

การเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill)  
ระหว่างพันธุ์ นครสวรรค์ 1 กับพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่เจริญเติบโตภายใต้ภาวะเค็ม

นภวรรณ มัณยานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา  
ธันวาคม 2558  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา


คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา  
วิทยานิพนธ์ของ นภวรรณ มัญยานนท์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

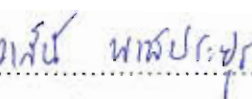
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(ดร. ศิริพรรณ บรรหาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


  
.....ประธาน  
(รองศาสตราจารย์ ดร. กรรชิต ชธรรมศิริ)

  
.....กรรมการ  
(ดร. ศิริพรรณ บรรหาร)

  
.....กรรมการ  
(ดร. วาสนี พงษ์ประบูร)

  
.....กรรมการ  
(ดร. ชัยวิน เพชรเลิศ)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษาของมหาวิทยาลัยบูรพา

  
.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 28 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2558

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งของ ดร. ศิริพรรณ บรรหาร  
อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้สละเวลารับเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่  
ถูกต้องในการค้นคว้าหาความรู้ และประสบการณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแก้ไข  
ข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน เอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ครรชิต ธรรมศิริ ที่ได้เสียสละเวลาเป็นประธานกรรมการสอบ  
วิทยานิพนธ์ ดร. ชัชวิน เพชรเลิศ และ ดร. วาสนี พงษ์ประยูร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้  
คำแนะนำตลอดจนตรวจทานข้อบกพร่องต่าง ๆ

ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาชีววิทยาทุกท่าน ที่คอยประสิทธิ์ประสาทวิชาและ  
ให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ และนักวิชาชีปฏิบัติกรทางวิทยาศาสตร์ ประจำภาควิชา  
ชีววิทยา และวิทยาศาสตร์เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้ความรู้และความอนุเคราะห์ใน  
การใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ผล และขอขอบคุณท่านผู้อำนวยการและคณะครูโรงเรียน  
ย่านตาขาวรัฐชนูปถัมภ์ จังหวัดตรังและโรงเรียนสตรีปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ตลอดจน  
นักเรียน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเรื่องเวลา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ  
ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัวและพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และ  
สนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่  
บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา  
และประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

นภวรรณ มั่นยานนท์

54990005: สาขาวิชา: ชีววิทยาศึกษา; วท.ม. (ชีววิทยาศึกษา)

คำสำคัญ: ถั่วเหลือง/ ภาวะเค็ม/ การตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช

นภวรรณ มั่นยานนท์: การเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) ระหว่างพันธุ์นครสวรรค์ 1 กับพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่เจริญเติบโตภายใต้ภาวะเค็ม (COMPARISON OF PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF NAKHONSAWAN 1 AND CHIANGMAI 60 SOYBEAN (*Glycine max* (L.) Merrill) GROWN UNDER SALINITY) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ศิริพรรณ บรรหาร, ปร. ด., 149 หน้า. ปี พ.ศ. 2558.

ในศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของ ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) ระหว่างพันธุ์นครสวรรค์ 1 (นว.1) กับพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ชม. 60) ที่เจริญเติบโตภายใต้ภาวะเค็ม ซึ่งถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มจากสารละลายธาตุอาหารที่เติม โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับเกลือทุกระดับความเข้มข้น มีความสูงของลำต้นเหนือพื้นดิน น้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักแห้ง ลำต้น น้ำหนักแห้งราก และพื้นที่ใบลดลงและน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ภายใต้ภาวะเค็มมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) น้ำหนักแห้งจำเพาะของใบ (Specific Leaf Weight ;SLW) ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้ม สูงกว่าชุดควบคุม แต่ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่า SLW น้อยกว่าชุดควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ภาวะเค็มมีผลทำให้ปริมาณ คลอโรฟิลล์ในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าน้อยลง และมีค่าน้อยกว่า ชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในระดับที่สูงขึ้นมีแนวโน้ม การสะสมโปรตีนและมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้น โดยถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 มีแนวโน้มการ สะสมโปรตีนและมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ในทุกระดับความ เข้มข้นของเกลือ จากการศึกษาการตอบสนองของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลือง พันธุ์ ชม.60 น่าจะมีความสามารถในการทนต่อภาวะเค็มได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1

54990005: MAJOR: BIOLOGY EDUCATION; M.Sc. (BIOLOGY EDUCATION)

KEYWORDS: SOYBEAN/ SALT STRESS/ PLANT PHYSIOLOGICAL RESPONSE

NAPAWAN MANYANON: COMPARISON OF PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF NAKHONSAWAN 1 AND CHIANGMAI 60 SOYBEAN (*Glycine max* (L.) Merrill) GROWN UNDER SALT STRESS. ADVISORY COMMITTEE: SIRIPHAN BANHARN, Ph.D., 149 P. 2015.

This study aimed to compare the physiological response and growth of Nakhonsawan 1 (NS1) and Chiangmai 60 (CM60) soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) grown under salinity. Soybeans were treated by nutrient solution supplemented with sodium chloride at 0, 40, 80, and 120 mM for 24 days. At the end of the experimental period, the height above ground, leaf dry weight, shoot dry weight, root dry weight, and leaf area significantly decreased when compared to the control ( $p \leq 0.05$ ). The relative growth rate of CM.60 under the salinity condition was higher than NS.1 but not significantly different. The Specific Leaf Weight (SLW) of both cultivars under 40 and 80 mM NaCl tended to be significantly higher than the control group, while at the 120 mM NaCl showed lower SLW than the control but not significantly different ( $p \leq 0.05$ ). Leaf chlorophyll and carotenoid in both cultivars under the salinity conditions were significantly lower than the control ( $p \leq 0.05$ ). The cultivars under higher salinity concentration tended to accumulate more proline and increased SOD activity than the control group. However NS.1 exhibited more proline and higher SOD activity than CM.60 under all salinity concentration. The results indicated that CM.60 soybean may be more resistant to salinity than NS.1.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ท
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
สมมติฐานการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
สถานที่ทำการวิจัย.....	4
ระยะเวลาการวิจัย.....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
ลักษณะประจำพันธุ์ของถั่วเหลืองที่ใช้ทดลอง.....	5
การทนเค็มของพืช.....	6
ผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืช.....	7
ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรลีน (Proline).....	9
ผลของภาวะเค็มต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง.....	11
ผลของภาวะเค็มต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD.....	13
ผลกระทบของ ROS ต่อพืช.....	15
ระบบการป้องกันตัวของพืช.....	16
การปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์ ด้วยระบบ Deep Flow Technique (DFT)	20

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	22
	วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี.....	22
	วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	30
4	ผลการวิจัย.....	31
	ผลของภาวะเค็มต่อการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง....	31
	ความสูงของลำต้นเหนือพื้นดิน.....	31
	น้ำหนักแห้งของใบ.....	35
	น้ำหนักแห้งของลำต้น.....	39
	น้ำหนักแห้งของราก.....	43
	พื้นที่ใบ.....	47
	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์.....	51
	น้ำหนักแห้งจำเพาะของใบ (Specific Leaf Weight; SLW).....	54
	ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพสลิ้น.....	58
	การสะสมโพสลิ้นในใบที่ 3 นับจากยอด.....	58
	การสะสมโพสลิ้นในใบที่ 5 นับจากยอด.....	59
	ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณสารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลือง.....	65
	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ ในใบที่ 2 จากยอด.....	65
	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์รวม ในใบที่ 1 จากโคน.....	71
	ผลของภาวะเค็มต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD.....	77
	กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 2 จากยอด.....	77
	กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 1 จากโคน.....	78
5	อภิปรายและสรุปผลการวิจัย.....	84

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
อภิปรายผลของภาวะเค็มต่อการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของ ถั่วเหลือง.....	84
อภิปรายผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโปรตีน.....	87
อภิปรายผลของภาวะเค็มต่อปริมาณสารสีที่ใช้ในกระบวนการ สังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลือง (ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และ ปริมาณแคโรทีนอยด์).....	89
อภิปรายผลของภาวะเค็มต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD (superoxide dismutase activity : SOD) .....	90
สรุปผลการวิจัย.....	92
ข้อเสนอแนะ.....	93
บรรณานุกรม.....	94
ภาคผนวก.....	104
ภาคผนวก ก .....	105
ภาคผนวก ข .....	108
ภาคผนวก ค .....	113
ภาคผนวก ง .....	118
ประวัติของผู้วิจัย.....	149



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4-1 ความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับ ภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตาม ระยะเวลาที่ต่างกัน (mean $\pm$ standard error).....	33
4-2 น้ำหนักแห้งของใบ (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ ต่างกัน (mean $\pm$ standard error).....	37
4-3 น้ำหนักแห้งของต้น (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ ต่างกัน (mean $\pm$ standard error).....	41
4-4 น้ำหนักแห้งของราก (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ ต่างกัน (mean $\pm$ standard error).....	45
4-5 พื้นที่ใบรวม (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะ เค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลา ที่ต่างกัน (mean $\pm$ standard error).....	49
4-6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/กรัม-วัน) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน ตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean $\pm$ standard error).....	52
4-7 Specific Leaf Weight : SLW (มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม. 60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean $\pm$ standard error).....	56
4-8 ปริมาณโพรลิน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 3 นับจากยอด ของถั่วเหลือง พันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean $\pm$ standard error).....	61
4-9 ปริมาณโพรลิน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 5 นับจากยอด ของถั่วเหลือง พันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean $\pm$ standard error).....	62

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-10 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลือง พันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error).....	67
4-12 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลือง พันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error).....	69
4-11 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 1 จากโคนของ ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของ สารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error).....	73
4-13 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลือง พันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error).....	75
4-14 กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg <sup>-1</sup> protein) ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error).....	80
4-15 กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg <sup>-1</sup> protein) ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลือง พันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error).....	81
ง-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่แตกต่างกัน.....	119
ง-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่แตกต่างกัน.....	120
ง-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับ ภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่แตกต่างกัน.....	121
ง-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับ ภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่แตกต่างกัน.....	122



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสะสมโพสตรอนในใบที่ 3 นับจากยอดของ ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	135
ง-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสะสมโพสตรอนในใบที่ 5 นับจากยอดของ ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	136
ง-19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ 2 นับจากยอดของ ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	137
ง-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ 1 นับจากโคนของ ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	138
ง-21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ 2 นับจากยอดของ ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	139
ง-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ 1 นับจากโคนของ ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	140
ง-23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 2 นับจากยอดของ ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	141
ง-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 1 นับจากโคนของ ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	142
ง-25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 2 นับจากยอดของ ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	143

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 1 นับจากโคนของ ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	144
ง-27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 2 นับจากยอด ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	145
ง-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 1 นับจากโคน ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	146
ง-29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 2 นับจากยอด ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	147
ง-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 1 นับจากโคน ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา แตกต่างกัน.....	148

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ปฏิกริยารีดักชันของออกซิเจน (Salin, 1987).....	16
2-2 ภาพรวมของการกำจัดสารพิษในคลอโรพลาสต์ (Alscher et al., 1997).....	17
2-3 ระบบปลูกแบบ Deep Flow Technique (ดิเรก ทองอร่าม, 2551).....	20
2-4 รูปแบบการปลูกที่ดัดแปลงจากระบบ DFT.....	21
3-1 รูปแบบการวางกระบะปลูกบนชั้นวาง.....	25
4-1 ความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับ ภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตาม ระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	34
4-2 น้ำหนักแห้งของใบ (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	38
4-3 น้ำหนักแห้งของลำต้น (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	42
4-4 น้ำหนักแห้งของราก (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	46
4-5 พื้นที่ใบรวม (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะ เค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลา ที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	50
4-6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของลำต้น (กรัม/กรัม-วัน) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	53

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-7 Specific Leaf Weight (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	57
4-8 ปริมาณโพสทิน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 3 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	63
4-9 ปริมาณโพสทิน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 5 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) .....	64
4-10 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	68
4-11 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	70
4-12 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	74
4-13 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	76

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-14 กิจกรรมของเอนไซม์ (Unit mg <sup>-1</sup> protein) ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม. 60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	82
4-15 กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg <sup>-1</sup> protein) ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	83
ข-1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีน bovine albumin protein.....	109
ข-2 กราฟมาตรฐานของเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส (superoxide dismutase enzyme; SOD) ปริมาณต่าง ๆ.....	110
ข-3 กราฟเปอร์เซ็นต์การยับยั้งปฏิกิริยา NBT reduction ของ SOD .....	111
ข-4 กราฟมาตรฐานโพรินในการวิเคราะห์ปริมาณโพรินในใบถั่วเหลือง.....	112
ค-1 ลักษณะแปลงทดลองในรูปแบบการปลูกแบบไฮโดรโพนิคส์ ระบบ DFT .....	114
ค-2 ต้นกล้าถั่วเหลืองที่ทดลองปลูกระบบไฮโดรโพนิคส์ แบบระบบ DFT .....	114
ค-3 ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม. 60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 8 วัน ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ.....	115
ค-4 ถั่วเหลืองพันธุ์ นว. 1 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 8 วัน ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ.....	115
ค-5 ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ .....	116
ค-6 ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ.....	116
ค-7 อาการใบบาง ปลายใบเหี่ยวไหม้ ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็ม.....	117
ค-8 อาการใบเหี่ยว ขอบใบไหม้ แผ่นใบเหลือง ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว. 1 ที่ได้รับภาวะเค็ม	117



# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญ

พืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยและเศรษฐกิจโลก คือ พืชตระกูลถั่ว โดยเฉพาะถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่เป็นความต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ ทำให้เป็นที่นิยมปลูกเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตที่มีอากาศอบอุ่นและค่อนข้างร้อน ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีปริมาณโปรตีนและน้ำมันในเมล็ดสูง จึงเป็นประโยชน์ทางด้านโภชนาการทางอาหาร มีการแปรรูปเป็นน้ำมันพืชที่ใช้ในการบริโภคและเป็นอาหารสัตว์ เป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่นิยมบริโภคแทนโปรตีนจากสัตว์จากประโยชน์ของถั่วเหลืองทำให้ความต้องการของตลาดทั่วโลกเพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ ปีตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังเป็นพืชที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้โดยกระบวนการตรึงไนโตรเจน จึงทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการเจริญเติบโตและยังสามารถเพื่อแก้ปัญหาปุ๋ยไนโตรเจนที่ตรงได้ให้แก่พืชชนิดอื่นที่ปลูกตามหลัง ดังนั้นหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตเกษตรกรทำการไถกลบเพื่อเป็นการปรับปรุงดินสำหรับการหมุนเวียนปลูกพืชอื่นต่อไป องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ประมาณการการผลิตและการตลาดถั่วเหลือง ว่าในปี 2556/57 ปริมาณผลผลิตถั่วเหลืองโลก มีจำนวน 289 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2555/56 ร้อยละ 8.24 ส่งผลให้ปริมาณสต็อกสิ้นปีเพิ่มขึ้นจาก 29 ล้านตัน เป็น 34 ล้านตัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.24 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) นั่นแสดงให้เห็นว่าความต้องการถั่วเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่การปลูกถั่วเหลืองยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น สายพันธุ์ ฤดูกาล และสภาพดินในพื้นที่ปลูก เป็นต้น ซึ่งถั่วเหลืองเป็นพืชที่สามารถทนความเค็มได้ในช่วงแคบ สภาพความเค็มของดินมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง ดังนั้นพื้นที่ปลูกเหล่านี้จึงประสบปัญหาในการปลูกถั่วเหลือง (อรุณศิริ กำลั้ง, 2545)

สภาพดินเค็มเป็นดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือ เกลือที่พบส่วนใหญ่เป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ ในพื้นที่ที่มีสภาพดินเค็ม ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่งทะเล และที่ราบลุ่มในทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่เพาะปลูกในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีสภาพดินที่มีความเค็มสูงถึงร้อยละ 17 ของพื้นที่ทั้งหมด (เอิบ เขียวรัตน์, 2551) ส่งผลให้เกษตรกรประสบปัญหาการเพาะปลูกพืช เนื่องจากสภาพดินเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ไม่สามารถเพาะปลูกพืชได้ตามต้องการ หรือปลูกได้แต่ให้ผลผลิตต่ำ พืชบางชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพดินเค็ม

แต่มีลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ลำต้นแคระแกร็น ไม่แตกกอ ใบเหี่ยว ใบเหลืองซีด ใบแห้งตายเป็นจุด ๆ หรือขอบใบไหม้ เป็นต้น (Jacoby, 2008) ผลผลิตน้ำหนักรากและ น้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกในสภาพดินเค็มมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของเกลือในดินที่สูงมาก จะเป็นพิษต่อพืช ทำให้รากพืชดูดน้ำได้น้อยลง ประสพสภาวะขาดน้ำทำให้การขยายตัวของ แผ่นใบและการยึดตัวของลำต้นลดลง (เอิบ เขียวรัตน์, 2551) ซึ่งปัญหาพื้นที่ปลูกที่มีสภาพดิน เเค็มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งจากธรรมชาติ และการเสื่อมโทรมของดินจากการทำการเกษตรที่ผิดวิธี ทำให้ต้อง มีการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลือง เพื่อให้สามารถเพาะปลูกในพื้นที่ที่มีปัญหาและได้ผลผลิตตามที่ ต้องการ แนวทางในการศึกษาอย่างหนึ่งที่จะช่วยร่นระยะเวลาในการปรับปรุงพันธุ์ของถั่วเหลือง คือ การศึกษาลักษณะการตอบสนองของสายพันธุ์ถั่วเหลืองในสภาวะเค็มของพืช เช่น การสะสม โพรลีน และสารแอนติออกซิแดนซ์ที่เพิ่มขึ้น (Turkan et al., 2005) แต่ทั้งนี้การสะสมโพรลีนในพืช นั้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์พืช (Molinari et al., 2004) โพรลีน ทำหน้าที่ช่วยในการ ปรับแรงดันออสโมติกภายในเซลล์พืชให้ลดต่ำลงเพื่อที่พืชจะได้ดูดน้ำมาใช้ได้มากขึ้น (Smirnoff, 1993) เมื่อพืชอยู่ในสภาวะความเค็มจะทำให้พืชเกิดการขาดน้ำ เนื่องจากรากพืชดูดน้ำได้น้อยลง เกิดการตอบสนองโดยการปิดปากใบและการปรับค่าออสโมติกของพืชเพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ใน ภาวะเครียดที่พืชได้รับ และการปิดปากใบจะส่งผลยับยั้งกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่งผลให้คลอโรพลาสต์มีพลังงานที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอน ของสารสีอยู่ในสภาวะกระตุ้นมากเกินไป (excess excitation energy) โดยเฉพาะภายใต้ภาวะที่มีความเข้มแสงมาก (Smirnoff, 1995) ซึ่งจะกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ในขณะที่พืชบางชนิดกลับมีรายงานว่ามีการสะสมโพรลีนในปริมาณสูงในพืชที่มีแนวโน้มทนทาน ต่อสภาวะเค็ม (Turkan et al., 2005)

เมื่อพืชอยู่ในสภาวะปกติจะมีสารแอนติออกซิแดนซ์อย่างเพียงพอต่อการรักษาคุณภาพ แต่เมื่อพืชได้รับสภาวะเค็มหรือขาดน้ำจะมีการสะสมสารแอนติออกซิแดนซ์ที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อลด อัตราการถูกทำลายของเซลล์ โดยที่ปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์จะแตกต่างกันไปตามชนิดและ พันธุ์พืช (Smirnoff, 1993; Reddy et al., 2004) จากการศึกษาภาวะเค็มต่อพืช พบว่าเมื่อพืชอยู่ใน ภาวะเค็มจากดินที่มีเกลือ จะทำให้พืชเกิดความเครียดหลายรูปแบบ ซึ่งความเครียดรูปแบบหนึ่งที่ พบบ่อย คือ ภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) เมื่อความเครียดชนิดนี้เกิดขึ้นแล้วจะทำให้ พืชสร้างสารประกอบออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา หรือที่เรียกว่า reactive oxygen species (ROS) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide;  $H_2O_2$ ) ออกมาในปริมาณมาก สารประกอบเหล่านี้จะเป็นอันตรายต่อระบบต่างๆ ภายในเซลล์พืชอย่างรุนแรง ทำให้พืชมีกลไกการตอบสนองต่อภาวะนี้ โดยการเร่งสลาย ROS ด้วยการควบคุมการทำงานของเอนไซม์และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้อง

กับกลไกการกำจัด ROS เอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารอนุมูลอิสระ ได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase ;SOD) คาตาเลส (catalase; CAT) แอสคอร์เบท เพอร์ออกซิเดส (ascorbate peroxidase; APX) เพอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD) กลูตาไทโอนรีดักเทส (glutathione reductase; GR) โมโนดีไฮโดรแอสคอร์เบทรีดักเทส (monodehydroascorbate reductase; MDHAR) และ ดีไฮโดรแอสคอร์เบทรีดักเทส (dehydroascorbate reductase; DHAR) สารเหล่านี้จะต่อต้านและทำลายสารอนุมูลอิสระ เพื่อรักษาสมดุลภายในเซลล์เอาไว้ (Sairam & Tyagi, 2004) การประเมินความสัมพันธ์การสะสมโปรตีนและกิจกรรมของ SOD ในถั่วเหลืองที่อยู่ในสถานะเครียดเต็มน่าจะมีระดับปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น จากกลไกการปรับตัวของพืชในสถานะเต็มในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโต และการตอบสนองสรีรวิทยาของถั่วเหลืองพันธุ์ไทยต่อภาวะเต็ม โดยปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์และให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลจากการทดลองนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในงานด้านการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองทนเค็มได้อีกแนวทางหนึ่ง

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของภาวะเต็มที่มีต่อการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการระหว่างถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 กับพันธุ์นครสวรรค์ 1

### สมมติฐานของการวิจัย

ภาวะความเค็มที่ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 กับพันธุ์นครสวรรค์ 1 ได้รับมีผลต่อการเจริญเติบโต ปริมาณสารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การสะสมโปรตีน และกิจกรรมของเอนไซม์ SOD

### ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาผลภาวะเต็มที่มีต่อการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโต โดยเก็บข้อมูลความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้งของต้น น้ำหนักแห้งของราก น้ำหนักแห้งของใบ น้ำหนักแห้งจำเพาะของใบ โดยคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของใบรวมทั้งต้นต่อพื้นที่ใบรวมทั้งต้น และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์โดยคำนวณจากอัตราส่วนน้ำหนักแห้งของต้นต่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นตามวิธีการของ Beadle (1993)

2. ศึกษาผลของภาวะเค็มที่มีต่อปริมาณสารสีในการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเก็บข้อมูลปริมาณ chlorophyll a (Chl a) chlorophyll b (Chl b) total chlorophyll (total chl) และ carotenoids โดยการสกัดตามวิธีการของอัญชลี ร่มพา (2543) และนำไปคำนวณหาปริมาณสารสีจากสมการของ Lichtenthaler (1987)

3. เพื่อศึกษาผลของภาวะเค็มที่มีต่อปริมาณโปรตีน โดยวิเคราะห์ตามวิธีการของ Bates et al. (1973)

4. เพื่อศึกษาผลของภาวะเค็มที่มีต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD โดยวิเคราะห์ตามวิธีการของ Drindsa et al. (1981)

5. ปลุกพืชทดลองในระบบไฮโดรโปนิกส์ ดัดแปลงระบบแบบ Deep Flow Technique (DFT) ที่สารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่ 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เก็บตัวอย่างวิเคราะห์และบันทึกผลทุก ๆ 4 วัน คือ วันที่ 0 4 8 12 16 20 และ 24

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการคัดเลือกพันธุ์ถั่วเหลือง เพื่อให้ได้พันธุ์ที่สามารถทนต่อภาวะเค็มได้

2. ทราบการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองเมื่อเจริญอยู่ในภาวะเค็ม โดยทราบการเจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ ปริมาณแคโรทีนอยด์ การสะสมโปรตีน และกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ซึ่งสามารถนำไปคาดคะเนความสามารถในการทนเค็มของถั่วเหลืองพันธุ์ต่าง ๆ ได้

### สถานที่ในการวิจัย

เรือนเพาะชำ และห้องปฏิบัติการทางสรีรวิทยาของพืช ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอบางแสน จังหวัดชลบุรี

### ระยะเวลาของการวิจัย

ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2556 – เดือนกรกฎาคม 2557

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ลักษณะประจำพันธุ์ของถั่วเหลืองที่ใช้ทดลอง

ถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ พันธุ์เชียงใหม่ 60 (ชม. 60) และพันธุ์นครสวรรค์ 1 (นว.1) ซึ่งได้เมล็ดพันธุ์มาจากกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

#### 1. ถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 (ชม.60)

**ประวัติ :** เป็นพันธุ์ที่คัดเลือกได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างพันธุ์ Williams ซึ่งเป็นพันธุ์แม่ กับพันธุ์ สจ.4 (สถานีศึกษารวมแม่โจ้ 4, Acadian × Tainung 4) ที่เป็นพันธุ์พ่อ และคัดเลือกได้สายพันธุ์ 7508-50-10 ได้รับการรับรองในปี 2530 ภายหลังจากปลูกศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตปรากฏว่าเป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งและต้านทานต่อโรคราสนิมเหมาะที่จะให้เป็นพันธุ์มาตรฐาน

**ลักษณะประจำพันธุ์ :** ลำต้นมีลักษณะไม่ทอดยอด ต้นอ่อน โคนต้นมีสีเขียว ขนสีน้ำตาล ความสูงประมาณ 60 เซนติเมตร ลักษณะทรงต้นแตกกิ่งน้อย ใบสีเขียวเข้ม ใบกว้างและหนา ดอกสีขาว ออกดอกเมื่ออายุประมาณ 25 วัน เก็บเกี่ยวอายุประมาณ 97 วัน (จัดอยู่ในกลุ่มอายุการเก็บเกี่ยวระดับปานกลาง ประมาณ 90-100 วัน) สุกเมื่อแก่จัดมีสีน้ำตาลเข้ม ไม่แตกง่าย เมล็ดสีเหลืองกลม ตาเมล็ดสีน้ำตาลน้ำหนัก 100 เมล็ดหนัก 15.5 กรัม

**ลักษณะเด่นของสายพันธุ์ :** ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกมากในประเทศไทย โดยพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองทั้งประเทศมีการปลูกถั่วเหลืองสายพันธุ์ ชม.60 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากพันธุ์ ชม.60 ให้ผลผลิตสม่ำเสมอทั้งฤดูแล้งและฤดูฝนปรับตัวได้ดีทุกแหล่งปลูกของประเทศ มีความสามารถทนทานต่อโรคราสนิม ต้านทานปานกลางต่อโรคใบจุดและโรคราน้ำค้าง ผลผลิตสูง 320 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำมัน 20.2 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 43.8 เปอร์เซ็นต์ ตอบสนองต่อปุ๋ยอัตราต่ำกว่าพันธุ์ สจ.5

**ลักษณะด้อยที่ควรระวัง :** เมล็ดพันธุ์ไม่ทนต่อภาวะน้ำขัง เนื่อง่าย ซึ่งส่งผลต่อการปลูก ดังนั้นเกษตรกรจะต้องเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพที่ดี และความชื้นในดินควรมีความเหมาะสมต่อการปลูก ไม่แฉะหรือแฉะเกินไป (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2557)

## 2. ถั่วเหลืองพันธุ์ นครสวรรค์ 1 (นว. 1)

**ประวัติ :** นำเข้าพันธุ์ถั่วเหลืองจากประเทศในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในปี พ.ศ. 2523 กองพืชไร่ให้ชื่อว่า “โอซีบี” สถานีทดลองพืชไร่แม่โจ้นำมาทดสอบคัดเลือกภายในพันธุ์ให้บริสุทธิ์ เป็นพันธุ์รับรองในปีพ.ศ. 2529 นิยมปลูกในต้นฤดูฝนในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน

**ลักษณะประจำพันธุ์ :** ลำต้นมีลักษณะไม่ทอดยอด ทรงต้นเตี้ย อายุสั้น มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 77 วัน ซึ่งสั้นกว่าพันธุ์ สจ.5 15 วัน ใบค่อนข้างใหญ่ปลายใบแหลม ก้านใบสั้น ดอกสีม่วง ออกดอกเมื่ออายุ 25-30 วัน เมล็ดสีเหลืองนวล ตามเมล็ดสีเหลืองอ่อน ฟักแห้งเมื่อแก่จัดมีสีเหลืองทอง ฟักแตกง่ายมี 2-3 เมล็ดต่อฟัก น้ำหนัก 100 เมล็ด/หนัก 18-19 กรัม

