidase (Scandalios, 1993) ดังสมการ



จึงอาจจะเป็นไปได้ว่าเมื่อเกิด oxidative stress มากขึ้นทำให้ SOD มีปริมาณสูงตาม เป็นผลทำให้มีการสังเคราะห์เอนไซม์ SOD ขึ้นมาใหม่เพื่อที่รักษาระดับ SOD ให้เพียงพอที่จะป้องกันความเสียหายในเซลล์พืช (Scandios, 1993) ในระหว่างการพัฒนาของดอกคาร์เนชั่น พบว่ามีปริมาณเอทีลินสูงเมื่อกระบวนการ peroxidation เริ่มขึ้น และกิจกรรมของ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) ลดลงในช่วงดอกเริ่มบาน (Sylvestre และคณะ, 1989; Droillard และคณะ, 1989) ส่วน hydrogen peroxide หรือ peroxide (H_2O_2) ไม่ใช่อนุมูลอิสระแต่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์และเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุมูลอิสระได้ง่าย (จริงแท้, 2541) อย่างไรก็ตาม H_2O_2 อาจเปลี่ยนไปเป็น hydroxyl radical ซึ่งมีฤทธิ์ร้ายแรง H_2O_2 ส่งเสริมให้เกิดการเสื่อมสภาพของ detached leaves (Begam และ Choudhuri, 1992; Mondal และ Choudhuri, 1981) พร้อมกับเพิ่มระดับ H_2O_2 ภายในเซลล์พืช (Mondal และ Choudhuri, 1981) ดังนั้นพืชจึงต้องมีกลไกในการควบคุมอนุมูลอิสระ ได้แก่ เอนไซม์ catalase โดย catalase ช่วยเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยน H_2O_2 (Burris, 1960) ไปเป็นน้ำ ตามสมการ



catalase (CAT)

catalase พบในเพอร์ออกซิโซมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งโดยปกติทำหน้าที่กำจัด $2\text{H}_2\text{O}_2$ ในสภาวะเครียดจากออกซิเดชันพบว่าเซลล์พืชมักสร้างเพอร์ออกซิโซมมากขึ้น catalase จึงน่าจะมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระภายในพืชภายใต้สภาวะเครียดจากสาเหตุต่าง ๆ (จริงแท้, 2549) peroxidase (POX) เป็นเอนไซม์ที่มีหน้าที่ทางชีวเคมีหลายอย่างในพืชชั้นสูงและเกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อความเครียด (Gaspar และคณะ, 1981) มีรายงานว่าแสงขาวเมื่อได้รับสภาพเครียดจะกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase หลังจาก 24 ชั่วโมงของการเก็บรักษา (Miller และ Kelley, 1989) โดยเอทีลินชักนำให้ peroxidase มีกิจกรรมเพิ่มขึ้น (Abeles และคณะ, 1990) นอกจากนี้ peroxidase ยังสามารถเปลี่ยน decomposition ของ H_2O_2 ได้แต่หน้าที่ของ peroxidase แตกต่างไปจาก catalase คือ peroxidase ปลดปล่อย free radical แทนที่ O_2 (Burris,

1960) โดย free radical เหล่านี้เป็นพิษแก่พืช การลดลงของ catalase และการเพิ่มขึ้นของ peroxidase ในแตง zucchini ที่เกิดสภาพเครียดจาก chilling injury ทำให้การกำจัด H_2O_2 ในเซลล์พืชได้ช้าลง (Wang, 1995) ดังนั้นการการชะลอกระบวนการ peroxidation จะทำให้ดอกไม้ไม่มีการเสื่อมสภาพช้าลง (Paulin และ Droillard, 1989) เป็นไปได้ว่าเอทิลีน สภาพเครียดจากการขาดน้ำ และความชื้นสัมพัทธ์อาจมีบทบาทในการเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวงหลังจากเก็บเกี่ยวโดยดูจากระดับกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด free radical และเอนไซม์ในระบบต้านอนุมูลอิสระ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมวัสดุทดลอง

ทำการเก็บเกี่ยวดอกบัวพันธุ์ สัตตบงกช จากสวนบัว อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐมขนส่งด้วยรถตู้ปรับอากาศมายังสายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จากนั้นตัดปลายก้านเฉียง 45 องศาใต้น้ำให้มีความยาวประมาณ 30 ซม. แล้วปักในถังที่บรรจุน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการทดลองต่าง ๆ

3.2 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ใช้ดอกบัว 10 ดอก/ชุดการทดลอง สำหรับบันทึกอายุการปักแจกัน และ 3 ดอก/ชุดการทดลอง สำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ

3.2.1 ศึกษาบทบาทของเอทิลีนต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก

ทำการคัดเลือกดอกบัวให้มีขนาดใกล้เคียงกัน แล้วนำดอกบัวมาปักในสารเคมีต่าง ๆ โดยแบ่งการทดลองดังนี้

วิธีการที่ 1 ดอกบัวปักในน้ำกลั่น (Control)

วิธีการที่ 2 ดอกบัวปักในสารละลายเอทิลเฟอน ความเข้มข้น 200 ppm

วิธีการที่ 3 ดอกบัวปักในสารละลายเอทิลเฟอน ความเข้มข้น 500 ppm

หลังจากนั้น วางดอกไม้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60-70% ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ นาน 12 ชั่วโมง/วัน ตลอดระยะเวลาการทดลอง

3.2.2 ศึกษาบทบาทของสภาพเครียดจากการขาดน้ำต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก

ทำการเก็บเกี่ยวดอกบัวจากสวน และคัดเลือกดอกบัวให้มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยแบ่งการทดลองดังนี้

วิธีการที่ 1 ดอกบัวปักในน้ำตลอดระยะเวลาการขนส่ง (Control)

วิธีการที่ 2 ดอกบัวขาดน้ำ 3 ซม. หลังจากเก็บเกี่ยวจากแปลงปลูก

วิธีการที่ 3 ดอกบัวขาดน้ำ 6 ซม. หลังจากเก็บเกี่ยวจากแปลงปลูก

หลังจากให้ดอกบัวขาดน้ำเป็นเวลา 3 และ 6 ชม. แล้วจึงนำมาปักในน้ำกลั่นในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60-70% ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ นาน 12 ชั่วโมง/วัน ตลอดระยะเวลาการทดลอง

3.3.3 ศึกษาบทบาทของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก

ทำการคัดเลือกดอกบัวให้มีขนาดใกล้เคียงกัน แล้วนำดอกบัวมาปักในน้ำกลั่น โดยแบ่งการทดลองดังนี้

วิธีการที่ 1 วางดอกบัวในในห้องทดลอง (Control)

วิธีการที่ 2 วางดอกบัวใน chamber ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 70 - 80 %

วิธีการที่ 3 วางดอกบัวใน chamber ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 80 - 90 %

วางดอกไม้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60-70% ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ นาน 12 ชั่วโมง/วัน ตลอดระยะเวลาการทดลอง

3.3 การบันทึกผลการทดลอง

3.3.1 อัตราการหายใจ

ทำการวัดอัตราการหายใจของดอกบัวโดยวัดการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำดอกบัวจำนวน 1 ดอก บรรจุลงในกล่องพลาสติกปริมาตร 5900 cm³ แล้วปิดฝาให้สนิทเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการสุ่มเก็บตัวอย่างก๊าซปริมาตร 1 ml ฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography (Shimadzu รุ่น GC-8A) ชนิด Thermal Conductivity Detector (TCD) และ คอลัมน์เป็นท่อเหล็กไร้สนิมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4 mm ยาว 1.5 m ภายในบรรจุด้วย Porapak Q 80-100 Mesh ค่าที่วัดได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ แล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณอัตราการหายใจ แสดงผลในหน่วย mlCO₂·kg⁻¹·h⁻¹ สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{CO}_2 \text{ Production} = \frac{A \times Y \times 10}{W \times T}$$

ปริมาตรภาชนะบรรจุ = V (ml)

น้ำหนักตัวอย่าง = W (g)

ปริมาตรช่องว่าง = V-W = Y

เวลาในการเก็บตัวอย่าง = T [time (min)/60]

CO₂ ที่ผลิตขึ้น = %CO₂ - 0.03 = A

3.3.2 การผลิตเอทิลีน

ทำการวัดอัตราการผลิตเอทิลีนโดยนำดอกบัวจำนวน 1 ดอก บรรจุลงในกล่องพลาสติก ปริมาตร 5900 cm³ แล้วปิดฝาให้สนิทเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการสุ่มเก็บตัวอย่างก๊าซ ปริมาตร 1 ml ฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography (Shimadzu รุ่น GC-14B) ติดตั้งด้วย Flame Ionization Detector (FID) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและใช้คอลัมน์เป็นท่อแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.2 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5 mm ยาว 2.1 m ภายในบรรจุ porapak Q mesh 80/100 อุณหภูมิคอลัมน์ 70 °C อุณหภูมิ injector และ detector เท่ากับ 100 °C โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็น carrier gas แสดงผลการวิเคราะห์โดยเครื่อง C-R7AC1 plus ค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็นหนึ่งต่อล้านส่วน (ppm) เทียบกับเอทิลีนมาตรฐาน แล้วนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องไปคำนวณค่าอัตราการผลิตเอทิลีน ซึ่งมีหน่วยเป็น $\mu\text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

3.3.3 การรั่วไหลของอิออน (Leakage of solutes) (ดัดแปลงจาก Knowles และคณะ, 2001)

นำตัวอย่างกลีบดอกบัวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm ปริมาณ 1 g ใส่ใน flask ที่มีน้ำกลั่น ปริมาตร 40 ml และวัดการรั่วไหลของอิออนด้วยเครื่อง conductometer (EC 215, Romania) ใน ชั่วโมงที่ 0 แล้วนำตัวอย่างไป autoclaved ที่อุณหภูมิ 121 °C ไว้เป็นเวลา 20 นาที ทิ้งไว้ให้ตัวอย่าง เย็นลง จากนั้นจึงวัดการรั่วไหลของอิออนอีกครั้ง แล้วนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องไปคำนวณค่าการ รั่วไหลของอิออนเป็น percent of total electrolyte

3.3.4 การเปลี่ยนสีของกลีบดอก

โดยพิจารณาเป็นคะแนนการเกิดสีน้ำตาลที่กลีบดอกบัว ดังรูป โดยคะแนนที่ 3 ให้ถือว่า ดอกบัว หลวงหมดสภาพการยอมรับ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 คะแนนการเกิดสีน้ำตาลที่กลีบดอกบัวพันธุ์สัตตบพูน

3.3.5 กิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ โดยบันทึกผลการทดลองในชั่วโมงที่ 0 6 12 24 48 และ 72 ของการปักแจกัน ดังนี้

3.3.5.1 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoyxygenase (LOX; Ridolfi และคณะ, 2002)

นำตัวอย่างกลีบดอกบัวมาชั่งน้ำหนัก 10 g บดให้ละเอียด จากนั้นเติม Tris-HCL buffer (100 mM, pH 8.0) แซ่เย็นปริมาตร 30 ml แล้วกรองด้วย miracloth จึงนำไป centrifuge ที่แรง

เหวี่ยง $2,700 \times g$ เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C หลังจากนั้น นำสารละลายส่วนใส (supernatant) ที่ได้ไปวิเคราะห์กิจกรรมของ LOX โดยทำปฏิกิริยากับ substrate

substrate เตรียมจาก linoleic acid ปริมาตร 157.2 μL ผสมกับ Tween 20 ปริมาตร 157.2 μL และน้ำ 10 ml หลังจากนั้นเติม NaOH ความเข้มข้น 20 mM ปริมาตร 50 ml แล้วทิ้งไว้ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25°C เพื่อให้ substrate มีความใส แล้วจึงเจือจางด้วย phosphate buffer (pH 7.0) ให้ได้ปริมาตร 200 ml

การวิเคราะห์หากิจกรรมของ LOX โดยนำสารละลายส่วนใสปริมาตร 0.3 ml ผสมกับ substrate ปริมาตร 2.7 ml แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 234 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Shimadzu, Japan) การเพิ่มขึ้นของการดูดกลืนแสงนั้นมาจากการเกิด hydroperoxidase จาก linoleic acid ในระหว่าง catalytic reaction ดังนั้น 1 activity unit (U) จะเท่ากับ 1 unit absorbance ที่ 234 nm/min ซึ่งมีหน่วยเป็น ($\text{U}\cdot\text{g FW}^{-1}$)

3.3.5.2 กิจกรรมของ Malondialdehyde (MDA; Heath และ Packer, 1968)

นำตัวอย่างกลีบดอกบัวมาชั่งน้ำหนัก 1 g บดให้ละเอียด จากนั้นเติม TCA ความเข้มข้น 20 % (W/V) ปริมาตร 5 ml ที่ผสมกับ 2-Thiobarbituric acid (TBA) 0.5 % แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Shimadzu, Japan) นำค่าที่อ่านได้มาคำนวณโดยใช้ the extinction coefficient ของ 155 mM cm^{-1} (Hodges และคณะ, 1999)

3.3.5.3 กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide Dismutase (SOD; Ukeda และคณะ, 1997)

นำตัวอย่างกลีบดอกบัวมาชั่งน้ำหนัก 10 g บดให้ละเอียด จากนั้นเติม Sodium phosphate buffer (50 mM, pH 7.0) แซ่เย็นปริมาตร 30 ml แล้วกรองด้วย miracloth จึงนำไป centrifuge ที่แรงเหวี่ยง $2,700 \times g$ เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C หลังจากนั้น นำสารละลายส่วนใส (supernatant) ที่ได้ไปวิเคราะห์กิจกรรมของ SOD

นำสารละลายส่วนใสปริมาตร 0.1 ml ผสมกับ sodium carbonate หรือ sodium phosphate ความเข้มข้น 50 mM ปริมาตร 2.4 ml และ xanthine ความเข้มข้น 3 mM ml EDTA 3 mM NBT ความเข้มข้น 0.75 mM BSA 15% ซึ่งแต่ละตัวมีปริมาตร 0.1 ml เปรียบเทียบกับน้ำ ปฏิกิริยาที่ได้เกิดจากการเติม xanthine oxidase โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Shimadzu, Japan) ที่อุณหภูมิ 25°C ซึ่ง 1 unit ของ SOD เกิดจากปริมาณเอนไซม์ที่ลดลง 50% ในปฏิกิริยาของ SOD-inhibited NBT

3.3.5.4 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase (CAT; Aebi, 1984)

นำตัวอย่างกลีบดอกบัวมาชั่งน้ำหนัก 10 g บดให้ละเอียด จากนั้นเติม Sodium phosphate buffer (50 mM, pH 7.0) แซ่เย็นปริมาตร 30 ml แล้วกรองด้วย miracloth จึงนำไป centrifuge ที่แรงเหวี่ยง $2,700 \times g$ เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C หลังจากนั้น นำสารละลายส่วนใส (supernatant) ที่ได้ไปวิเคราะห์กิจกรรมของ CAT โดยวิเคราะห์จากการสลายตัวของ H_2O_2

นำสารละลายส่วนใส ปริมาตร 0.2 ml หรือ double distilled water ปริมาตร 1 ml ผสมกับ sodium phosphate buffer ความเข้มข้น 50 mM (pH 7.0) ปฏิกริยาที่ได้ เกิดจากการเติม H_2O_2 ความเข้มข้น 100 mM ปริมาตร 0.1 ml โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย spectrophotometer (Shimadzu, Japan) ที่อุณหภูมิ 25 °C ซึ่ง 1 activity unit ของ CAT เกิดจากปริมาณเอนไซม์ที่ลดลง 0.1 unit absorbance ที่ 240 nm/min

3.3.5.5 กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase (POD; Jiang และคณะ, 1984)

นำตัวอย่างกลีบดอกบัวมาชั่งน้ำหนัก 10 g บดให้ละเอียด จากนั้นเติม Sodium phosphate buffer (50 mM, pH 7.0) แช่เย็นปริมาตร 30 ml แล้วกรองด้วย miracloth จึงนำไป centrifuge ที่แรงเหวี่ยง 2,700 x g เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C หลังจากนั้น นำสารละลายส่วนใส (supernatant) ที่ได้ไปวิเคราะห์กิจกรรมของ POD โดยปฏิบัติกริยาที่ได้ เกิดจากการเติมสารละลายส่วนใส ปริมาตร 0.02 ml sodium phosphate buffer (pH 7.0) ความเข้มข้น 50 mM และ guaiacol ความเข้มข้น 20 mM เข้าด้วยกันให้ได้ปริมาตร 3 ml แล้วใส่ substrate H_2O_2 ปริมาตร 20 μ l โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Shimadzu, Japan) ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 20 นาที ซึ่ง 1 activity unit ของ POD เกิดจากปริมาณเอนไซม์ที่ลดลง 0.01 unit absorbance ที่ 470 nm/min

3.3.6 ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic content) (Slinkard และ Singleton, 1977)

นำตัวอย่างกลีบดอกบัวผสมกับสารละลาย ethanol ความเข้มข้น 80 % ในอัตราส่วน 1:1 (W/V) บดให้ละเอียดแล้วนำไป centrifuge ที่แรงเหวี่ยง 12,000 x g เป็นเวลา 20 นาที นำสารละลายส่วนใส (supernatant) ปริมาตร 1 ml มาวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอล โดยทำให้เจือจางลง 10 เท่า แล้วเปิดสารตัวอย่างที่ทำการเจือจางนี้มา 1 ml ใส่ลงในหลอดทดลอง หลังจากนั้นเติมสารละลาย folin-ciocalteu (สารละลาย folin-ciocalteu ความเข้มข้น 2 normal เจือจางลง 10 เท่า ด้วยน้ำกลั่น) ปริมาตร 5 ml ผสมให้เข้ากันแล้วเติมสารละลาย sodium carbonate (ละลายสารละลาย sodium carbonate จำนวน 75 กรัมด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml) ปริมาตร 4 ml ผสมให้เข้ากันอีกครั้ง จากนั้นนำไปวางไว้ในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วย้ายไปแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 0 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (Shimadzu, Japan) ที่ความยาวคลื่น 760 nm นำค่าที่อ่านได้มาคำนวณกราฟมาตรฐานของ gallic acid ความเข้มข้น 20 40 60 80 และ 100 ppm