**ลักษณะเด่นของสายพันธุ์ :** ขนาดฟักใหญ่ คุณภาพเมล็ดดี เมล็ดโต มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันในเมล็ดสูงประมาณ 21.3 เปอร์เซ็นต์ เป็นที่ต้องการของตลาด ผลผลิตโดยเฉลี่ย 330 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์ สจ.5 11 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งผลผลิตต่อวันต่อไร่สูงมากกว่าพันธุ์ สจ.5 37 เปอร์เซ็นต์ สามารถปลูกในระบบปลูกพืชได้ดี โดยเฉพาะในเขตเกษตรน้ำฝน (ระยะปลูกที่แนะนำ 50 × 20 เซนติเมตร)

**ลักษณะด้อยที่ควรระวัง :** เป็นสายพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคราน้ำค้าง และฟักแตกง่าย จึงควรหลีกเลี่ยงการปลูกในช่วงปลายฤดูฝนและฤดูแล้ง (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2557)

### การทนเค็มของพืช

การทนเค็มของพืช หมายถึง ความสามารถที่พืชจะทนต่อเกลือปริมาณมากในบริเวณรากพืช พืชชนิดต่างๆ มีความสามารถในการทนเค็มแตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าถั่วเหลืองสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีโซเดียมคลอไรด์ 0.2 เปอร์เซ็นต์ และไม่สามารถเจริญเติบโตในพื้นที่ที่มีดินเค็มจัดได้ ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของถั่วเหลือง (อรุณศิริ กำลัง, 2545) พืชส่วนใหญ่มีผลผลิตลดลงเมื่อสารละลายในดินมีค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity; EC) มากกว่า 2 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร พืชบางชนิดทนเค็มได้ถึง 4-8 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร เมื่อระดับความเค็มสูงถึง 16 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร พืชเกือบทุกชนิดแสดงอาการที่ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง เมื่อพืชไม่ทนเค็มหรือทนเค็มน้อยได้รับผลกระทบจากความเค็ม จะแสดงอาการคล้ายกับการที่พืชขาดน้ำ เช่น ชะงักการเจริญเติบโต พืชมีขนาดเล็กกว่าพืชที่ปลูกในดินธรรมดา ใบห่อลงเพื่อลดการคายน้ำทางปากใบ พืชบางชนิดอาจมีสีเขียวเข้มแกมน้ำเงิน (bluish green) มากกว่าพืชที่ขึ้นในดินปกติที่ปลูกในสภาพคล้ายคลึงกัน เหตุที่สีของใบพืชเปลี่ยนไปเข้มกว่าเนื่องจากใบมีคลอโรฟิลล์มาก และมีสารเคลือบใบ (cuticle) หนาเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ในบางครั้ง

อาจพบอาการปลายใบไหม้ (tip burn) เกิดจุดประ (mottles) บนใบ ใบม้วนและใบเหลืองเนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์ ใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ปลายใบและขอบใบแห้งกรอบ การทนเค็มในช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืชก็แตกต่างกัน ผันแปรไปตามระยะการเจริญเติบโตตั้งแต่การงอกจนกระทั่งสุกแก่ และอาจผันแปรตามระยะของการพัฒนาด้วย พืชที่ปลูกส่วนใหญ่ได้รับความเสียหายตั้งแต่ระยะงอกหรือในการเจริญเติบโตช่วงแรก ทำให้มีพื้นที่ที่พืชขึ้นไม่ได้เป็นหย่อมๆ ในแปลงปลูก แต่เมื่อพ้นระยะกล้าไปแล้วพืชจะทนเค็มได้ดีขึ้น (สมศรี อรุณินท์ และอรุณี ยูวะนิคม, 2539)

### ผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืช

การลดลงของการเจริญเติบโตของพืชเมื่อได้รับเกลือ นั้น อาจเนื่องมาจากประการที่หนึ่งคือเกลือโซเดียมคลอไรด์ไปลดค่าศักย์ของน้ำ (water potential) ในเซลล์จึงทำให้มีแรงดันเต่งลดลง ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตลดลง การจำกัดน้ำที่พืชได้รับพืชจึงเกิดภาวะขาดน้ำขึ้น ประการที่สอง ความเป็นพิษที่เกิดขึ้นจากเกลือที่ได้รับมากเกินไป ทำให้ไปรบกวนกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืชและความสมดุลของ electrolyte ในเนื้อเยื่อพืช ประการที่สาม เกลือโซเดียมคลอไรด์อาจมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารบางชนิด (Greenway, 1973) พืชที่อยู่ในภาวะเค็มจะมีการสะสมโซเดียมไอออน และคลอไรด์ไอออน ในลำต้นปริมาณมากขึ้น ซึ่งจะรบกวนการสะสมธาตุอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต (Diana et al., 2013) เช่น การสะสมโพแทสเซียมไอออน ( $K^+$ ) และ แคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ ) ในลำต้นและรากลดลง (Muhummad et al., 2013) ในภาวะเค็มน้ำที่มีเกลือละลายอยู่สูงจะทำให้ค่าความดันออสโมติกของน้ำลดลงจนมีความแตกต่างกับความดันออสโมติกของเหลวในรากพืชมีน้อยลง ทำให้พืชดูดน้ำได้น้อยและเกิดอาการเหี่ยวเฉาหรือใบไหม้และถ้าปริมาณเกลือในดินเข้มข้นมากขึ้นจนทำให้เกิดกระบวนการพลาสโมไลซิส (plasmolysis) พืชจะเหี่ยวตายในที่สุด ดังเช่นในรายงานวิจัยของอรุณศิริ กำลั้ง (2545) ที่พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์สง.1 สง.2 และพันธุ์วิลเลียม มีการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้ความสูงของลำต้น น้ำหนักแห้งของใบ ต้น ราก พื้นที่ใบและผลผลิตของถั่วเหลืองลดลง Dolatabadian et al. (2011) รายงานว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งลำต้น ความสูง และจำนวนใบถั่วเหลืองน้อยกว่าชุดควบคุมพืชบางชนิดมีการตอบสนองต่อภาวะเค็มอย่างรวดเร็ว โดยการปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ และการตอบสนองจะมากขึ้นเมื่อระดับความเค็มเพิ่มสูงขึ้น (Rajaona et al., 2012)

ทิวา พาโลกทอม (2542) ศึกษาอิทธิพลของระดับความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยปลูกและอ้อยต่อ 1 ระดับความเค็มที่ศึกษาอยู่ที่ 0 4 8 และ 12 เดซิซีเมนต่อเมตร พบว่าในระดับความเค็มที่สูงขึ้นมีผลทำให้ความสูง

น้ำหนักที่หีบต่อกอ จำนวนปล้องต่อลำ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีลักษณะต่ำลง ซึ่งพบว่าในระดับความเค็มแรกเริ่มนั้นจะยังคงไม่แสดงอาการความผิดปกติอย่างชัดเจน

ไพรัช พงษ์วิเชียร และคณะ (2541) ศึกษาผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของปลู่อเล่ (Longlife cabbage) พบว่าปลู่อเล่ที่ปลูกโดยใช้น้ำเค็มที่ระดับต่าง ๆ มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป เมื่อพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงพบว่าการใช้น้ำจืดในการปลูกส่งผลให้อัตราความสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้น้ำเค็ม และความสูงของปลู่อเล่ลดลงเมื่อระดับความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น

Albino et al. (2007) ทดลองปลูกมะเขือเทศด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0, 4.2, 6.0, 7.8, 9.6, 11.4, 13.2 และ 15.0 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร พบว่า ที่ระดับความเค็มที่สูงขึ้นการเจริญเติบโตของมะเขือเทศมีแนวโน้มลดลง ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และการตอบสนองการเปิด-ปิดของปากใบต่อกรดแอบไซซิกลดต่ำลง

Cabuslay et al. (2002) ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าว (*Oryza sativa* L.) ในภาวะเครียดแล้ง เพื่อปรับปรุงสายพันธุ์ข้าวที่สามารถทนต่อภาวะขาดน้ำได้ พบว่าภาวะขาดน้ำเห็นสาเหตุหลักที่มีผลต่อการสร้างพื้นที่ใบมากกว่าน้ำหนักแห้งต้น ในภาวะขาดน้ำข้าวมีพื้นที่ใบลดลง และมีแนวโน้มของค่าน้ำหนักแห้งจำเพาะของใบ (SLW) ลดลง กล่าวได้ว่าอัตราการเจริญเติบโตของพืชถูกยับยั้งอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับภาวะขาดน้ำอย่างต่อเนื่อง ค่า SLW ที่ต่ำลงภายใต้ภาวะแล้งที่ศึกษาอาจเป็นไปได้ว่าพืชมีการปรับตัวต่อภาวะเครียดที่ได้รับ โดยการไม่ให้ความสำคัญในการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มเนื้อใบ แต่ทำให้ใบมีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น เพื่อมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงส่งผลต่อค่า SLW ที่ลดลง (Brown & Byrd, 1997)

Carillo et al. (2011) รายงานว่าความเค็มมีผลต่อแรงดันออสโมติก เนื่องจากในภาวะเค็มมีไอออนในสารละลายดินมากกว่าปกติ ซึ่งจะเป็นการลดค่าชลศักย์ของน้ำทำให้น้ำและแร่ธาตุซึมผ่านรากได้ยาก จึงส่งผลให้อัตราการนำน้ำและแร่ธาตุเข้าข้างล่าง พืชจะอยู่ในสภาวะขาดน้ำ มีผลต่อการยับยั้งกระบวนการแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเซลล์ อัตราการเจริญเติบโตของพืชก็จะลดต่ำลง รวมทั้ง ไอออนของเกลือในพืชที่มากเกินไปมีความเป็นพิษ ยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่าง ๆ เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการนำเข้าและใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุ

De Pascale and Barbieri (1997) ศึกษาผลภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 0% 0.125% 0.25% 0.5% และ 1% ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่ว broadbean พบว่าภาวะเค็มที่ได้รับมาผลต่อการเจริญเติบโต เมื่อภาวะเค็มมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น น้ำหนักแห้งต้น



และน้ำหนักแห้งรากลดลง พื้นที่ใบลดลง ความสูงของลำต้นมีแนวโน้มน้อยลง มีใบจำนวนน้อย และขนาดเล็กลง และใบหลุดร่วงไป ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับพืชที่ได้รับภาวะแล้ง และค่า SLW เพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกันกับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์

Parida et al. (2004) ศึกษาผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของถั่วดำ (*Bruguiera parviflora* Wight ; Am. ex W. Griffith) พบว่าภาวะเค็มที่ถั่วดำได้รับมีผลต่อ ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบ โดยทำให้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง และในระดับภาวะเค็มที่เข้มข้นมากขึ้น การเจริญเติบโตของถั่วดำยังมีแนวโน้มลดต่ำลง

Saffan (2008) ศึกษาการปรับตัวของพืชเศรษฐกิจภายใต้ภาวะเค็ม ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวบาเลย์ ถั่วแดงและถั่วเขียว ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 200 มิลลิโมลาร์ พบว่าในภาวะเค็มข้าวบาเลย์ ถั่วแดง และถั่วเขียว มีน้ำหนักแห้งใบลดลง ถั่วเขียวมีแนวโน้มการสะสมโปรตีนสูงชันกว่าพืชชนิดอื่น และภาวะเค็มยังมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของรากและยอดพืช

#### ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโปรตีน (Proline)

โปรตีน คือ กรดอะมิโนชนิดหนึ่งถูกสร้างขึ้นมาจากกรดกลูตามิก โดยทั่วไปแล้วพืชจะมีการสะสมโปรตีน อยู่ในเซลล์ แต่มีอยู่ในระดับต่ำ และถูกควบคุมโดยกระบวนการ feedback inhibition (Gzik, 1996) เมื่อพืชอยู่ในสภาพขาดน้ำ พืชจะปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ พืชจะมีการปรับแรงดันออสโมติกภายในเซลล์ มีการสะสมสารบางชนิดในรูปของสารละลาย เช่น โปรตีน ไกลซีน บีเทน กรดอินทรีย์ และน้ำตาล ภายในไซโตพลาสซึม (Hore et al., 1998) โปรตีนเป็นสารที่ช่วยป้องกันการถูกทำลายของเยื่อหุ้มเซลล์ และรักษาไม่ให้โปรตีนเสื่อมสภาพ ในระหว่างที่พืชได้รับสภาพแห้งแล้ง (Ketchum et al., 1991; Ain-Lhont et al., 2000; Koca et al., 2007 ; Ueda et al., 2007)

กระบวนการสร้าง โปรตีน เริ่มต้นจากกรดกลูตามิก โดยมีเอนไซม์  $\gamma$ -glutamyl kinase และ glutamyl-semialdehyde dehydrogenase ซึ่งเป็นเอนไซม์คู่แรกของกระบวนการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้จะได้สาร  $\gamma$ -glutamyl-semialdehyde ต่อจากนั้นเกิดกระบวนการ dehydration โดยไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง ผลของปฏิกิริยาจะได้ pyrroline-5-carboxylate จากนั้นก็เกิดปฏิกิริยา reduction โดยใช้เอนไซม์ pyrroline-5-carboxylate reductase จากปฏิกิริยานี้จะได้สารโปรตีน โดยที่บางส่วนจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้างโปรตีน บางส่วนเคลื่อนย้ายเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหาร (Hanson & Hitz, 1982) เมื่อขาดน้ำจะเกิดการสูญเสีย feedback inhibition พืชจะกระตุ้นให้สังเคราะห์โปรตีน โดยปริมาณโปรตีนที่มากขึ้นนี้จะไม่ส่งผลกลับไปยับยั้งกระบวนการสร้างโปรตีน (Delauney & Verma, 1993)

การสลายตัวของโพรลีนเกิดจากกระบวนการ proline oxidation โดยเอนไซม์ proline oxidase ผลจากปฏิกิริยานี้จะได้ pyrroline-5-carboxylate และจาก pyrroline-5-carboxylate จะเกิดปฏิกิริยาอีกขั้นตอนหนึ่งโดยมีเอนไซม์ pyrroline-5-carboxylate dehydrogenase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็นกรดกลูตามิก (Boggess et al., 1976) กระบวนการสลายตัวของโพรลีนจะเกิดขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาพปกติ แต่ถ้าขาดน้ำกระบวนการจะถูกยับยั้ง (Jones & Rawson, 1979) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปกติพืชจะมีการสร้างโพรลีนเพื่อปกป้องตัวเองเมื่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง เมื่อพืชได้รับการปลูกถ่ายยีนในการสร้างโพรลีน จะสามารถทนภาวะเค็มได้มากกว่าพืชที่มีการสร้างโพรลีนตามปกติ โดยมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่า (Su & Wu, 2004)

ฐปนา อัครเอกปัญญา (2544) ศึกษาผลของความเค็มจากโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ ในถั่วเหลือง 4 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ สว.5 มข.35 สท.2 และชม.60 พบว่าเมื่อเพาะเมล็ดถั่วเหลืองในสภาวะเค็มอัตราการงอกของเมล็ดถั่วเหลืองลดลง และเกลือโซเดียมคลอไรด์ยังมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตส่วนของลำต้นและราก เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้ง พบว่ามีแนวโน้มลดลงกับกลุ่มที่ไม่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ การสะสมโพรลีนของถั่วเหลืองในสภาวะเค็มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีอาการที่พืชแสดงออกในขณะที่โพรลีนสูงขึ้นควบคู่กันไป คือ อาการใบไหม้เป็นจุด ทำให้ขอบใบม้วนลง ดังนั้นการสะสมโพรลีนที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาวะเค็ม

พรศักดิ์ ภักดีวารภรณ์ (2543) ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต การสะสมโพรลีน โซเดียมไอออน และคลอไรด์ไอออนในถั่วเหลือง 3 สายพันธุ์ คือ สจ.5 ชม.60 และสท.2 โดยกำหนดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นดังนี้ 20 40 และ 60 มิลลิโมลาร์ พบว่าทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้การเจริญเติบโตของราก ลำต้น และใบลดลง อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และถั่วเหลืองที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์มีการสะสมโพรลีนเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของเกลือ

Bouzid (2014) ศึกษาการตอบสนองของพืชทนเค็มในระดับความเค็มตั้งแต่ 0-300 มิลลิโมลาร์ พบว่าพืชทนเค็มสามารถปรับตัวกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดี ซึ่งพืชมีกระบวนการทำงานภายในเซลล์ที่ส่งผลต่อการปรับตัวในดินที่มีความแตกต่างกัน พืชทดลองในการศึกษาคือพืชกลุ่ม *Atriplex* ให้อยู่ในภาชนะเค็มจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่าพืชทนเค็มสามารถเจริญเติบโตได้ดีในเชิงบวก ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ตั้งแต่ระดับต่ำจนถึงระดับปานกลาง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ให้สูงขึ้นอีกพบว่า ความเข้มข้นของ chlorophyll a และ chlorophyll b และค่าความสามารถในการดูดน้ำของรากจากดินในสภาวะอิมตัว

มีค่าลดลง นอกจากนี้พืชยังสะสมโพรลีนในปริมาณที่สูงขึ้น ตามแนวโน้มความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์

De Ronde et al. (2004) ในถั่วเหลืองที่มีการถ่ายยีนที่สามารถผลิตเอนไซม์ P5CR จาก *Arabidopsis* ทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม sense, antisense และถั่วเหลืองปกติ พบว่า เมื่อนำน้ำในถั่วเหลืองกลุ่ม sense จะแสดงอาการขาดน้ำเพียงเล็กน้อย มี pyrroline-5-carboxylate reductase สูง ทำให้สามารถผลิตโพรลีนได้สูงเมื่อเทียบกับถั่วเหลืองปกติและกลุ่ม antisense และเมื่อนำน้ำอีกครั้งหลังสภาพแล้ง กลุ่ม sense จะมี proline dehydrogenase สูงกว่าถั่วเหลืองปกติและกลุ่ม antisense

Mozafar et al. (2007) ศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง เพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลือง ซึ่งความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ศึกษาได้แก่ 0 50 100 150 และ 200 มิลลิโมลาร์ พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่สูงขึ้น อัตราการเจริญเติบโต และน้ำหนักแห้งลดลง เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีโซเดียมคลอไรด์ นอกจากนี้กลุ่มที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์จะมีการสะสมโพรลีนในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น

Pongprayoon et al. (2008) ศึกษาการสะสมโพรลีนในพันธุ์ข้าวหอมของไทย ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 0 171 342 512 หรือ 684 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 4 วัน พบว่าการสะสมโพรลีนในเนื้อเยื่อใบข้าวเพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น และระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็ม

### ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณสารสีในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

สภาวะเค็มของดิน หรือสิ่งแวดล้อมภายนอกเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช พืชที่อยู่ในภาวะความเครียดจากเกลือจะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง อัตราการคายน้ำ ความหนาแน่นของปากใบ และการชักนำการเปิดปิดของปากใบลดลงกว่าพืชที่อยู่ในภาวะปกติ (พนิตา ชูติมานุกูล และคณะ, 2556)

เกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้น อาจก่อให้เกิดการสะสมเกลือในเนื้อเยื่อของใบพืชจนถึงระดับที่เป็นผลเสียต่อการสังเคราะห์แสงได้ Gale and Poljakoff- Mayber (2007) พบว่าโซเดียมคลอไรด์ ทำให้ความต้านทานในการเปิดปากใบ (stomatal resistance) ที่มีต่อการแพร่กระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในใบถั่วเพิ่มขึ้นอีกด้วย เพราะเมื่อพืชเกิดการขาดน้ำทำให้พืชมีการปรับตัวโดยการปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แพร่เข้าสู่ปากใบได้น้อยลง จึงส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ซึ่ง Yeo et al. (2005) ได้รายงานว่าการยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthesis) ใน ต้นพืชที่ได้รับเกลือเกิดจากการขาดน้ำในเซลล์ของใบและเกิดจากการสะสมเกลือในส่วนของ apoplast ของเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันออสโมติกและมีการสะสมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ในเนื้อเยื่อเพิ่มสูงขึ้น มีผลไปลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

นอกจากเกลือจะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงแล้วยังมีผลต่อสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง การทดลองในข้าว (*Oryza sativa* L.) พบว่าเมื่อให้ระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 150 ถึง 500 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์จากชุดควบคุม (Yeo ; Flower, 2005) ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงนี้เป็นการปรับตัวเพื่อลดพื้นที่การรับแสงให้น้อยลงเพื่อสงวนพลังงานเอาไว้ เป็นการหลีกเลี่ยงภาวะเค็มอีกวิธีการหนึ่งของพืชที่จะสามารถทนต่อภาวะเค็มและอยู่รอดได้จนกว่าภาวะเค็มจะผ่านพ้นไป (Kyparissis et al., 2005)

พนิตา ชุติมานุกูล และคณะ (2556) ศึกษาผลของสภาวะเค็มต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของข้าวสายพันธุ์ทนเค็มที่เกิดจากประชากร CSSL พบว่าที่ภาวะความเค็มมากสายพันธุ์ข้าวทนเค็มพันธุ์ CSSL 10 12 16 และ 27 มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด ( $A_{max}$ ) เพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับข้าวสายพันธุ์ Pokkali ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่ใช้ตรวจมาตรฐานทนเค็ม แต่ในภาวะเค็มจัดมากพบว่าข้าวทนเค็มทุกสายพันธุ์มี  $A_{max}$  ลดลง ดังนั้นจากการศึกษานี้สรุปว่า แม้สายพันธุ์ข้าวทนเค็มจะสามารถทนทานต่อสภาวะความเค็มในสิ่งแวดล้อมได้ แต่หากระดับความเค็มเพิ่มสูงขึ้นก็จะส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสายพันธุ์ทนเค็มลดลง และจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตต่อไป

Li et al. (2010) ศึกษาผลของภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 0 100 200 และ 300 มิลลิโมลาร์ ในละหุ่ง (*Ricinus communis* L.) พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมีแนวโน้มลดลง และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมต่ำกว่าชุดควบคุม ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ในละหุ่งที่ได้รับภาวะเค็มน้อยกว่าชุดควบคุม แต่ไม่แตกต่างในแต่ละระดับความเข้มข้นของเกลือ

Yi et al. (2014) ศึกษาอิทธิพลของสภาวะความเค็มต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของ ถั่วเหลือง (*Glycine max* L.) พบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อการทำงานและปริมาณของเอนไซม์รูบิสโก ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 150 mM มีผลทำให้เอนไซม์รูบิสโกมีปริมาณลดลง และเคลื่อนที่ออกจากบริเวณระหว่างเยื่อหุ้มชั้นในและชั้นนอกของคลอโรพลาสต์ไปยังแวคิวโอล ทำให้ลดอัตราการ

ตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ และลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งผลการศึกษาศอดคล้องกับ Lu et al. (2009) และ Yamane et al. (2012) ศึกษาผลของความเค็มจากโซเดียมคลอไรด์ต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลือง พบว่าระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่สูงมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์รูบิสโก ทำให้มีปริมาณและการทำงานลดลง

ปริมาณความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์อาจเป็นสาเหตุให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชต่ำลง ซึ่งสาเหตุการลดลงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมี 2 สาเหตุสำคัญ คือ เกิดจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเข้าสู่เซลล์ลดลง ซึ่งเกิดจากปากใบปิด และเกิดจากมีกระบวนการยับยั้งเมแทบอลิซึมของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chaves et al., 2009)

การที่พืชอยู่ภายใต้สภาวะเค็มจะมีผลต่อการเจริญเติบโต การพัฒนาโครงสร้างพืช เช่น ลำต้น ใบ ซึ่งผลกระทบนี้ส่วนหนึ่งเกิดจากความเค็มไปรบกวนกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้น้อยลง (Meloni et al., 2003 ; Munns, 2005)

Lifeng et al. (2013) ศึกษาผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของบานไม่รู้โรยและผักกาดหอม โดยใช้น้ำทิ้งที่มีโซเดียมคลอไรด์เจือปนอยู่ ซึ่งกำหนดความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับ 0 1,000 5,000 และ 10,000 ppm พบว่าพืชทั้งสองชนิดมีการตอบสนองต่อความเค็มที่แตกต่างกัน โดยบานไม่รู้โรยมีภาวะการทนเค็มได้สูงกว่าผักกาดหอมที่ระดับความเค็มที่ต่ำกว่า 5,000 ppm พบว่าความเค็มไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้ง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบ องค์ประกอบสารสี และกิจกรรมของแอนติออกซิแดนซ์เอนไซม์ แต่ผลในผักกาดหอมมีการตอบสนองต่อความเค็มที่ทำให้น้ำหนักแห้ง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบ และองค์ประกอบสารสี มีแนวโน้มลดลงทั้งที่อยู่ในระดับความเค็มที่ต่ำกว่า

### ผลของภาวะเค็มต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD

ความเครียดจากสภาวะแวดล้อม เช่น สภาพแล้ง การเข้าโจมตีของเชื้อโรคพืช สารโลหะหนัก สารกำจัดวัชพืช มลภาวะทางอากาศ อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป ความเข้มของแสงสูงเกินไป และภาวะดินเค็ม เป็นต้น จะส่งผลให้พืชเกิด oxidative stress พืชจะมีการสะสมรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ (reactive oxygen species; ROS) ภายในพืช ซึ่งอาจอยู่ในรูปไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ )) ซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide;  $O_2^-$ ) และไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical;  $OH^\cdot$ ) (Borsani et al., 2001) โดยที่ ROS จะทำปฏิกิริยากับไขมันที่เชื่อมต่อก่อนให้เกิด ลิพิดเปอร์ออกไซด์ (lipid peroxides) ซึ่งจะสร้างความเสียหายให้กับโปรตีน DNA RNA และ lipid membrane ทำให้มีการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (Sharma & Davis, 1997) มีผลในการทำลายโปรตีนและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในวัฏจักรเคลวิน เปลี่ยนเบสและน้ำตาลในสาย

ดีเอ็นเอทำให้เกิดการแตกสลายของสายดีเอ็นเอ การเกิดลิปิดเพอร์ออกไซด์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลายซึ่งจะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อเซลล์ (Cassells & Curry, 2001) ซึ่งกลไกในการกำจัดหรือยับยั้งการทำงานของ ROS ภายในพืชนั้นคือ สารแอนติออกซิแดนซ์ แบ่งออกเป็นกลุ่มที่เป็นเอนไซม์ (enzymatic antioxidants) เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase ;SOD), คาทาเลส (catalase; CAT), แอสคอร์เบทเพอร์ออกซิเดส (ascorbate peroxidase; APX), เพอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD), กลูตาไทโอน รีดักเทส (glutathione reductase; GR), โมโนดีไฮโดรแอสคอร์เบท รีดักเทส (monodehydroascorbate reductase; MDHAR) และ ดีไฮโดรแอสคอร์เบท รีดักเทส (dehydroascorbate reductase; DHAR) ส่วนที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic antioxidants) เช่น กลูตาไทโอน (glutathione) ฟลาโวน (flavones) พอลิเอมีน (polyamines) แอนโทไซยานิน (anthocyanins) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) วิตามิน อี (vitamin E) และ กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) (Johnson et al., 2003) ในการทดลองในพืช C3 และ C4 โดยใช้ข้าวสาลีและข้าวโพดในการทดลอง ก็พบว่าที่ระดับขาดน้ำปานกลางและสูงมีระดับการทำงานหรือปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์แตกต่างกัน (Nayyar & Gupta, 2005; Gill & Tuteja , 2010 & Khan et al. , 2012)

เมื่อเกิด oxidative stress พืชจะมีกลไกในการป้องกันและกำจัด ROS โดย SOD เป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยนซูเปอร์ออกไซด์ เป็น  $H_2O_2$  และออกซิเจน ซึ่งในการถ่ายยีนที่สามารถผลิต SOD ได้มาก พบว่ามีความทนทานต่อสภาวะเครียดที่หลากหลายกว่าปกติ ส่วน  $H_2O_2$  จะถูกกำจัดต่อโดย CAT ซึ่งพบอยู่ในเพอร์ออกซิโซม (peroxisomes) แต่ไม่พบในคลอโรพลาสต์ (Scandalios, 1993) และ แอสคอร์เบทเพอร์ออกซิเดส (ascorbate peroxidase; APX) พบในคลอโรพลาสต์ ซึ่งจะใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นตัวรับไฮโดรเจนเพื่อยับยั้ง  $H_2O_2$  และถูกยับยั้งโดย วัฏจักรแอสคอร์เบทกลูตาไทโอน (ascorbateglutathione cycle) โดยมีเอนไซม์ MDAR, DHAR และ GR เกี่ยวข้องในการยับยั้ง  $H_2O_2$  ส่วนไฮดรอกซิลแรดิคัล และซิงเกิ้ล ออกซิเจน (singlet oxygen;  $^1O_2$ ) จะถูกกำจัดโดย แอสคอร์เบท แคโรทีนอยด์ และ โทโคฟีรอล (tocopherol) ซึ่งเป็นกลุ่มแอนติออกซิแดนซ์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Foyer et al., 1994)

สภาวะขาดน้ำจะเป็นตัวชักนำให้เกิด oxidative stress และกระตุ้นให้เกิด reactive oxygen species (ROS) เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide ;  $O_2^-$ ) ซึ่งจะถูกรักษาไปอย่างรวดเร็วเกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide ;  $H_2O_2$ ) และไฮดรอกซิลแรดิคัล (hydroxyl radical; OH) ที่มีความเป็นพิษมากขึ้น (Peltzer et al., 2002)

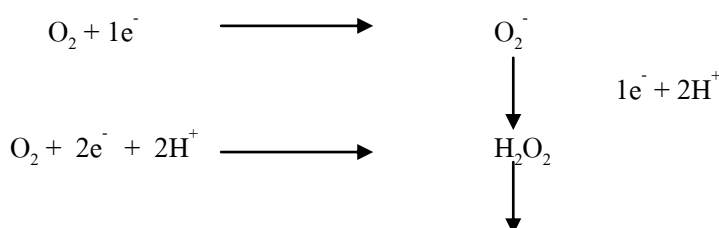
การเปิดปิดของปากใบของพืชเพื่อลดการสูญเสียน้ำในช่วงที่พืชได้อยู่ในภาวะแล้ง เป็นสาเหตุการยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เนื่องจากทำให้กระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้ช้าลง คลอโรพลาสต์จึงมีพลังงานที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนของ

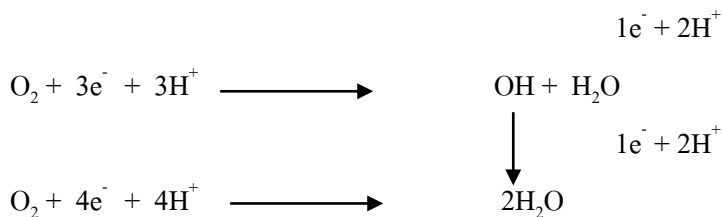
รงควัตถุอยู่ในภาวะกระตุ้นได้มาก โดยจะเกิดพลังงานเหล่านี้มากขึ้น ถ้าพืชยังคงได้รับแสงอย่างต่อเนื่อง พลังงานที่เกิดขึ้นนี้จะสลายตัวไปเองบางส่วน หรือถูกกำจัดไป โดยกลไกการป้องกันต่างๆ เช่น การสลายตัวในรูปของความร้อนโดยการได้รับพลังงานของ carotenoid และการเคลื่อนไหวใบหนีแสง เพื่อลดการดูดกลืนแสง (Smirnov, 1993) ถ้าพลังงานดังกล่าวปลดปล่อยออกไปไม่หมดจะส่งผลกระทบต่อพืชได้ เพราะ chlorophyll ที่เป็นรงควัตถุที่รับพลังงานแสงนี้ไว้จะอยู่ในสภาวะกระตุ้น เรียกว่า triplet state of chlorophyll ซึ่งจะไม่สามารถรับพลังงานแสงเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อีก chlorophyll จึงต้องมีการถ่ายเทพลังงานให้กับออกซิเจนเพื่อกลับคืนสู่สภาวะพื้น (ground state) และเมื่อออกซิเจนรับพลังงานแล้วจะเกิดเป็น singlet oxygen (อัญชสิทธิ์ รมพา, 2543 อ้างถึงใน Salin, 1987)

กระบวนการส่งถ่ายอิเล็กตรอนใน light reaction ของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชก็ได้รับผลกระทบจากการปิดปากใบของพืชด้วยเช่นเดียวกัน โดยในกระบวนการส่งถ่ายอิเล็กตรอนที่มี  $\text{NADP}^+$  เป็นตัวสุดท้ายที่เข้าไปรับอิเล็กตรอนที่ส่งมาจากระบบแสง I ได้เป็น NADPH ซึ่งจะถูกนำไปใช้ต่อไปในกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้ว NADPH จะถูกเปลี่ยนกลับคืนเป็น  $\text{NADP}^+$  เพื่อกลับไปรับอิเล็กตรอนใหม่ ถ้าพืชปิดปากใบทำให้กระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นช้าลงจึงเกิดกระบวนการสะสม NADPH เพิ่มขึ้น และมี  $\text{NADP}^+$  ไปรับอิเล็กตรอนจากระบบแสง I ลดลง ทำให้กระบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอนมีตัวรับอิเล็กตรอนไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงมีการส่งถ่ายอิเล็กตรอนไปให้ตัวรับอื่น เช่น ออกซิเจน ซึ่งมีความเข้มข้นสูงในคลอโรพลาสต์ เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide) (Allen, 1995) นอกจากนี้ที่ระบบแสง II ก็ได้รับผลกระทบด้วย เพราะเมื่อพลาสโตควิโนน (plastoquinone; Q) ได้รับอิเล็กตรอนจากระบบแสง II แล้วจะเปลี่ยนเป็นพลาสโตไฮโดรควิโนน (plastohydroquinone;  $\text{QH}_2$ ) ในกรณีที่มีการยับยั้งกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้  $\text{QH}_2$  ไม่สามารถส่งอิเล็กตรอนต่อไปได้ จึงมีการส่งถ่ายอิเล็กตรอนให้กับออกซิเจนเกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์เช่นกัน (Smirnov, 1993)

### ผลกระทบของ ROS ต่อพืช

การเกิด ROS จะส่งผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อพืช เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และไฮดรอกซิล เรดิคัล (hydroxyl radical) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน ดังภาพที่ 2-1 (Salin, 1987)





ภาพที่ 2-1 ปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน (Salin, 1987)

ซึ่ง superoxide 2 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน 2 อะตอมเกิดเป็น hydrogen peroxide โดยมี SOD เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา (1)



โดย superoxide กับ hydrogen peroxide สามารถทำปฏิกิริยากันจนเกิด hydroxyl radical ได้ เรียกว่าปฏิกิริยา Haber-Weiss ซึ่งเกิดได้ช้า ดังปฏิกิริยา (2)



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

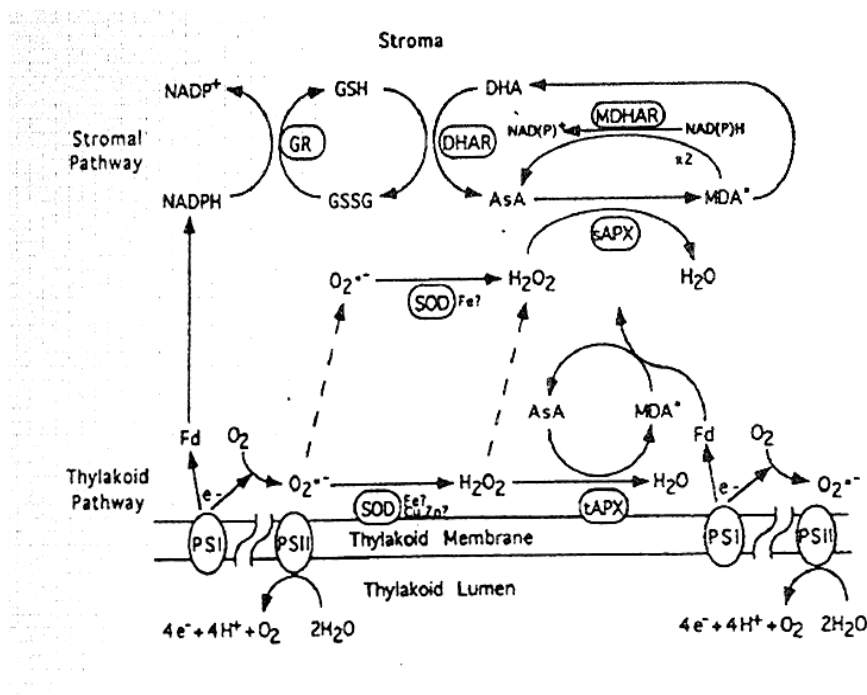


### ระบบการป้องกันตัวของพืช

การสร้างและการสะสม ROS สามารถทำลายองค์ประกอบต่างๆภายในเซลล์ เช่น เกิดการทำลายโปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดนิวคลีอิก (Elstner & Osswald, 1994) และเยื่อหุ้มของคลอโรพลาสต์และไทลาคอยด์ ซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่มาก พืชที่ขาดน้ำจึงมีปริมาณรงควัตถุลดลง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า hydrogen peroxide สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย โดยเฉพาะ hydrogen peroxide จำนวนมากที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัด superoxide ของ SOD (อัญชลี ร่มพา, 2543)



ภาพรวมของการกำจัดสารพิษภายในคลอโรพลาสต์ (ภาพที่ 2-2) (Alscher et al., 1997) สรุปดังนี้ superoxide ที่เกิดจากการเกิดรีดักชันของออกซิเจนที่ระบบแสง I จะถูกทำลายโดย SOD ที่อยู่บนไทลาคอยด์เมมเบรนอย่างรวดเร็วเกิดเป็น hydrogen peroxide ที่จะถูกทำลายต่อไปโดย APX ที่อยู่บนไทลาคอยด์เมมเบรนได้เป็นน้ำ ซึ่ง superoxide และ hydrogen peroxide ที่แพร่ออกไปจากเมมเบรนก็จะถูก SOD และ APX ในสโตรมาทำลายอย่างรวดเร็วเช่นกัน การทำลาย hydrogen peroxide เกิดจากการทำงานร่วมกันของโมเลกุลและเอนไซม์หลายชนิด จากการทำงานของ APX ทำให้ได้โมโนดีไฮโดรแอสคอร์เบท แรดิคัล (monodehydroascorbate radical; MDA) ที่ไทลาคอยด์ MDA สามารถรีดิวซ์กลับไปเป็นกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid; AsA) โดยเฟอร์รีดอกซิน (ferridoxin; Fd) ในขณะที่ในสโตรมา MDA สามารถกลับไปเป็น AsA โดย MDHAR ในภาวะที่มี NADPH หรือโดยกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid; DHA) ก็สามารถกลับไปเป็น AsA ได้โดย DHAR โดยใช้ reduced glutathione เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ซึ่ง reduced glutathione เกิดในภาวะที่มี GR และ NADPH



ภาพที่ 2-2 ภาพรวมของการกำจัดสารพิษในคลอโรพลาสต์ (Alscher et al., 1997)

SOD เป็นเอนไซม์ตัวแรกในกระบวนการกำจัด ROS ที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน superoxide ไปเป็น hydrogen peroxide และน้ำ ดังสมการที่ (1) SOD มี 3 ไอโซฟอร์ม (isoform) โดยแบ่งตามโลหะที่เป็นโคแฟกเตอร์ คือ คอปเปอร์/ซิงค์ (copper/ zinc) ได้แก่ Cu/ZnSOD แมงกานีส (manganese) ได้แก่ MnSOD และไอออน (iron) ได้แก่ FeSOD ไอโซฟอร์มของ SOD แบ่งได้ด้วยความแตกต่างในการถูกยับยั้งด้วยโพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN) และ hydrogen peroxide Cu/ZnSOD สามารถยับยั้งได้ทั้ง KCN และ hydrogen peroxide ซึ่งในพืชส่วนใหญ่ Cu/ZnSOD เป็นไอโซฟอร์มที่พบได้มากที่สุดในคลอโรพลาสต์และไซโตซอล ส่วน FeSOD ถูกยับยั้งโดย hydrogen peroxide เท่านั้น พบเฉพาะในคลอโรพลาสต์ (อัญชลี ร่มพา, 2543)

ไอออนเกลือจากภาวะเค็มทำให้เกิด ROS ขึ้น ซึ่งจะทำให้เซลล์ถูกทำลายและเสื่อมสภาพ ส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมี พืชปรับตัวโดยการลด ROS เพื่อปกป้องเซลล์ด้วย สารแอนติออกซิแดนซ์ เช่น SOD ดังนั้นในภาวะเค็มที่สูงขึ้น SOD ก็จะเพิ่มขึ้นเพื่อปกป้องเซลล์และฟื้นฟูสภาพเซลล์พืช (Wang et al., 2009; Oufdou et al., 2014 & Zang et al., 2015)

Bor et al. (2003) พบว่าผักกาดพันธุ์ทนเค็ม (*Beta maritima* L.) มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD POX APOX CAT และ GR มากกว่า ผักกาดพันธุ์ไม่ทนเค็ม (*Beta vulgaris* L.) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าจากภาวะเค็มที่ได้รับนั้นมีผลอย่างรวดเร็ว เกิด ROS ขึ้นจำนวนมาก จึงเกิดปฏิกิริยาตอบสนองได้เร็ว และมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ที่สูงกว่าผักกาดพันธุ์ไม่ทนเค็ม (*Beta vulgaris* L.)

Jung (2003) ทำการทดสอบปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์ใน *Arabidopsis thaliana* ในสภาพขาดน้ำพบว่า เมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำระดับของปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์พวกที่เป็น nonenzymatic จะมีปริมาณสูงขึ้นทั้งในใบอ่อนและใบแก่ ส่วนสารแอนติออกซิแดนซ์กลุ่มที่เป็นเอนไซม์จะมีปริมาณสูงขึ้น เฉพาะกลุ่มใบแก่ ระยะเวลาเจริญเติบโตของใบมีผลต่อความหลากหลายของสารแอนติออกซิแดนซ์

Fu and Huang (2001) พบว่าในสภาพขาดน้ำที่บริเวณผิวหน้าดินกับในสภาพขาดน้ำในดินทั้งหมด มีการตอบสนองของปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์แตกต่างกัน โดยในสภาพขาดน้ำบริเวณผิวหน้าดินพบว่าปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณ catalase และ peroxidase ไม่เปลี่ยนแปลง ในสภาพขาดน้ำในดินทั้งหมดพบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ peroxidase เพิ่มขึ้นในระยะแรกจากนั้นลดลง ส่วน catalase ไม่เปลี่ยนแปลงจนถึงวันที่ 25 จากนั้นจึงลดลง

Meloni et al. (2003) ศึกษาภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 0 50 และ 100 มิลลิโมลาร์ ต่อ การตอบสนองในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และสารแอนติออกซิแดนซ์ในฝ้ายพันธุ์ Guazuncho และ Pora (พันธุ์ผสม *Gossypium hirsutum* x *G. arboretum* x *G.*

*raimondii*) พบว่า ฝ้ายพันธุ์ Pora ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นมีปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงกว่าชุดควบคุม แต่ฝ้ายพันธุ์ Guazuncho มีปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงขึ้นเช่นกัน แต่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ( $P \leq 0.05$ ) จึงสรุปได้ว่าฝ้ายทนเค็มมีการสร้าง antioxidant enzyme เพิ่มสูงขึ้นเพื่อต่อต้าน ROS ที่เกิดขึ้นภายใต้ภาวะเค็ม

Min et al. (2013) ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ใน *Broussonetia papyrifera* พบว่า เมื่อพืชได้รับโซเดียมคลอไรด์ระดับที่สูงขึ้นจะชักนำให้เพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide;  $H_2O_2$ ) ในเนื้อเยื่อของ *Broussonetia papyrifera* และเมื่อวิเคราะห์ antioxidant enzyme พบว่ามีปริมาณของซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส ในลำต้นสูงขึ้นกว่ากลุ่มควบคุม

Neto et al. (2006) ศึกษาผลของภาวะเครียดเกลือต่อแอกติวิตีเอนไซม์ในใบและรากของข้าวโพดทนเค็ม และไม่ทนเค็ม พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโมลาร์ กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในข้าวโพดทั้งสองพันธุ์สูงกว่าชุดควบคุมตามระยะเวลาที่ได้รับ ความเค็มนานขึ้น ข้าวโพดพันธุ์ทนเค็มมีปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ข้าวโพดพันธุ์ไม่ทนเค็มปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ไม่ต่างกับชุดควบคุม ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งเห็นได้ว่า SOD มีบทบาทสำคัญในการปกป้องเซลล์จากการถูกทำลายจากภาวะเค็มที่ได้รับ

Pinheiro et al. (2004) ทดลองใน *Coffea canephora* โดยใช้สายพันธุ์ที่ทนแล้งและไม่ทนแล้ง พบว่าเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดหรือยับยั้ง hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) เช่น superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, catalase, guaiacol peroxidase, glutathione reductase และ dehydroascorbate reductase จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นแตกต่างกันเมื่อได้รับสภาพแล้ง โดยไม่ขึ้นอยู่กับว่าเป็นพันธุ์ที่ทนแล้งหรือไม่ทนแล้ง ในขณะที่ monodehydroascorbate reductase ไม่เปลี่ยนแปลง

Sarowar et al. (2005) ศึกษาในมะเขือเทศโดยมีการตัดต่อยีน CAPOA1 ซึ่งสามารถผลิต ascorbate peroxidase ได้มาก พบว่ามะเขือเทศที่ตัดต่อยีนจะมีความทนทานต่อสภาวะเครียดจาก methyl viologen และมีความต้านทานต่อเชื้อโรคพืช oomycete เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

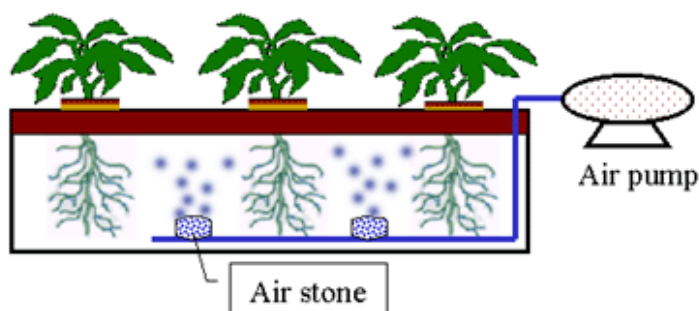
Sekmen et al. (2012) ศึกษาการตอบสนองของแอนติออกซิแดนซ์ชนิดต่างๆ ต่อภาวะเครียดเกลือในช่วงระยะระหว่างการงอกของเมล็ดและระยะการเจริญเติบโตของ *Gypsophila oblongeolata* Bark พบว่าเมื่อในระยะการเจริญเติบโตที่ได้รับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ระดับ 0 50 100 150 และ 300 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มสูงกว่าชุดควบคุม และในระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น ปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ก็ยิ่งเพิ่มขึ้น และผล

ของภาวะเครียดมีผลยับยั้งการงอกของเมล็ด จากสารประกอบ ROS ที่เกิดขึ้น ดังนั้นในระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่สูงขึ้นอัตราการงอกและการเจริญจะลดลง

Turkan et al. (2005) ทำการทดสอบโดยใช้ *Phaseolus acutifolius* ซึ่งทนทานต่อสภาพแล้งและ *Phaseolus vulgaris* ซึ่งไม่ทนทานต่อสภาพแล้ง พบว่าเมื่อได้รับสภาพแล้ง การเจริญเติบโตของ *Phaseolus acutifolius* ดีกว่า มีค่า lipid peroxidation ต่ำกว่า มี superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase และ peroxidase สูงกว่าในพันธุ์ *Phaseolus vulgaris* ส่วนการสะสมโพรลีนพบว่าในพันธุ์ *Phaseolus acutifolius* สูงกว่าในพันธุ์ *Phaseolus vulgaris* ทั้งในกลุ่มงอกน้ำและกลุ่มที่ได้รับน้ำปกติ

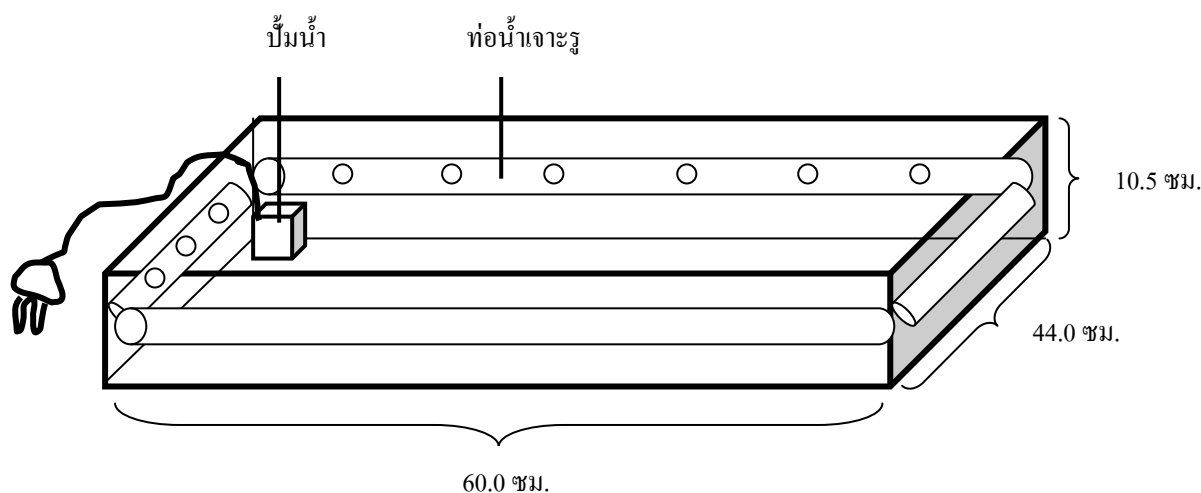
### การปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์ ด้วยระบบ Deep Flow Technique (DFT)

การปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์เป็นการปลูกพืชที่ใช้หลักวิชาการแบบวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ โดยเลียนแบบการปลูกพืชบนดิน แต่ไม่นำดินมาใช้เป็นวัสดุปลูก พืชที่ปลูกสามารถเจริญเติบโตได้โดยอาศัยธาตุอาหารต่าง ๆ ที่ละลายลงในน้ำภายในระบบ ระบบ DFT เป็นระบบที่ปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารลึกประมาณ 5-10 เซนติเมตร โดยจะมีการปลูกพืชบนแผ่นโฟมหรือวัสดุที่ลอยน้ำได้เพื่อยึดลำต้นแต่ละปล่องให้รากเป็นอิสระในน้ำ ระบบนี้ไม่มีความลาดเอียง เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร โดยการปั๊มดูดสารละลายจากถังพักขึ้นมาใช้ใหม่ในระบบ เพื่อให้เกิดการหมุนเวียน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับระบบน้ำที่ใช้ในการผลิตผัก ระบบนี้อาจมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบไฮโดรโปนิกส์ลอยน้ำ (Floating Hydroponic Systems) (ดิเรก ทองอร่าม, 2551)

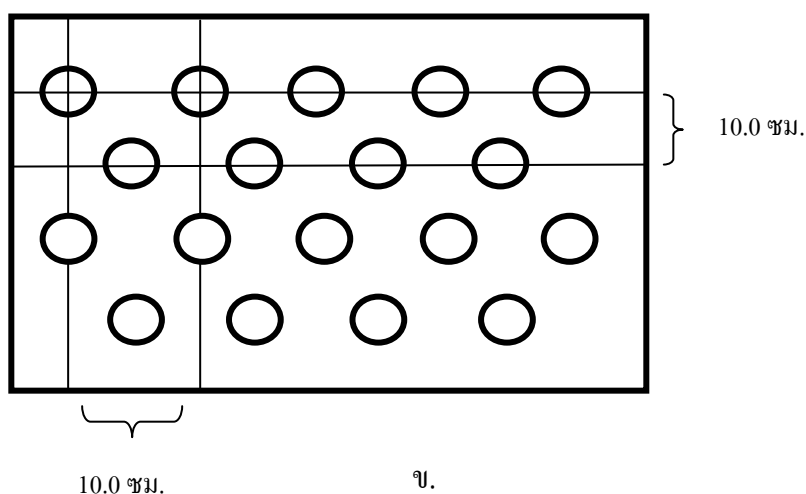


ภาพที่ 2-3 ระบบปลูกแบบ Deep Flow Technique (ดิเรก ทองอร่าม, 2551)

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้มีการดัดแปลงระบบการปลูกด้วยวิธีไฮโดรโพนิกส์จากระบบ DFT โดยการดัดแปลงวัสดุอุปกรณ์การปลูก เพื่อให้เอื้อประโยชน์ และความสะดวกในการปฏิบัติงานขณะการทำวิจัย ซึ่งใช้กล่องโฟมสีขาว ขนาด 44 x 60 x 10.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร พร้อมฝาปิด เจาะช่องบนฝาในแนวทแยง ความห่างระหว่างจุดศูนย์กลางช่อง 10 เซนติเมตร ต่อท่ออากาศ และปั้มน้ำภายในกล่อง เพื่อเป็นการเติมออกซิเจนให้แก่ระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2-4



ก.



ข.