3.4 สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

สายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ

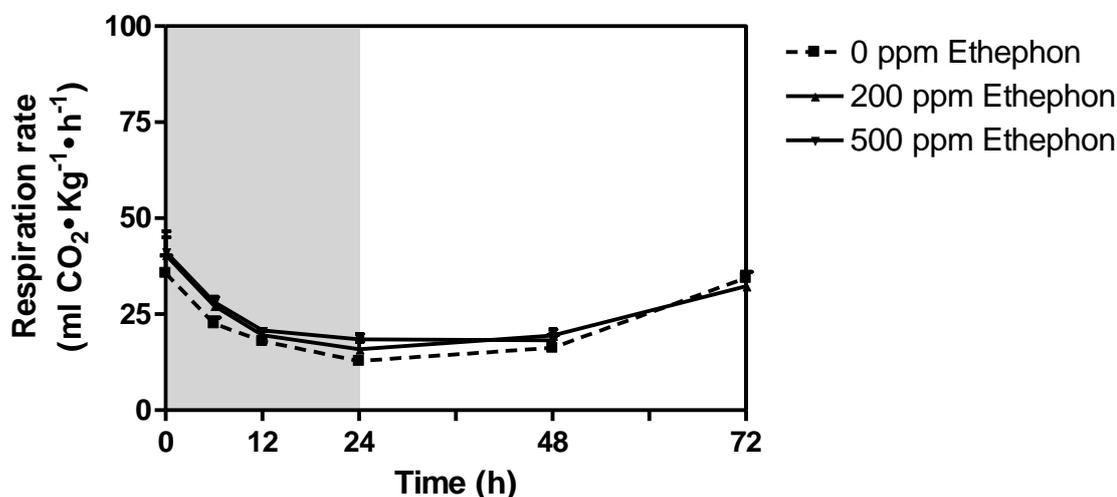
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 บทบาทของเอทิลฟอนต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก

4.1.1 อัตราการหายใจ

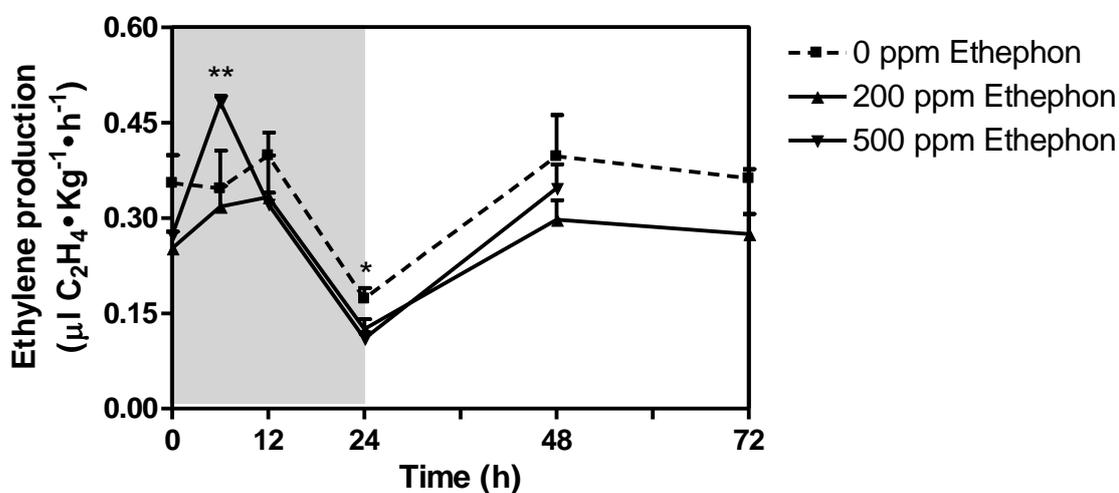
อัตราการหายใจของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง $10 - 50 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ และพบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องไปในทิศทางเดียวกันจากชั่วโมงที่ 0 - 24 ของการปักแจกัน แล้วเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกวิธีการทดลอง (ตารางที่ ก1) (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 อัตราการหายใจดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.1.2 การผลิตเอทิลีน

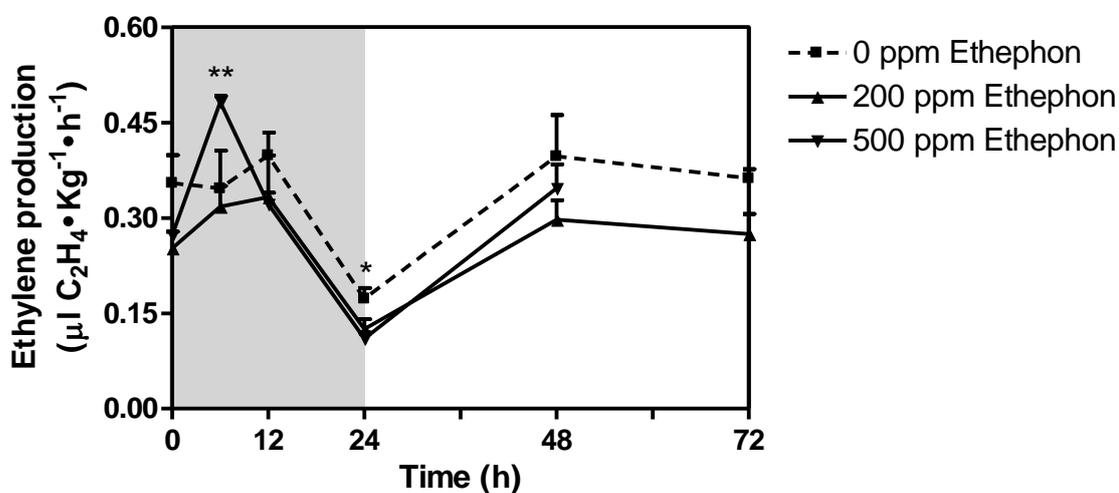
การผลิตเอทิลีนของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง $10 - 50 \mu\text{l}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ โดยระดับความเข้มข้นของเอทิลีนมีผลต่อการผลิตเอทิลีน และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ ก2) พบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปทิศทางเดียวกันในช่วงเวลาที่ 6 - 12 ของการปักแจกัน โดยดอกบัวที่แช่ในสารละลายเอทิลีน ความเข้มข้น 500 ppm มีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นสูงสุด เท่ากับ $0.48 \mu\text{l C}_2\text{H}_4\cdot\text{Kg FW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ โดยพบหลังจากนั้นจึงลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่ 24 แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งตลอดระยะเวลาการปักแจกัน อย่างไรก็ตาม ดอกบัวหลวงที่แช่ในน้ำกลั่น (Control) มีการผลิตเอทิลีนสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ในช่วงเวลาที่ 12 - 72 ของการปักแจกัน (รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 การผลิตเอทิลีนของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลีนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.1.3 การร่วงไหลของประจุ

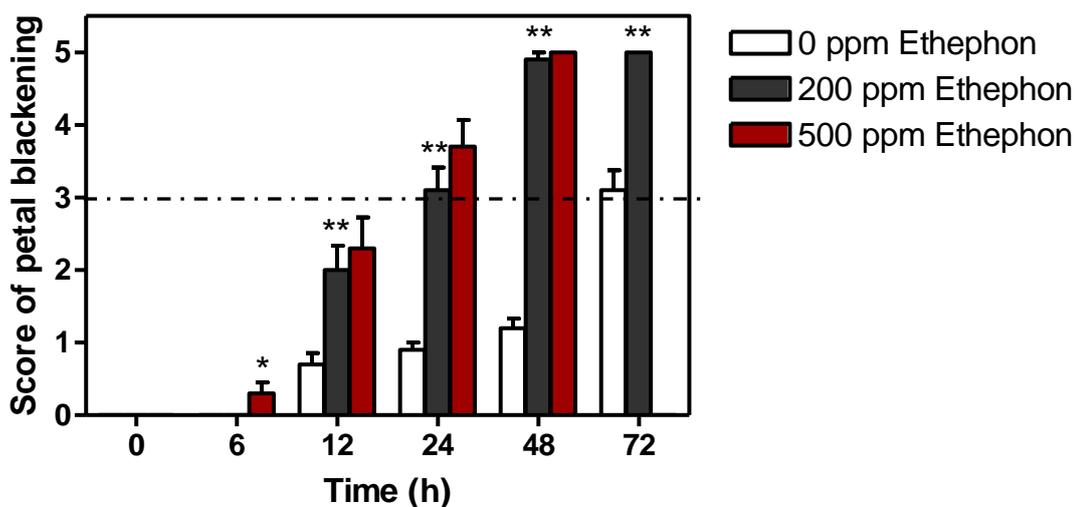
การร่วงไหลของประจุของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 3-12 % โดยระดับความเข้มข้นของสารละลายเอทิลฟอนมีผลต่อการร่วงไหลของประจุของดอกบัวหลวงและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก3) พบว่า การร่วงไหลของประจุของดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิลฟอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่ 12 - 48 ของการปักแจกัน โดยดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 ppm มีค่าการร่วงไหลของประจุเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในช่วงเวลาที่ 24 ของการปักแจกัน เท่ากับ 10.4 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่แช่ในน้ำกลั่น (Control) มีค่าการร่วงไหลของประจุต่ำที่สุดและมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน (รูปที่ 4.3)



รูปที่ 4.3 การร่วงไหลของประจุของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.1.4 คะแนนการเกิดสีดำของกลีบดอก

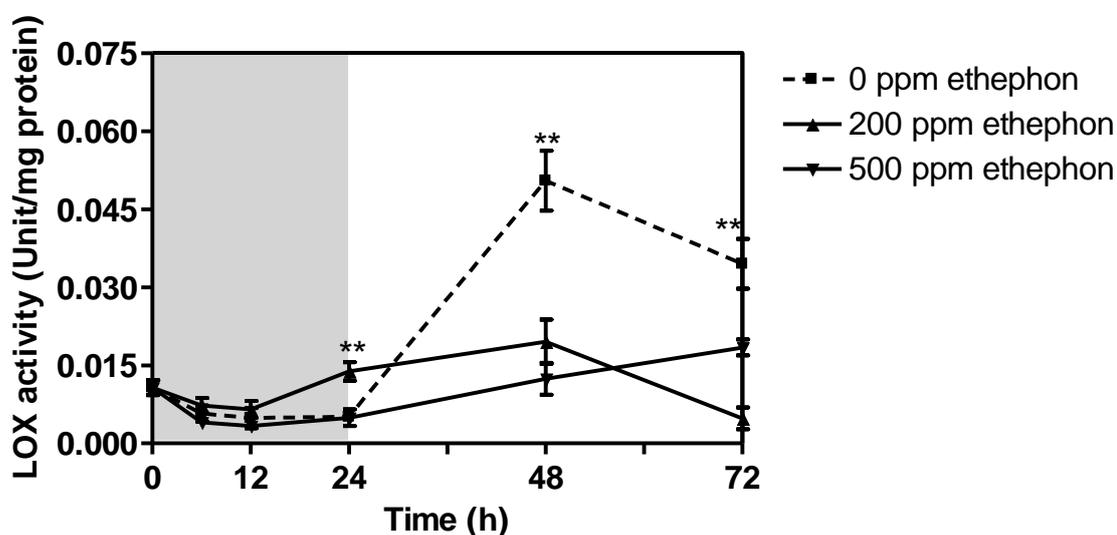
คะแนนการเกิดสีดำของกลีบดอกในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการปักแจกันนานขึ้น โดยระดับความเข้มข้นของสารละลายเอทิลฟอนมีผลต่อการเกิดสีดำของกลีบดอกบัวหลวงและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก4) พบว่า ดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิลฟอนความเข้มข้น 500 ppm มีคะแนนการเกิดสีดำของกลีบดอกสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการปักแจกัน และมีอายุการปักแจกันเพียง 1 วัน เท่านั้น ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่แช่ในน้ำกลั่น (Control) มีคะแนนการเกิดสีดำของกลีบดอกต่ำที่สุด โดยมีอายุการปักแจกัน 3 วัน (รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.4 การเกิดสีดำของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน เส้นประ หมายถึง ดอกบัวหลวงหมดสภาพการยอมรับ

4.1.5 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX)

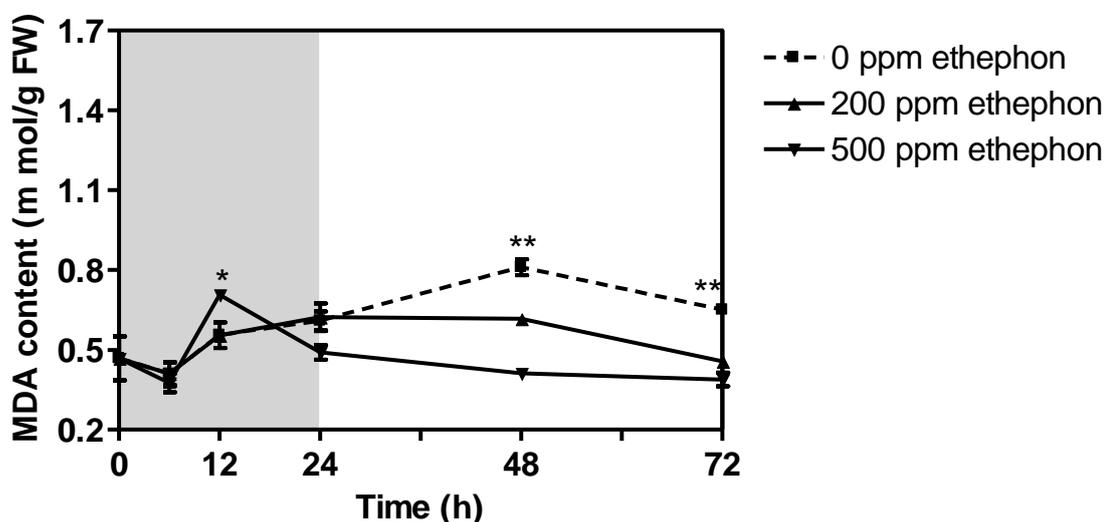
กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0 – 60 unit/mg protein โดยระดับความเข้มข้นของสารละลายเอทิฟอนมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ LOX และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก5) พบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ LOX ก่อนข้างคงที่ในชั่วโมงที่ 0 - 24 ของการปักแจกัน หลังจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน โดยดอกบัวหลวงที่แช่ในน้ำกลั่น (Control) มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นสูงที่สุด เท่ากับ 0.05 unit/mg protein เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ แล้วจึงลดลงอีกครั้งหลังจากนั้น ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิฟอนมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ก่อนข้างต่ำตลอดระยะเวลาการปักแจกัน (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.1.6 ปริมาณ Malondialdehyde (MDA)

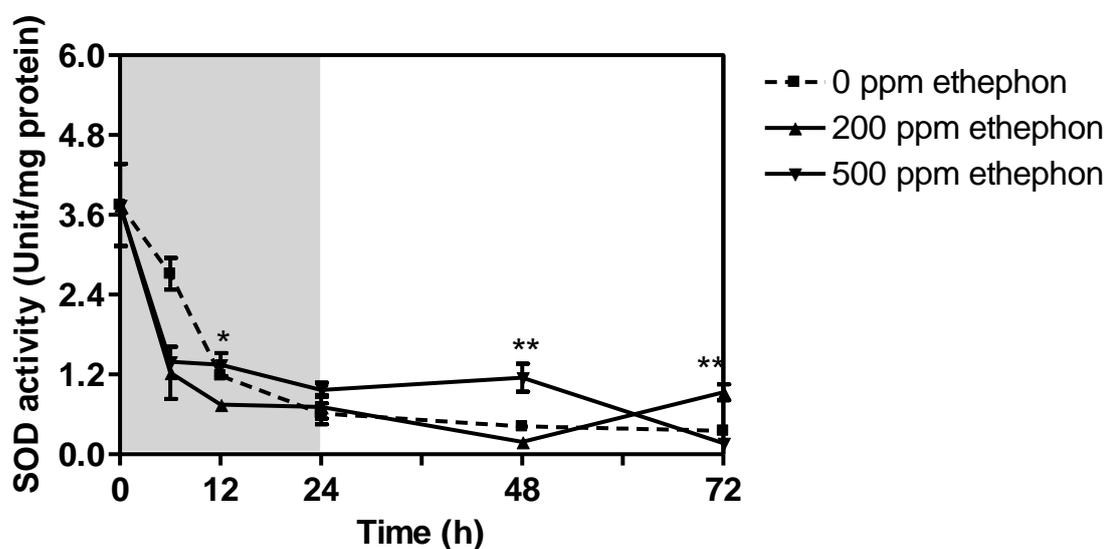
ปริมาณ MDA ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0.2 – 0.8 m mol/g FW โดยระดับความเข้มข้นของสารละลายเอทิลฟอนมีผลต่อปริมาณของ MDA และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 6) พบว่า ดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 ppm มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นสูงสุดในชั่วโมงที่ 12 ของการปักแจกัน เท่ากับ 0.7 μ M/g FW เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ แล้วลดลงตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่แช่ในน้ำกลั่น (Control) และแช่ในสารละลายเอทิลฟอนความเข้มข้น 200 ppm มีแนวโน้มของปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน โดยดอกบัวหลวงที่แช่ในน้ำกลั่น (Control) มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นสูงสุด เท่ากับ 0.81 μ M/g FW เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ แล้วลดลงหลังจากนั้น (รูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.6 ปริมาณของ Malondialdehyde ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.1.7 กิจกรรมของ Superoxide dismutase (SOD)