ภาพที่ 2-4 รูปแบบถาดปลูกที่ดัดแปลงจากระบบ DFT

ก. ถาดปลูกที่ติดตั้งระบบน้ำ

ข. รูปแบบการเจาะช่องที่ฝากล่อง จำนวน 18 ช่อง

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการ

#### วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์การเจริญเติบโต

##### 1. อุปกรณ์

- ก. ไม้บรรทัด
- ข. ตู้อบตัวอย่างพืช
- ค. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- ง. เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม Image J version 1.41
- จ. เครื่อง scanner ยี่ห้อ Cannon รุ่น Cannon MP Navigator Ex. 4.0

#### วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารสี

##### 1. อุปกรณ์

- ก. กรรไกรขนาดเล็ก
- ข. ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร
- ค. กระดาษกรองเบอร์ 1
- ง. ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- จ. หลอดทดลอง
- ฉ. กระดาษฟอยล์
- ช. ปิเปต
- ซ. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)
- ฅ. เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)
- ญ. เครื่องสลายผนังเซลล์โดยใช้ความถี่สูง (sonicator)

##### 2. สารเคมี

- ก. 80% acetone

#### วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

##### 1. อุปกรณ์

- ก. โกร่งบด
- ข. กระดาษกรองเบอร์ 1

- ค. หลอดทดลอง
  - ง. หลอดหยด
  - จ. ตู้แช่แข็ง
  - ฉ. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
  - ช. เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)
2. สารเคมี
- ก. กรดซัลโฟซาลิไซลิก (sulfosalicylic acid)
  - ข. นินไฮดริน (ninhydrin)
  - ค. glacial acetic acid
  - ง. toluene
  - จ. 6 M Phosphoric acid

**วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase: SOD)**

1. อุปกรณ์
- ก. โกร่งบด
  - ข. ขวดรูปชมพู่ขนาด 150 มิลลิลิตร
  - ค. หลอดทดลองขนาดเล็ก
  - ง. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
  - จ. หลอดฟลูออเรสเซนซ์
  - ฉ. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ควบคุมอุณหภูมิ
  - ช. เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)
  - ซ. ปิเปต
2. สารเคมี
- ก. ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer)
  - ข. เมไทโอนีน (methionene)
  - ค. ไรโบฟลาวิน (riboflavin)
  - ง. EDTA
  - จ. polyvinylpyrrolidone

## การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (Factorial in CRD) จำนวน 3 ซ้ำประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 ใช้ถั่วเหลือง 2 พันธุ์คือ พันธุ์ ชม.60 และพันธุ์ นว.1 ปัจจัยที่ 2 ให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายธาตุอาหารพืชตามลำดับ โดยในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งใช้การเก็บแบบสุ่มต้นถั่วเหลืองมา 3 ต้นในแต่ละซ้ำ

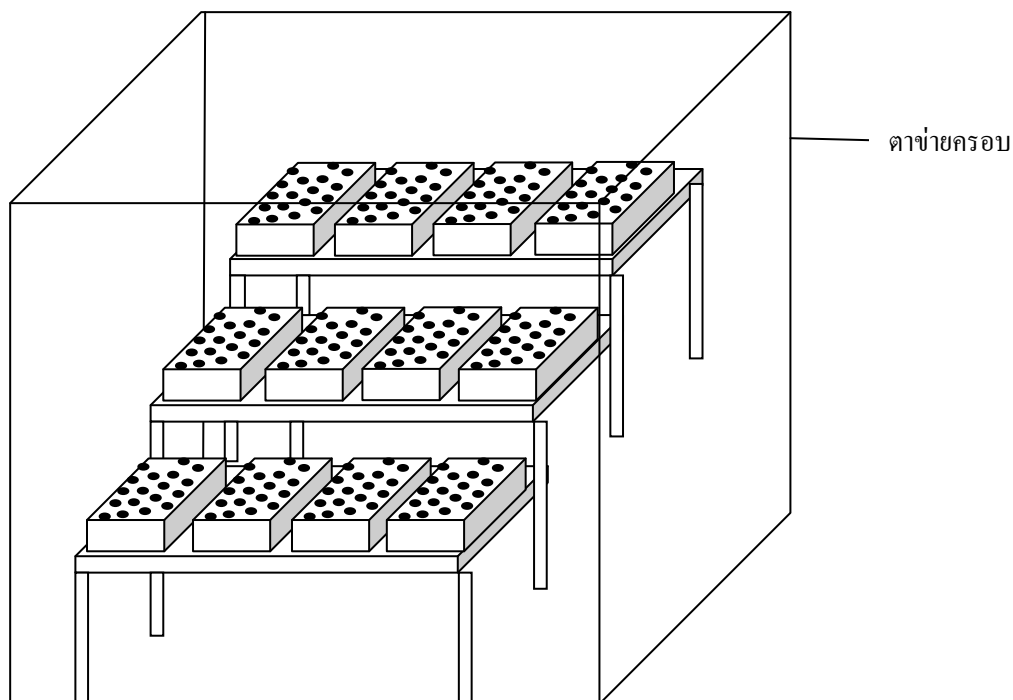
## การเตรียมปลูกพืชทดลองด้วยระบบ DFT

การปลูกพืชทดลองโดยใช้วิธีไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งได้ทำการดัดแปลงจากหลักการปลูกด้วยระบบ DFT โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน เพื่อง่ายต่อการดูแล และติดตั้งระบบในแปลงทดลองปลูก มีวิธีการติดตั้งระบบ ดังนี้

1. ทำการประกอบชั้นวางกระบะปลูกพืชทดลอง โดยจะใช้ชั้นวางในลักษณะเป็นชั้นบันได เพื่อให้พืชทดลองได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอในแต่ละชุดการทดลอง
2. นำกระบะปลูกที่ดัดแปลงวางขึ้นบนชั้น ติดตั้งระบบไหลวนน้ำภายในแต่ละกระบะ เพื่อเติมออกซิเจนให้แก่ระบบ ทั้งนี้ระบบน้ำวนได้ดัดแปลงจากการทำงานของระบบปั้มน้ำพุทำงานโดยเครื่องปั้มจะดูดสารละลายธาตุอาหารภายในกระบะเข้าสู่ท่อที่เจาะรูไว้ จากนั้นสารละลายธาตุอาหารก็จะไหลออกทางรูของแต่ละท่อ ซึ่งจะติดตั้งท่อไว้โดยรอบกระบะ (ดังภาพที่ 2-4) วิธีการนี้จะทำให้สารละลายธาตุอาหารได้ไหลวนภายในกระบะ และเติมออกซิเจนให้แก่ระบบ โดยจะแตกต่างจากการใช้ปั้มน้ำอากาศที่จะให้อากาศภายในระบบอย่างเดียว แต่สารละลายธาตุอาหารไม่ได้ไหลเวียน
3. ติดตั้งระบบไฟฟ้า เพื่อต่อเข้าปั้มน้ำภายในกระบะ ระบบไฟฟ้าจะทำงานตลอดเวลา เพื่อให้อากาศและเกิดการไหลเวียนของสารละลายธาตุอาหารภายในกระบะ
4. ประกอบตาข่ายครอบกันแมลงและปัจจัยรบกวนอื่นๆ เช่น เศษวัสดุที่ตกลง การรบกวนจากสัตว์ภายนอก และลมพัด เป็นต้น โดยใช้ตาข่ายตาถี่โปร่งแสง เพื่อให้แสงสามารถลอดผ่านมาได้ตามปกติ ไม่เป็นการบดบังแสง เพราะหากพืชทดลองได้รับแสงน้อยเกินไปอาจทำให้ผลการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนได้



5. ภายในกระบะอาจใช้วัสดุตาข่ายพลาสติกกันเป็นแนวตามช่องที่ปลูกพืชทดลอง เนื่องจากเมื่อปลูกไประยะหนึ่งรากพืชทดลองจะยาวเพิ่มขึ้น และอาจเกี่ยวพันกัน เป็นปัญหาต่อการวิเคราะห์ผลน้ำหนักแห้งของราก ตาข่ายพลาสติกจึงช่วยป้องกันการเกี่ยวพันกันของรากแต่ละต้นที่ปลูก



ภาพที่ 3-1 รูปแบบการวางกระบะปลูกบนชั้นวาง

### การปลูกพืชทดลองและการให้เกลือโซเดียมคลอไรด์

เพาะเมล็ดถั่วเหลืองบนฟองน้ำเพาะที่มีความชื้นประมาณ 5 วันที่อุณหภูมิห้อง หลังจากเมล็ดงอกย้ายต้นกล้าลงปลูกในกระบะพลาสติกที่มีสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's solution (half strength) (ตามวิธีการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของนันทนา อังกินันท์และสุภจิตร ชัชวาลย์, 2543) ปริมาตร 20 ลิตร โดยปลูกถั่วเหลือง 18 ต้นต่อกระบะ ควบคุม pH ของสารละลายที่ 5.6 เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุกสัปดาห์ และให้อากาศในสารละลายธาตุอาหารเพื่อให้รากได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอตลอดการทดลอง

เมื่อต้นกล้าอายุครบ 14 วันหลังการย้ายปลูก ทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารที่มีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ 4 ระดับคือ 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เพื่อจำลองภาวะเค็มให้กับ

ถั่วเหลือง ระหว่างการทดลองควบคุมความเค็มให้สม่ำเสมอโดยตรวจสอบจากค่าการนำไฟฟ้า (EC) และให้ต้นกล้าถั่วเหลืองได้รับแสงจากธรรมชาติ โดยวางภาชนะปลูกในเรือนเพาะชำของแปลงเพาะปลูกไฮโดรโปนิกส์ และทำการเก็บข้อมูลหลังจากที่ถั่วเหลืองได้รับเกลือที่ระยะเวลา 0, 4, 8, 12, 16, 20 และ 24 วัน

### การเก็บข้อมูลการทดลอง

ในการทดลองนี้แบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

#### 1. การวิเคราะห์การเจริญเติบโต

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ทุก ๆ 4 วัน (วันที่ 0, 4, 8, 12, 16, 20 และ 24) โดยบันทึกข้อมูลดังนี้

1.1 ความสูงของลำต้น (cm) โดยเก็บตัวอย่างต้นถั่วเหลืองแต่ละชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ต้น จากนั้นวัดความสูงของลำต้นจากส่วนที่อยู่เหนือวัสดุเกาะจนถึงปลายยอดของแต่ละต้น และหาค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นแต่ละชุดการทดลอง

1.2 พื้นที่ใบ วัดพื้นที่ใบ โดยใช้โปรแกรม Image J version 1.41 ในการคำนวณหาพื้นที่ใบรวมต่อต้น

1.3 วิเคราะห์น้ำหนักแห้ง (Dry weight) โดยสุ่มตัวอย่างแต่ละชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ต้น ซึ่งจะเก็บข้อมูลน้ำหนักแห้งแยกส่วนออกเป็นราก ลำต้น และใบ นำตัวอย่างแต่ละส่วนมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้งแต่ละส่วนด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผล

1.4 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, RGR) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนน้ำหนักแห้งต้นต่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ตามวิธีการของ Beadle (1993)

$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \quad \text{หน่วย กรัม/กรัม-วัน}$$

$W_2$  และ  $W_1$  = น้ำหนักแห้งต้นเก็บครั้งที่ 2 และ 1

$t_1$  และ  $t_2$  = ระยะเวลาในการเก็บครั้งที่ 1 และ 2

1.5 น้ำหนักแห้งจำเพาะของใบ (Specific Leaf Weight; SLW) ซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของใบรวมทั้งต้นต่อพื้นที่ใบรวมทั้งต้น (Beadle, 1993) หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )

## 2. การวิเคราะห์ลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช

### การวิเคราะห์ปริมาณสารสีในการสังเคราะห์ด้วยแสง

วิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoid เก็บตัวอย่าง 2 ตำแหน่งใบ คือ ใบที่ 2 จากยอด (ใช้เฉพาะใบด้านข้าง) และ ใบใบที่ 1 จากโคน (ใช้เฉพาะใบด้านข้าง) เหตุที่เลือกตำแหน่งใบที่แตกต่างกัน เพราะต้องการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณสารสีในการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบตำแหน่งยอด และใบด้านล่างของถั่วเหลือง โดยสกัดใบสดถั่วเหลืองด้วย acetone 80% ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก อัญชลี ร่มพา (2543) เจาะใบถั่วเหลืองด้วยที่เจาะกระดาษเป็นชิ้น เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8 เซนติเมตร แช่ชิ้นส่วนใบ 5 ชิ้น ใน acetone 80% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองปิดสนิท เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 663.2 646.8 และ 470 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณรงควัตถุจากสมการของ Lichtenthaler (1987) ดังนี้

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

### 2.3 การวิเคราะห์ปริมาณโพรงลิ้น

การวัดปริมาณโพรงลิ้น (หน่วยเป็นไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งเก็บตัวอย่างใบถั่วเหลืองในตำแหน่งใบที่ 3 นับจากยอด และตำแหน่งใบที่ 5 นับจากยอด เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการสะสมโพรงลิ้นของตำแหน่งใบยอด และใบด้านล่างของถั่วเหลือง โดยเก็บตัวอย่างใบไว้ในกล่องเก็บอุณหภูมิ (บรรจุน้ำแข็ง) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโพรงลิ้น ซึ่งดัดแปลงวิธีการของ Bates et al. (1973) ดังนี้

2.3.1 เตรียมสารละลายโพรงลิ้นมาตรฐานเข้มข้น 0 3.75 7.5 15 และ 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จากสารละลายโพรงลิ้นมาตรฐาน 5 มิลลิกรัม/ลิตร (5 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) โดยเจือจางด้วย 3% sulfosalicylic acid ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำ

สารละลายโพรลินมาตรฐาน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองและทำการทดลองเหมือน  
สารละลายตัวอย่างพืช

2.3.2 ชั่งตัวอย่างพืชสดประมาณ 0.25 กรัม บดกับ 3% sulfosalicylic acid ปริมาตร  
2.5 มิลลิลิตร และนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1

2.3.3 นำสารละลายที่กรองได้ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองเติม acid-ninhydrin  
ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และ glacial acetic acid ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากันแล้ว  
นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและสิ้นสุดปฏิกิริยาที่อ่าง  
น้ำแข็ง 0 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที

2.3.4 นำ reaction mixture ที่ได้เติม toluene ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าประมาณ 15-20  
วินาที สารละลายจะเกิดการแยกตัวออกจากกัน แบ่งออกเป็นชั้นบนและชั้นล่าง

2.3.5 ดูดสารละลายส่วนบนออกจากหลอดทดลอง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง  
ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร โดยมี toluene เป็น blank

2.3.6 คำนวณหาปริมาณโพรลินในสารละลายตัวอย่างพืช โดยใช้วิธีเปรียบเทียบกับ  
กราฟมาตรฐานโพรลิน จากสมการ (ภาพภาคผนวกที่ ข - 4)

$$y = 0.0577x - 0.0017$$

โดย x คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารละลายตัวอย่างพืช (นาโนเมตร)

y คือ ปริมาณโพรลิน (ไมโครกรัม)

หมายเหตุ การเตรียมสารละลาย acid-ninhydrin โดยนำ ninhydrin หนัก 1.25 กรัม ผสมกับ glacial  
acetic ปริมาตร 30 มิลลิลิตร และ 6 M phosphoric acid ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่  
อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกันเก็บสารละลายไว้ที่  
อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (สารละลายที่เตรียมไว้จะต้องใช้ภายใน 24 ชั่วโมง)

## 2.4 การวิเคราะห์กิจกรรมของ SOD

วิเคราะห์กิจกรรมของ SOD โดยวัดประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยา photochemical  
reduction ของ nitro blue tetrazolium (NBT) (Drindsa et al. , 1981) เก็บตัวอย่าง 2 ตำแหน่งใบคือ

ใบที่ 2 นับจากยอด (ใช้เฉพาะใบกลาง) และใบที่ 1 นับจากโคน (ใช้เฉพาะใบกลาง) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

#### 2.4.1 การสกัด total protein ออกจากใบพืช

นำตัวอย่างใบ 0.5 กรัมบดกับ 50 มิลลิโมลาร์ phosphate buffer (pH 7.0) 5 มิลลิลิตร ที่มี polyvinylpyrrolidone 1 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่  $15,000 \times g$  10 นาที จากนั้นนำ supernatant ที่ได้มาวิเคราะห์หากิจกรรมของเอนไซม์และปริมาณ total protein

#### 2.4.2 การวัดปริมาณ total protein

ปริมาณโปรตีนหาได้จากการนำ supernatant จากตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร ตามวิธีการของ Lowry method โดยสร้างกราฟมาตรฐานโปรตีน bovine albumin protein ที่ระดับความเข้มข้น 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 และ 200 ไมโครกรัม และวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

#### 2.4.3 การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการวัดปริมาณ SOD (ไมโครกรัม)

Asada et al. (1974) อ้างถึงใน Beyer and Fridovich (1987) ได้แสดงว่า ปริมาณ SOD (ไมโครกรัม) จะแปรผันตรงกับ (V/v) - 1

โดย V = ค่า absorbance ของปฏิกิริยาที่ไม่มี SOD / เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา

v = ค่า absorbance ของปฏิกิริยาที่เติม SOD ปริมาณต่างๆ / เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา

การวิเคราะห์ปริมาณ SOD สามารถหาได้จาก reaction mixture ที่ประกอบด้วย

- Phosphate buffer (pH 7.8)	50	มิลลิโมลาร์
- Methionine	13	มิลลิโมลาร์
- NBT	75	ไมโครโมลาร์
- Riboflavin	2	ไมโครโมลาร์
- EDTA	0.1	มิลลิโมลาร์
- SOD ปริมาณต่างๆ คือ 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ไมโครกรัม		

โดยเติม riboflavin เป็นตัวสุดท้าย เขย่าให้เข้ากัน เริ่มปฏิกิริยาด้วยการนำไปส่องด้วย

หลอดฟลูออเรสเซนซ์ 15 วัตต์ 2 หลอดห่างกัน 30 เซนติเมตรเป็นเวลา 10 นาที หยุดปฏิกิริยาด้วยการปิดไฟแล้วคลุมหลอดด้วยผ้าสีดำ นำสารละลายสีน้ำเงินที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 560 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer

#### 2.4.4 การคำนวณหากิจกรรมของ SOD

หนึ่งยูนิต (1 unit) ของ SOD คือปริมาณของ SOD ที่ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยา NBT reduction ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ในสภาวะที่ทำการทดลอง การหาปริมาณ SOD activity 1 unit ดังกล่าวทำได้จากการเขียนกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์ inhibition ของ NBT reduction กับปริมาณไมโครกรัม SOD ที่ใช้ ดังในวิธีวัดการทำงานของ SOD ในข้อ 2.4.3

#### 2.4.5 การวัดปริมาณ SOD (ไมโครกรัม) ในเนื้อเยื่อพืช

โดยใช้ reaction mixture เช่นเดียวกับการสร้างกราฟมาตรฐาน แต่เปลี่ยน SOD ปริมาณที่เป็น supernatant จากตัวอย่างในข้อ 2.4.1

#### 2.4.6 การคำนวณหา unit ของ SOD ในตัวอย่างพืช

จากข้อ 2.4.4 กราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ inhibition ของ NBT reduction กับปริมาณไมโครกรัมของ SOD ทำให้ทราบว่า 1 unit ของ SOD เท่ากับกี่ไมโครกรัมของ SOD ซึ่งใช้ค่าดังกล่าวในการคำนวณหา unit ของ SOD ในตัวอย่างพืช กราฟมาตรฐานในข้อ 2.4.4 และ 2.4.4 จะทำทุกครั้งที่มีการวิเคราะห์หากิจกรรมของ SOD

### 2.5 วิธีการประเมินผล/ สังเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (one-way analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ โดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลของภาวะเค็มต่อการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

##### 4.1.1 ความสูงของลำต้นเหนือพื้นดิน

เมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาที่แตกต่างกัน พบว่าภาวะเค็มมีผลต่อความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินมีแนวโน้มลดลงแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินเท่ากับ 76.43 50.10 และ 42.90 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (99.37 เซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดย ความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินเท่ากับ 70.67 48.17 และ 39.67 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (93.33 เซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดย ความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับ

ภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 24 วันจะเห็นได้ว่าความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือที่ได้รับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-1 และภาพที่ 4-1)

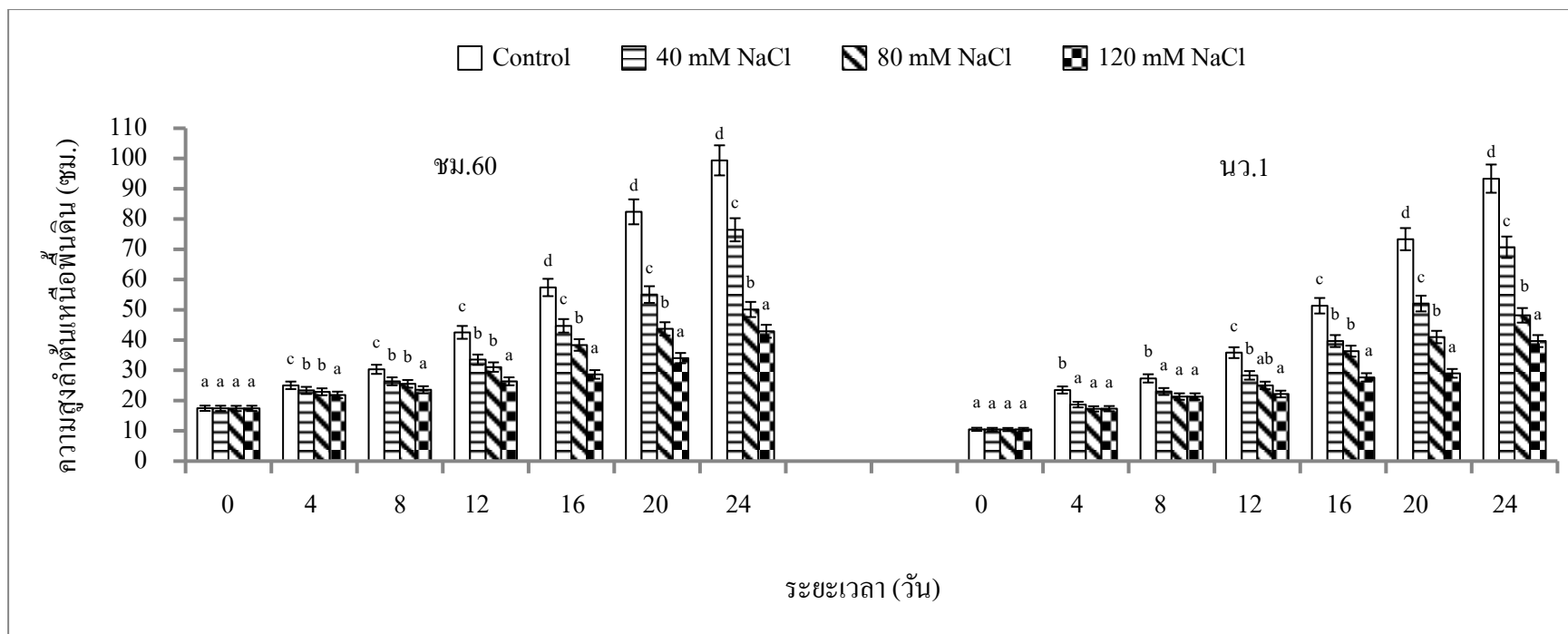


ตารางที่ 4-1 ความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	ความสูง (เซนติเมตร)						
		0	4	8	12	16	20	24
ชม.60	0	17.47 ± 0.03 <sup>aB</sup>	25.03 ± 0.29 <sup>cD</sup>	30.33 ± 0.07 <sup>cD</sup>	42.53 ± 0.73 <sup>cG</sup>	57.37 ± 2.19 <sup>dE</sup>	82.37 ± 1.69 <sup>dH</sup>	99.37 ± 1.79 <sup>dF</sup>
	40	17.43 ± 0.03 <sup>aB</sup>	23.37 ± 0.76 <sup>bCB</sup>	26.37 ± 0.44 <sup>bB</sup>	33.53 ± 0.93 <sup>bEF</sup>	44.70 ± 0.58 <sup>cC</sup>	55.03 ± 0.67 <sup>cF</sup>	76.43 ± 0.98 <sup>cD</sup>
	80	17.40 ± 0.00 <sup>aB</sup>	22.90 ± 0.20 <sup>bCB</sup>	25.53 ± 0.33 <sup>bCB</sup>	31.07 ± 0.37 <sup>bDE</sup>	38.37 ± 0.67 <sup>bB</sup>	43.70 ± 0.76 <sup>bD</sup>	50.10 ± 1.02 <sup>bC</sup>
	120	17.43 ± 0.06 <sup>aB</sup>	21.87 ± 0.29 <sup>aC</sup>	25.57 ± 0.19 <sup>aAB</sup>	26.37 ± 1.09 <sup>aBC</sup>	28.63 ± 1.62 <sup>aA</sup>	34.03 ± 0.60 <sup>aB</sup>	42.90 ± 1.51 <sup>aAB</sup>
นว.1	0	10.50 ± 0.00 <sup>aA</sup>	25.50 ± 0.00 <sup>bB</sup>	27.33 ± 1.01 <sup>bC</sup>	35.83 ± 0.83 <sup>cF</sup>	51.33 ± 1.45 <sup>cD</sup>	73.33 ± 0.33 <sup>dG</sup>	93.33 ± 4.33 <sup>dE</sup>
	40	10.47 ± 0.03 <sup>aA</sup>	18.67 ± 0.17 <sup>aA</sup>	23.00 ± 1.00 <sup>aAB</sup>	28.33 ± 1.86 <sup>bCD</sup>	39.67 ± 2.40 <sup>bB</sup>	52.07 ± 1.10 <sup>cE</sup>	70.67 ± 2.33 <sup>cD</sup>
	80	10.43 ± 0.03 <sup>aA</sup>	17.27 ± 0.43 <sup>aA</sup>	21.33 ± 0.83 <sup>aA</sup>	25.00 ± 0.29 <sup>abAB</sup>	36.33 ± 1.17 <sup>bB</sup>	41.00 ± 0.58 <sup>bC</sup>	48.17 ± 0.17 <sup>bBC</sup>
	120	10.47 ± 0.03 <sup>aA</sup>	17.33 ± 1.20 <sup>aA</sup>	21.33 ± 1.76 <sup>aA</sup>	22.17 ± 0.83 <sup>aA</sup>	27.67 ± 0.67 <sup>aA</sup>	29.30 ± 0.58 <sup>aA</sup>	39.67 ± 0.33 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4-1 ความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.2 น้ำหนักแห้งของใบ

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าภาวะเค็มมีผลต่อการสร้างน้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลือง ทำให้น้ำหนักแห้งของใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งน้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีน้ำหนักแห้งของใบเท่ากับ 3.1611 1.6126 และ 0.8203 กรัมตามลำดับ โดยน้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (5.9208 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้ำหนักแห้งของใบมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และน้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้อยที่สุด และน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีน้ำหนักแห้งของใบเท่ากับ 2.4045 0.7591 และ 0.5395 กรัมตามลำดับ โดยน้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (4.0683 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้ำหนักแห้งของใบมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และน้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้อยที่สุด และน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

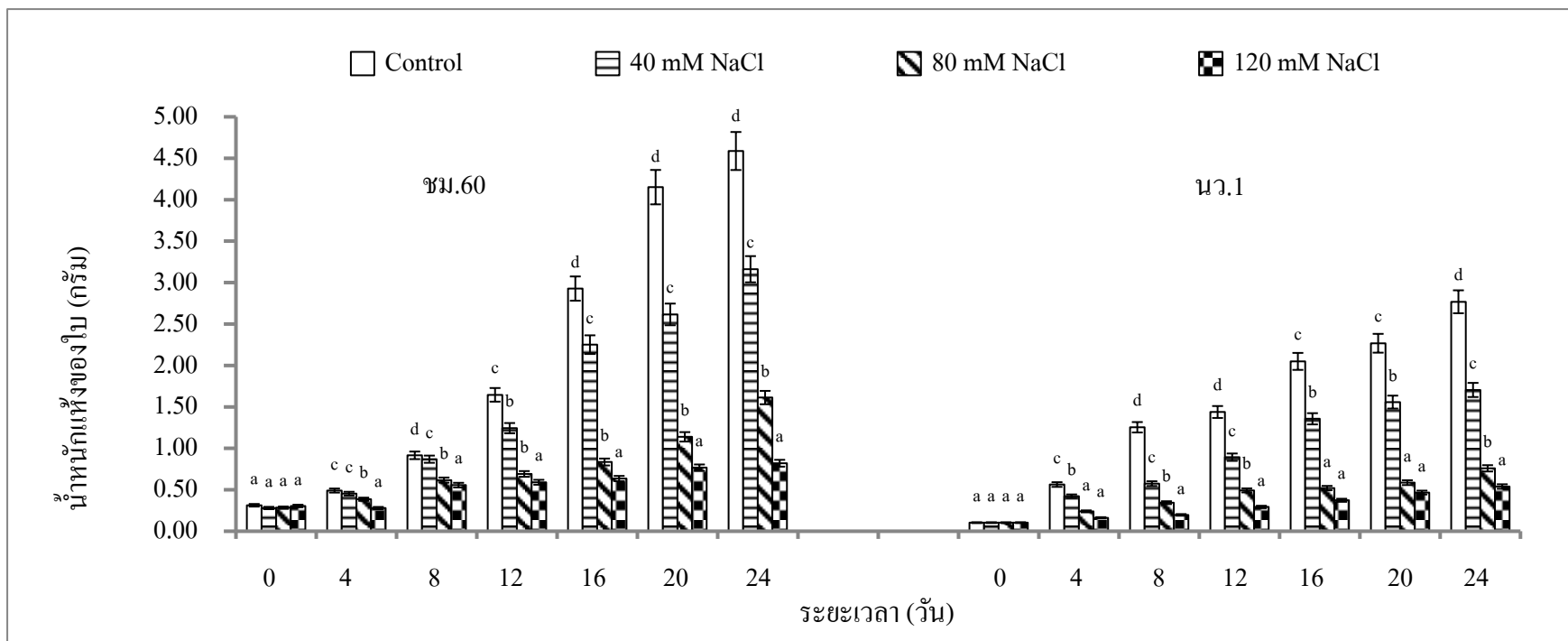
เมื่อสิ้นสุดการทดลองภายใต้ภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่า น้ำหนักแห้งของใบ ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ระดับเข้มข้นของเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีน้ำหนักแห้งของใบมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว. 1 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-2 และภาพที่ 4-2)