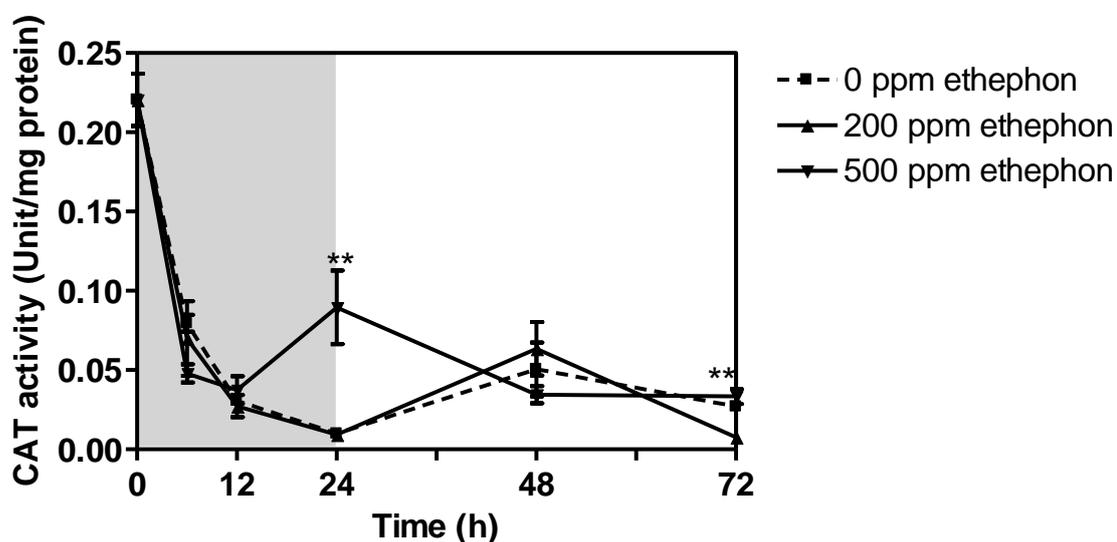
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0 – 3.6 unit/mg protein โดยระดับความเข้มข้นของสารละลายเอทิลฟอนมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก7) พบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ SOD ลดลงตลอดระยะเวลาการปักแจกัน โดยดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 500 ppm มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ลดลงน้อยที่สุด ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิลฟอน ความเข้มข้น 200 ppm มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ลดลงมากที่สุด ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน (รูปที่ 4. 7)



รูปที่ 4.7 กิจกรรมของ Superoxide dismutase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.1.8 กิจกรรมของ Catalase (CAT)

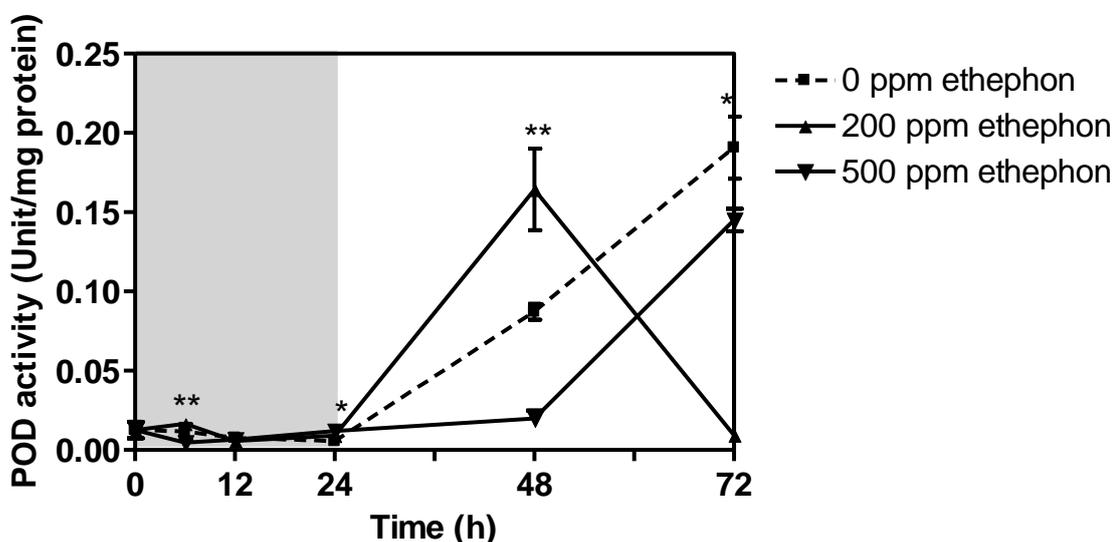
กิจกรรมของเอนไซม์ CAT ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0 – 0.25 unit/mg protein โดยระดับความเข้มข้นของสารละลายเอทิฟอนมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ CAT และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก8) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ CAT ในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงที่ 0 - 12 ของการปักแจกัน แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้ง พบว่าดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 500 ppm มีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT เพิ่มขึ้นสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 24 ของการปักแจกัน เท่ากับ 0.089 unit/ mg protein เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ แล้วลดลงหลังจากนั้น ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 200 ppm และแช่ในน้ำกลั่น (Control) มีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน แล้วจึงลดลง (รูปที่ 4.8)



รูปที่ 4.8 กิจกรรมของ Catalase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.1.9 กิจกรรมของ Peroxidase (POD)

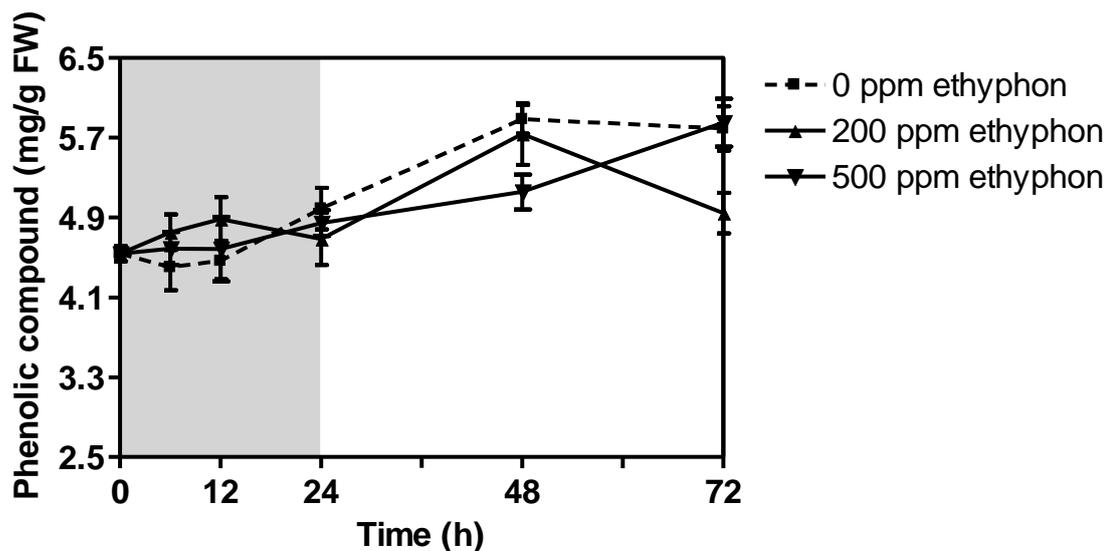
กิจกรรมของเอนไซม์ POD ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0 – 0.20 unit/mg protein โดยระดับความเข้มข้นของสารละลายเอทิฟอนมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ POD และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก9) โดยดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ POD ค่อนข้างต่ำและคงที่ในช่วงเวลาที่ 0 – 24 ของการปักแจกัน หลังจากนั้น กิจกรรมของเอนไซม์ POD จึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตลอดระยะเวลาการปักแจกัน พบว่าดอกบัวที่แช่ในน้ำกลั่น (Control) มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงที่สุดในชั่วโมงที่ 72 ของการปักแจกัน เท่ากับ 0.19 unit/mg protein เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 200 ppm มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD ลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.9 กิจกรรมของ Peroxidase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.1.10 ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic content)

ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 4.1 – 5.7 mg/g FW และพบว่าดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ยกเว้นดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิฟอน ความเข้มข้น 200 ppm มีปริมาณฟีนอลทั้งหมดลดลงในช่วงโม่งที่ 72 ของการปักแจกัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกวิธีการทดลอง (ตารางที่ ก10) (รูปที่ 10)

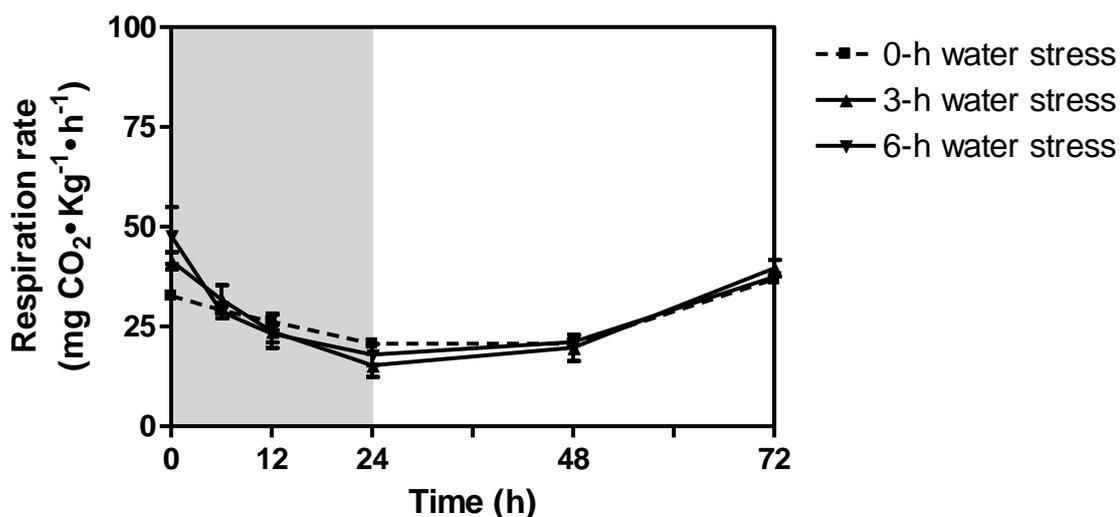


รูปที่ 4.10 ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.2 บทบาทของสภาพเครียดจากการขาดน้ำต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก

4.2.1 อัตราการหายใจ

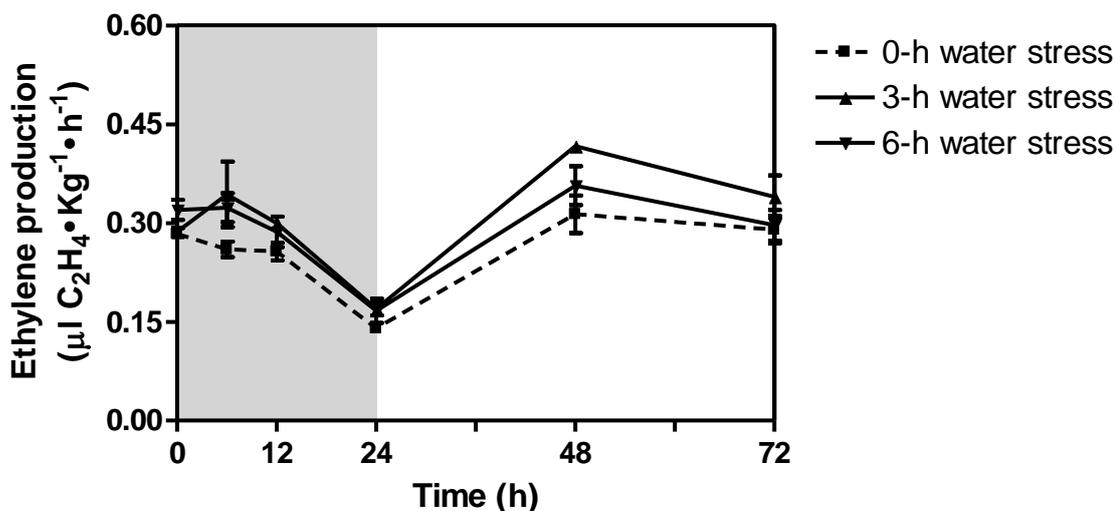
อัตราการหายใจของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง $10 - 50 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ และพบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มอัตราการหายใจลดลงอย่างต่อเนื่องไปในทิศทางเดียวกันจากชั่วโมงที่ 0 - 24 ของการปักแจกัน แล้วเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกวิธีการทดลอง (ตารางที่ ก11) (รูปที่ 4.11)



รูปที่ 4.11 อัตราการหายใจของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุม อุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.2.2 การผลิตเอทิลีน

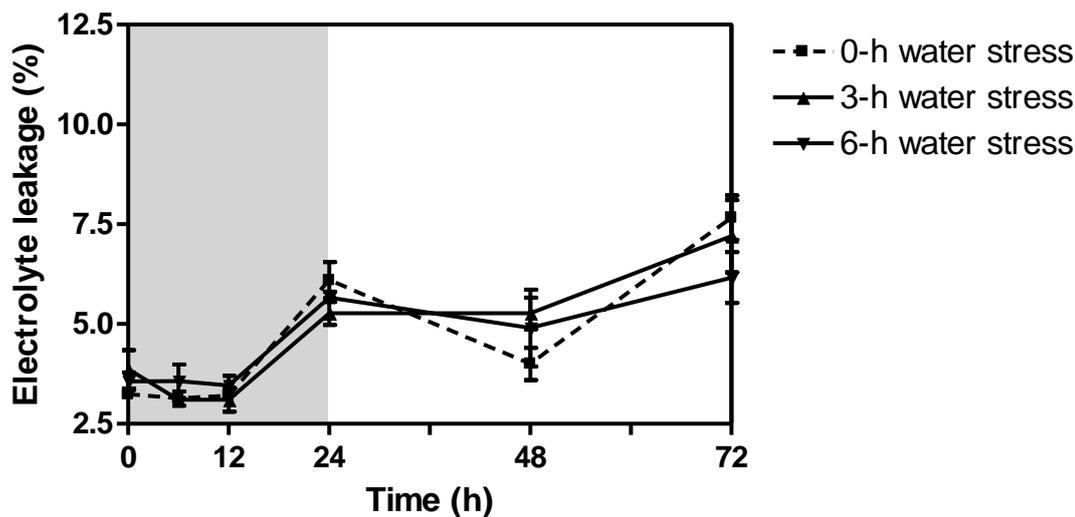
การผลิตเอทิลีนของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง $0.15 - 0.45 \mu\text{l}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ โดยดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มการผลิตเอทิลีนลดลงไปในทิศทางเดียวกันจากชั่วโมงที่ 0 - 24 ของการปักแจกัน แล้วเพิ่มขึ้นสูงสุดในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน พบว่า ดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 3 ชั่วโมง มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงที่สุด เท่ากับ $0.39 \mu\text{l C}_2\text{H}_4\cdot\text{Kg FW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ และลดลงอีกครั้งหลังจากนั้น อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกวิธีการทดลอง (ตารางที่ ก12) (รูปที่ 4.12)



รูปที่ 4.12 การผลิตเอทิลีนของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.2.3 การรั่วไหลของประจุ

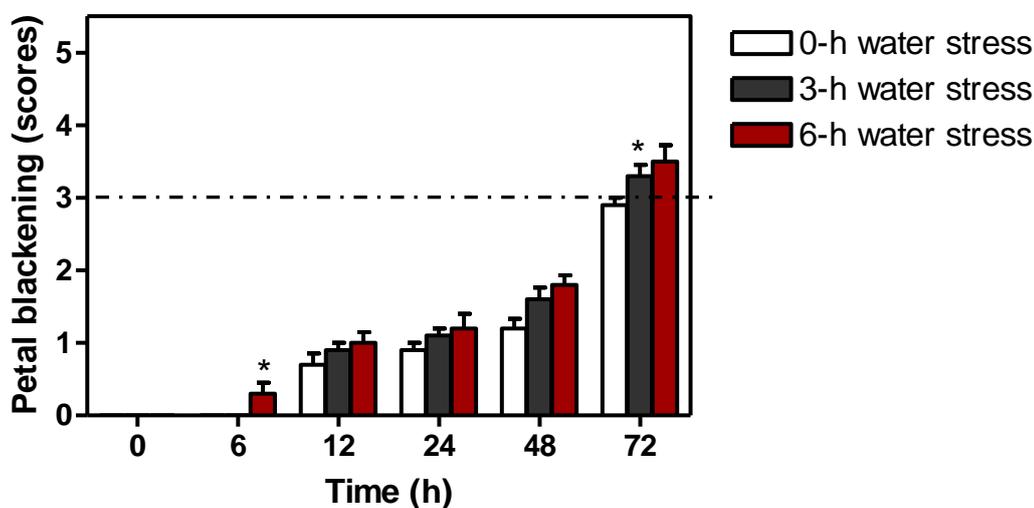
การรั่วไหลของไอออนของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 3 - 7.5 % และพบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกันอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่ 24 ของการปักแจกัน และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลาที่ 24 ของการปักแจกัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกวิธีการทดลอง (ตารางที่ ก13) (รูปที่ 4.13)



รูปที่ 4.13 การรั่วไหลของประจุของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุม อุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.2.4 คะแนนการเกิดสีดําของกลีบ

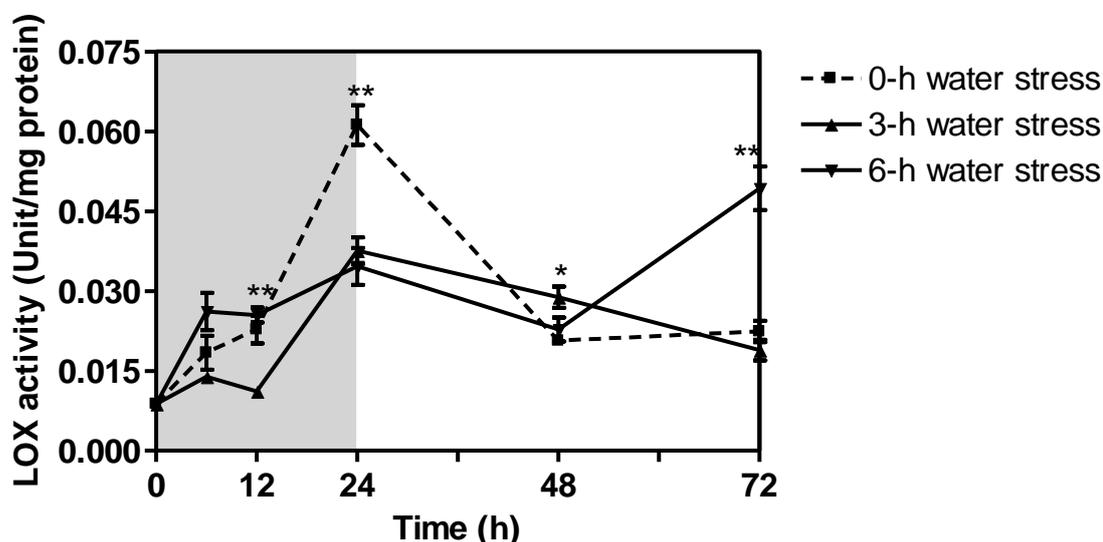
คะแนนการเกิดสีดําของกลีบดอกในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการปักแจกันนานขึ้น โดยดอกบัวหลวงที่ขาดน้ำนาน 6 ชั่วโมง เริ่มปรากฏสีดําบนกลีบในชั่วโมงที่ 6 ของการปักแจกัน และมีคะแนนการเกิดสีดําของกลีบดอกสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการปักแจกัน และในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน ดอกบัวหลวงที่ขาดน้ำนาน 3 และ 6 ชั่วโมง มีคะแนนการเกิดสีดําของกลีบดอกสูงกว่าดอกบัวหลวงที่ปักในน้ำกลั่น (Control) อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ ก 14) อย่างไรก็ตาม ดอกบัวหลวงที่อยู่ในสภาพเครียดจากการขาดน้ำมีอายุการปักแจกัน เท่ากับ 3 วัน (รูปที่ 4.14)



รูปที่ 4.14 คะแนนการเกิดสีดําของกลีบดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุม อุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน เส้นประ หมายถึง ดอกบัวหลวงหมดสภาพการยอมรับ

4.2.6 กิจกรรมของ Lipoxygenase (LOX)

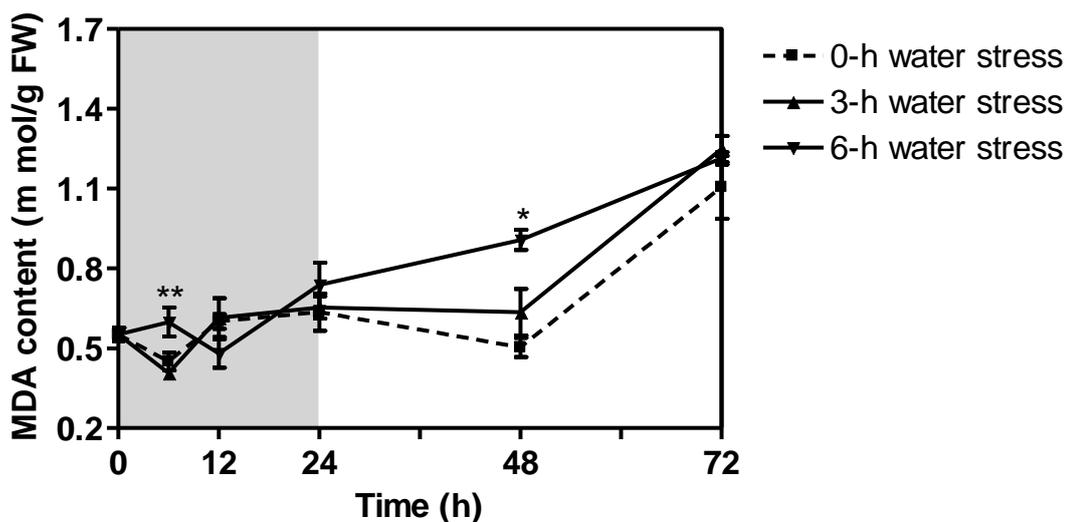
กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 10 – 70 unit/mg protein โดยระยะเวลาในการขาดน้ำของดอกบัวหลวงมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ LOX และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก15) พบว่า ดอกบัวหลวงที่ปักในน้ำกลั่นและที่ขาดน้ำนาน 3 ชั่วโมงมีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในชั่วโมงที่ 24 ของการปักแจกัน โดยดอกบัวหลวงที่ปักในน้ำกลั่น (Control) มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 0.061 unit/mg protein เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ หลังจากนั้น กิจกรรมของเอนไซม์ LOX จึงลดลงตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่ขาดน้ำนาน 6 ชั่วโมงซึ่งพบว่ามียกกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการปักแจกันและเพิ่มขึ้นสูงสุด เท่ากับ 0.049 unit/mg protein ในชั่วโมงที่ 72 ของการปักแจกัน (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.15 กิจกรรมของ Lipoxygenase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.2.7 ปริมาณของ Malondialdehyde (MDA)

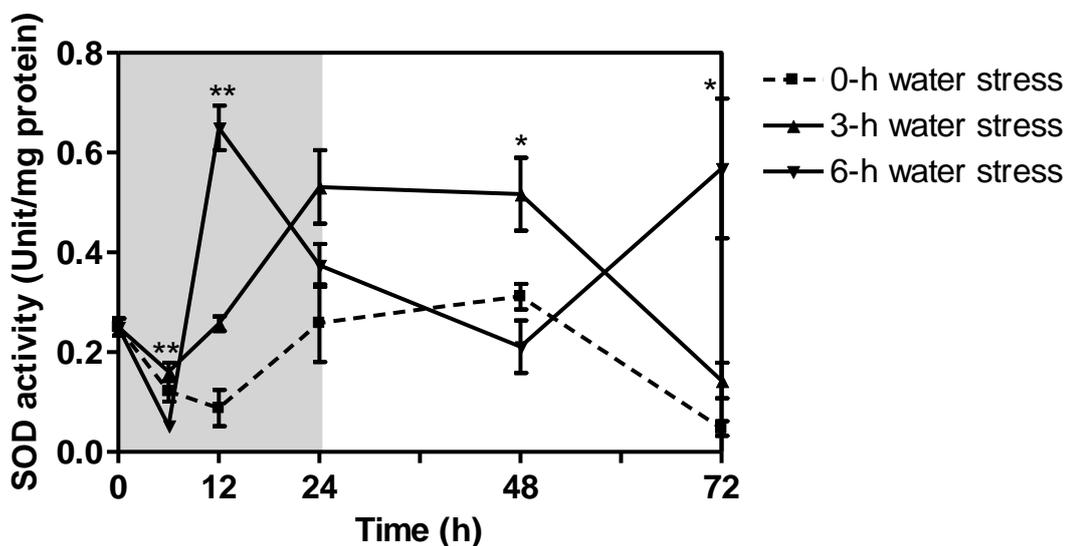
ปริมาณ MDA ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0.3 – 1.1 m mol/g FW โดยระยะเวลาในการขาดน้ำมีผลต่อปริมาณของ MDA และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ ก16) พบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มของปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการปักแจกัน โดยดอกบัวหลวงที่ขาดน้ำนาน 6 ชั่วโมงมีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นสูงที่สุด ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่ปักในน้ำกลั่น (Control) มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นต่ำที่สุด (รูปที่ 4.16)



รูปที่ 4.16 ปริมาณของ Malondialdehyde ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.2.7 กิจกรรมของ Superoxide dismutase (SOD)

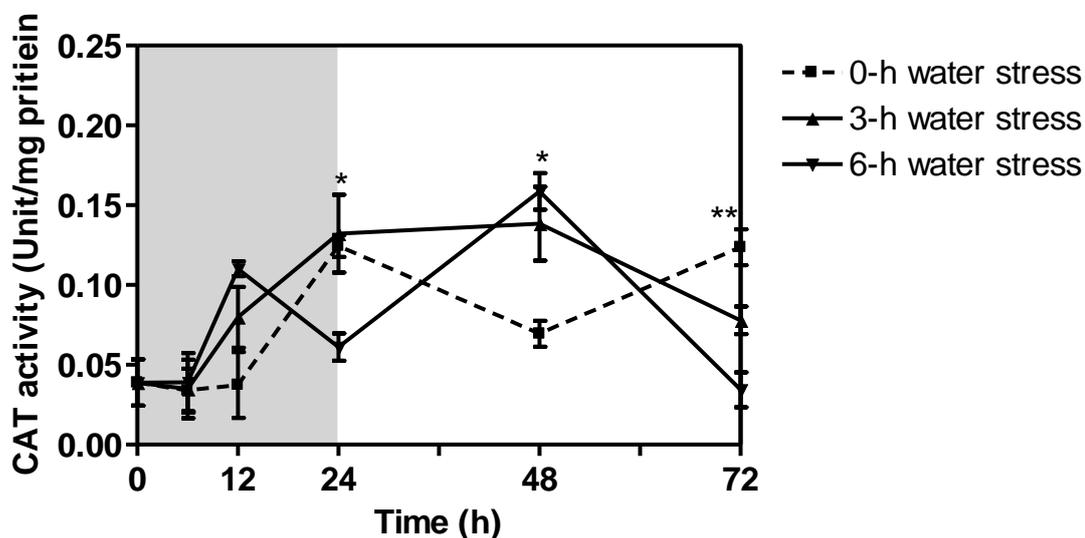
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0 – 0.7 unit/mg protein โดยระยะเวลาในการขาดน้ำของดอกบัวหลวงมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก17) พบว่า ดอกบัวหลวงที่ปักในน้ำกลั่น (Control) และที่ขาดน้ำนาน 3 ชั่วโมง มีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 24 ของการปักแจกัน แล้วคงที่จนถึงชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน หลังจากนั้นจึงลดลงอย่างรวดเร็ว โดยดอกบัวที่ปักในน้ำกลั่น (Control) มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ต่ำกว่าทุกวิธีการทดลองตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่ขาดน้ำนาน 6 ชั่วโมง มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงที่สุด เท่ากับ 1.349 unit/mg protein ในชั่วโมงที่ 12 ของการปักแจกัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ หลังจากนั้นจึงลดลงอย่างรวดเร็ว และเพิ่มขึ้นสูงสุดอีกครั้งในชั่วโมงที่ 72 ของการปักแจกัน (รูปที่ 4.17)



รูปที่ 4.17 กิจกรรมของ Superoxide dismutase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.2.8 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase (CAT)

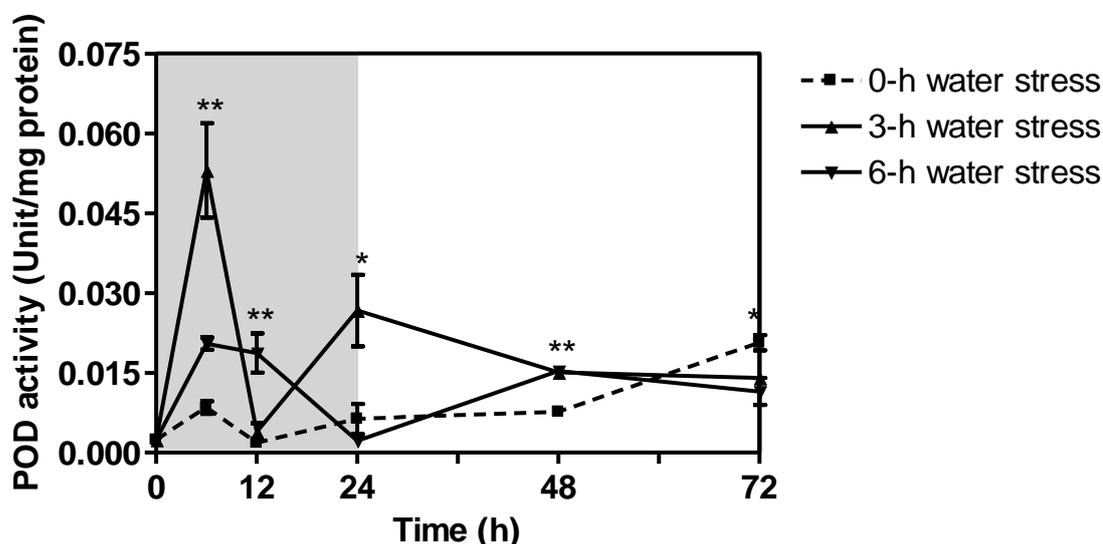
กิจกรรมของเอนไซม์ CAT ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0 – 0.17 unit/mg protein โดยระยะเวลาในการขาดน้ำของดอกบัวหลวงมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ CAT และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ ก18) พบว่า ดอกบัวหลวงที่ปักในน้ำกลั่น (Control) และที่ขาดน้ำนาน 3 ชั่วโมง มีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 24 ของการปักแจกัน หลังจากนั้นจึงลดลง โดยดอกบัวที่ปักในน้ำกลั่นมีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT ต่ำกว่าทุกวิธีการทดลองในชั่วโมงที่ 0 -48 ของการปักแจกัน ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่ขาดน้ำนาน 6 ชั่วโมง มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในชั่วโมงที่ 12 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งและสูงที่สุด เท่ากับ 0.158 unit/mg protein ในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ แล้วจึงลดลงอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.18 กิจกรรมของ Catalase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุม อุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.2.9 กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase (POD)

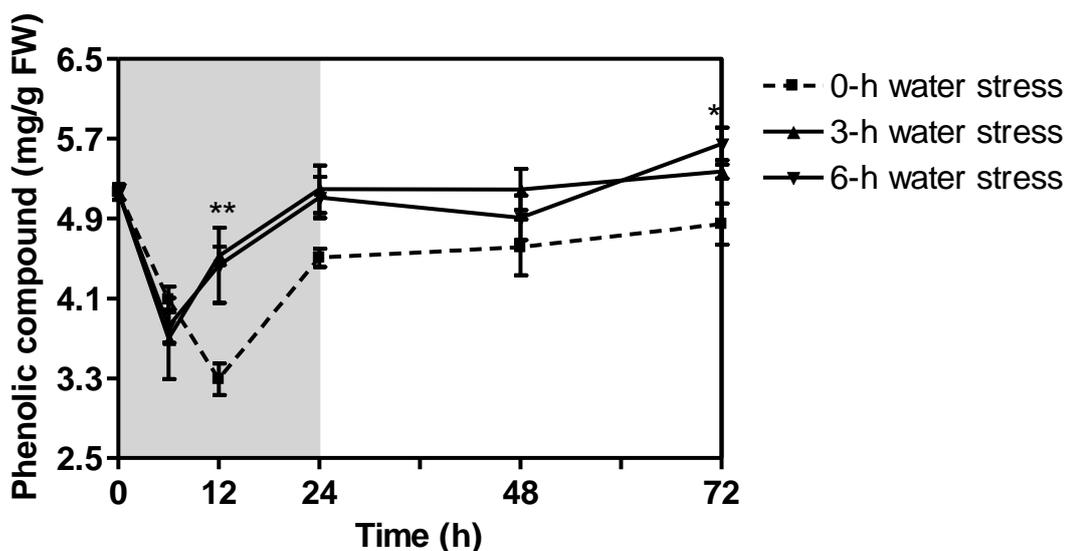
กิจกรรมของเอนไซม์ POD ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0 – 0.05 unit/mg protein โดยระยะเวลาในการขาดน้ำของดอกบัวหลวงมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ POD และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก19) พบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ POD ค่อนข้างต่ำและคงที่ในช่วงที่ 0 – 24 ของการปักแจกัน หลังจากนั้น กิจกรรมของเอนไซม์ POD จึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ดอกบัวที่ปักในน้ำกลั่น (Control) มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงที่สุดในชั่วโมงที่ 72 ของการปักแจกัน เท่ากับ 0.19 unit/mg protein เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่แช่ในสารละลายเอทิลphon ความเข้มข้น 200 ppm มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD ลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง (รูปที่ 4.19)



รูปที่ 4.19 กิจกรรมของ Peroxidase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.2.10 ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic content)

ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 3.3 – 5 mg/g FW โดยระยะเวลาในการขาดน้ำมีผลต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ ก20) พบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มของปริมาณฟีนอลทั้งหมดลดลงจากชั่วโมงที่ 0- 6 ของการปักแจกัน หลังจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแล้วคงที่ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน โดยดอกบัวหลวงที่แช่ในน้ำกลั่น (Control) มีปริมาณฟีนอลทั้งหมดน้อยกว่าวิธีการทดลองอื่นๆ ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน (รูปที่ 4.20)

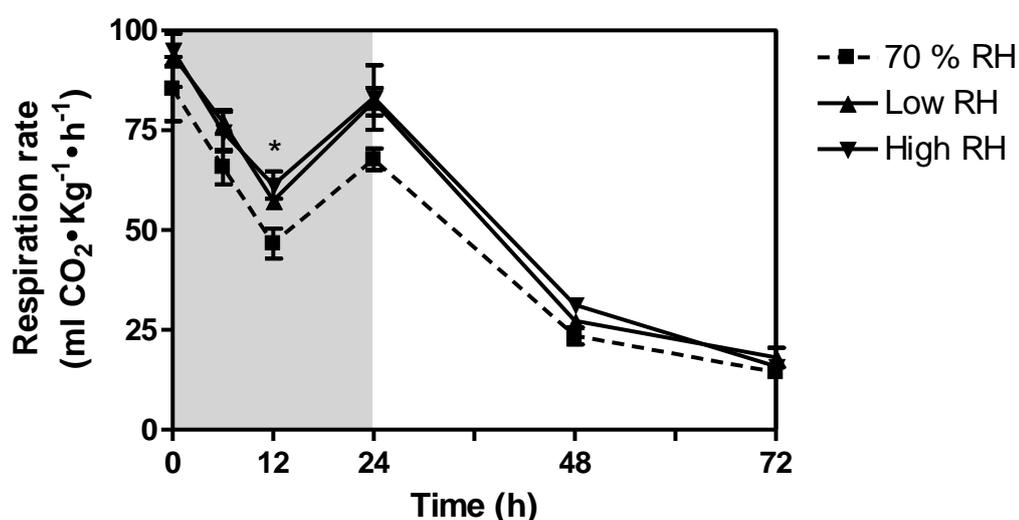


รูปที่ 4.20 ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.3 บทบาทของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเสื่อมสภาพของบัวหลวงตัดดอก