ตารางที่ 4-2 น้ำหนักแห้งของใบ (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean  $\pm$  standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	น้ำหนักแห้งใบ (กรัม)						
		0	4	8	12	16	20	24
ชม.60	0	0.3131 $\pm$ 0.0179 <sup>aB</sup>	0.8908 $\pm$ 0.0096 <sup>cF</sup>	1.4156 $\pm$ 0.0298 <sup>dG</sup>	2.7790 $\pm$ 0.0615 <sup>cG</sup>	3.4944 $\pm$ 0.0913 <sup>dG</sup>	4.1515 $\pm$ 0.0510 <sup>dG</sup>	5.9208 $\pm$ 0.4293 <sup>dF</sup>
	40	0.2801 $\pm$ 0.0288 <sup>aB</sup>	0.8533 $\pm$ 0.0244 <sup>cF</sup>	1.1692 $\pm$ 0.0159 <sup>cE</sup>	1.7100 $\pm$ 0.0253 <sup>bF</sup>	2.2511 $\pm$ 0.0628 <sup>cE</sup>	2.6159 $\pm$ 0.0823 <sup>cE</sup>	3.1611 $\pm$ 0.0608 <sup>cD</sup>
	80	0.2842 $\pm$ 0.0118 <sup>aB</sup>	0.6858 $\pm$ 0.0024 <sup>bE</sup>	0.7169 $\pm$ 0.0029 <sup>bD</sup>	0.7244 $\pm$ 0.0210 <sup>bC</sup>	1.0351 $\pm$ 0.0119 <sup>bC</sup>	1.1390 $\pm$ 0.0709 <sup>bC</sup>	1.6126 $\pm$ 0.0445 <sup>bB</sup>
	120	0.3046 $\pm$ 0.0128 <sup>aB</sup>	0.5790 $\pm$ 0.0219 <sup>aD</sup>	0.6564 $\pm$ 0.0144 <sup>aC</sup>	0.6906 $\pm$ 0.0053 <sup>aC</sup>	0.7689 $\pm$ 0.0391 <sup>aB</sup>	0.7671 $\pm$ 0.0125 <sup>aB</sup>	0.8203 $\pm$ 0.0197 <sup>aA</sup>
นว.1	0	0.1031 $\pm$ 0.0001 <sup>aA</sup>	0.5634 $\pm$ 0.0296 <sup>cD</sup>	1.3211 $\pm$ 0.0691 <sup>dF</sup>	1.5054 $\pm$ 0.0597 <sup>dE</sup>	2.4491 $\pm$ 0.1076 <sup>cF</sup>	3.3345 $\pm$ 0.0676 <sup>cF</sup>	4.0683 $\pm$ 0.1171 <sup>dE</sup>
	40	0.1032 $\pm$ 0.0001 <sup>aA</sup>	0.4227 $\pm$ 0.0481 <sup>bC</sup>	0.5742 $\pm$ 0.0284 <sup>cC</sup>	0.8932 $\pm$ 0.0236 <sup>cD</sup>	1.3566 $\pm$ 0.0333 <sup>bD</sup>	1.5580 $\pm$ 0.0487 <sup>bD</sup>	2.4045 $\pm$ 0.1080 <sup>cC</sup>
	80	0.1030 $\pm$ 0.0003 <sup>aA</sup>	0.2397 $\pm$ 0.0098 <sup>aB</sup>	0.3448 $\pm$ 0.0072 <sup>bB</sup>	0.4926 $\pm$ 0.0082 <sup>bB</sup>	0.5207 $\pm$ 0.0038 <sup>aA</sup>	0.5862 $\pm$ 0.0245 <sup>aA</sup>	0.7591 $\pm$ 0.0515 <sup>bA</sup>
	120	0.1034 $\pm$ 0.0001 <sup>aA</sup>	0.1616 $\pm$ 0.0038 <sup>aA</sup>	0.1968 $\pm$ 0.0065 <sup>aA</sup>	0.2928 $\pm$ 0.0050 <sup>aA</sup>	0.3732 $\pm$ 0.0101 <sup>aA</sup>	0.4666 $\pm$ 0.0084 <sup>aA</sup>	0.5395 $\pm$ 0.0318 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4-2 น้ำหนักแห้งของใบ (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.3 น้ำหนักแห้งของลำต้น

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของลำต้นถั่วเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยน้ำหนักแห้งของลำต้นถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 2.4829 0.7383 และ 0.6051 กรัมตามลำดับ โดยน้ำหนักแห้งของลำต้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (5.0105 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้ำหนักแห้งของลำต้นมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และน้ำหนักแห้งของลำต้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้อยที่สุด และน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 1.0974 0.6565 และ 0.5199 กรัมตามลำดับ โดยน้ำหนักแห้งของลำต้นของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (2.3899 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้ำหนักของแห้งลำต้นมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และน้ำหนักแห้งของลำต้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้อยที่สุด และน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

เมื่อสิ้นสุดการทดลองภายใต้ภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่านักแห้งของลำต้นมากกว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม. 60 มีค่าน้ำหนักแห้งของลำต้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว. 1 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-3 และภาพที่ 4-3)

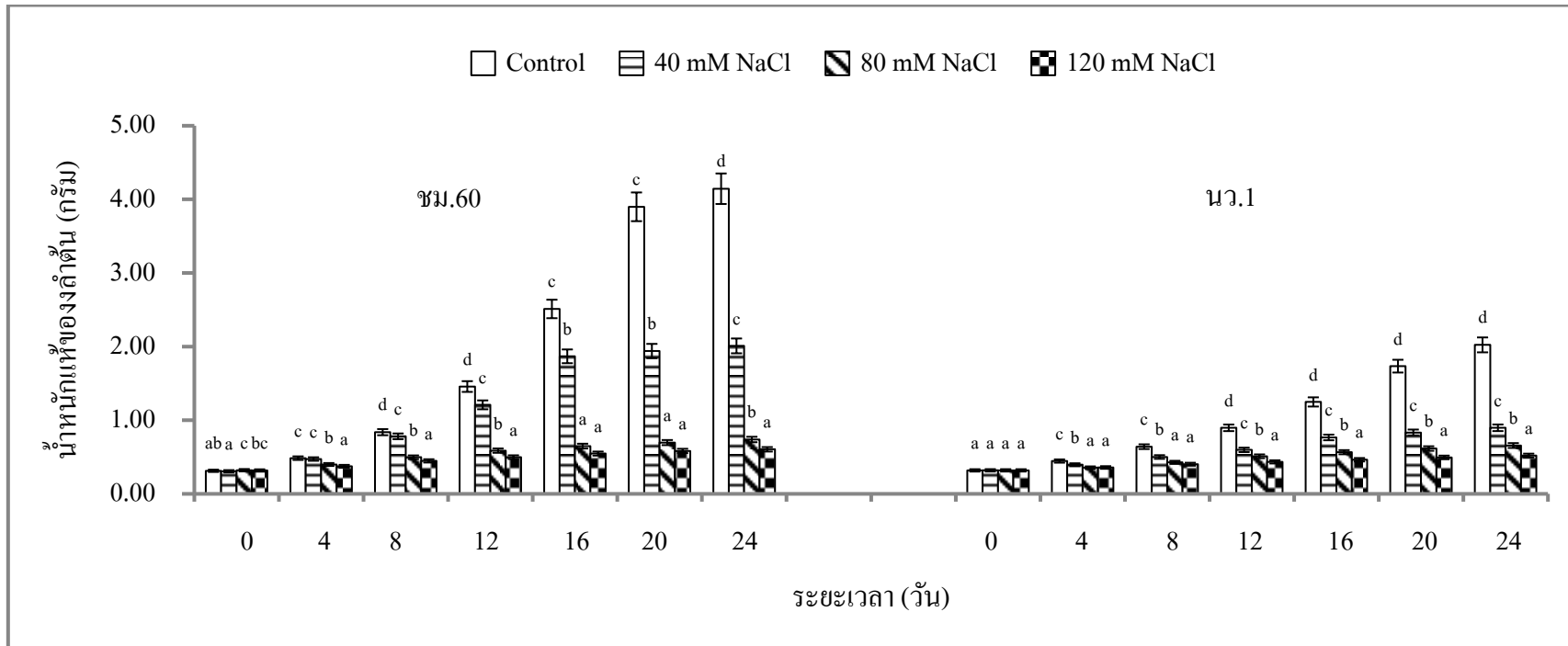


ตารางที่ 4-3 น้ำหนักแห้งของลำต้น (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)						
		0	4	8	12	16	20	24
ชม.60	0	0.3130±0.0015 <sup>abB</sup>	0.4849±0.0100 <sup>cE</sup>	0.8379±0.0029 <sup>dF</sup>	1.4577±0.0337 <sup>dF</sup>	2.5113±0.0898 <sup>cF</sup>	3.8984±0.0613 <sup>cG</sup>	5.0105±0.0529 <sup>dE</sup>
	40	0.3071±0.0033 <sup>aA</sup>	0.4730±0.0034 <sup>cE</sup>	0.7811±0.0287 <sup>cE</sup>	1.2087±0.0118 <sup>cE</sup>	1.8679±0.0267 <sup>bE</sup>	2.1732±0.0356 <sup>bF</sup>	2.4829±0.0364 <sup>cD</sup>
	80	0.3210±0.0082 <sup>cC</sup>	0.3986±0.0037 <sup>bC</sup>	0.4974±0.0019 <sup>bC</sup>	0.5869±0.0077 <sup>bC</sup>	0.6484±0.0095 <sup>aB</sup>	0.6963±0.0119 <sup>aC</sup>	0.7383±0.0070 <sup>bB</sup>
	120	0.3176±0.0024 <sup>bcC</sup>	0.3748±0.0065 <sup>aAB</sup>	0.4477±0.0042 <sup>aB</sup>	0.4987±0.0039 <sup>aB</sup>	0.5471±0.0098 <sup>aAB</sup>	0.5822±0.0047 <sup>aAB</sup>	0.6051±0.0033 <sup>aAB</sup>
นว.1	0	0.3187±0.0001 <sup>aC</sup>	0.4457±0.0060 <sup>cD</sup>	0.6406±0.0110 <sup>cD</sup>	0.8968±0.0338 <sup>dD</sup>	1.2484±0.0342 <sup>dD</sup>	1.7344±0.0315 <sup>dE</sup>	2.3899±0.0960 <sup>dD</sup>
	40	0.3199±0.0002 <sup>aC</sup>	0.3957±0.0133 <sup>bBC</sup>	0.5006±0.0111 <sup>bC</sup>	0.5974±0.0190 <sup>cC</sup>	0.7662±0.0291 <sup>cC</sup>	0.9518±0.0347 <sup>cD</sup>	1.0974±0.0353 <sup>cC</sup>
	80	0.3190±0.0001 <sup>aC</sup>	0.3553±0.0030 <sup>aA</sup>	0.4277±0.0096 <sup>aAB</sup>	0.5102±0.0079 <sup>bB</sup>	0.5657±0.0093 <sup>bAB</sup>	0.6156±0.0055 <sup>bBC</sup>	0.6565±0.0087 <sup>bB</sup>
	120	0.3189±0.0001 <sup>aC</sup>	0.3580±0.0015 <sup>aA</sup>	0.4024±0.0030 <sup>aA</sup>	0.4341±0.0049 <sup>aA</sup>	0.4632±0.0041 <sup>aA</sup>	0.4949±0.0061 <sup>aA</sup>	0.5199±0.0065 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4-3 น้ำหนักแห้งของลำต้น (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ต่างกัน ตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.4 น้ำหนักแห้งของราก

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของรากถั่วเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยน้ำหนักแห้งของรากถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีน้ำหนักแห้งของรากเท่ากับ 0.2284 0.0997 และ 0.0732 กรัมตามลำดับ โดยถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในแต่ละความเข้มข้นมีน้ำหนักแห้งของรากในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (0.5135 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้ำหนักของแห้งรากมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และน้ำหนักแห้งของรากถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้อยที่สุด และน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีน้ำหนักแห้งของรากเท่ากับ 0.1388 0.1035 และ 0.0593 กรัมตามลำดับ โดยถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในแต่ละความเข้มข้นมีน้ำหนักแห้งของรากในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม (0.3430 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้ำหนักแห้งของรากมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และน้ำหนักแห้งของรากของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้อยที่สุด และน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

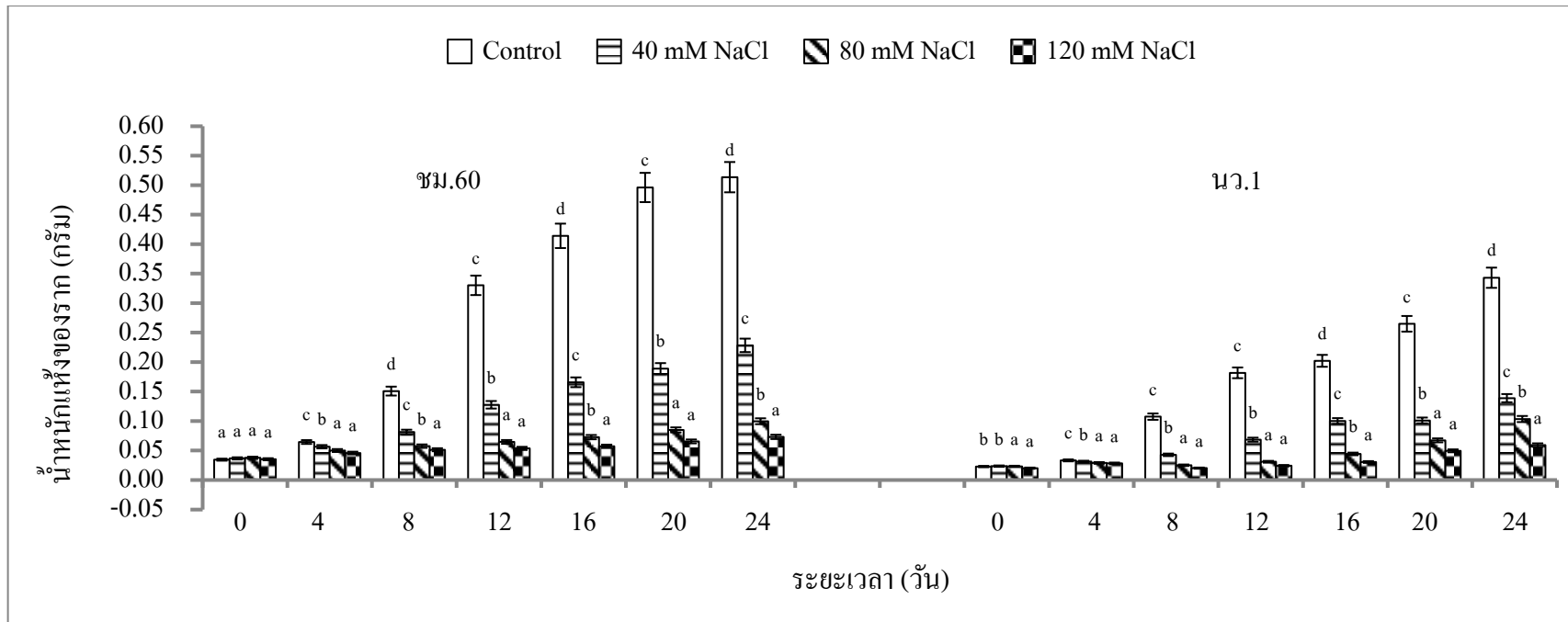
เมื่อสิ้นสุดการทดลองภายใต้ภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้ำหนักแห้งของรากมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม. 60 มีค่าน้ำหนักแห้งของรากมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว. 1 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-4 และภาพที่ 4-4)

ตารางที่ 4-4 น้ำหนักแห้งของราก (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน ตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)						
		0	4	8	12	16	20	24
ชม.60	0	0.0346±0.0011 <sup>aC</sup>	0.0645±0.0016 <sup>cF</sup>	0.1509±0.0006 <sup>dH</sup>	0.3302±0.0040 <sup>cF</sup>	0.4141±0.0022 <sup>dH</sup>	0.4961±0.0139 <sup>cF</sup>	0.5135±0.0075 <sup>dG</sup>
	40	0.0367±0.0010 <sup>aCD</sup>	0.0565±0.0005 <sup>bE</sup>	0.0813±0.0014 <sup>cF</sup>	0.1276±0.0053 <sup>bD</sup>	0.1657±0.0066 <sup>cF</sup>	0.1888±0.0087 <sup>bD</sup>	0.2284±0.0021 <sup>cE</sup>
	80	0.0377±0.0017 <sup>aD</sup>	0.050±0.0022 <sup>aD</sup>	0.0575±0.0021 <sup>bE</sup>	0.0646±0.0028 <sup>aC</sup>	0.0727±0.0030 <sup>bD</sup>	0.0850±0.0011 <sup>aBC</sup>	0.0997±0.0025 <sup>bC</sup>
	120	0.0353±0.0008 <sup>aCD</sup>	0.0458±0.0016 <sup>aC</sup>	0.0514±0.0003 <sup>aD</sup>	0.0536±0.0010 <sup>aB</sup>	0.0572±0.0024 <sup>aC</sup>	0.0655±0.0020 <sup>aAB</sup>	0.0732±0.0017 <sup>aB</sup>
นว.1	0	0.0229±0.0007 <sup>bAB</sup>	0.0333±0.0006 <sup>cB</sup>	0.1075±0.0013 <sup>cG</sup>	0.1818±0.0055 <sup>cE</sup>	0.2022±0.0017 <sup>dG</sup>	0.2465±0.0115 <sup>cE</sup>	0.3430±0.0024 <sup>dF</sup>
	40	0.0236±0.0007 <sup>bB</sup>	0.0312±0.0009 <sup>bAB</sup>	0.0428±0.0017 <sup>bC</sup>	0.0685±0.0035 <sup>bC</sup>	0.1000±0.0016 <sup>cE</sup>	0.1010±0.0024 <sup>bC</sup>	0.1388 ±0.0015 <sup>cD</sup>
	80	0.0231±0.0007 <sup>bB</sup>	0.0290±0.0002 <sup>aA</sup>	0.0251±0.0027 <sup>aB</sup>	0.0309±0.0010 <sup>aA</sup>	0.0443±0.0023 <sup>bB</sup>	0.0673±0.0025 <sup>aB</sup>	0.1035±0.0035 <sup>bC</sup>
	120	0.0201±0.0006 <sup>aA</sup>	0.0282±0.0005 <sup>aA</sup>	0.0202±0.0017 <sup>aA</sup>	0.0242±0.0016 <sup>aA</sup>	0.0306±0.0012 <sup>aA</sup>	0.0495±0.0025 <sup>aA</sup>	0.0593±0.0025 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4-4 น้ำหนักแห้งของราก (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน ตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)  
 ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.5 พื้นที่ใบ

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าภาวะเค็มมีผลต่อพื้นที่ใบของถั่วเหลือง โดยภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่างๆทำให้พื้นที่ใบรวมถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และพื้นที่ใบรวมของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีพื้นที่ใบรวมเท่ากับ 428.67 295.85 และ 264.36 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือมีพื้นที่ใบรวมน้อยกว่าชุดควบคุม (937.96 ตารางเซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีพื้นที่ใบรวมมีมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และพื้นที่ใบรวมของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้อยที่สุด และน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีพื้นที่ใบรวมเท่ากับ 346.22 222.25 และ 201.48 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือมีพื้นที่ใบรวมน้อยกว่าชุดควบคุม (974.10 ตารางเซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีพื้นที่ใบรวมมีมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และพื้นที่ใบรวมของถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าน้อยที่สุด และน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

เมื่อสิ้นสุดการทดลองภายใต้ภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีการเพิ่มพื้นที่ใบรวมได้มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-5 และภาพที่ 4-5)

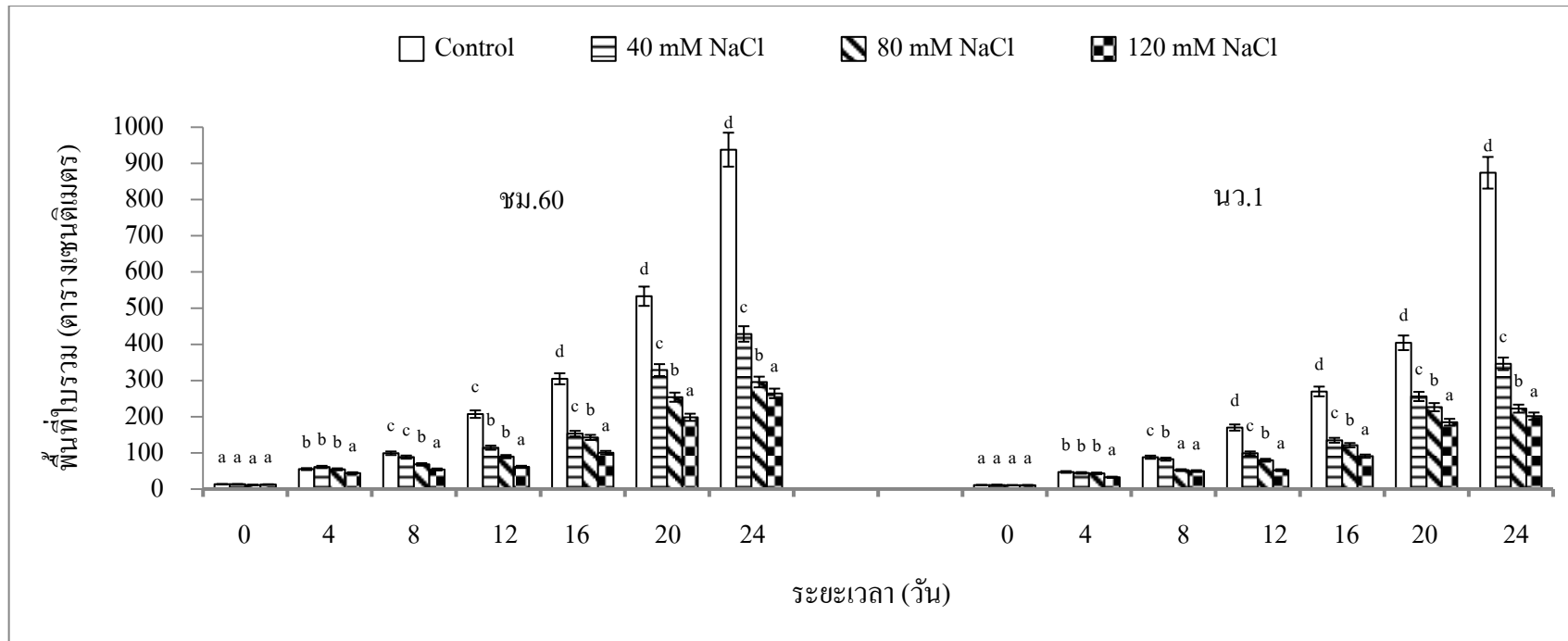


ตารางที่ 4-5 พื้นที่ใบรวม (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	พื้นที่ใบรวม (ตารางเซนติเมตร)						
		0	4	8	12	16	20	24
ชม.60	0	13.31 ± 1.29 <sup>aB</sup>	55.20 ± 2.33 <sup>bC</sup>	98.99 ± 5.21 <sup>cD</sup>	207.07 ± 7.79 <sup>eF</sup>	304.78 ± 19.97 <sup>dF</sup>	532.90 ± 6.26 <sup>dF</sup>	937.96 ± 8.37 <sup>dG</sup>
	40	13.30 ± 1.33 <sup>aB</sup>	61.19 ± 3.77 <sup>bC</sup>	88.30 ± 3.84 <sup>cC</sup>	114.33 ± 11.76 <sup>bD</sup>	153.14 ± 3.40 <sup>cD</sup>	328.86 ± 7.02 <sup>cD</sup>	428.67 ± 9.01 <sup>cE</sup>
	80	11.21 ± 0.40 <sup>aAB</sup>	54.61 ± 1.32 <sup>bC</sup>	68.19 ± 2.30 <sup>bB</sup>	89.64 ± 5.83 <sup>bBC</sup>	142.72 ± 14.97 <sup>bCD</sup>	253.91 ± 6.45 <sup>bC</sup>	295.85 ± 2.02 <sup>bC</sup>
	120	12.75 ± 0.68 <sup>aAB</sup>	44.33 ± 3.62 <sup>aB</sup>	54.21 ± 3.62 <sup>aA</sup>	61.34 ± 1.13 <sup>aA</sup>	100.48 ± 4.07 <sup>aAB</sup>	198.39 ± 4.47 <sup>aA</sup>	264.36 ± 10.65 <sup>aB</sup>
นว.1	0	10.91 ± 0.43 <sup>aAB</sup>	47.22 ± 0.65 <sup>bB</sup>	88.07 ± 1.26 <sup>cC</sup>	170.07 ± 1.12 <sup>dE</sup>	269.73 ± 1.74 <sup>dE</sup>	404.17 ± 4.24 <sup>dE</sup>	974.10 ± 6.11 <sup>dF</sup>
	40	11.22 ± 0.56 <sup>aAB</sup>	44.66 ± 1.21 <sup>bB</sup>	82.55 ± 1.92 <sup>bC</sup>	99.04 ± 1.98 <sup>cCD</sup>	134.87 ± 1.34 <sup>cCD</sup>	255.93 ± 4.54 <sup>cC</sup>	346.22 ± 9.05 <sup>cD</sup>
	80	10.57 ± 0.52 <sup>aA</sup>	43.44 ± 0.64 <sup>bB</sup>	52.25 ± 0.87 <sup>aA</sup>	79.64 ± 1.11 <sup>bB</sup>	121.22 ± 4.99 <sup>bBC</sup>	226.32 ± 3.09 <sup>bB</sup>	222.25 ± 2.01 <sup>bA</sup>
	120	10.79 ± 0.45 <sup>aAB</sup>	32.62 ± 1.67 <sup>aA</sup>	49.70 ± 1.42 <sup>aA</sup>	52.07 ± 1.03 <sup>aA</sup>	90.85 ± 2.50 <sup>aA</sup>	184.84 ± 4.43 <sup>aA</sup>	201.48 ± 2.06 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4-5 พื้นที่ใบรวม (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่

แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับเกลือที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นไปมีผลให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์น้อยลง แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เท่ากับ 0.0613 0.0174 0.0105 และ 0.0056 กรัมต่อกรัม-วัน ตามลำดับ ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่สูงขึ้นไปมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์น้อยลง แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือที่ได้รับ

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เท่ากับ 0.0722 0.0164 0.0102 และ 0.0063 กรัมต่อกรัม-วัน ตามลำดับ ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่สูงขึ้นไปมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์น้อยลง แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือที่ได้รับ

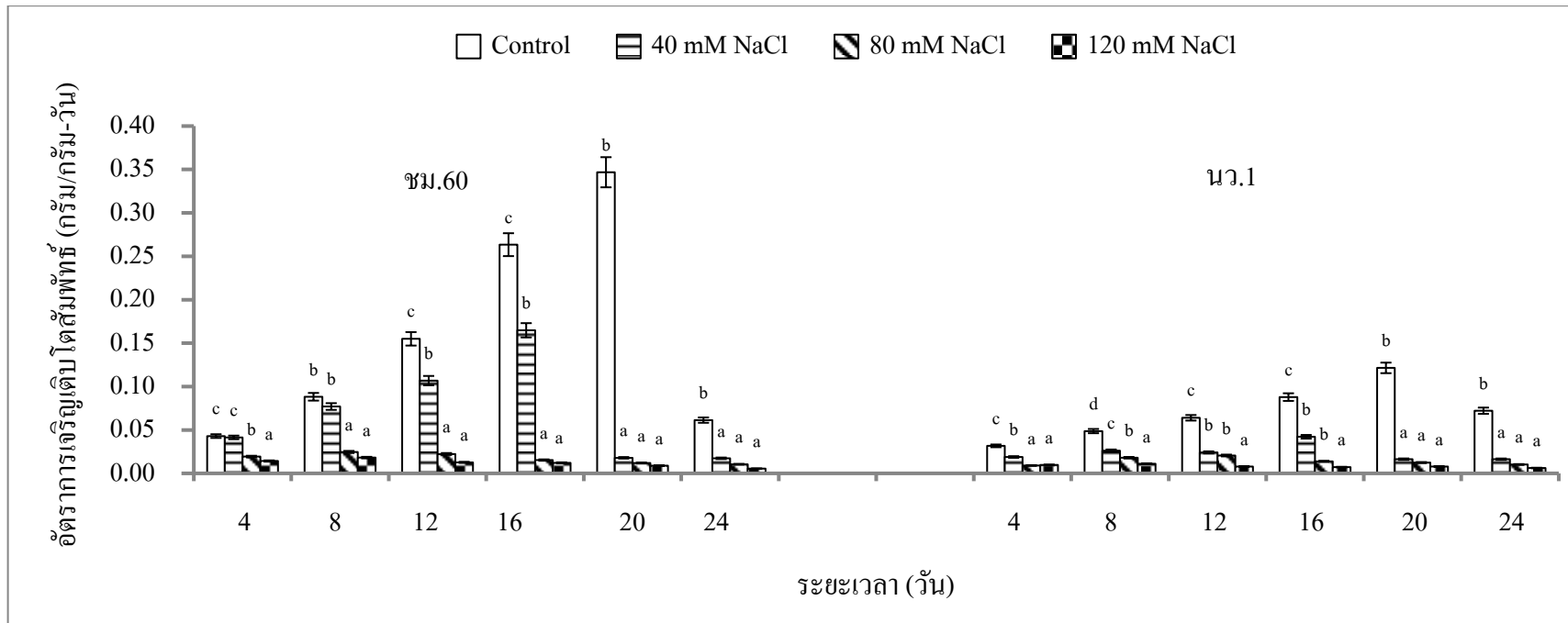
เมื่อสิ้นสุดการทดลองภายใต้ภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-6 และภาพที่ 4-6) ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือที่ได้รับ