4.3.1 อัตราการหายใจ

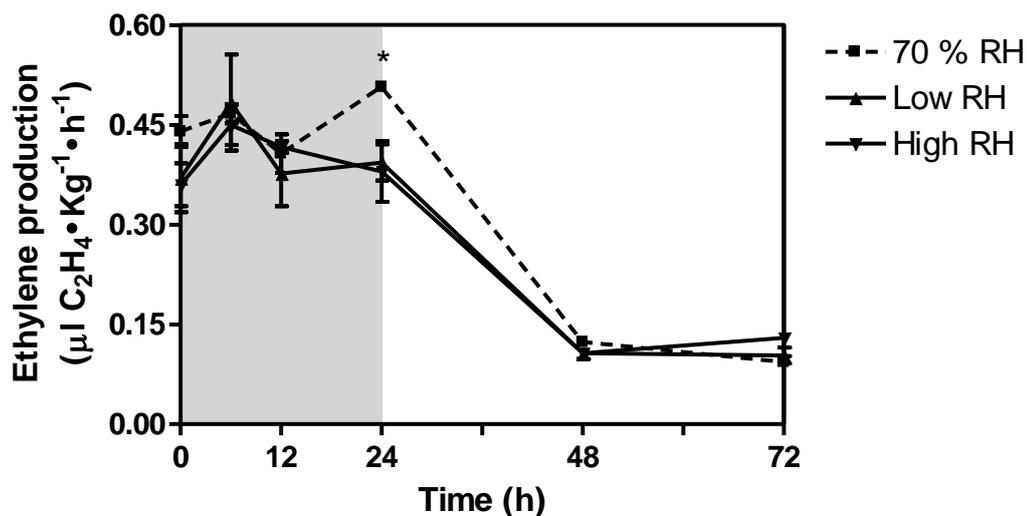
อัตราการหายใจของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง $10 - 100 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ โดยดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มของอัตราการหายใจลดลงไปในทิศทางเดียวกันจากชั่วโมงที่ 0 - 12 แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งในชั่วโมงที่ 24 ของการปักแจกัน หลังจากนั้นจึงลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการปักแจกัน พบว่า ดอกบัวหลวงที่วางไว้ในที่ความชื้นสัมพัทธ์ $70 \pm 5 \%$ (Control) มีอัตราการหายใจต่ำกว่าวิธีการทดลองอื่น ๆ ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ ก21) (รูปที่ 4.21)



รูปที่ 4.21 อัตราการหายใจของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ $70 \pm 5 \%$ RH (Control) $60 \pm 5 \%$ RH (Low RH) และ $80 \pm 5 \%$ RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.3.2 การผลิตเอทิลีน

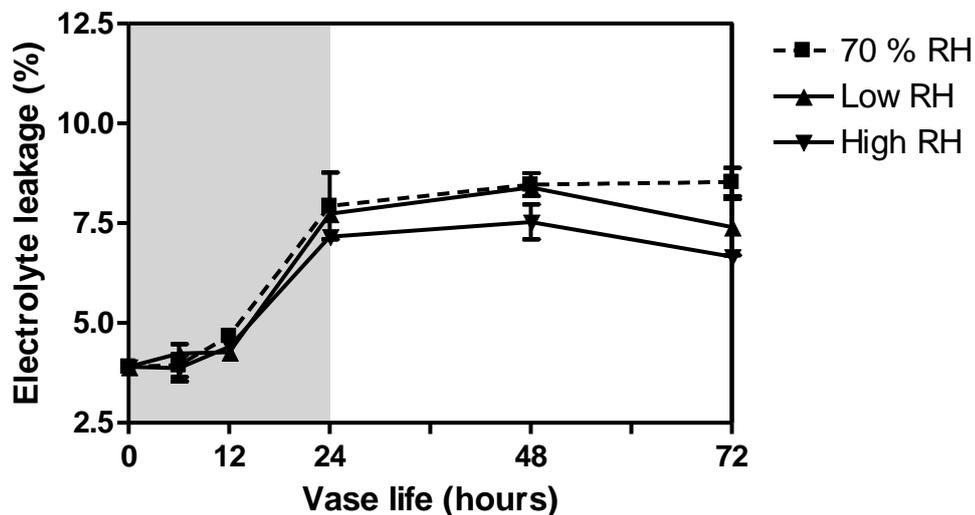
การผลิตเอทิลีนของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง $0.10 - 0.53 \mu\text{l}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ โดยดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มของการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกันจากชั่วโมงที่ 0 - 24 หลังจากนั้นจึงลดลงตลอดระยะเวลาการปักแจกัน โดยดอกบัวหลวงที่วางไว้ในที่ความชื้นสัมพัทธ์ $70\pm 5\%$ (Control) มีการผลิตเอทิลีนสูงกว่าวิธีการอื่น ๆ ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกวิธีการทดลอง (ตารางที่ ก22) (รูปที่ 4.22)



รูปที่ 4.22 การผลิตเอทิลีนของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ $70\pm 5\%$ RH (Control) $60\pm 5\%$ RH (Low RH) และ $80\pm 5\%$ RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.3.3 การรั่วไหลของประจุ

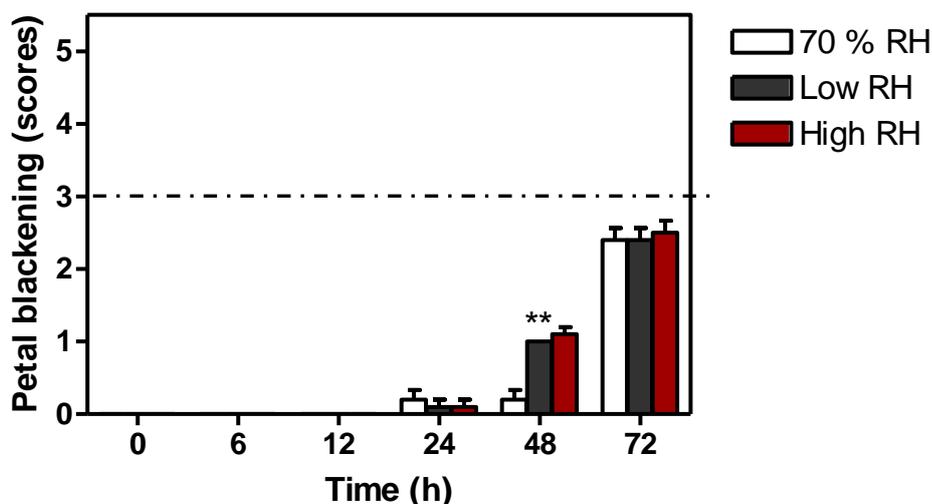
การรั่วไหลของไอออนของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 3 - 7.5 % โดยของดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกันจากชั่วโมงที่ 0 - 24 ของการปักแจกัน หลังจากนั้นจึงลดลงในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกันและเพิ่มขึ้นอีกครั้ง อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกวิธีการทดลอง (ตารางที่ ก23) (รูปที่ 4.23)



รูปที่ 4.23 การรั่วไหลของประจุของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.3.4 คะแนนการเกิดสีดําของกลีบ

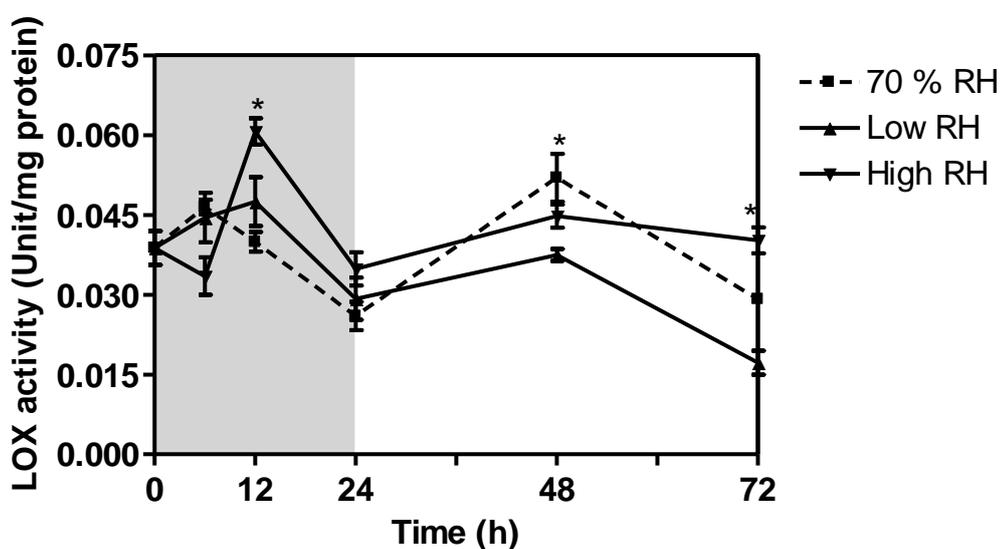
คะแนนการเกิดสีดําของกลีบดอกในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการปักแจกันนานขึ้น ในชั่วโมงที่ 48 พบว่า ดอกบัวหลวงที่วางไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ 70 ± 5 % (Control) มีคะแนนการเกิดสีดําของกลีบดอกต่ำกว่าดอกบัวหลวงที่วางไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ 60 ± 5 และ 80 ± 5 % อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก24) อย่างไรก็ตาม ในวันสุดท้ายของการปักแจกัน ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีคะแนนการเกิดสีน้ำตาลบนกลีบดอกเท่ากัน และมีอายุการปักแจกันนานกว่า 3 วัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกวิธีการทดลอง (รูปที่ 4.24)



รูปที่ 4.24 คะแนนการเกิดสีดําของกลีบดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน เส้นประ หมายถึง ดอกบัวหลวงหมดสภาพการยอมรับ

4.3.5 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX)

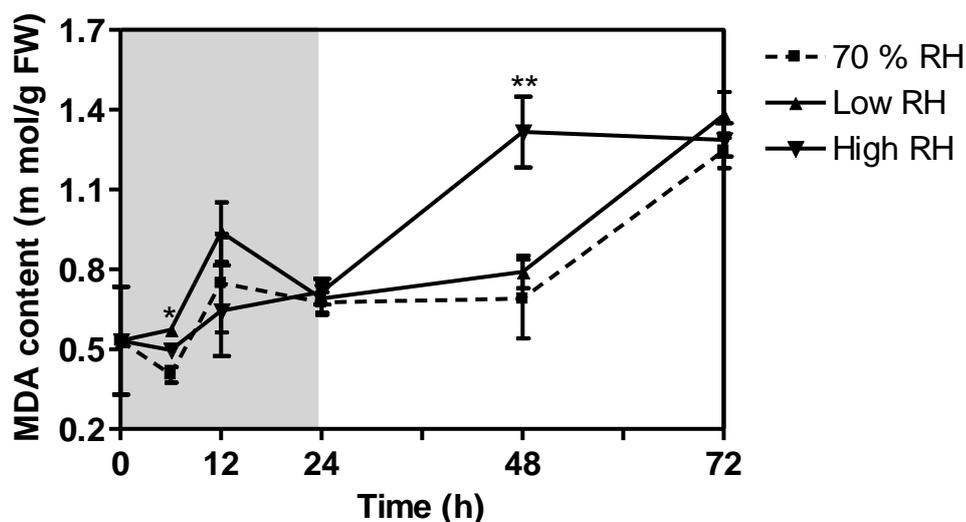
กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0.015 – 0.06 unit/mg protein โดยระดับความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ LOX และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ ก25) พบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในชั่วโมงที่ 12 ของการปักแจกัน โดยดอกบัวหลวงที่วางไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ 80 ± 5 % มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นสูงที่สุด เท่ากับ 0.061 unit/mg protein เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ หลังจากนั้น กิจกรรมของเอนไซม์ LOX จึงลดลงแล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน (รูปที่ 4.25)



รูปที่ 4.25 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.3.6 ปริมาณของ Malondialdehyde (MDA)

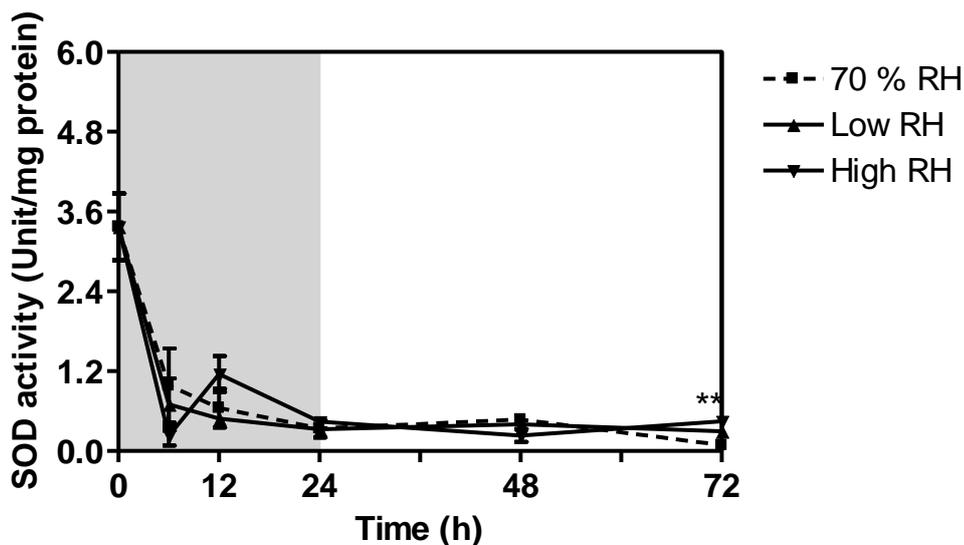
ปริมาณ MDA ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0.3 – 1.4 m mol/g FW โดยระดับความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อปริมาณ MDA และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก26) พบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มของปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน และในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน ดอกบัวหลวงที่วางไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ 80 ± 5 % มีปริมาณ MDA สูงที่สุด เท่ากับ $0.097 \mu\text{M/g FW}$ ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่วางไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ 60 ± 5 % มีปริมาณของ MDA ต่ำที่สุด เท่ากับ $0.502 \mu\text{M/g FW}$ (รูปที่ 4.26)



รูปที่ 4.26 ปริมาณของ Malondialdehyde ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.3.7 กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD)

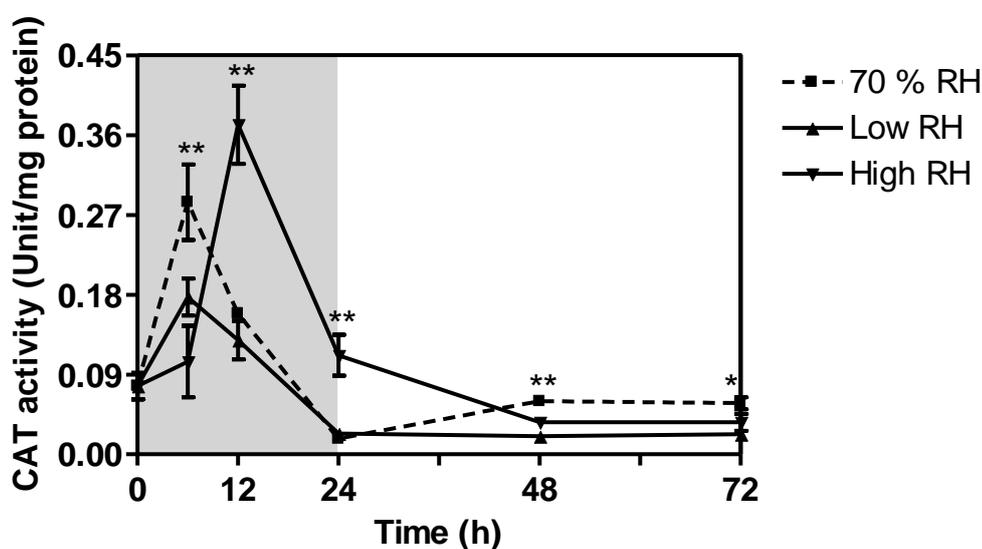
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0 – 3.6 unit/mg protein โดยดอกบัวหลวงในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ SOD ลดลงไปในทิศทางเดียวกันอย่างรวดเร็วในช่วง 6 ชั่วโมงของการปักแจกัน หลังจากนั้นจึงค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกวิธีการการทดลอง (ตารางที่ ก27) (รูปที่ 4.27)



รูปที่ 4.27 กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.3.8 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase (CAT)

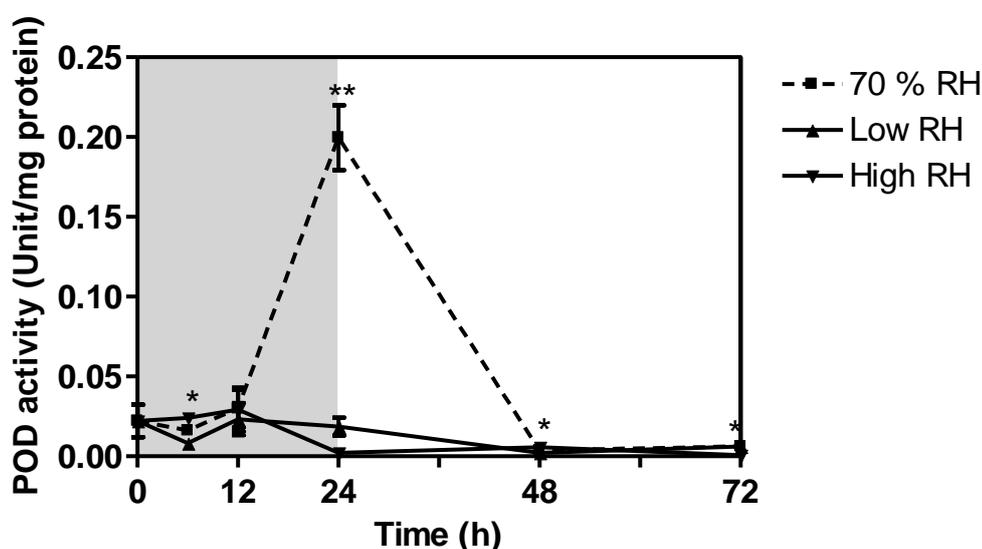
กิจกรรมของเอนไซม์ CAT ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0 – 0.36 unit/mg protein โดยระดับความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ CAT และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ ก28) พบว่า ดอกบัวหลวงในทุกวิธีการทดลองมีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ CAT เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่ 6 – 12 ของการปักแจกัน พบว่า ดอกบัวหลวงที่วางไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ 80 ± 5 % มีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT สูงที่สุด เท่ากับ 0.371 Unit/mg protein เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่น ๆ หลังจากนั้น กิจกรรมเอนไซม์ CAT ของดอกบัวหลวงในทุกวิธีการจึงลดลงในช่วงเวลาที่ 24 ของการปักแจกันและคงที่ตลอดระยะเวลาการปัก (รูปที่ 4.28)



รูปที่ 4.28 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.3.9 กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (POD)

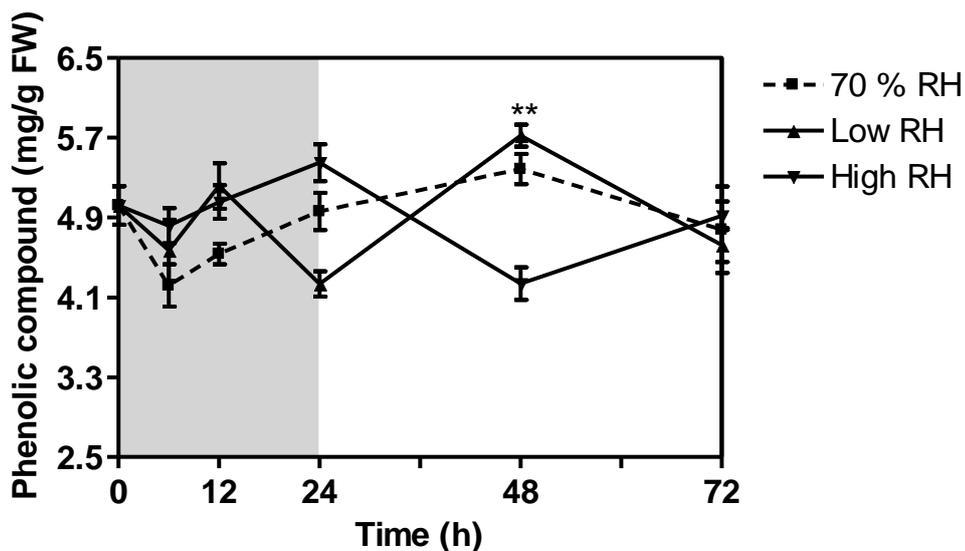
กิจกรรมของเอนไซม์ POD ของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 0 – 0.20 unit/mg protein โดยระดับความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ POD และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ ก29) พบว่า ดอกบัวหลวงที่วางไว้ในที่ความชื้นสัมพัทธ์ 60 ± 5 และ 80 ± 5 % มีแนวโน้มของกิจกรรมเอนไซม์ POD ก่อนข้างต่ำและคงที่ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ในขณะที่ดอกบัวที่วางไว้ในที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 ± 5 % (Control) มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 24 ของการปักแจกัน เท่ากับ 0.199 unit/mg protein หลังจากนั้นจึงลดลงอย่างรวดเร็วในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน (รูปที่ 4.29)



รูปที่ 4.29 กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

4.3.10 ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic content)

ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวหลวงอยู่ในช่วง 4.1 – 5.7 mg/g FW โดยดอกบัวหลวงวางไว้ในที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 ± 5 % (Control) มีแนวโน้มของปริมาณฟีนอลทั้งหมดลดลงจากชั่วโมงที่ 0- 6 ของการปักแจกัน หลังจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่วางไว้ในที่ความชื้นสัมพัทธ์ 60 ± 5 และ 80 ± 5 % เพิ่มขึ้นแล้วลดลงตลอดระยะเวลาการปักแจกัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกวิธีการทดลอง (ตารางที่ ก30) (รูปที่ 4.30)



รูปที่ 4.30 ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

ดอกไม้มีลักษณะการหายใจคล้ายกับผลไม้ คือมีทั้งการหายใจแบบ climacteric ซึ่งเริ่มจากการหายใจในระดับต่ำเพิ่มสูงขึ้นแล้วลดลงพร้อม ๆ กับการเสื่อมสภาพของดอก เช่น ในดอกเบญจมาศ มะลิลา คาร์เนชัน ร็กร่ำ และ dalily และแบบ non-climacteric ซึ่งการหายใจลดลงโดยตลอด เช่น ดอกไอริส และ narcissus อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นแล้วลดลงของอัตราการหายใจในดอกไม้ส่วนใหญ่จะพบในดอกไม้ที่กระบวนการหายใจอยู่ภายใต้การควบคุมของเอทิลีน ส่วนดอกไม้ที่กระบวนการหายใจไม่ได้ถูกควบคุมโดยเอทิลีนจะมีการหายใจลดลงตลอด หรือถ้ามีการหายใจเพิ่มขึ้นก็เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) จากการศึกษ พบว่า การหายใจของดอกบัวหลวงมีแนวโน้มค่อนข้างต่ำตลอดระยะเวลาการปักแจกัน โดยที่เอทิลีนและสภาพเครียดจากการขาดน้ำไม่มีผลต่อการหายใจของดอกบัว ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์สภาวะต่าง ๆ ทำให้ดอกบัวหลวงมีอัตราการหายใจสูงกว่าการให้เอทิลีน และสภาพเครียดจากการขาดน้ำ อย่างไรก็ตาม อัตราการหายใจของดอกบัวหลวงที่วางไว้ในภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ทั้ง 3 สภาวะไม่มีความแตกต่างกัน

อายุการใช้งานของดอกไม้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพ โดยดอกไม้แต่ละชนิดและสายพันธุ์มีอายุการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น ดอกคาร์เนชัน (Wu และคณะ, 1991) *Eustoma* (Shimizu และ Ichimura, 2002) และเยอบีร่า (Wernett และคณะ, 1996) ความแตกต่างของอายุการใช้งานของดอกไม้แต่ละสายพันธุ์นั้น สาเหตุหนึ่งอาจมาจากเอทิลีนซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งและมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพและอายุการใช้งานของดอกไม้ทุกชนิด โดยเร่งให้ดอกไม้เสื่อมสภาพและเหี่ยวเร็ว (Abeles, 1973; Halevy และ Mayak, 1979) ทั้งจากตัวดอกไม้เองหรือจากแหล่งอื่น ๆ เอทิลีนในบรรยากาศเพียง $0.002-0.5 \mu\text{L}^{-1}$ (ppm) สามารถทำความเสียหายให้กับดอกไม้ได้ (สายชล เกตุษา, 2531) จากการทดลองของ Woltering และ van Doorn (1988) พบว่าดอกไม้จำนวน 2,000 species และ 50 family ที่ได้รับเอทิลีนที่ระดับความเข้มข้น 3 ppm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีอาการกลีบดอกเหี่ยวและหลุดร่วง โดยทั่วไปดอกที่ไวต่อเอทิลีนจะแสดงอาการดอกไม่บานและกลีบดอกเปลี่ยนสี ดังนั้นจึงสามารถจำแนกดอกไม้ตามความไวต่อเอทิลีนได้เป็น 2 ประเภท คือ ดอกไม้ที่มีความไวต่อเอทิลีน (ethylene-sensitive) และดอกไม้ที่ไม่มีความไวต่อเอทิลีน (ethylene-insensitive) การเสื่อมสภาพของดอกบัวหลวงมีหลายสาเหตุ เช่น การขาดน้ำที่อาจเกิดจากท่อลำเลียงอุดตัน และเอทิลีน (สุจจริต และคณะ, 2006) จากการศึกษ พบว่า ดอกบัวหลวงมีการผลิตเอทิลีนสูงในช่วงเวลาที่ 6 แล้วจึงลดลง หลังจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลาที่ 48 ของการปักแจกัน ซึ่งการให้เอทิลีนสามารถกระตุ้นให้ดอกบัวหลวงมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นและสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในช่วงเวลาที่ 6 ของการปักแจกัน เมื่อเปรียบเทียบกับดอกบัวหลวงที่ปักในน้ำกลั่น (Control) สอดคล้องกับรายงานของสุจจริต และคณะ (2006) ที่พบว่าการใช้เอทิลีนที่ระดับความเข้มข้น 500 ppm ชักนำให้ดอกบัวเสื่อมสภาพเร็วขึ้น โดยดอกบัวที่มีการผลิตเอทิลีนสูง จะปรากฏรอยดำที่กลีบดอกอย่างรวดเร็ว (Suisuwan และ Pichatyanon, 2002) ในขณะที่สภาพเครียดจากการขาดน้ำและความชื้นสัมพัทธ์

นั้น ไม่มีผลต่อการผลิตเอทิลีน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ดอกบัวหลวงสามารถดูดน้ำเข้าไปในกลีบดอกได้อีกครั้ง เมื่อนำดอกบัวหลวงมาปักในน้ำ

การรั่วไหลของประจุ (ion leakage) ใช้เป็นดัชนีในการวัดการเสียหายของเมมเบรน (membrane integrity) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่เมมเบรนถูกทำลาย (Borsos-Matovina และ Blake, 2001) แล้วทำให้เกิดการสูญเสียและ membrane-bound solute จากการศึกษ พบว่า เมื่อระยะเวลาการปักแจกันนานขึ้น การรั่วไหลของประจุในกลีบดอกบัวหลวงก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยการปักแช่ดอกบัวหลวงในสารละลายเอทิลีนซัคคาไรต์ทำให้เกิดการรั่วไหลของประจุสูงกว่าการปักแช่ในน้ำกลั่น (Control) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) โดยเฉพาะเอทิลีนที่ระดับความเข้มข้น 500 ppm พบการรั่วไหลของประจุสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 24 – 48 ของการปักแจกัน ในขณะที่การรั่วไหลของประจุของดอกบัวหลวงที่ปักแช่ในน้ำกลั่น (Control) ค่อนข้างต่ำและเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการปักแจกัน การเสื่อมสภาพของกลีบดอกในดอกไม้หลายชนิดถูกกระตุ้นโดยเอทิลีนจากภายนอก พร้อมทั้งตัวดอกไม้เองก็มีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Nichols, 1977) ในดอกคาร์เนชัน พบว่าเอทิลีนซัคคาไรต์ทำให้เกิดการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นพร้อมกับเกิดการม้วนงอของกลีบดอกซึ่งเป็นอาการเสื่อมสภาพ (Borochoy และ Faragher, 1983) Sun และคณะ (2009) ทำการศึกษาผลของเอทิลีนต่อการหลุดร่วงของดอก *Phalaenopsis* กระจ่างแคะ 4 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ 'Berry' 'Gotris' 'Vivien' และ 'Yenlin' พบว่า เอทิลีนจากภายนอกสามารถกระตุ้นให้เกิดการรั่วไหลของประจุและมีการสูญเสียจากกลีบดอกฟัลแลนออปซิส พันธุ์ 'Vivien' สูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ส่วนพันธุ์ 'Berry' นั้นพบการรั่วไหลของประจุต่ำที่สุด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณน้ำในกลีบดอกสัมพันธ์กับการรั่วไหลของประจุ โดยเมื่อปริมาณน้ำในกลีบดอกลดลง การรั่วไหลของประจุก็เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสภาพเครียดจากการขาดน้ำระยะสั้นเพียง 3 และ 6 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อการรั่วไหลของประจุในกลีบดอก อาจจะเนื่องมาจาก เมื่อนำดอกบัวหลวงมาปักในน้ำอีกครั้ง ดอกบัวหลวงสามารถดูดน้ำเข้าไปได้เพียงพอเพื่อทดแทนน้ำที่สูญเสียไปโดยผ่านทางกลีบดอก ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ซัคคาไรต์ให้ดอกบัวหลวงเกิดการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน แต่การรั่วไหลของประจุในดอกบัวหลวงที่วางไว้ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ทั้ง 3 สภาวะไม่มีความแตกต่างกัน

ลักษณะการเสื่อมสภาพของกลีบดอก เช่น ดอกเหี่ยวเนื่องจากเซลล์สูญเสียความเต่ง การเปลี่ยนสีกลีบดอก และสูญเสียน้ำไปอย่างช้า ๆ นั้นขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของดอกไม้ จากการศึกษา พบว่า บัวหลวงตัดดอกมีลักษณะการเสื่อมสภาพ คือ กลีบดอกแห้งและเหี่ยว และเปลี่ยนเป็นสีดำภายในระยะเวลา 2-3 วันหลังการเก็บเกี่ยว โดยการเปลี่ยนของกลีบดอก พิจารณาจากคะแนนการเกิดสีดำที่กลีบดอก ซึ่งคะแนน 3 ให้ถือว่าดอกบัวหลวงหมดสภาพการยอมรับ การปักแช่ดอกบัวหลวงในสารละลายเอทิลีนความเข้มข้น 500 ppm เร่งให้กลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีดำเร็วขึ้นและหมดสภาพการยอมรับภายใน 24 ชั่วโมง ในขณะที่ดอกบัวหลวงปักในน้ำกลั่น (Control) มีการเปลี่ยนสีของกลีบดอกและหมดสภาพการยอมรับ ในวันที่ 3 ของการปักแจกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Jaree (1976) ที่รายงานว่า ดอกบัวหลวงมีอายุการใช้งานสั้นเพียง 2-3 วัน กลีบดอกจะเหี่ยวและร่วงเร็ว และกลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีดำ นอกจากนี้ ยังพบว่า สภาพเครียดจากการขาดน้ำทำให้กลีบดอกบัวหลวงเปลี่ยนเป็นสีดำภายใน 3 วัน โดยดอกบัวหลวงที่ขาดน้ำ นาน 6 ชั่วโมง เกิดการดำที่กลีบดอกมากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ดอกบัวหลวงที่ปักแช่ในน้ำกลั่น

(Control) และดอกบัวหลวงที่อยู่ในสภาพเครียดจากการขาดน้ำมีอายุการปักแจกัน เท่ากัน คือ 3 วัน ส่วนดอกบัวหลวงที่วางไว้ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่สภาวะต่าง ๆ นั้น กลับชะลอการเปลี่ยนสีของกลีบดอก และมีอายุการปักแจกัน มากกว่า 3 วัน

เอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) พบได้ทั่วไปในพืชและผลิตภัณฑ์จากพืช โดยทำหน้าที่แตกต่างกันไป เช่น กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในผลมะเขือเทศหรือผลพืชเกิดขึ้นในระหว่างการสุก (Smith และคณะ, 1997; Wu และคณะ, 2001) ส่วนในพริกหวาน กิจกรรมของเอนไซม์ LOX จะเกี่ยวข้องกับการผลิตสารระเหยเป็นหลัก และการสลายตัวของสารสีในระหว่างการสุกต่าง ๆ (Luning และคณะ, 1995; Jaren-Galan และ Minguez-Mosquera, 1999) การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ LOX ยังสัมพันธ์กับการสูญเสียไนโบซาสูบอีกด้วย (Gong และคณะ, 2003) นอกจากนี้ กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ยังเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของ Malondialdehyde (MDA) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการสลายตัวของ polyunsaturated fatty acids hydroxides (Bailey และคณะ, 1996) โดยการเพิ่มขึ้นของ MDA สามารถเป็นตัวชี้วัดที่เหมาะสมของ lipid peroxidation ในระหว่างการเสื่อมสภาพได้ (Bailey และคณะ, 1996) linoleic และ linolenic fatty acid เป็นองค์ประกอบหลักในเมมเบรน โดยเฉพาะ phospholipid และยังเป็นสารตั้งต้นของ LOX อีกด้วย มีรายงานว่า กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ยังสัมพันธ์กับการเสื่อมสภาพของเมมเบรนในระหว่างผลไม้สุกและเสื่อมสภาพ (Luo, 1994) เป็นผลให้ผลิตผลมีคุณภาพลดลง (Minguez-Mosquera และคณะ, 1994) ในใบชา กิจกรรมของ LOX ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการเสื่อมสภาพของ fatty acid เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และยังทำให้ใบชาเหี่ยว (Mahanta และคณะ, 1993) จากการศึกษาพบว่า ดอกบัวหลวงที่ปักแจกันในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 500 ppm มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX สูงในช่วงที่ 24 - 48 ของการปักแจกัน ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่ปักแจกันในน้ำกลั่น (Control) มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ต่ำใน 24 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นและสูงสุดในชั่วโมงที่ 48 - 72 และสูงกว่าดอกบัวที่ปักแจกันในสารละลายเอทิลฟอน ในขณะที่สภาพเครียดจากการขาดน้ำและในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงสามารถกระตุ้นให้มีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ LOX และปริมาณ MDA สูงกว่าใน Control แสดงให้เห็นว่า สภาพเครียด เช่น เอทิลฟอน การขาดน้ำ และความชื้นสัมพัทธ์กระตุ้นการเพิ่มขึ้นของ lipid peroxidation สัมพันธ์กับการเสื่อมสภาพของเมมเบรนโดยดูจากการรั่วไหลของประจุ โดยเฉพาะเมื่อดอกบัวปักแจกันในสารละลายเอทิลฟอน การเกิด lipid peroxidase อาจเนื่องมาจาก LOX มีผลไปออกซิไดซ์ membrane fatty acid ในระหว่างการเสื่อมสภาพของดอกไม้ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (biochemistry) และคุณสมบัติทางชีวกายภาพ (biophysic) ของเซลล์เมมเบรนเกิดขึ้น ทำให้สูญเสีย membrane lipid มีการเพิ่มขึ้นของ neutral lipid อัตราส่วน sterol : phospholipid และการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิ่มตัว : กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Lesham, 1992; Thompson และคณะ, 1998)

Reactive oxygen species (ROS) เป็นสารออกซิไดซ์แรงสูงที่มีความว่องไวสูง สามารถพบได้ในเซลล์ปกติและเซลล์ที่อยู่ภายใต้สภาพเครียด โดยมี superoxide anions (O_2^-) และ hydroxyl radicals (H_2O_2) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์ค่อนข้างแรง สามารถทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น โดยเฉพาะ hydroxyl radical นั้นมีฤทธิ์รุนแรงมากทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลอื่น ๆ ได้ทุกชนิด (unselective) ทำให้โมเลกุลของโปรตีน ไขมัน และกรด