ตารางที่ 4-6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/กรัม-วัน) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของลำต้น (กรัม/กรัม-วัน)					
		4	8	12	16	20	24
ชม.60	0	0.0430 ± 0.0021 <sup>cD</sup>	0.0882 ± 0.0023 <sup>bD</sup>	0.1550 ± 0.0089 <sup>cD</sup>	0.2634 ± 0.0143 <sup>cD</sup>	0.3468 ± 0.0371 <sup>bC</sup>	0.0613 ± 0.0199 <sup>bB</sup>
	40	0.0415 ± 0.0001 <sup>cD</sup>	0.0770 ± 0.0080 <sup>bD</sup>	0.1069 ± 0.0094 <sup>bC</sup>	0.1648 ± 0.0096 <sup>bC</sup>	0.0179 ± 0.0037 <sup>aA</sup>	0.0174 ± 0.0074 <sup>aA</sup>
	80	0.0194 ± 0.0011 <sup>bB</sup>	0.0247 ± 0.0014 <sup>aAB</sup>	0.0224 ± 0.0024 <sup>aA</sup>	0.0154 ± 0.0009 <sup>aA</sup>	0.0119 ± 0.0049 <sup>aA</sup>	0.0105 ± 0.0047 <sup>aA</sup>
	120	0.0143 ± 0.0014 <sup>aAB</sup>	0.0182 ± 0.002 <sup>aAB</sup>	0.0127 ± 0.0020 <sup>aA</sup>	0.0121 ± 0.0029 <sup>aA</sup>	0.0089 ± 0.0036 <sup>aA</sup>	0.0056 ± 0.0018 <sup>aA</sup>
นว.1	0	0.0317 ± 0.0015 <sup>cC</sup>	0.0487 ± 0.0019 <sup>dC</sup>	0.0641 ± 0.0084 <sup>cB</sup>	0.0879 ± 0.0146 <sup>cB</sup>	0.1215 ± 0.0143 <sup>bB</sup>	0.0722 ± 0.0075 <sup>bB</sup>
	40	0.0189 ± 0.0033 <sup>bB</sup>	0.0262 ± 0.0006 <sup>cB</sup>	0.0242 ± 0.0030 <sup>bA</sup>	0.0422 ± 0.0115 <sup>bA</sup>	0.0164 ± 0.0009 <sup>aA</sup>	0.0164 ± 0.0046 <sup>aA</sup>
	80	0.0091 ± 0.0007 <sup>aA</sup>	0.0181 ± 0.0016 <sup>bAB</sup>	0.0206 ± 0.0025 <sup>bA</sup>	0.0139 ± 0.0004 <sup>bA</sup>	0.0125 ± 0.0011 <sup>aA</sup>	0.0102 ± 0.0034 <sup>aA</sup>
	120	0.0098 ± 0.0003 <sup>aA</sup>	0.0111 ± 0.001 <sup>aA</sup>	0.0079 ± 0.0017 <sup>aA</sup>	0.0073 ± 0.0008 <sup>aA</sup>	0.0079 ± 0.0006 <sup>aA</sup>	0.0063 ± 0.0028 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4-6 อัตราการเจริญเติบโตของลำต้น (กรัม/กรัม-วัน) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.17 น้ำหนักแห้งจำเพาะของใบ (Specific Leaf Weight ; SLW)

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มค่า SLW สูงกว่าชุดควบคุมในระดับเกลือที่เพิ่มขึ้น

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีค่า SLW เท่ากับ 4.8947 7.3748 5.4506 และ 3.1072 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีค่า SLW มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ มีค่า SLW น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในระดับความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ มีค่า SLW มากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีค่า SLW เท่ากับ 3.1665 4.9315 3.4121 และ 2.6809 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มในระดับความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ มีค่า SLW มากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ และชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วนถั่วเหลืองที่ระดับความเข้มข้นเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ มีค่า SLW มากกว่าชุดควบคุม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่า SLW น้อยกว่าชุดควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 24 วัน ภายใต้ภาวะเค็ม พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่า SLW สูงกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์

พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีค่า SLW มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-7 และภาพที่ 4-7)

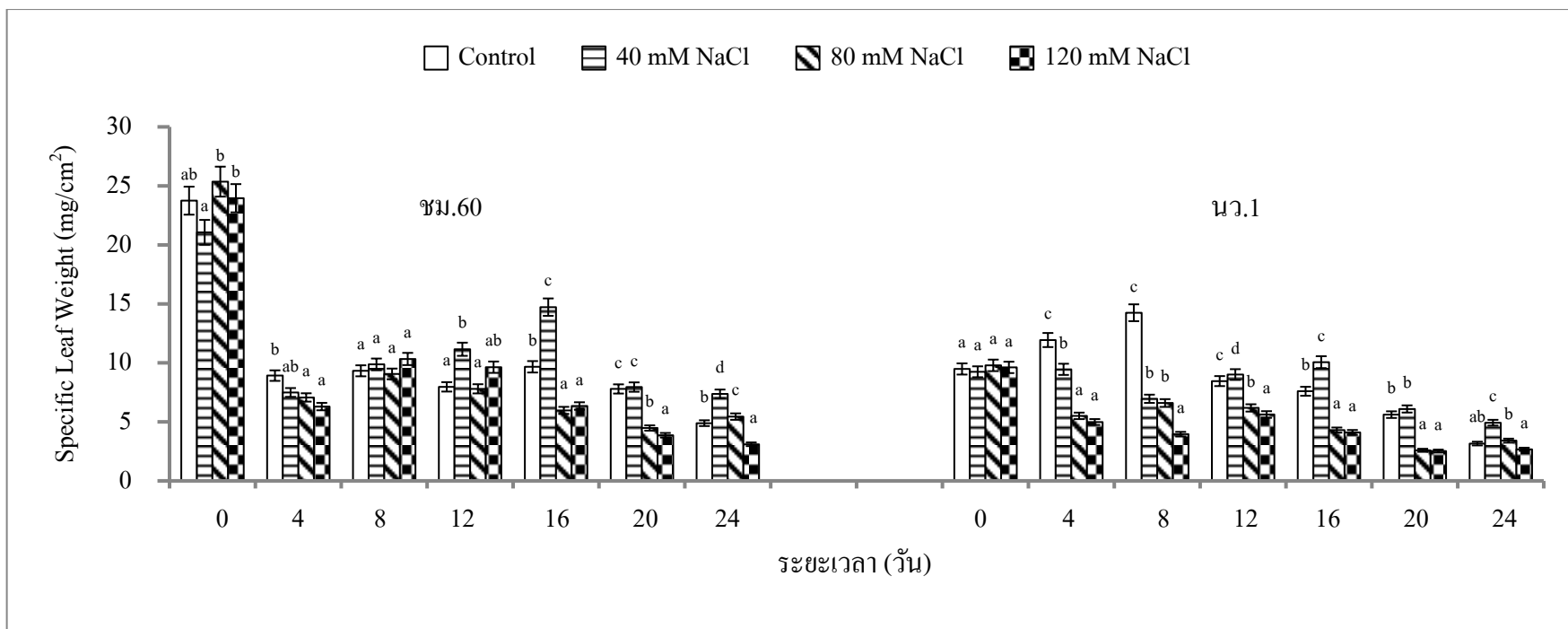
ตารางที่ 4-7 Specific Leaf Weight : SLW (มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean  $\pm$  standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	Specific Leaf Weight : SLW (มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร)						
		0	4	8	12	16	20	24
ชม.60	0	23.7447 $\pm$ 1.1557 <sup>abC</sup>	8.9229 $\pm$ 0.4112 <sup>bDE</sup>	9.3297 $\pm$ 0.7718 <sup>aC</sup>	7.9715 $\pm$ 0.5105 <sup>abC</sup>	9.6694 $\pm$ 0.5029 <sup>bD</sup>	7.7930 $\pm$ 0.1466 <sup>cD</sup>	4.8947 $\pm$ 0.2296 <sup>bC</sup>
	40	21.0612 $\pm$ 0.3172 <sup>ab</sup>	7.4944 $\pm$ 0.7788 <sup>abCD</sup>	9.8756 $\pm$ 0.4059 <sup>aC</sup>	11.1553 $\pm$ 1.3668 <sup>bD</sup>	14.7243 $\pm$ 0.6499 <sup>cE</sup>	7.9509 $\pm$ 0.0805 <sup>cD</sup>	7.3748 $\pm$ 0.0137 <sup>dE</sup>
	80	25.3566 $\pm$ 0.8339 <sup>bC</sup>	7.0722 $\pm$ 0.1539 <sup>abC</sup>	9.0665 $\pm$ 0.2837 <sup>aC</sup>	7.8035 $\pm$ 0.7515 <sup>abC</sup>	5.9780 $\pm$ 0.6061 <sup>ab</sup>	4.4846 $\pm$ 0.2499 <sup>bb</sup>	5.4506 $\pm$ 0.1436 <sup>cD</sup>
	120	23.9503 $\pm$ 0.8124 <sup>bC</sup>	6.2999 $\pm$ 0.1241 <sup>aABC</sup>	10.3321 $\pm$ 0.5342 <sup>aC</sup>	9.6357 $\pm$ 0.1951 <sup>abCD</sup>	6.3473 $\pm$ 0.2783 <sup>ab</sup>	3.8706 $\pm$ 0.1087 <sup>ab</sup>	3.1072 $\pm$ 0.0544 <sup>aAB</sup>
นว.1	0	9.4856 $\pm$ 0.3573 <sup>aA</sup>	11.9378 $\pm$ 0.6731 <sup>cE</sup>	14.2485 $\pm$ 0.1683 <sup>cD</sup>	8.4585 $\pm$ 0.1032 <sup>cC</sup>	7.5983 $\pm$ 0.1255 <sup>bC</sup>	5.6174 $\pm$ 0.3609 <sup>bC</sup>	3.1665 $\pm$ 0.0435 <sup>abB</sup>
	40	9.2481 $\pm$ 0.4557 <sup>aA</sup>	9.4552 $\pm$ 1.0159 <sup>bF</sup>	6.9599 $\pm$ 0.3519 <sup>bB</sup>	9.0171 $\pm$ 0.1016 <sup>dC</sup>	10.0621 $\pm$ 0.2982 <sup>cD</sup>	6.0982 $\pm$ 0.2925 <sup>bC</sup>	4.9315 $\pm$ 0.1603 <sup>cC</sup>
	80	9.7907 $\pm$ 0.4975 <sup>aA</sup>	5.5133 $\pm$ 0.1448 <sup>aAB</sup>	6.5999 $\pm$ 0.0921 <sup>bB</sup>	6.1864 $\pm$ 0.1075 <sup>bAB</sup>	4.3085 $\pm$ 0.1581 <sup>aA</sup>	2.5938 $\pm$ 0.1415 <sup>aA</sup>	3.4121 $\pm$ 0.2033 <sup>bB</sup>
	120	9.6191 $\pm$ 0.3849 <sup>aA</sup>	4.9907 $\pm$ 0.3741 <sup>aA</sup>	3.9601 $\pm$ 0.0407 <sup>aA</sup>	5.6273 $\pm$ 0.1343 <sup>aA</sup>	4.1105 $\pm$ 0.0953 <sup>aA</sup>	2.5294 $\pm$ 0.1065 <sup>aA</sup>	2.6809 $\pm$ 0.1788 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95





ภาพที่ 4-7 Specific Leaf Weight (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

## 4.2 ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรลิน

### 4.2.1 การสะสมโพรลินในใบที่ 3 นับจากยอด

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120

มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีการสะสมโพรลินในใบที่ 3 นับจากยอดเพิ่มขึ้น และการสะสมโพรลินของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่ามากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120

มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีการสะสมโพรลินเท่ากับ 9.7539 19.0895 24.4044 และ 51.8567 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งในถั่วเหลืองที่ได้รับเกลือแต่ละความเข้มข้นมีการสะสมโพรลินมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และการสะสมโพรลินในถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120

มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีการสะสมโพรลินเท่ากับ 11.3967 22.9033 29.0033 และ 62.7167 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งในถั่วเหลืองที่ได้รับเกลือแต่ละความเข้มข้นมีการสะสมโพรลินสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และการสะสมโพรลินในถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 มีการสะสมโพรลินในใบที่ 3 นับจากยอดมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือ (ตารางที่ 4-8 และภาพที่ 4-8)

#### 4.2.2 การสะสมโพรลินในใบที่ 5 นับจากยอด

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีการสะสมโพรลินในใบที่ 5 นับจากยอดเพิ่มขึ้น และการสะสมโพรลินของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีการสะสมโพรลินเท่ากับ 16.2933 29.5800 42.0567 และ 92.8500 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งในถั่วเหลืองที่ได้รับเกลือแต่ละความเข้มข้นมีการสะสมโพรลินสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) การสะสมโพรลินในถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และการสะสมโพรลินในถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 มิลลิโมลาร์ มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีการสะสมโพรลินเท่ากับ 18.4667 35.5400 54.6067 และ 116.5367 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งในถั่วเหลืองที่ได้รับเกลือแต่ละความเข้มข้นมีการสะสมโพรลินสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) การสะสมโพรลินในถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และการสะสมโพรลินในถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 มิลลิโมลาร์ มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมโพรลินในใบที่ 5 นับจากยอดเพิ่มมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และในระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 มีการสะสมโพรลินมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-9 และภาพที่ 4-9)

จากผลการทดลองการสะสมโพรลินในใบที่ 3 และใบที่ 5 นับจากยอดของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็ม พบว่า ในใบที่ 5 นับจากยอดมีการสะสมโพรลินมากกว่าในใบที่ 3 นับจากยอด และภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีผลต่อการสะสมโพรลินทั้งในใบที่ 3 และใบที่ 5 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลต่อการสะสมโพรลินใบที่ 5 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4-8 ปริมาณโพรตีน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 3 นับจากยอด ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	ปริมาณโพรตีน ในใบที่ 3 นับจากยอด (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด)				
		8	12	16	20	24
ชม.60	0	4.7167±0.1660 <sup>aA</sup>	4.8333±0.1821 <sup>aA</sup>	4.9474±0.1667 <sup>aA</sup>	8.4598±0.3404 <sup>aA</sup>	9.7539±0.3818 <sup>aA</sup>
	40	9.8700±0.3027 <sup>bB</sup>	12.5233±0.6945 <sup>bB</sup>	14.0520±0.2001 <sup>bC</sup>	15.6464±0.5295 <sup>bB</sup>	19.0895±0.4082 <sup>bB</sup>
	80	15.7167±0.3175 <sup>cC</sup>	15.8767±0.9557 <sup>cC</sup>	18.4887±0.3117 <sup>cE</sup>	19.9445±2.1258 <sup>cD</sup>	24.4044±1.8491 <sup>cC</sup>
	120	16.4533±0.3040 <sup>cC</sup>	20.3600±0.4912 <sup>dD</sup>	21.4003±0.3668 <sup>dF</sup>	37.2293±1.3155 <sup>dE</sup>	51.8567±1.6897 <sup>dE</sup>
นว.1	0	4.3933±0.1602 <sup>aA</sup>	6.3800±0.2008 <sup>aA</sup>	7.3267±0.2796 <sup>aB</sup>	7.7200±0.4216 <sup>aA</sup>	11.3967±0.5460 <sup>aA</sup>
	40	10.1233±0.7269 <sup>bB</sup>	16.1100±0.3408 <sup>bC</sup>	16.8733±0.6114 <sup>bD</sup>	18.7167±0.6844 <sup>bC</sup>	22.9033±0.6423 <sup>bC</sup>
	80	15.6933±0.7093 <sup>cC</sup>	19.6900±1.1930 <sup>bC</sup>	19.8300±0.5437 <sup>cE</sup>	22.2333±0.7801 <sup>cD</sup>	29.0033±0.8555 <sup>cD</sup>
	120	16.0633±0.4443 <sup>cC</sup>	20.4967±1.9012 <sup>cD</sup>	23.1333±0.7801 <sup>dG</sup>	46.4033±0.2266 <sup>dF</sup>	62.7167±0.7017 <sup>dF</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

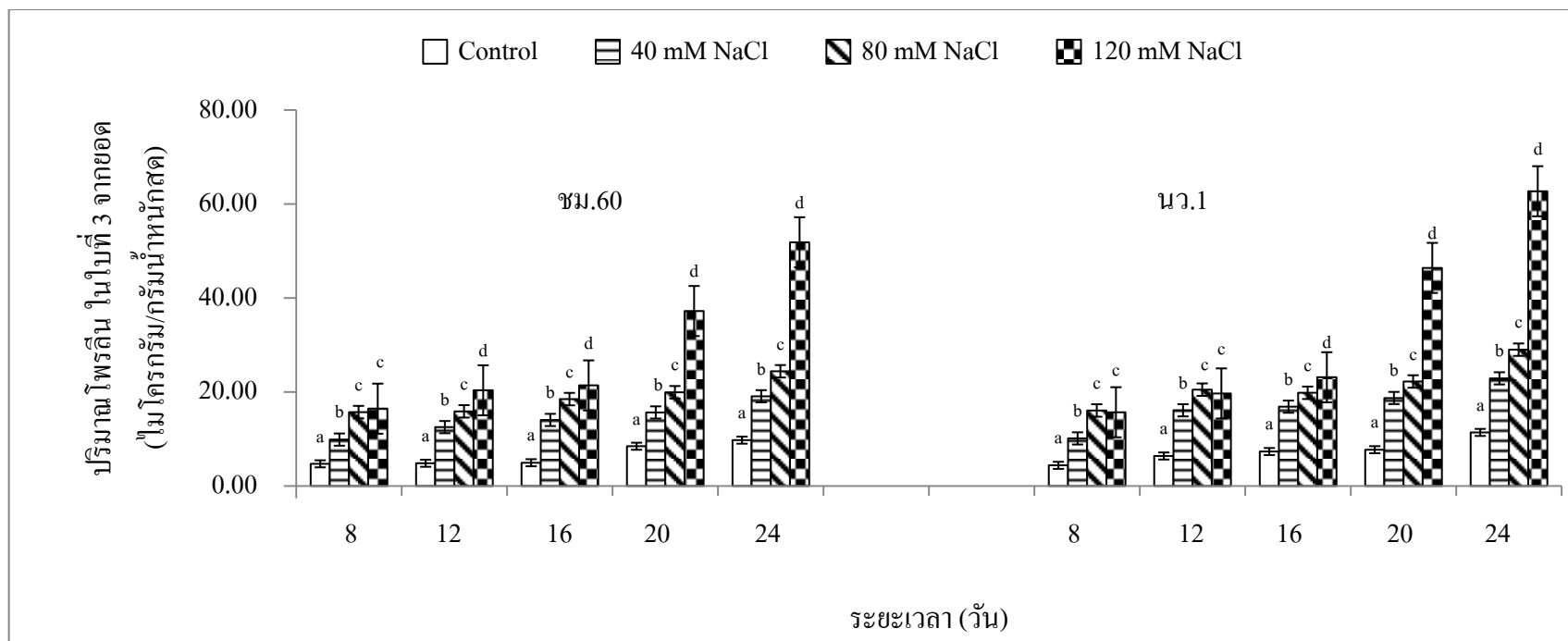
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4-9 ปริมาณโพรลิน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 5 นับจากยอด ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean  $\pm$  standard error)

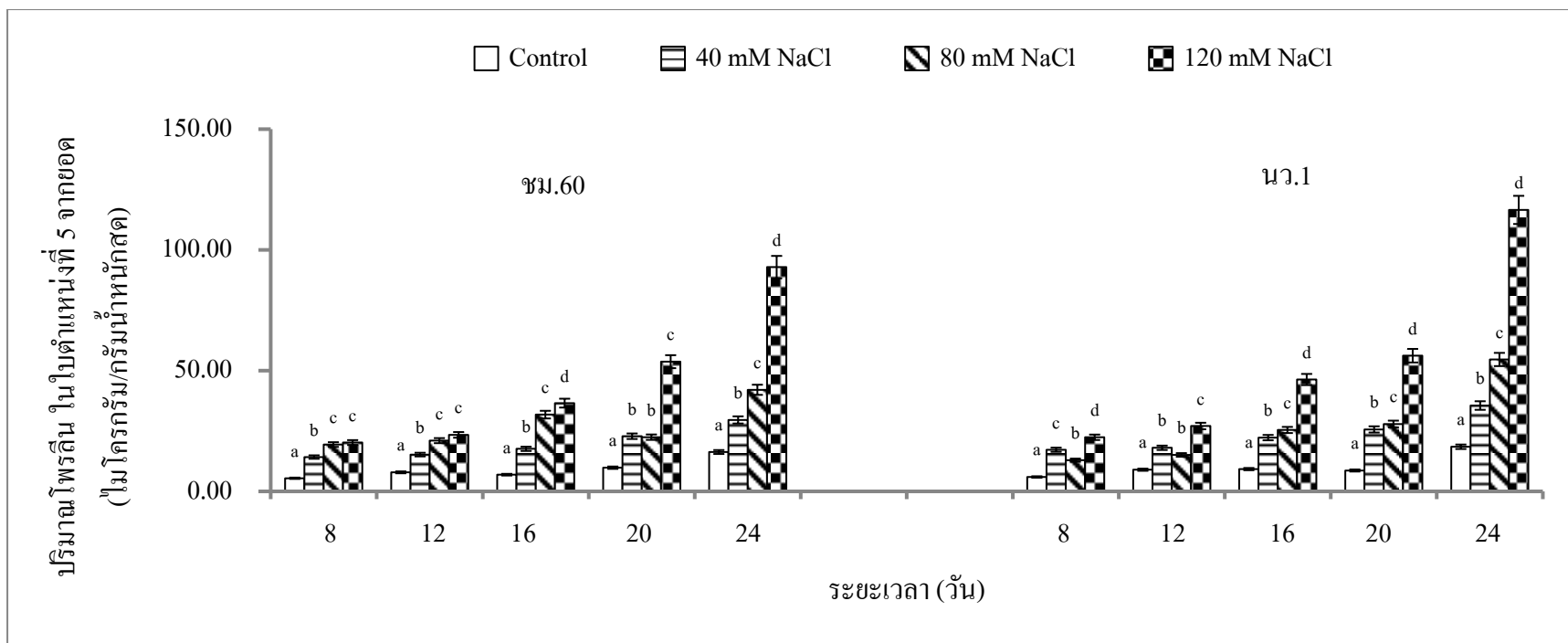
พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	ปริมาณโพรลิน ในใบที่ 5 นับจากยอด (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด)				
		8	12	16	20	24
ชม.60	0	5.4333 $\pm$ 0.1602 <sup>aA</sup>	7.8833 $\pm$ 0.3948 <sup>aA</sup>	6.9133 $\pm$ 0.2219 <sup>aA</sup>	9.8000 $\pm$ 0.5543 <sup>aA</sup>	16.2933 $\pm$ 0.4486 <sup>aA</sup>
	40	14.2167 $\pm$ 0.7269 <sup>bB</sup>	15.2300 $\pm$ 0.7623 <sup>bB</sup>	17.6100 $\pm$ 0.3342 <sup>bC</sup>	22.8300 $\pm$ 0.9789 <sup>bB</sup>	29.5800 $\pm$ 1.0392 <sup>bB</sup>
	80	19.3900 $\pm$ 0.7093 <sup>cCD</sup>	21.0067 $\pm$ 1.2662 <sup>cD</sup>	31.7767 $\pm$ 1.1918 <sup>cF</sup>	22.4400 $\pm$ 0.5243 <sup>bB</sup>	42.0567 $\pm$ 0.2492 <sup>cC</sup>
	120	20.2200 $\pm$ 0.4443 <sup>cDE</sup>	23.3867 $\pm$ 0.1235 <sup>cD</sup>	36.5367 $\pm$ 1.0010 <sup>dG</sup>	53.7067 $\pm$ 1.3508 <sup>cD</sup>	92.8500 $\pm$ 7.4608 <sup>dE</sup>
นว.1	0	5.9633 $\pm$ 0.4379 <sup>aA</sup>	8.9700 $\pm$ 0.1960 <sup>aA</sup>	9.2233 $\pm$ 0.0841 <sup>aB</sup>	8.6433 $\pm$ 0.3948 <sup>aA</sup>	18.4667 $\pm$ 0.5169 <sup>aA</sup>
	40	17.2400 $\pm$ 0.4992 <sup>cC</sup>	18.0500 $\pm$ 0.4842 <sup>bC</sup>	22.2533 $\pm$ 0.3765 <sup>bD</sup>	25.6533 $\pm$ 1.1362 <sup>bBC</sup>	35.5400 $\pm$ 0.6004 <sup>bBC</sup>
	80	12.9200 $\pm$ 2.2858 <sup>bB</sup>	15.0933 $\pm$ 0.6350 <sup>bB</sup>	25.4233 $\pm$ 1.2539 <sup>cE</sup>	27.8900 $\pm$ 2.5132 <sup>cC</sup>	54.6067 $\pm$ 1.0992 <sup>cD</sup>
	120	22.3933 $\pm$ 0.4798 <sup>dE</sup>	27.0600 $\pm$ 1.6391 <sup>cE</sup>	46.3133 $\pm$ 0.5217 <sup>dA</sup>	56.1767 $\pm$ 1.0065 <sup>dD</sup>	116.5367 $\pm$ 0.9045 <sup>dF</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4-8 ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 3 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



ภาพที่ 4-9 ปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักสด) ในใบที่ 5 จากยอดของข้าวเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error) ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในข้าวเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



### 4.3 ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณสารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ของถั่วเหลือง

#### 4.3.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ ในใบที่ 2 จากยอด

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าภาวะเค็มมีผลปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่างๆมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ในใบประกอบใบที่ 2 จากยอดน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ เท่ากับ 11.89 8.23 6.06 และ 3.17 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และมีปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 1.04 0.73 0.54 และ 0.30 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ มากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-10, ภาพที่ 4-10, ตารางที่ 4-12 และภาพที่ 4-12)

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ เท่ากับ 12.38 6.44 5.69 และ 2.10 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 1.09 0.58 0.51

และ 0.20 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด จากผลการทดลองจะเห็นว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับ ภาวะเค็มมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ มากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับ ภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณ คลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะ เค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-10, ภาพที่ 4-10, ตารางที่ 4-12 และภาพที่ 4-12)

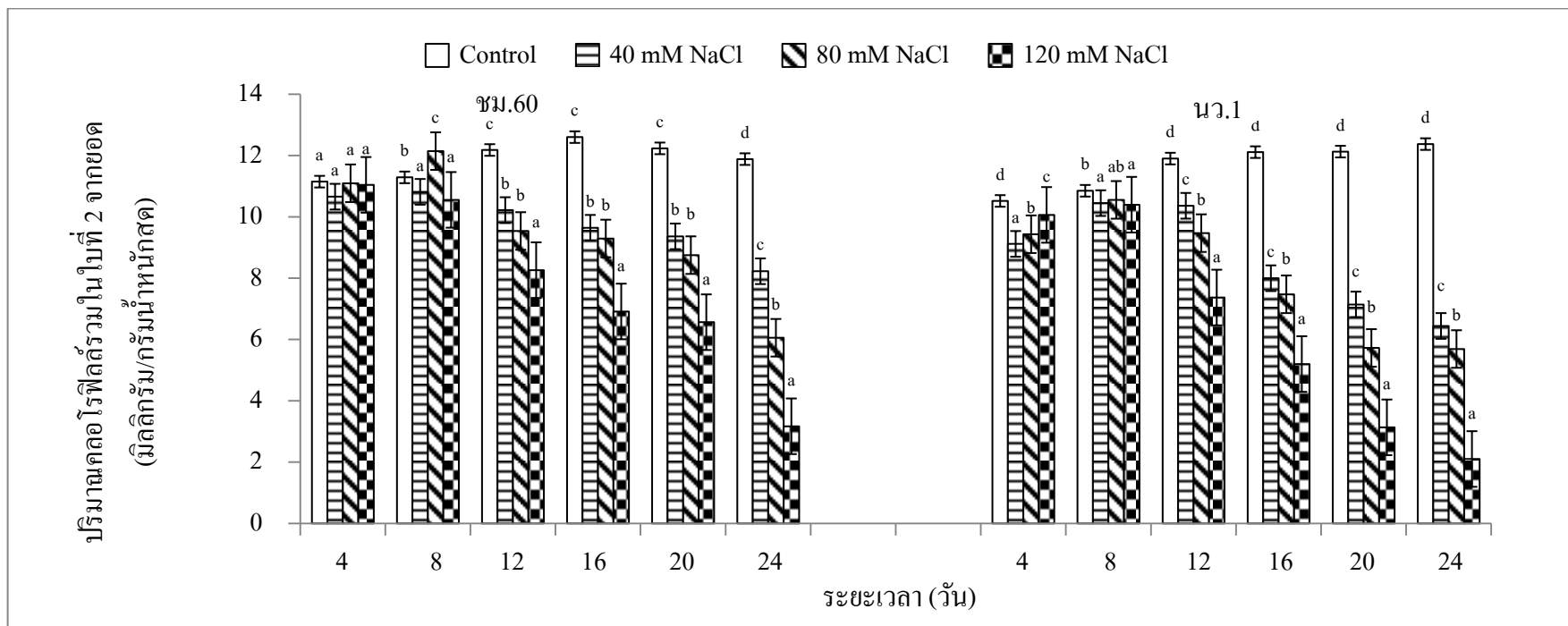
จากผลการทดลองจะเห็นว่า ตำแหน่งใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับ ภาวะเค็มมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือ (ตารางที่ 4-10, ภาพที่ 4-10, ตารางที่ 4-12 และภาพที่ 4-12)

ตารางที่ 4-10 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในใบที่ 2 จากยอด (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)					
		4	8	12	16	20	24
ชม.60	0	11.15 ± 0.19 <sup>aD</sup>	11.29 ± 0.21 <sup>bD</sup>	12.18 ± 0.20 <sup>cE</sup>	12.60 ± 0.18 <sup>cD</sup>	12.24 ± 0.25 <sup>cE</sup>	11.89 ± 0.04 <sup>dH</sup>
	40	10.66 ± 0.27 <sup>aCD</sup>	10.82 ± 0.15 <sup>aBC</sup>	10.22 ± 0.2 <sup>bCD</sup>	9.65 ± 0.43 <sup>bC</sup>	9.37 ± 0.36 <sup>bD</sup>	8.23 ± 0.18 <sup>cF</sup>
	80	11.10 ± 0.26 <sup>aD</sup>	12.15 ± 0.05 <sup>cE</sup>	9.54 ± 0.37 <sup>bCD</sup>	9.30 ± 0.32 <sup>bC</sup>	8.75 ± 0.13 <sup>bD</sup>	6.06 ± 0.06 <sup>bD</sup>
	120	11.05 ± 0.05 <sup>aD</sup>	10.56 ± 0.05 <sup>aABC</sup>	8.26 ± 0.29 <sup>aB</sup>	6.92 ± 0.84 <sup>aB</sup>	6.57 ± 0.39 <sup>aC</sup>	3.17 ± 0.14 <sup>aB</sup>
นว.1	0	10.52 ± 0.09 <sup>dBC</sup>	10.85 ± 0.15 <sup>bC</sup>	11.90 ± 0.09 <sup>dE</sup>	12.11 ± 0.06 <sup>dD</sup>	12.13 ± 0.11 <sup>dE</sup>	12.38 ± 0.12 <sup>dG</sup>
	40	9.12 ± 0.08 <sup>aA</sup>	10.45 ± 0.08 <sup>aAB</sup>	10.36 ± 0.14 <sup>cD</sup>	8.00 ± 0.11 <sup>cB</sup>	7.14 ± 0.11 <sup>cC</sup>	6.44 ± 0.08 <sup>cE</sup>
	80	9.44 ± 0.09 <sup>bA</sup>	10.56 ± 0.06 <sup>abABC</sup>	9.47 ± 0.18 <sup>bC</sup>	7.48 ± 0.05 <sup>bB</sup>	5.73 ± 0.36 <sup>bB</sup>	5.69 ± 0.11 <sup>bC</sup>
	120	10.07 ± 0.08 <sup>cB</sup>	10.40 ± 0.05 <sup>aA</sup>	7.37 ± 0.40 <sup>aA</sup>	5.20 ± 0.09 <sup>aA</sup>	3.14 ± 0.18 <sup>aA</sup>	2.10 ± 0.17 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4-10 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 2 จากยอดของข้าวเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือที่ต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

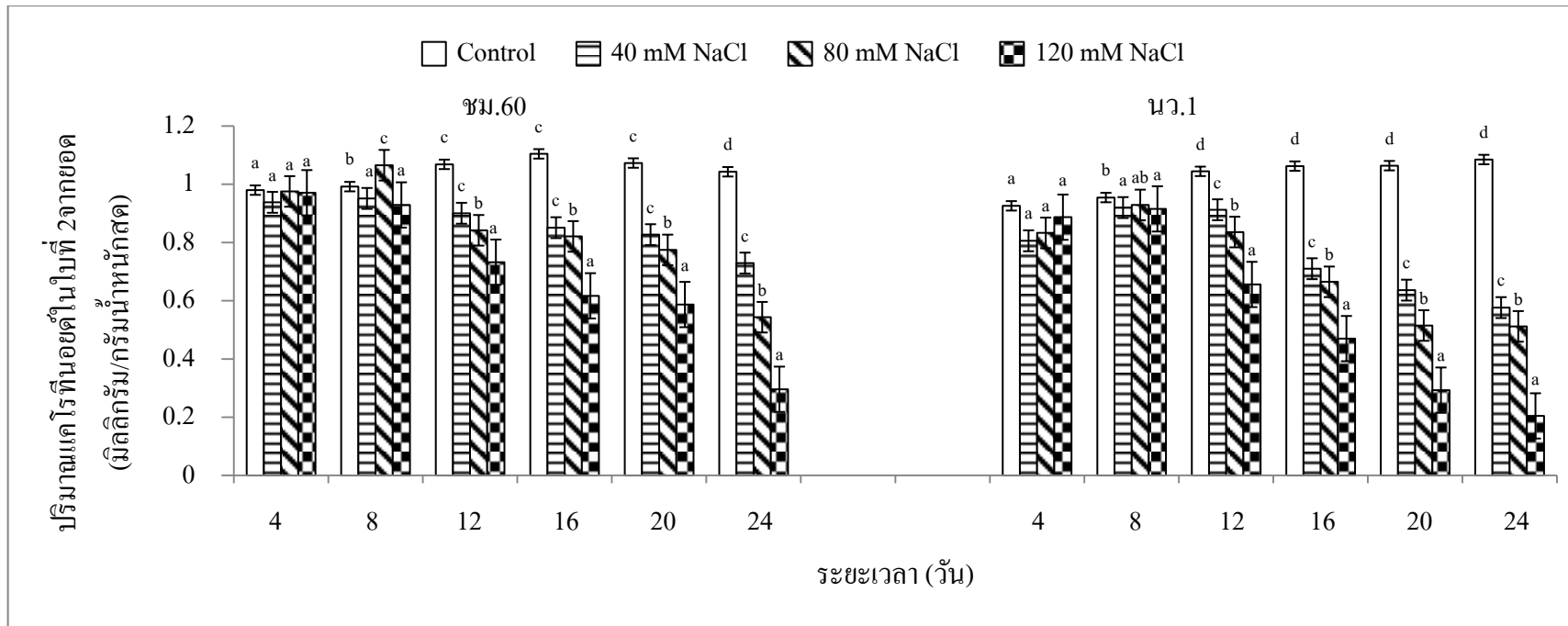
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในข้าวเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4-11 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ ในใบที่ 2 จากยอด (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)					
		4	8	12	16	20	24
ชม.60	0	0.98 ± 0.02 <sup>aD</sup>	0.99 ± 0.02 <sup>bD</sup>	1.07 ± 0.02 <sup>cE</sup>	1.10 ± 0.02 <sup>cD</sup>	1.07 ± 0.02 <sup>cE</sup>	1.04 ± 0.01 <sup>dG</sup>
	40	0.94 ± 0.02 <sup>aD</sup>	0.95 ± 0.01 <sup>aBC</sup>	0.90 ± 0.02 <sup>bCD</sup>	0.85 ± 0.04 <sup>bC</sup>	0.83 ± 0.03 <sup>bD</sup>	0.73 ± 0.02 <sup>cF</sup>
	80	0.98 ± 0.02 <sup>aD</sup>	1.07 ± 0.01 <sup>cE</sup>	0.84 ± 0.03 <sup>bCD</sup>	0.82 ± 0.03 <sup>bC</sup>	0.78 ± 0.01 <sup>bD</sup>	0.54 ± 0.01 <sup>bD</sup>
	120	0.97 ± 0.01 <sup>aCD</sup>	0.93 ± 0.02 <sup>aABC</sup>	0.73 ± 0.03 <sup>aB</sup>	0.62 ± 0.08 <sup>aB</sup>	0.59 ± 0.03 <sup>aC</sup>	0.30 ± 0.01 <sup>aB</sup>
นว.1	0	0.93 ± 0.01 <sup>aBC</sup>	0.96 ± 0.08 <sup>bC</sup>	1.04 ± 0.09 <sup>dE</sup>	1.06 ± 0.09 <sup>dD</sup>	1.06 ± 0.09 <sup>dE</sup>	1.09 ± 0.11 <sup>dH</sup>
	40	0.89 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.92 ± 0.09 <sup>aAB</sup>	0.92 ± 0.11 <sup>cD</sup>	0.71 ± 0.11 <sup>cB</sup>	0.64 ± 0.09 <sup>cC</sup>	0.58 ± 0.17 <sup>cE</sup>
	80	0.83 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.93 ± 0.04 <sup>abABC</sup>	0.84 ± 0.12 <sup>bC</sup>	0.67 ± 0.12 <sup>bB</sup>	0.52 ± 0.03 <sup>bB</sup>	0.51 ± 0.13 <sup>bC</sup>
	120	0.81 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.92 ± 0.08 <sup>aA</sup>	0.66 ± 0.15 <sup>aA</sup>	0.47 ± 0.11 <sup>aA</sup>	0.29 ± 0.11 <sup>aA</sup>	0.20 ± 0.29 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4-11 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 2 จากยอดของข้าวเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในข้าวเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.3.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์รวม ในใบที่ 1 จากโคน

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120

มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าภาวะเค็มมีผลปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่างๆมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 1 จากโคนน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120

มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม เท่ากับ 12.22 8.58 6.27 และ 4.61 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และมีปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 1.07 0.76 0.56 และ 0.42 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40

มิลลิโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ มากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-11, ภาพที่ 4-11, ตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-13)

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120

มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม เท่ากับ 12.59 7.74 5.17 และ 2.93 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และถั่วเหลืองมีแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 1.10 0.69 0.47 และ 0.28 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองที่

ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ น้อยที่สุดและน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-11, ภาพที่ 4-11, ตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-13)

จากผลการทดลองจะเห็นว่า ตำแหน่งใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ทุกระดับความเข้มข้นของเกลือ (ตารางที่ 4-11, ภาพที่ 4-11, ตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-13)

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ภาวะเค็มมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ ในใบที่ 2 จากยอด และใบที่ 1 จากโคน ซึ่งภาวะเค็มมีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ ในใบทั้งสองตำแหน่งของถั่วทั้งสองพันธุ์น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) นอกจากนี้ผลการทดลองพบว่า เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ ในใบที่ 1 จากโคนมากกว่าในใบที่ 2 จากยอดในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือ

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าในใบทั้งสองตำแหน่งของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 และแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือที่ได้รับ

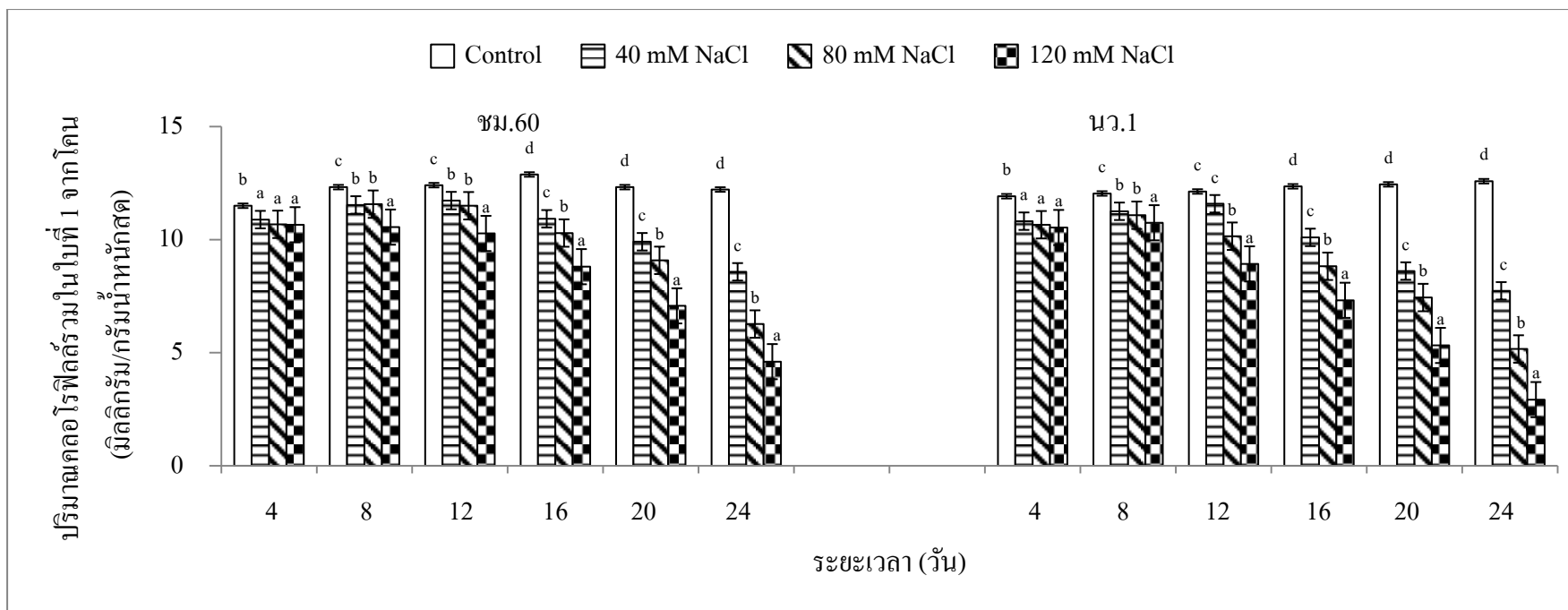


ตารางที่ 4-12 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในใบที่ 1 จากโคน (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)					
		4	8	12	16	20	24
ชม.60	0	11.50 ± 0.09 <sup>bC</sup>	12.32 ± 0.06 <sup>cE</sup>	12.41 ± 0.07 <sup>cE</sup>	12.88 ± 0.11 <sup>dF</sup>	12.32 ± 0.05 <sup>dF</sup>	12.22 ± 0.03 <sup>dG</sup>
	40	10.89 ± 0.12 <sup>aB</sup>	11.54 ± 0.08 <sup>bC</sup>	11.73 ± 0.06 <sup>bCD</sup>	10.92 ± 0.11 <sup>cD</sup>	9.91 ± 0.13 <sup>cE</sup>	8.58 ± 0.13 <sup>cF</sup>
	80	10.68 ± 0.02 <sup>aAB</sup>	11.57 ± 0.09 <sup>bC</sup>	11.50 ± 0.19 <sup>bC</sup>	10.29 ± 0.06 <sup>bC</sup>	9.09 ± 0.14 <sup>bD</sup>	6.27 ± 0.08 <sup>bD</sup>
	120	10.66 ± 0.11 <sup>aAB</sup>	10.56 ± 0.05 <sup>aA</sup>	10.28 ± 0.03 <sup>aB</sup>	8.81 ± 0.33 <sup>aB</sup>	7.07 ± 0.34 <sup>aB</sup>	4.61 ± 0.11 <sup>aB</sup>
นว.1	0	11.92 ± 0.14 <sup>bD</sup>	12.04 ± 0.08 <sup>cD</sup>	12.13 ± 0.09 <sup>cDE</sup>	12.36 ± 0.09 <sup>dE</sup>	12.45 ± 0.09 <sup>dF</sup>	12.59 ± 0.11 <sup>dG</sup>
	40	10.82 ± 0.20 <sup>aAB</sup>	11.26 ± 0.09 <sup>bB</sup>	11.59 ± 0.11 <sup>cC</sup>	10.10 ± 0.11 <sup>cC</sup>	8.61 ± 0.09 <sup>cC</sup>	7.74 ± 0.17 <sup>cE</sup>
	80	10.66 ± 0.02 <sup>aAB</sup>	11.08 ± 0.04 <sup>bB</sup>	10.15 ± 0.12 <sup>bB</sup>	8.82 ± 0.12 <sup>bB</sup>	7.44 ± 0.03 <sup>bB</sup>	5.17 ± 0.13 <sup>bC</sup>
	120	10.54 ± 0.03 <sup>aA</sup>	10.75 ± 0.08 <sup>aA</sup>	8.93 ± 0.15 <sup>aA</sup>	7.32 ± 0.11 <sup>aA</sup>	5.32 ± 0.11 <sup>aA</sup>	2.93 ± 0.29 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ



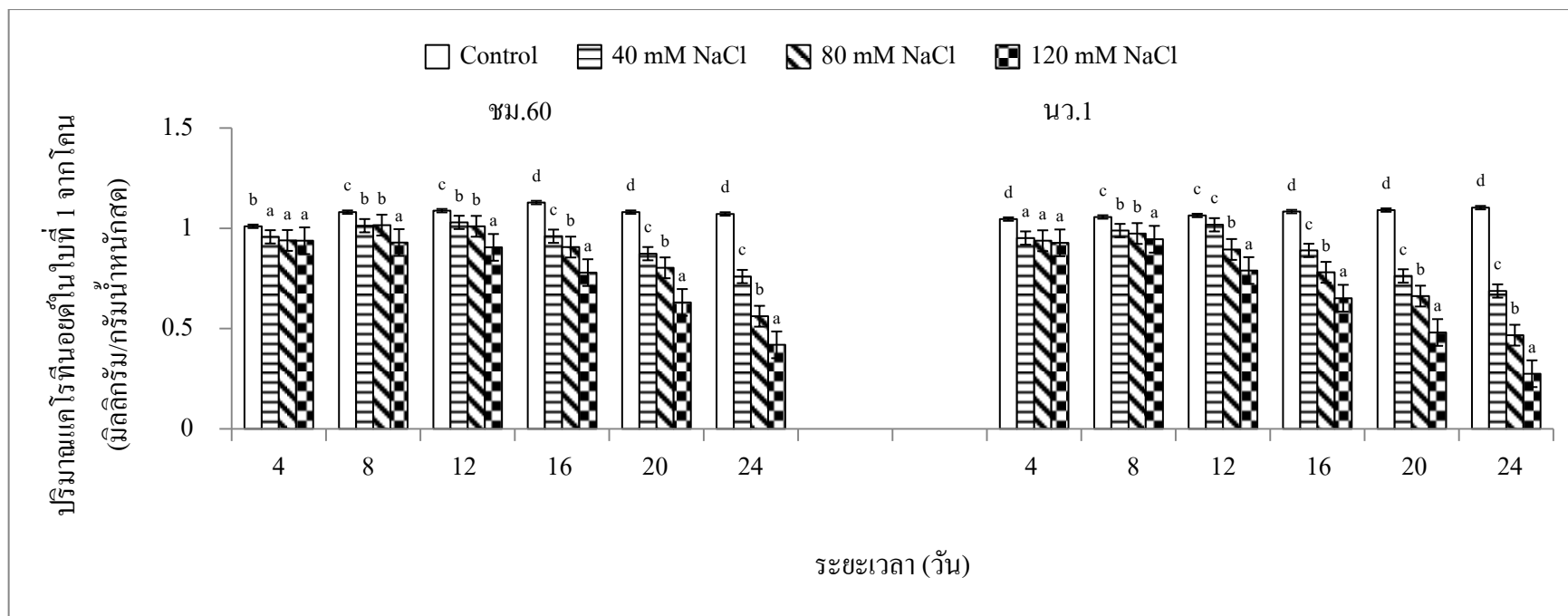
ภาพที่ 4-12 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ใบใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือที่แตกต่างตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4-13 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ ในใบที่ 1 จากโคน (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)					
		4	8	12	16	20	24
ชม.60	0	1.01 ± 0.01 <sup>bc</sup>	1.08 ± 0.01 <sup>ce</sup>	1.09 ± 0.01 <sup>ce</sup>	1.13 ± 0.01 <sup>df</sup>	1.08 ± 0.01 <sup>df</sup>	1.07 ± 0.01 <sup>dg</sup>
	40	0.96 ± 0.01 <sup>ab</sup>	1.01 ± 0.01 <sup>bc</sup>	1.03 ± 0.01 <sup>bcd</sup>	0.96 ± 0.01 <sup>cd</sup>	0.87 ± 0.01 <sup>ce</sup>	0.76 ± 0.01 <sup>cf</sup>
	80	0.94 ± 0.01 <sup>aab</sup>	1.02 ± 0.01 <sup>bc</sup>	1.01 ± 0.02 <sup>bc</sup>	0.91 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.80 ± 0.01 <sup>bd</sup>	0.56 ± 0.01 <sup>bd</sup>
	120	0.94 ± 0.01 <sup>aab</sup>	0.93 ± 0.01 <sup>aa</sup>	0.91 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.78 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.63 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.42 ± 0.01 <sup>ab</sup>
นว.1	0	1.05 ± 0.01 <sup>dd</sup>	1.06 ± 0.01 <sup>cd</sup>	1.06 ± 0.01 <sup>cde</sup>	1.08 ± 0.01 <sup>de</sup>	1.09 ± 0.01 <sup>df</sup>	1.10 ± 0.01 <sup>dg</sup>
	40	0.95 ± 0.02 <sup>aab</sup>	0.99 ± 0.01 <sup>bb</sup>	1.01 ± 0.03 <sup>cc</sup>	0.89 ± 0.01 <sup>cc</sup>	0.76 ± 0.01 <sup>cc</sup>	0.69 ± 0.01 <sup>ce</sup>
	80	0.94 ± 0.01 <sup>aab</sup>	0.98 ± 0.01 <sup>bb</sup>	0.89 ± 0.01 <sup>bb</sup>	0.78 ± 0.01 <sup>bb</sup>	0.66 ± 0.01 <sup>bb</sup>	0.47 ± 0.01 <sup>bc</sup>
	120	0.93 ± 0.01 <sup>aa</sup>	0.95 ± 0.01 <sup>aa</sup>	0.79 ± 0.01 <sup>aa</sup>	0.65 ± 0.01 <sup>aa</sup>	0.48 ± 0.01 <sup>aa</sup>	0.28 ± 0.03 <sup>aa</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 97  
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ



ภาพที่ 4-13 ปริมาณแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 1 จากโคนของกล้วยพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือที่ต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในกล้วยพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.4 ผลของภาวะเค็มต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD

##### 4.4.1 ผลของภาวะเค็มต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 2 จากยอด

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์เพิ่มขึ้น และถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้นเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลา ยาวนานขึ้นเช่นกัน

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เท่ากับ 2.09 3.36 4.65 และ 5.72 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ตามลำดับ โดยถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มทุกระดับ ความเข้มข้นของเกลือ มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ในถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ พบว่า มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD มากที่สุด และมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับ ภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่ากิจกรรมของ เอนไซม์ SOD น้อยกว่าถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เท่ากับ 2.35 3.74 5.51 และ 7.93 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ในถั่วเหลือง ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ พบว่า มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD มากที่สุด และมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 และ

80 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD น้อยกว่าถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ในระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-14 และภาพที่ 4-14)

#### 4.4.2 ผลของภาวะเค็มต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 1 จากโคน

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้นเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นและระยะเวลายาวนานขึ้น

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เท่ากับ 2.73 3.21 5.24 และ 6.61 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ตามลำดับ ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD มากกว่าชุดควบคุม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วนถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD มากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ และชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงสุดในถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์

ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เท่ากับ 3.32 5.39 5.94 และ 10.41 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ตามลำดับ ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 80 และ 120 มิลลิโมลลาร์ มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 มิลลิโมลลาร์ มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD มากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 40 มิลลิโมลลาร์ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงสุดในถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลลาร์

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 แต่ในระดับความเข้มข้นของเกลือ 80 มิลลิโมลลาร์ ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4-15 และภาพที่ 4-15)

ตารางที่ 4-14 กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg<sup>-1</sup> protein) ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 2 จากยอด (Unit mg <sup>-1</sup> protein)			
		12	16	20	24
ชม.60	0	1.04 ± 0.06 <sup>aA</sup>	1.18 ± 0.09 <sup>aA</sup>	1.59 ± 0.08 <sup>aA</sup>	2.09 ± 0.13 <sup>aA</sup>
	40	1.16 ± 0.04 <sup>aA</sup>	1.67 ± 0.05 <sup>bB</sup>	2.66 ± 0.02 <sup>bB</sup>	3.36 ± 0.18 <sup>bB</sup>
	80	2.11 ± 0.04 <sup>bB</sup>	2.18 ± 0.09 <sup>cC</sup>	3.00 ± 0.13 <sup>bBC</sup>	4.65 ± 0.14 <sup>cC</sup>
	120	2.54 ± 0.09 <sup>cC</sup>	2.92 ± 0.04 <sup>dD</sup>	3.67 ± 0.16 <sup>cD</sup>	5.72 ± 0.25 <sup>dD</sup>
นว.1	0	1.36 ± 0.16 <sup>aA</sup>	1.67 ± 0.19 <sup>aB</sup>	1.99 ± 0.06 <sup>aA</sup>	2.35 ± 0.09 <sup>aA</sup>
	40	1.31 ± 0.10 <sup>aA</sup>	2.16 ± 0.14 <sup>aC</sup>	3.40 ± 0.13 <sup>bCD</sup>	3.74 ± 0.14 <sup>bB</sup>
	80	2.45 ± 0.05 <sup>bC</sup>	3.71 ± 0.21 <sup>bE</sup>	4.47 ± 0.11 <sup>cE</sup>	5.51 ± 0.19 <sup>cD</sup>
	120	3.24 ± 0.21 <sup>cD</sup>	4.71 ± 0.14 <sup>cF</sup>	6.52 ± 0.26 <sup>dF</sup>	7.93 ± 0.52 <sup>dE</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