นิวคลีอิกเสี้ยวไฮโดรเจน และส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์เยื่อหุ้มและสารพันธุกรรมต่าง ๆ ทำงานผิดพลาดไป (Halliwell, 1999; จริงแท้, 2549) ดังนั้น พืชจึงมีกลไกที่สามารถป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ โดยการกำจัดอนุมูลอิสระที่เป็นพิษออกไป (Larson, 1988) และมีความเกี่ยวข้องกับเอนไซม์บางชนิด เช่น superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) และ peroxidase (POD) (Bowler และคณะ, 1992; Halliwell, 1987) Prochazkova และคณะ (2001) รายงานว่า ในระหว่างการเสื่อมสภาพของใบ free radicals ทำให้สารประกอบจำพวก protein phospholipid และ pigments ต่าง ๆ มีการเสื่อมสลาย เมื่อสารต้านอนุมูลอิสระลดลง นอกจากนั้น การเสื่อมสภาพยังชักนำให้มีการเปลี่ยนแปลง reactive oxygen metabolism ของ peroxisome ซึ่งสามารถชี้วัดได้จากการไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์ CAT และการผลิต H_2O_2 และ O_2^- ที่มากเกินไป (del Rio และคณะ, 1998) SOD เป็นเอนไซม์ที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยสามารถเปลี่ยน O_2^- ในเซลล์พืชให้เป็น H_2O_2 เพื่อจำกัดปริมาณของ O_2^- ในขณะที่เอนไซม์ CAT จะเปลี่ยน H_2O_2 ไปเป็นออกซิเจนและน้ำ (Bailey และคณะ, 2001; Adam และคณะ, 1995) จากการศึกษาใน *in vitro* พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ลดลงก่อนที่กลีบดอกจะเข้าสู่ระยะเสื่อมสภาพ แต่ในกลีบดอกคาร์เนชัน (Droillard และคณะ, 1987) และกลีบดอกเบญจมาศ (Bradford, 1976) การเพิ่มขึ้นของระดับ superoxide anion อาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการเสื่อมสภาพของดอกไม้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่า สารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 500 ppm และสภาพเครียดจากการขาดน้ำ นาน 3-6 ชั่วโมง กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ CAT เพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ในขณะที่ในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงนั้น กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ CAT ให้เพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD Sara และคณะ (2000) รายงานว่า CAT มีบทบาทใน defence mechanism ในการลดความเครียดที่เกิดจากอุณหภูมิต่ำในผลส้มแมนดาริน

Peroxidase (POD) เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ เช่น การสลายตัวของออกซิน การเชื่อมระหว่างองค์ประกอบของผนังเซลล์ และการ oxidize ของ cinnamyl alcohols การ polymerization ในระหว่างการสร้าง lignin และ suberin (Quiroga และคณะ, 2000) และกระตุ้นการเกิด oxidation ของ monolignol โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระที่ต้องพึ่ง H_2O_2 ในขั้นตอนสุดท้ายของการสังเคราะห์ลิกนิน (Campa, 1991) Thomas และ Delincee (1979) รายงานว่าชั้นมันฝรั่งที่ทำให้เกิดความเสียหายทางกลแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $15^\circ C$ นาน 14 วัน พบว่า มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้น 10-14 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น ส่วนในชั้นแคโรทมีมีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ POD พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของลิกนินซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนสี (Howard และ Griffin, 1993) นอกจากนี้ เอนไซม์ POD ยังสามารถออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลให้เป็นควิโนนได้ เมื่อมี H_2O_2 (Bucheli และ Robinson, 1994) และการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ POD ยังสัมพันธ์กับการเกิดความเสียหาย การช่อมแซมบาดแผล และความต้านทานโรค (Préstamo และ Manzano, 1993) นอกจากนั้น POD ที่มีอยู่ทั่วไปในพืชชั้นสูงยังทำหน้าที่ปกป้องเซลล์จากการเสื่อมสภาพที่เกิดจาก H_2O_2 โดย catalize การสลายตัวของมันผ่านการออกซิไดซ์ phenol และ endiolic cosubstrate (Asada, 1992; Borsani และคณะ, 2001) จากการศึกษา ดอกบัวที่ปักแช่ในสารละลายเอทิลฟอนที่ระดับความเข้มข้น 200 ppm มีกิจกรรมของ

เอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ โดยเฉพาะในช่วงที่ 48 ของการปักแจกัน ส่วนสภาพเครียดจากขาดน้ำระยะสั้น (3 ชั่วโมง) กลับพบกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงที่สุดในชั่วโมงที่ 6 ของการปักแจกัน ในขณะที่ชุดการทดลองอื่น ๆ พบกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ซึ่งให้เห็นว่า ระดับ POD ที่เพิ่มขึ้นนั้นถูกกระตุ้นโดยสภาพเครียดต่าง ๆ เพื่อที่จะลดความเสียหายที่เกิดจาก ROS แต่ในสถานะความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน พบว่า ดอกบัวที่วางภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70 ± 5 % (Control) มีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ POD สูงที่สุดในชั่วโมงที่ 24 ของการปักแจกัน เมื่อเปรียบเทียบกับดอกบัวที่วางภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและสูง ที่พบว่า มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD ต่ำและสูงที่ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน

สารประกอบในกลุ่ม polyphenol ในพืชมีหน้าที่หลายอย่างด้วยกัน เช่น เป็นตัวรีดิวซ์ เป็นสารยับยั้งการทำงานของ singlet oxygen และเป็นสารในกลุ่ม flavonoids และอนุพันธ์ซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่และมีความสำคัญที่สุด สาเหตุที่สารประกอบฟีนอลสามารถเป็นตัวต้านอนุมูลอิสระได้ อาจเนื่องมาจากมีคุณสมบัติในการเป็นตัวรีดิวซ์ และสามารถดูดซับและทำให้อนุมูลอิสระเป็นกลางยับยั้งการทำงานของ singlet และ triplet oxygen หรือสามารถทำลาย peroxides ได้ (Osawa, 1994; Shahidi และ Naczka, 1995) ดังนั้น สารประกอบในกลุ่มฟีนอลจึงเป็นสารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิโดยสามารถปฏิกิริยาอนุมูลอิสระด้วยการให้อนุมูลไฮโดรเจน (H^{\cdot}) โดยตรง เป็นผลให้อนุมูลนั้นกลายเป็นสารที่มีความเสถียรขึ้น จากการศึกษา พบว่า เมื่อระยะเวลาการปักแจกันนานขึ้น ปริมาณฟีนอลทั้งหมดในกลีบดอกเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การให้เอทิลฟอน การได้รับสภาพเครียดจากการขาดน้ำ และความชื้นสัมพัทธ์ ไม่มีผลต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดในกลีบดอก

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

1. เอทธิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 500 ppm ชักนำให้ดอกบัวมีการผลิตเอทิลีนและการร่วงไหลของประจุในกลีบดอกและกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ CAT เพิ่มขึ้นสูงกว่าดอกบัวหลวงที่ปักในน้ำกลั่น (Control) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ในชั่วโมงที่ 24 - 48 ของการปักแจกัน และยังสัมพันธ์กับการเปลี่ยนสีของกลีบดอก พบว่า ดอกบัวมีสีด้าเร็วขึ้นและหมดสภาพการยอมรับภายใน 24 ชั่วโมง ในขณะที่ดอกบัวหลวงปักในน้ำกลั่น (Control) มีการเปลี่ยนสีของกลีบดอกและหมดสภาพการยอมรับ ในวันที่ 3 ของการปักแจกัน และยังพบว่า ดอกบัวที่ปักแช่ในสารละลายเอทธิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 200 ppm มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) โดยเฉพาะในชั่วโมงที่ 48 ของการปักแจกัน ในขณะที่ดอกบัวหลวงที่ปักแช่ในน้ำกลั่น (Control) มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX และปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นสูงกว่าดอกบัวที่ปักแช่ในสารละลายเอทธิฟอน อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ในชั่วโมงที่ 48 - 72 อย่างไรก็ตาม การเอทธิฟอนไม่มีผลต่อการหายใจและปริมาณฟีนอลทั้งหมดในกลีบดอก
2. สภาพเครียดจากการขาดน้ำนาน 6 ชั่วโมง กระตุ้นให้ดอกบัวมีกิจกรรมเอนไซม์ SOD และ CAT และปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นสูงกว่าในดอกบัวที่ปักแช่ในน้ำกลั่น (Control) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ในขณะที่ดอกบัวที่ปักแช่ในน้ำกลั่น (Control) กลับพบว่าการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ นอกจากนั้น สภาพเครียดจากการขาดน้ำ นาน 3 ชั่วโมง กลับพบกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงที่สุดในชั่วโมงที่ 6 ของการปักแจกัน และสภาพเครียดจากการขาดน้ำยังสัมพันธ์กับการเปลี่ยนสีของกลีบดอก โดยสภาพเครียดจากการขาดน้ำเร่งให้กลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีด้าเร็วกว่า Control อย่างไรก็ตาม สภาพเครียดจากการขาดน้ำ ไม่มีผลต่ออัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน การร่วงไหลของประจุในกลีบดอก กิจกรรมของเอนไซม์ SOD และปริมาณฟีนอลทั้งหมดในกลีบดอก
3. สภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกระตุ้นดอกบัวมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX CAT ปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดการทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ดอกบัวที่วางภายใต้สภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 70 % (Control) กลับพบกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม ความชื้นสัมพัทธ์ ไม่มีผลต่ออัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน การร่วงไหลของประจุในกลีบดอก การเปลี่ยนสีกลีบดอก กิจกรรมของเอนไซม์ SOD และปริมาณฟีนอลทั้งหมดในกลีบดอก

เอกสารอ้างอิง

- จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. 453 น.
- นริยา รัตน์พนนท์ และदनัย บุญเกียรติ. 2537. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวดอกไม้. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ. 176 น.
- สมาคมพืชสวนแห่งประเทศไทย. 2550. มหัศจรรย์บัวหลวงไทย. สมาคมพืชสวนแห่งประเทศไทย สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 16 น.
- สายชล เกตุษา. 2531. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของดอกไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 291 หน้า.
- Abeles, F.B. 1973. Ethylene in plant biology. Academic Press. New York. 302 p.
- Ádám, A., Bestwick, G.S., Barna, B. and Mansfield, J.W. 1995. Enzymes regulating the accumulation of active oxygen species during the hypersensitive reaction of bean to *pseudomonas-syringae* pv *phaseolicola*. *Planta* 197: 240-249.
- Aebi, H. 1984. Catalase *in vitro*. *Method in Enz.* 105: 121-126.
- Akoh, C.C. and Min, D.B. 1998. Food lipids, chemistry, nutrition, and biotechnology. Marcel Dekker Inc., New York. 840 p.
- Asada, K., 1992. Ascorbate peroxidase: a hydrogen peroxidase-scavenging enzyme in plants. *Plant Physiol.* 85: 235-241.
- Asada, K. 1999. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 601-639.
- Bailly, C., Corbineau, F. and van Doorn, W.G. 2001. Free radical scavenging and senescence in *Iris* tepals. *Plant Physiol. Biochem.* 39: 649-656.
- Begam, H.H. and Choudhuri, M.A. 1992. H₂O₂ metabolism during senescence of two submerged angiosperms *Hydrilla* and *Ottelia*: changes in enzyme activities in light and darkness. *Biochem. Physiol. Pflanzen* 188: 105-115.
- Beja-Tal, S. and Borochoy, A. 1984. Age-related changes in biochemical and physical properties of carnation petal plasmamembranes. *Plant Physiol.* 143: 195-199.
- Borochoy, A. and Faragher, J. 1983. Comparison between ultraviolet irradiation and ethylene effects on senescence parameters in carnation flowers. *Plant Physiol.* 71: 536-540.
- Borsani, O., Valpuesta, V. and Botella, M.A. 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Physiol.* 126: 1024-1030.

- Bowler, C.M., van Montagu, I.D. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43: 83-116.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248–254.
- Bucheli and Robinson, 1994 C.S. Bucheli and S.P. Robinson, Contribution of enzymic browning to color in sugarcane juice, *J. Agric. Food Chem.* **42** (1994), pp. 257–261.
- Burris, R.H., 1960. Hydroperoxidase (peroxidases and catalases). In: W. Ruhland (Editor), *Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol. 12. Springer-Verlag, Berlin, pp. 365-400.
- Campa, A. 1991. Biological roles of plant peroxidases: know and potential function. In: Everse, J., Everse, K.E., Grisham, M.B. (Eds.), *Peroxidases in chemistry and biology*. CRC Press, Boca Raton.
- del Rio, L.A., Pastori, G.M., Palma, J.M., Sandalio, L.M., Sevilla, F., Corpaz, F.J., Jimenez, A., Lopez-Huertas, E. and Hernandez, J.A. 1998. The activated oxygen role of peroxisomes in senescence. *Plant Physiol.* 116: 1195-1200.
- Droillard, M.J., Paulin A., Massot J.C. 1987. Free radical production, catalase and superoxide dismutase activities and membrane integrity during senescence of petals of cut carnations (*Dianthus caryophyllus*). *Physiol. Plant* 71: 197–202.
- Halevy, A.H. and Mayak, S. 1979. Senescence and postharvest physiology of cut flowers. Part 1. *Hort Rev.* 1: 204-236.
- Halliwell, B. 1987. Oxidative damage, lipid peroxidation and antioxidant protection in chloroplasts. *Chem. Phys. Lipids* 44: 327-340.
- Halliwell, B. and Gutteridge, J.M.C. 1999. *Free Radicals in Biology and Medicine* (3th ed.). Clarendon Press, Gloucestershire. 936 p.
- Heath, R.L. and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys.* 125, 189–198.
- Hodges, D.M., Delong, J.M., Forney, C.F. and Prange, R.K. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta* 207, 604–611.
- Howard, L.R. and Griffin, L.E. 1993. Lignin formation and surface discoloration of minimally processed carrot sticks. *J. food Sci.* 58: 1065-1067.
- Jaree, H. 1976. Study on anatomical and botanical character of some lotus species in Thailand. M.S. Thesis Department of Botany. Kasetsart University. Bangkok.

- Jiang, a.L., Tian, S.P. and Xu, Y. 1984. Effects of controlled atmospheres with high-O₂ or high CO₂ concentrations on postharvest physiology and storability of “Napoleon” sweet cherry. *J. Integ. Plant Biol.* 44: 925-930.
- Kaneungnit, P. 2001. Study on harvest method and postharvest handling of (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) var. Sattabongkot. M.S. Thesis Department of Horticulture. Graduated School. King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang Bangkok.
- Knowles, L., Trimble, M.R., Knowles, N.R., 2001. Phosphorus status affects postharvest respiration, membrane permeability and lipid chemistry of European seedless cucumber fruit (*Cucumis sativus* L.). *Postharvest Biol. Technol.* 21, 179–188.
- Larson, R.A. 1988. The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry* 27: 969-978.
- Lesham, Y.Y. 1992. Membrane-associated phospholytic and lipolytic enzymes. In: Lesham Y.Y. (ed.) *Plant membranes: a biophysical approach to structure, development and senescence*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 174-191.
- Marangoni, A.G., Palma, T. and Stanley, D.W. 1996. Membrane effects in postharvest physiology. *Postharvest boil. Technol.* 7: 193-217.
- McKersie, B.D., Chan, Y., de Beus, M., Bowley, S.R., Bowler, C., Inze, D., D’Halluin, K. and Botterman, J. 1993. Superoxide dismutase enhances tolerance of freezing in transgenic alfalfa (*Medicago sativa* L.) *Plant Physiol.* 103: 1155-1163.
- Mondal, R. and Choudhuri, M.A. 1981. Role of hydrogen peroxidase in senescence of excised leaves of rice and maize. *Biochem. Physiol. Pflanzen* 176: 700-709.
- O’Donnell, V.B., Taylor, K.B., Parthasarathy, S., Kuhn, H., Koesling, D., Friebe, A., Bloodsworth, A., Darley-Usmar, V.M., Freeman, B.A., 1999. 15-Lipoxygenase catalytically consumes nitric oxide and impairs activation of guanylate cyclase. *J. Biol. Chem.* 274, 20083–20091.
- Osawa, T. (1994). Novel natural antioxidants for utilization in food and biological systems. In I. Uritani, V. V. Garcia, & E. M. Mendoza (Eds.), *Postharvest biochemistry of plant food-materials in the tropics* (pp. 241–251). Tokyo, Japan: Japan Scientific Societies Press.
- Paulin, A., and Droillard, M.J. 1989. Membrane lipids peroxidation during the senescence of cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) *Acta Hort.* 261: 51-57.
- Paulin, A., Droillard, M.J. and Bureau, J.M. 1986. Effect of free radical scavenger, 3,4,5-trichlorophenol, on ethylene production and on changes in lipids and membrane integrity during senescence of petals of cut carnations (*Dianthus caryophyllus*). *Physiol. Plant.* 67: 465-471.

- Préstamo and Manzano, 1993 G. Préstamo and P. Manzano, Peroxidases of selected fruits and vegetables and the possible use of ascorbic acid as an antioxidant, *HortScience* **28** (1993), pp. 48–50.
- Prochazkova, D., Sairam, R.K. Srivastava, G.C. and Singh, D.V. 2001. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Sci.* 161: 765-771.
- Quartacci, M.F. and Navari-Izzo, F. 1992. Water stress and free radical mediated changes in sunflower seedlings. *J. Plant Physiol.* 139:621-625.
- Ridolfi, M., Terenziani, S., Patumi, M. and Fontanazza, G. 2002. Characterization of the lipoxygenases in some olive cultivars and determination of their role in volatile compounds formation. *J. Agri. Food Chem.* 50: 835-839.
- Sairam, R.K. Srivastava, G.C. and Sexena, D.C. 2000. Increased antioxidant activity under elevated temperature: a mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. *Biol. Plant* 43: 245-251.
- Sala, J.M. and Lafuente, M.T. 2000. Catalase enzyme activity is related to tolerance of mandarin fruits to chilling. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 81-89.
- Scandalios, J.G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiol.* 101: 7-12.
- Shahidi and Naczki, 1995. Food phenolics: Sources, Chemistry, Effects, Applications, Technomic Publishing Company Inc., Lancaster PA., pp. 231-245.
- Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., Yabuta, Y. and Yoshimura, K. 2002. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *J. Exp. Bot.* 53: 1305-1319.
- Shimizu, H. and Ichimura, K. 2002. Pollination affecting the vase life of cut *Eustoma* flowers. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 71: 449-451 (in Japanese).
- Slinkard, K. and Singleton, V.L. 1977. Total phenolic analysis: automation and comparison with manual method. *Am. J. Enol. Vitic.* 28: 49-55.
- Suanphairoch, S., Plainsirichai, M., Pharpom, K. and Phu-ein-ooy, N. 2006. Role of ethylene on vase-life of sacred lotus flower (*Nelumbo nucifera* Gaertn). *Agricultural Sci. J.* 37: 5 (Suppl.): 85-88.
- Suisuwan, C. and Pichayanon, K. 2002. Study on harvest method and postharvest handling of lotus flower (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) var. Sattabongkot Thai. *J. Agri. Sci.* 35(3): 303-308.
- Sun, Y., Christensen, B., Liu, F., Wang, H. and Müller, R. 2009. Effects of ethylene and 1-MCP (1-methylcyclopropene) on bud and flower drop in mini Phalaenopsis cultivars. *Plant Growth Regul.* 59: 83-91.

- Thomas, P. and Delincee, H. 1979. Effect of gamma irradiation on peroxidase isoenzymes during suberization of wounded potato tubers. *Phytochem* 18: 917-921.
- Thompson, J.E., Froese, C.D., Madey, E., Smith, M.D. and Hong, Y.W. 1998. Lipid metabolism during plant senescence. *Progr. Lipid Re.* 37: 119-141.
- Ukeda, H., Maeda, S., Ishii, T. And Sawamura, M. 1997. Spectrophotometric assay for superoxide dismutase based on tetrazolium salt 3-{1-[(phenylamino)-carbonyl]-3,4-tetrazolium}-bis(4-methoxy-6-nitro)benzenesulfonic acid hydrate reduction by xanthine-xanthine oxydase. *Ann. Biochem.* 251: 206-209.
- Van Doorn, W.G. and Perik, R.R. 1990. Hydroxyquinoline citrate and low pH prevent vascular blockage in stem of cut rose flowers by reducing the number of bacteria. *J. amer. Soc. Hort. Sci.* 115:979-981.
- Wang, C.Y. 1995. Effect of temperature preconditioning on catalase, peroxidase, and superoxide dismutase in chilled zucchini squash. *Postharvest boil. Technol.* 5: 67-76.
- Wang, Y.S., Tian, S.P. and Yong Xu, Y. 2005. Effect of igh oxygen concentration on pro and anti-oxidant enzymes in peach fruits during postharvest periods. *Food Chemistry* 91: 99-104.
- Wernett, H.C., Wilfret, G.J., Sheehan, T.J., Marousky, F.J., Lyrene, P.M. and Knauff, D.A. 1996. Postharvest longevity of cut-flower *Gerbera*. I. response to selection for vase life of components. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: 216-221.
- Woltering, E.J. and van Doorn, W.G. 1988. Role of ethylene in senescence of petals-morphological and taxonomical relationships. *J. Exp. Bot.* 39: 1605–1616.
- Wu, M.J., van Doorn, W.G. and Reid, M.S. 1991. Variation in the senescence of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) cultivars. I. comparison of flower life, respiration and ethylene biosynthesis. *Sci. Hortic.* 48: 99-107.

ตารางภาคผนวก

ตารางที่ ก.1 อัตราการหายใจของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	อัตราการหายใจ					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	35.69	22.58	17.98	12.80	16.24	34.41
200 ppm ethephon	40.47	27.21	19.52	15.90	19.47	32.27
500 ppm ethephon	41.27	28.24	20.75	18.47	18.25	.
F-test	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	21.64	11.67	15.43	15.30	22.75	6.45

ตารางที่ ก.2 อัตราการผลิตเอทิลีนดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	อัตราการผลิตเอทิลีน					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.32	0.32 ^b	0.35	0.16 ^a	0.36	0.33
200 ppm ethephon	0.25	0.37 ^b	0.33	0.12 ^{ab}	0.29	0.27
500 ppm ethephon	0.27	0.48 ^a	0.32	0.11 ^b	0.35	
F-test	NS	**	NS	*	NS	NS
C.V. (%)	17.63	9.62	21.99	17.94	23.32	13.25

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.3 การร่วงไหลของประจุดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	การร่วงไหลของประจุ					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	4.20	3.80	3.97	4.57 ^c	4.70 ^c	5.43
200 ppm ethephon	4.20	3.57	4.33	7.20 ^b	7.73 ^b	5.53
500 ppm ethephon	4.20	3.67	4.57	10.40 ^a	9.70 ^a	6.20
F-test	NS	NS	NS	**	**	NS
C.V. (%)	6.29	8.69	14.43	9.32	8.79	9.76

ตารางที่ ก.4 คะแนนการเกิดสีน้ำตาลของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	คะแนนการเกิดสีน้ำตาลที่กลีบดอก					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.00	0.00 ^b	0.70 ^b	0.90 ^b	1.20 ^b	3.10 ^b
200 ppm ethephon	0.00	0.00 ^b	2.00 ^b	3.10 ^a	4.90 ^a	5.00 ^a
500 ppm ethephon	0.00	0.30 ^a	2.30 ^a	3.70 ^a	5.00 ^a	
F-test	-	*	**	**	**	**
C.V. (%)	-	21.8	61.31	35.08	8.22	15.28

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.5 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.011	0.005	0.004	0.005 ^b	0.050 ^a	0.034 ^a
200 ppm ethephon	0.011	0.007	0.006	0.013 ^a	0.019 ^b	0.004 ^c
500 ppm ethephon	0.011	0.004	0.003	0.004 ^b	0.012 ^b	0.018 ^b
F-test	NS	NS	NS	**	**	**
C.V. (%)	23.31	38.69	53.73	32.60	28.34	28.35

ตารางที่ ก.6 ปริมาณ Malondialdehyde ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	ปริมาณ Malondialdehyde (μmol/g FW)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.468	0.409	0.555 ^b	0.609	0.810 ^a	0.650 ^a
200 ppm ethephon	0.468	0.410	0.554 ^b	0.623	0.616 ^b	0.457 ^b
500 ppm ethephon	0.486	0.375	0.707 ^a	0.490	0.411 ^c	0.388 ^b
F-test	NS	NS	*	NS	**	**
C.V. (%)	30.36	17.74	9.04	11.92	6.31	7.40

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้เดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.7 กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	3.748	2.381	1.184 ^a	0.610	0.415 ^b	0.350 ^b
200 ppm ethephon	3.748	1.222	0.747 ^b	0.714	0.187 ^b	0.931 ^a
500 ppm ethephon	3.748	1.395	1.349 ^a	0.968	1.153 ^a	0.169 ^b
F-test	NS	NS	*	NS	**	**
C.V. (%)	28.50	58.95	18.42	34.10	38.16	27.94

ตารางที่ ก.8 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.220	0.079	0.030	0.009 ^b	0.050	0.026 ^a
200 ppm ethephon	0.220	0.069	0.027	0.009 ^b	0.063	0.007 ^b
500 ppm ethephon	0.220	0.047	0.037	0.089 ^a	0.034	0.033 ^a
F-test	NS	NS	NS	**	NS	**
C.V. (%)	12.97	37.71	34.94	64.55	49.67	26.10

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มนี้เดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.9 กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase ของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.012	0.011 ^a	0.007	0.005 ^b	0.087 ^b	0.190 ^a
200 ppm ethephon	0.012	0.016 ^a	0.005	0.009 ^{ab}	0.164 ^a	0.009 ^c
500 ppm ethephon	0.012	0.004 ^b	0.006	0.012 ^a	0.020 ^c	0.145 ^b
F-test	NS	**	NS	*	**	**
C.V. (%)	71.64	53.13	30.72	25.20	29.42	18.08

ตารางที่ ก.10 ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวที่ปักในสารละลายเอทิฟอนที่ระดับความเข้มข้น 0 (Control) 200 และ 500 ppm จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (mg/g FW)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	4.53	4.40	4.46	4.98	6.21	5.79
200 ppm ethephon	4.53	4.75	4.55	4.68	5.73	5.11
500 ppm ethephon	4.53	4.58	4.58	4.84	5.15	5.85
F-test	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	2.88	7.34	14.35	7.41	10.23	8.80

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.11 อัตราการหายใจของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	อัตราการหายใจ					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
control	32.67	29.02	26.21	20.74	20.63	36.76
3-h water stress	41.46	31.78	23.77	15.29	19.70	39.64
6-h water stress	47.81	28.70	23.24	17.97	21.09	37.45
F-test	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	18.50	14.73	21.13	22.34	16.68	6.86

ตารางที่ ก.12 การผลิตเอทิลีนของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	การผลิตเอทิลีน					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
control	0.28	0.26	0.27	0.14	0.34	0.29
3-h water stress	0.29	0.34	0.29	0.16	0.39	0.32
6-h water stress	0.32	0.32	0.29	0.17	0.36	0.30
F-test	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	6.74	18.16	9.46	12.89	11.29	14.68

ชั่วโมง/วัน

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.13 การร่วงไหลของประจุของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	การร่วงไหลของประจุ					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
control	3.23	3.13	3.20	6.10	4.00	7.67
3-h water stress	3.87	3.10	3.10	5.27	5.27	7.20
6-h water stress	3.57	3.57	3.47	5.67	4.90	6.17
F-test	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	16.23	13.99	12.02	9.89	23.29	17.69

ตารางที่ ก.14 คะแนนการเกิดสีน้ำตาลของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	คะแนนการเกิดสีน้ำตาลที่กลีบดอก					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
control	0.00	0.00b	0.70	0.90	1.20	2.90b
3-h water stress	0.00	0.00b	0.90	1.10	1.60	3.30ab
6-h water stress	0.00	0.30a	1.00	1.20	1.80	3.50a
F-test	-	*	NS	NS	NS	*
C.V. (%)	-	2.78	49.65	46.92	49.65	16.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.15 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
control	0.008	0.018	0.022 ^a	0.061 ^a	0.020 ^b	0.022 ^b
3-h water stress	0.008	0.013	0.011 ^b	0.037 ^b	0.028 ^a	0.018 ^b
6-h water stress	0.008	0.026	0.025 ^a	0.034 ^b	0.022a ^b	0.049 ^a
F-test	NS	NS	**	**	*	**
C.V. (%)	5.74	24.55	15.73	12.74	13.03	16.41

ตารางที่ ก.16 ปริมาณ Malondialdehyde ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	ปริมาณ Malondialdehyde (μmol/g FW)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.552	0.450 ^b	0.600	0.635	0.502 ^b	1.105
3-h water stress	0.552	0.406 ^b	0.614	0.653	0.635 ^b	1.248
6-h water stress	0.552	0.598 ^a	0.480	0.738	0.907 ^a	1.213
F-test	NS	*	NS	NS	**	NS
C.V. (%)	7.74	13.92	16.77	17.31	14.98	10.93

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.17 กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.250	0.121 ^a	0.087	0.258	0.311 ^b	0.047 ^b
3-h water stress	0.250	0.161 ^a	0.257	0.531	0.516 ^a	0.143 ^b
6-h water stress	0.250	0.052 ^b	1.349	0.374	0.211 ^b	0.568 ^a
F-test	NS	**	NS	NS	*	*
C.V. (%)	11.99	25.36	131.05	29.69	27.06	57.44

ตารางที่ ก.18 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.038	0.033	0.037	0.124 ^a	0.069 ^b	0.123 ^a
3-h water stress	0.038	0.034	0.079	0.132 ^a	0.138 ^a	0.077 ^b
6-h water stress	0.038	0.039	0.110	0.061 ^b	0.158 ^a	0.034 ^c
F-test	NS	NS	NS	*	*	**
C.V. (%)	64.72	81.32	37.50	25.20	22.08	22.68

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.19 กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase ของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.002	0.008 ^b	0.001 ^b	0.006 ^b	0.007 ^b	0.020 ^a
3-h water stress	0.002	0.050 ^a	0.003 ^b	0.026 ^a	0.015 ^a	0.014 ^b
6-h water stress	0.002	0.020 ^b	0.018 ^a	0.002 ^b	0.015 ^a	0.011 ^b
F-test	NS	**	**	*	**	*
C.V. (%)	30.04	32.99	49.25	62.26	8.59	20.09

ตารางที่ ก.20 ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวที่ขาดน้ำนาน 0 (Control) 3 และ 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้น จึงย้ายมาปักในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (mg/g FW)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	5.16	4.08	3.29 ^b	4.50	4.27	4.84 ^b
3-h water stress	5.16	3.69	4.52 ^a	5.19	5.19	5.37 ^{ab}
6-h water stress	5.16	3.82	4.43 ^a	5.11	4.90	5.64 ^a
F-test	NS	NS	**	NS	NS	*
C.V. (%)	2.58	11.84	10.22	6.68	10.33	5.14

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.21 อัตราการหายใจของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	อัตราการหายใจของดอกบัว					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	85.35	65.81	46.60 ^b	67.72	23.53	14.41
Low RH	93.80	77.08	57.39 ^a	82.19	27.32	18.08
High RH	95.13	74.66	61.31 ^a	83.20	31.28	15.91
F-test	NS	NS	*	NS	NS	NS
C.V. (%)	13.09	9.97	9.72	11.86	12.17	21.34

ตารางที่ ก.22 การผลิตเอทิลีนของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	อัตราการผลิตเอทิลีนของดอกบัว					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.40	0.44	0.38	0.47a	0.11	0.09
Low RH	0.38	0.49	0.39	0.41b	0.11	0.11
High RH	0.36	0.45	0.42	0.38b	0.11	0.13
F-test	NS	NS	NS	*	NS	NS
C.V. (%)	16.15	16.55	14.60	12.26	13.18	13.80

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.23 การรั่วไหลของประจุของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	การรั่วไหลของประจุ					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	3.90	3.93	4.67	7.93	8.47	8.53
Low RH	3.90	4.23	4.27	7.73	8.40	7.40
High RH	3.90	3.87	4.40	7.17	7.53	6.67
F-test	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	2.56	12.38	5.14	11.42	6.57	10.58

ตารางที่ ก.24 คะแนนการเกิดสีน้ำตาลของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	คะแนนการเกิดสีน้ำตาลที่กลีบดอก					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20a	2.40
Low RH	0.00	0.00	0.00	0.10	1.00b	2.40
High RH	0.00	0.00	0.00	0.10	1.10b	2.50
F-test	-	-	-	NS	**	NS
C.V. (%)	-	-	-	22.66	39.69	21.36

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.25 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.038	0.046 ^a	0.039 ^b	0.026	0.052 ^a	0.029 ^b
Low RH	0.038	0.045 ^{ab}	0.047 ^b	0.029	0.037 ^b	0.017 ^c
High RH	0.038	0.033 ^b	0.061 ^a	0.034	0.045 ^{ab}	0.040 ^a
F-test	NS	NS	*	NS	*	**
C.V. (%)	14.20	14.43	11.20	18.97	11.48	11.58

ตารางที่ ก.26 ปริมาณ Malondialdehyde ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนส์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	ปริมาณ Malondialdehyde ($\mu\text{mol/g FW}$)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.531	0.403 ^b	0.747	0.675	0.688 ^b	1.246
Low RH	0.531	0.572 ^a	0.940	0.690	0.790 ^b	1.380
High RH	0.531	0.496 ^b	0.644	0.716	1.316 ^a	1.245
F-test	NS	**	NS	NS	*	NS
C.V. (%)	65.89	6.70	35.39	12.40	22.37	9.56

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.27 กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	3.371	0.984	0.645	0.338	0.473	0.085 ^c
Low RH	3.371	0.701	1.822	0.328	0.401	0.295 ^b
High RH	3.371	0.227	1.157	0.441	0.233	0.448 ^a
F-test	NS	NS	NS	NS	NS	**
C.V. (%)	25.88	109.36	112.36	43.70	32.83	20.72

ตารางที่ ก.28 กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Catalase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.077	0.284 ^a	0.158 ^b	0.017 ^b	0.099 ^a	0.057 ^a
Low RH	0.077	0.177 ^{ab}	0.128 ^b	0.023 ^b	0.020 ^c	0.022 ^b
High RH	0.077	0.104 ^b	0.371 ^a	0.111 ^a	0.036 ^b	0.036 ^{ab}
F-test	NS	**	**	**	**	*
C.V. (%)	33.40	33.03	22.55	46.80	13.06	32.12

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ ก.29 กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase ของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase (Unit/mg protein)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	0.22	0.016 ^{ab}	0.029	0.199 ^a	0.003 ^{ab}	0.006 ^a
Low RH	0.22	0.008 ^b	0.023	0.018 ^b	0.002 ^b	0.006 ^a
High RH	0.22	0.024 ^a	0.029	0.002 ^c	0.005 ^a	0.0007 ^b
F-test	NS	*	NS	**	*	*
C.V. (%)	80.15	30.68	75.66	28.76	29.85	47.99

ตารางที่ ก.30 ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของดอกบัวที่วางไว้ใน chamber ควบคุมความชื้นที่ 70 ± 5 % RH (Control) 60 ± 5 % RH (Low RH) และ 80 ± 5 % RH (High RH) ตลอดระยะเวลาการปักแจกัน ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ 21 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ให้แสงฟลูออเรสเซนต์นาน 12 ชั่วโมง/วัน

ชุดการทดลอง	ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (mg/g FW)					
	ระยะเวลาการปักแจกัน (ชั่วโมง)					
	0	6	12	24	48	72
Control	5.02	4.08	5.00	4.96	5.23 ^a	4.44
Low RH	5.02	4.23	5.08	4.23	5.23 ^a	4.29
High RH	5.02	4.48	5.02	5.18	4.23 ^b	4.91
F-test	NS	NS	NS	NS	**	NS
C.V. (%)	6.66	18.38	14.88	11.59	6.36	17.36

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

** = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

* = ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

NS = ไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