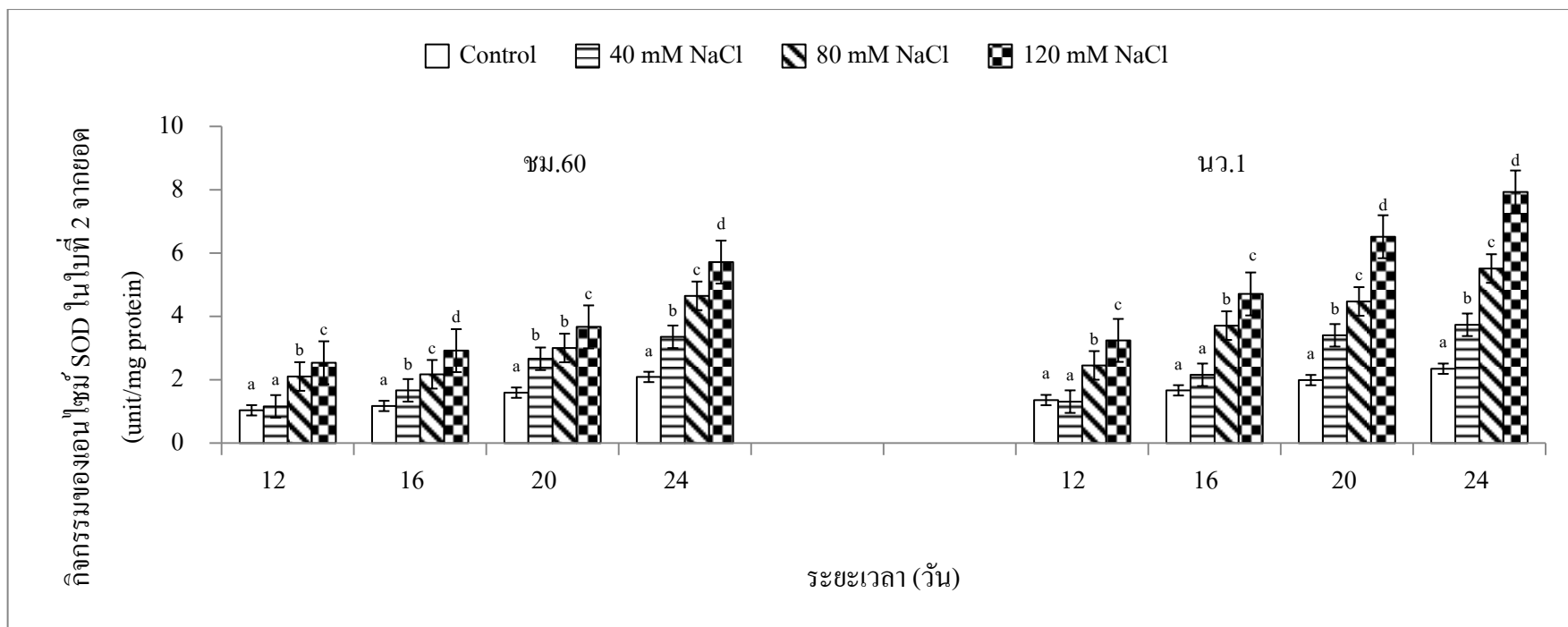


ตารางที่ 4-15 กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg<sup>-1</sup> protein) ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (mean ± standard error)

พันธุ์	ชุดการทดลอง (mM NaCl)	กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 1 จากโคน (Unit mg <sup>-1</sup> protein)			
		12	16	20	24
ชม.60	0	1.41 ± 0.10 <sup>aA</sup>	1.53 ± 0.09 <sup>aA</sup>	1.50 ± 0.11 <sup>aA</sup>	2.73 ± 0.14 <sup>aA</sup>
	40	1.39 ± 0.14 <sup>aA</sup>	1.84 ± 0.07 <sup>abAB</sup>	2.92 ± 0.19 <sup>bC</sup>	3.21 ± 0.24 <sup>aA</sup>
	80	2.01 ± 0.05 <sup>bB</sup>	2.19 ± 0.24 <sup>bBC</sup>	3.62 ± 0.16 <sup>cD</sup>	5.24 ± 0.31 <sup>bB</sup>
	120	2.41 ± 0.06 <sup>cCD</sup>	2.76 ± 0.09 <sup>cD</sup>	4.53 ± 0.22 <sup>dE</sup>	6.61 ± 0.22 <sup>cC</sup>
นว.1	0	2.09 ± 0.10 <sup>aBC</sup>	1.83 ± 0.15 <sup>aAB</sup>	2.24 ± 0.05 <sup>aB</sup>	3.32 ± 0.08 <sup>aA</sup>
	40	1.95 ± 0.08 <sup>aB</sup>	2.57 ± 0.06 <sup>bCD</sup>	3.91 ± 0.19 <sup>bD</sup>	5.39 ± 0.22 <sup>bB</sup>
	80	2.71 ± 0.05 <sup>bD</sup>	3.53 ± 0.26 <sup>cE</sup>	4.91 ± 0.19 <sup>cE</sup>	5.94 ± 0.19 <sup>bBC</sup>
	120	3.51 ± 0.18 <sup>cE</sup>	4.58 ± 0.07 <sup>dF</sup>	7.16 ± 0.23 <sup>dF</sup>	10.41 ± 0.42 <sup>cD</sup>

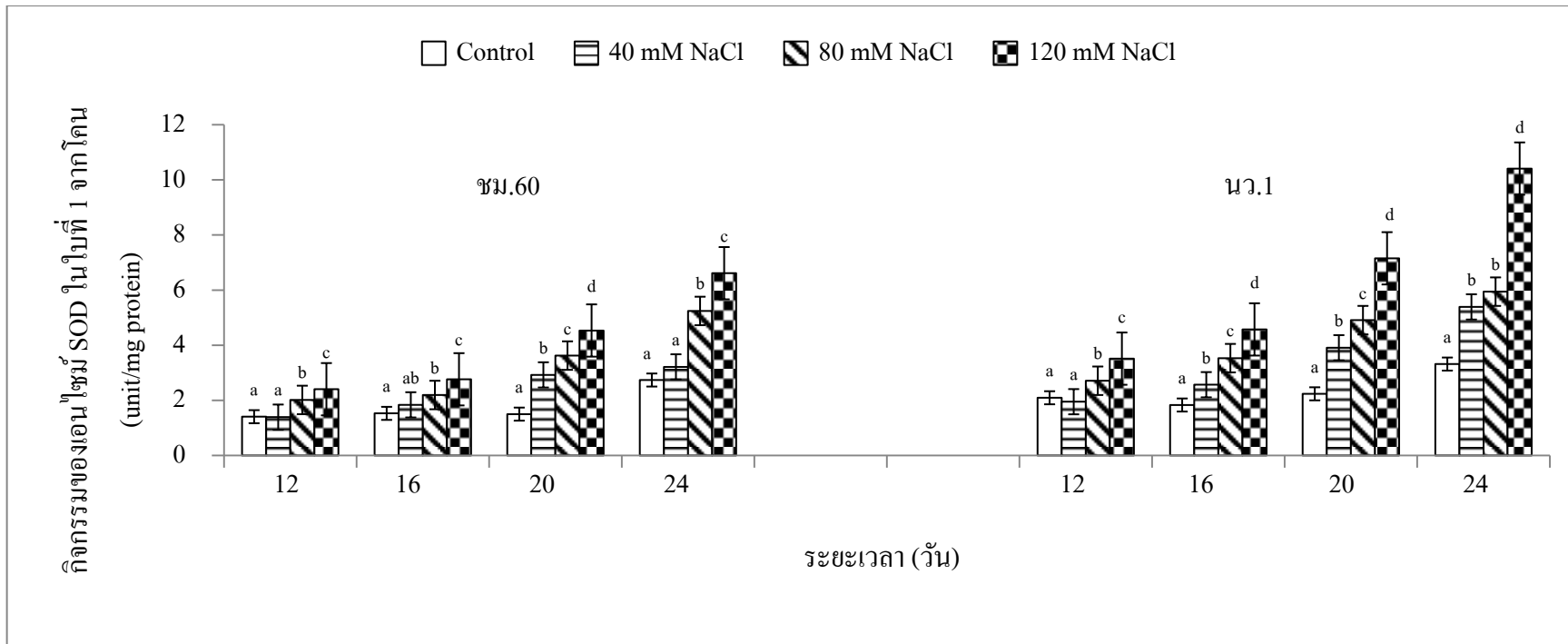
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4-14 กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit  $\text{mg}^{-1}$  protein) ในใบที่ 2 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



ภาพที่ 4-15 กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg<sup>-1</sup> protein) ในใบที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่ต่างกัน (I แทนค่า standard error)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในระยะเวลาเดียวกัน (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

#### 5.1 ผลของภาวะเค็มต่อการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีผลต่อความสูงของลำต้นเหนือดินของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มมีความสูงของลำต้นเหนือดินน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มมีความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือ เนื่องจากภาวะเค็มที่ได้รับมีผลยับยั้งการแบ่งเซลล์ และการขยายตัวของเซลล์ และทำลายการเจริญเติบโต (Carillo et al., 2011 ; Saffan, 2008)

ผลของภาวะเค็มต่อน้ำหนักแห้งของใบ น้ำหนักแห้งของลำต้น และน้ำหนักแห้งของราก ถั่วเหลืองทั้งสองสายพันธุ์ พบว่า เมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน มีน้ำหนักแห้งของใบ น้ำหนักแห้งของลำต้น น้ำหนักแห้งของราก พื้นที่ใบและอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์แนวโน้มลดลง และน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีน้ำหนักแห้งของใบ น้ำหนักแห้งของลำต้น น้ำหนักแห้งของราก พื้นที่ใบและอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 แสดงให้เห็นว่าภาวะเค็มที่ได้รับมีผลต่อการสร้างน้ำหนักแห้ง พื้นที่ใบ และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 น้อยกว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 จากผลการทดลองผลภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตจะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีความสามารถทนต่อภาวะเค็มที่ได้รับได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1

ภาวะเค็มที่ถั่วเหลืองได้รับนั้นส่งผลต่อแรงดันออสโมติก เนื่องจากในภาวะเค็มมีไอออนในสารละลายภายนอกมากเกินไป ซึ่งจะลดค่าชลศักย์ของน้ำ ทำให้น้ำและแร่ธาตุซึมผ่านรากได้ยาก ดังนั้นจึงส่งผลต่ออัตราการนำเข้าของน้ำและแร่ธาตุข้างล่าง ทำให้ถั่วเหลืองเกิดสภาพขาดน้ำ ส่งผลยับยั้งกระบวนการแบ่งเซลล์ การขยายตัวของเซลล์ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง ทั้งความสูง และน้ำหนักแห้ง (Carillo et al., 2011 ; Saffan, 2008) สอดคล้องกับการรายงานของ Munns (2005)

ที่ว่าพืชมีการตอบสนองต่อภาวะเค็ม ในระยะแรกอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีเกลือบริเวณรากพืชสูง ทำให้รากดูดน้ำได้ยาก พืชอยู่ในภาวะขาดน้ำ ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลงอย่างรวดเร็ว การแบ่งเซลล์ของพืชทนเค็มน้อยลง แต่จะมีการปรับตัวให้เซลล์ที่แบ่งได้ขยายตัวขึ้นเพื่อกักเก็บน้ำ ทำให้มีลักษณะใบอวบน้ำ แต่ในพืชที่ไม่ทนเค็ม ผลของโซเดียมคลอไรด์จะยับยั้งการแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเซลล์พืช ทำให้พื้นที่ใบลดลง

จากผลการทดลองผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 สอดคล้องกับรายงานการทดลองผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ รายงานการทดลองของ พรศักดิ์ ภักดีวารภรณ์ (2543) ซึ่งศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเจริญเติบโตในถั่วเหลือง *Glycine max* (L.) Merrill พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มความสูง น้ำหนักแห้งลำต้น และน้ำหนักแห้งรากในอัตราที่ลดลง และในระดับความเข้มข้นของเกลือที่สูงขึ้นอัตราการเจริญเติบโตยิ่งลดลงตามลำดับ และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ชม.60 และสท.2 มีพื้นที่ใบลดลงตามลำดับความเข้มข้นของเกลือที่เพิ่มขึ้น ซึ่งภาวะเค็มมีผลต่อพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มากกว่าอีกสองพันธุ์ โดยพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ลดลงมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และชม.60 อย่างชัดเจนในระดับเกลือและระยะเวลาเดียวกัน สอดคล้องกับการทดลองของ Parida et al. (2004) ศึกษาผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของถั่วดำ (*Bruguiera parviflora* Wight & Arn. ex W. Griffith) พบว่าภาวะเค็มที่ถั่วดำได้รับมีผลต่อความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบ โดยทำให้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง และในระดับภาวะเค็มที่เข้มข้นมากขึ้น การเจริญเติบโตของถั่วดำยังมีแนวโน้มลดต่ำลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dolatabadian et al. (2011) ศึกษาผลของภาวะเค็มในการเพาะปลูกถั่วเหลือง พบว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของราก น้ำหนักแห้งของลำต้น ความสูง และจำนวนใบถั่วเหลืองน้อยกว่าชุดควบคุม สอดคล้องกับการทดลองของ อรุณศิริ กำลั้ง (2545) พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.1 สจ.2 และพันธุ์วิลเลียม มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และภาวะเค็มจากโซเดียมคลอไรด์ ส่งผลให้ความสูงของลำต้น น้ำหนักแห้งของใบ ต้น ราก พื้นที่ใบและผลผลิตของถั่วเหลืองทั้งสามสายพันธุ์น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรุณ ยูวะนิยม

และสมศรี อรุณินท์ (2539) ศึกษากลไกทนเค็มของพืชชอบเกลือ พบว่าในพืชที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของลำต้นลดลง จนถึงระดับความเข้มข้น 20 ppt NaCl และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงกว่า 20 ppt ทำให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของลำต้นคงที่

จากการทดลองพบว่าภาวะเค็มมีผลต่อค่าน้ำหนักแห้งจำเพาะของใบ (Specific Leaf Weight; SLW) ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน โดยถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และนว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีค่า SLW สูงกว่าชุดควบคุม และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่า SLW ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ในขณะที่ ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีค่า SLW แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าภาวะเค็มมีผลต่อค่า SLW ในถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ผลการทดลองภาวะเค็มต่อค่า SLW ที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ De Pascale and Barbieri (1997) ที่ศึกษาผลของภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 0% 0.125% 0.25% 0.5% และ 1% ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่ว broadbean พบว่าที่ระดับความเค็มเพิ่มสูงขึ้น ค่า SLW มีแนวโน้มสูงขึ้นในทิศทางเดียวกัน ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ De Pascale et al. (2015) ที่ศึกษาผลของภาวะเค็มต่อการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาช่วงสั้น และระยะเวลานาน พบว่าภาวะเค็มที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกันกับค่า SLW คือ ค่า SLW เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และในการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และนว. 1 มีค่า SLW ที่ต่ำกว่าชุดควบคุม เป็นไปได้ว่าในระดับความเข้มข้นของเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ ถั่วเหลืองมีการสร้างเนื้อใบน้อยมาก เพราะภาวะเครียดจากเกลือมีผลไปยับยั้งการแบ่งเซลล์ และเซลล์บริเวณส่วนใบที่เหลืองพยายามเพิ่มพื้นที่ใบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงให้มากขึ้น ซึ่งเป็นกลไกการปรับตัวเพื่อความอยู่รอดในภาวะเครียดที่เกิดขึ้น สอดคล้องกับงานทดลองของ Cabuslay et al. (2002) ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าว (*Oryza sativa* L.) ในภาวะเครียดแล้ง เพื่อปรับปรุงสายพันธุ์ข้าวที่สามารถทนต่อภาวะขาดน้ำได้ พบว่าภาวะขาดน้ำเห็นสาเหตุหลักที่มีผลต่อ

การสร้างพื้นที่ใบมากกว่าน้ำหนักแห้งต้น ในภาวะขาดน้ำข้าวมีพื้นที่ใบลดลง และมีแนวโน้มของค่า SLW ลดลง กล่าวได้ว่าอัตราการเจริญเติบโตของพืชถูกยับยั้งอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับภาวะขาดน้ำอย่างต่อเนื่อง ค่า SLW ที่ต่ำลงภายใต้ภาวะแล้งที่ศึกษาอาจจะเป็นไปได้ว่าพืชมีการปรับตัวต่อภาวะเครียดที่ได้รับ โดยการไม่ให้ความสำคัญในการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มเนื้อใบ แต่ทำให้ใบมีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น เพื่อมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงส่งผลต่อค่า SLW ที่ลดลง นอกจากนี้ Brown and Byrd (1997) รายงานว่าพืชบางชนิดที่อยู่ภายใต้ภาวะเครียดส่งผลทำให้ค่า SLW ลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแนวโน้มของอัตราการเจริญเติบโตของพืช สาเหตุอาจมาจากพืชมีการปรับตัวให้มีน้ำหนักแห้งใบน้อยกว่า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยการขยายพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น

## 5.2 ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรงลิ้น

จากการทดลองภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์มีผลต่อการสะสมโพรงลิ้นของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 โดยถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มทุกระดับความเข้มข้นมีแนวโน้มการสะสมโพรงลิ้นสูงขึ้น และสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภาวะเค็มมีผลต่อการสะสมโพรงลิ้นของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เพราะเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 มีการสะสมโพรงลิ้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือ นั่นอาจหมายถึงว่าเซลล์ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ได้รับความเสียหายจากการทำลายด้วยภาวะเค็มน้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 จึงสร้างโพรงลิ้นในปริมาณที่น้อยกว่า เพื่อปกป้องเซลล์ ซึ่งโพรงลิ้นเป็นสารที่ช่วยป้องกันการถูกทำลายของเยื่อหุ้มเซลล์ และรักษาไม่ให้โปรตีนเสื่อมสภาพ ในระหว่างที่พืชได้รับภาวะเครียด (Ketchum et al., 1991; Ain-Lhont et al., 2000; Koca et al., 2007 & Ueda et al., 2007)

ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มทุกระดับความเข้มข้นของเกลือมีการสะสมโพรงลิ้นในใบตำแหน่งที่ 5 นับจากยอด สูงกว่าใบที่ 3 นับจากยอด เป็นไปได้ว่าเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็ม ไอออนของเกลือถูกลำเลียงเข้าสู่พืชในปริมาณสูงกว่าปกติ และมีความเป็นพิษต่อเซลล์

โดยทิศทางลมลำเลียงไอออนมีทิศทางจากด้านล่างขึ้นสู่ยอด ส่งผลให้เซลล์พืชบริเวณส่วนล่างถูกทำลายก่อนส่วนยอดด้านบน และในขณะที่พืชได้รับไอออนของเกลือในปริมาณมากขึ้น พืชอาจมีกลไกการกักเก็บไอออนเพื่อลดปริมาณไอออนของเกลือที่จะถูกลำเลียงขึ้นไปส่วนยอด ดังนั้นใบตำแหน่งที่ 5 นับจากยอดจึงมีปริมาณไอออนเกลือที่สูงกว่าใบตำแหน่งที่ 3 นับจากยอด ส่งผลให้เซลล์ในใบตำแหน่งที่ 5 นับจากยอดถูกทำลายมากกว่า จึงมีการสร้างสารโพรตีนในปริมาณที่สูงกว่าในใบตำแหน่งที่ 3 นับจากยอด เพื่อปกป้องเซลล์ และรักษาสภาพโพรตีนจากการทำลายของไอออนของเกลือ (Koca et al., 2007 ; Ueda et al., 2007)

ผลการทดลองที่พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์เมื่อได้รับภาวะเค็มแล้วมีการสะสมโพรตีนเพิ่มขึ้น และสูงกว่าชุดควบคุมนั้น สอดคล้องกับการทดลองของ รูปนา อัครเอกปัญญา (2544) ศึกษาผลของความเค็มจากโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ ในถั่วเหลือง 4 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ สว.5 มข.35 สท.2 และชม.60 พบว่าเมื่อเพาะเมล็ดถั่วเหลืองในสภาวะเค็มอัตราการงอกของเมล็ดถั่วเหลืองลดลง และเกลือโซเดียมคลอไรด์ยังมีผลยับยั้งการเจริญเติบโต ส่วนของลำต้นและราก การสะสมโพรตีนของถั่วเหลืองในสภาวะเค็มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีอาการที่พืชแสดงออกในขณะที่โพรตีนสูงขึ้นควบคู่กันไป คือ อาการใบไหม้เป็นจุด ทำให้ขอบใบม้วนลง ดังนั้นการสะสมโพรตีนที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาวะเค็ม สอดคล้องกับการทดลองของ พรศักดิ์ ภักดีวารภรณ์ (2543) ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต การสะสมโพรตีน โซเดียมไอออน และคลอไรด์ไอออนในถั่วเหลือง 3 สายพันธุ์ คือ สจ.5 ชม.60 และสท.2 โดยกำหนดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นดังนี้ 20 40 และ 60 มิลลิโมลาร์ พบว่าถั่วเหลืองที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์มีการสะสมโพรตีนเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้น สอดคล้องกับการทดลองของ Mozafar et al. (2007) ศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง เพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลือง ซึ่งความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ศึกษาได้แก่ 0 50 100 150 และ 200 มิลลิโมลาร์ พบว่าถั่วเหลืองกลุ่มที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์จะมีการสะสมโพรตีนในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Bouzid (2014) ศึกษาการตอบสนองของพืชทนเค็มในระดับความเค็มตั้งแต่ 0-300 มิลลิโมลาร์ พบว่าพืชทนเค็มสามารถปรับตัวกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดี ซึ่งพืชมีกระบวนการทำงาน



ภายในเซลล์ที่ส่งผลต่อการปรับตัวในดินที่มีความแตกต่างกัน พืชทดลองในการศึกษาคือพืชกลุ่ม *Atriplex* ให้อยู่ในภาวะเค็มจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่าพืชทนเค็มสามารถเจริญเติบโตได้ดีในเชิงบวก ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ตั้งแต่ระดับต่ำจนถึงระดับปานกลาง พืชสะสมโพรงน้ำในปริมาณที่สูงขึ้น ตามความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ สอดคล้องกับการทดลองของ Pongprayoon et al. (2008) ซึ่งศึกษาการสะสมโพรงน้ำในพันธุ์ข้าวหอมของไทย เมื่อได้รับภาวะเครียดเกลือ พบว่าการสะสมโพรงน้ำเพิ่มสูงขึ้นเมื่อข้าวได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น และระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น

### 5.3 ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณสารสีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของถั่วเหลือง (ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์)

ผลของภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ในถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และนว.1 พบว่า ภาวะเค็มมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์มีแนวโน้มลดลง และน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ทั้งตำแหน่งใบที่ 2 จากยอดและใบที่ 1 จากโคน เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ในถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 สูงกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ทุกระดับความเข้มข้นของเกลือ แสดงว่าภาวะเค็มมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ในถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 เป็นไปได้ว่าเซลล์ที่สะสมสารสีบริเวณใบของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ได้รับความเสียหายจากภาวะเค็มมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 จึงส่งผลให้ปริมาณสารสีที่สะสมน้อยกว่า สอดคล้องกับรายงานของ Meloni et al. (2003) ที่มีรายงานว่า ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่สูงกว่าปกติทำให้พืชอยู่ในภาวะเครียด ไอออนของเกลือที่มากขึ้นส่งผลต่อออร์แกเนลล์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างสารสีในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำลง และส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมที่น้อยกว่าพืชที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม สอดคล้องกับรายงานของ Saffan (2008) ศึกษาการปรับตัวของพืชภายใต้ภาวะเค็มและภาวะแล้งของ ข้าวสาลี ข้าวบาเลย์ ถั่วแดง และถั่วเขียว ซึ่งเป็นกลุ่มพืชเศรษฐกิจ ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 200 มิลลิโมลาร์ พบว่าเซลล์ของ

ข้าวบาเลย์ ถั่วแดง และถั่วเขียว ถูกทำลายด้วยไออนจากเกลือจึงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมน้อยกว่ากลุ่มควบคุม สอดคล้องกับรายงานของ Li et al. (2010) ศึกษาผลของภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 0 100 200 และ 300 มิลลิโมลาร์ ในละหุ่ง (*Ricinus communis* L.) พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์รวมนั้นมีแนวโน้มลดลง และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ในละหุ่งที่ได้รับภาวะเค็มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และ Kyparissis et al. (2005) รายงานว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงส่วนหนึ่งอาจเป็นการปรับตัวเพื่อลดพื้นที่การรับแสง เพื่อเป็นการรักษาพลังงานไว้ให้สามารถทนต่อภาวะเค็มที่เกิดขึ้น

#### 5.4 ผลของภาวะเค็มต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD (superoxide dismutase activity : SOD)

จากการทดลองภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ นว.1 โดยถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มทุกระดับความเข้มข้นมีแนวโน้มกิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงขึ้น และสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบประกอบที่ 1 จากโคน สูงกว่าในใบประกอบที่ 2 จากยอด ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือ เป็นไปได้ว่าใบประกอบที่ 1 จากโคนมีการสะสมเกลือในระดับความเข้มข้นที่สูงกว่าและเกิด ROS ขึ้นมากกว่าใบประกอบที่ 2 จากยอด จึงมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงกว่า เพื่อควบคุมปริมาณ ROS ไม่ให้สร้างความเสียหายแก่เซลล์ ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการรายงานของ อัญชลี ร่มพา (2543) พบว่าถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มมีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงกว่าชุดควบคุมทั้งตำแหน่งใบบริเวณยอด และ ใบล่าง แสดงให้เห็นว่าภาวะเค็มที่ถั่วเหลืองได้รับมีผลให้มีการสร้าง superoxide เพิ่มขึ้นทำให้พืชมีการตอบสนองโดยการผลิต SOD เพื่อกำจัด superoxide เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยลดการถูก superoxide ทำลายขององค์ประกอบของเซลล์ สอดคล้องกับรายงานของ Sekmen et al. (2012) ซึ่งศึกษาการตอบสนองของแอนติออกซิแดนซ์ชนิดต่างๆ ต่อภาวะเครียดเกลือในช่วงระยะระหว่างการงอกของเมล็ดและระยะการเจริญเติบโตของ *Gypsophila*

*oblanceolata* Bark พบว่าในระยะการเจริญเติบโตที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0 50 100 150 และ 300 มิลลิโมลาร์ จะมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้นกว่าชุดควบคุม และในระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ก็ยิ่งเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Oufdou et al. (2014) ที่พบว่าถั่วปากอ้า (*Vicia faba* L.) ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ 75 และ 150 มิลลิโมลาร์ มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับเกลือ และกิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Puyang et al. (2015) ที่ทดลองภาวะเค็มใน Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) พบว่าเมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 28 วัน กลุ่มที่ได้รับภาวะเค็มมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และสารแอนติออกซิแดนซ์อื่นๆ (CAT POD และ APX) สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Wang et al. (2009) พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 200 มิลลิโมลาร์ มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในถั่ว Alfalfa (*Medicago sativa* L.) สูงกว่าชุดควบคุม

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 แสดงว่าภาวะเค็มมีผลทำให้เกิด ROS ในถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ดังนั้นถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีความสามารถทนต่อภาวะเค็มได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ผลการทดลองนี้แตกต่างกับผลการทดลองของ Meloni et al. (2003) ที่ทำการศึกษาภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 0 50 และ 100 มิลลิโมลาร์ ต่อการตอบสนองในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และสารแอนติออกซิแดนซ์ในฝ้ายพันธุ์ Guazuncho และ Pora (พันธุ์ผสม *Gossypium hirsutum* x *G. arboretum* x *G. raimondii*) พบว่า ฝ้ายพันธุ์ Pora ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นมีปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงกว่าชุดควบคุม แต่ฝ้ายพันธุ์ Guazuncho มีปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงขึ้นเช่นกัน แต่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ( $P \leq 0.05$ ) จึงสรุปได้ว่าฝ้ายทนเค็มมีการสร้าง antioxidant enzyme เพิ่มขึ้นเพื่อต่อต้าน ROS ที่เกิดขึ้นภายใต้ภาวะเค็ม ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Neto et al. (2006) ศึกษาผลของภาวะเครียดเกลือต่อแอคติวิตีเอนไซม์ในใบและรากของข้าวโพดทนเค็ม และไม่ทนเค็ม พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโมลาร์ กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในข้าวโพดทั้งสองพันธุ์สูงกว่าชุดควบคุมตามระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มนานขึ้น ข้าวโพดพันธุ์ทนเค็มมีปริมาณ

กิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ข้าวโพดพันธุ์ไม่ทน เติบโตปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม ( $P \leq 0.05$ ) เช่นเดียวกับ รายงานของ Bor et al. (2003) ที่พบว่าผักกาดพันธุ์ทนเค็ม (*Beta maritima* L.) มีกิจกรรมของ เอนไซม์ SOD POX APOX CAT และ GR มากกว่า ผักกาดพันธุ์ไม่ทนเค็ม (*Beta vulgaris* L.)

## 5.5 สรุปผลการวิจัย

### 5.5.1 ภาวะเค็มที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

ภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของ ใบ น้ำหนักแห้งของลำต้น น้ำหนักแห้งของราก พื้นที่ใบ และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ลดลง และถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับความเค็มที่ระดับความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ มีค่า SLW มีค่าน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ จากผลภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของ ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีความสามารถทนต่อภาวะเค็มที่ได้รับได้ดีกว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1

### 5.5.2 ภาวะเค็มที่มีผลต่อปริมาณสารสีในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ภาวะเค็มมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบ และปริมาณแคโรทีนอยด์ ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มลดลง และน้อยกว่าชุดควบคุม และปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ในใบประกอบที่ 1 จากโคนสูงกว่าในใบประกอบที่ 2 จากยอด เมื่อสิ้นสุดการ ทดลองเป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มมีปริมาณคลอโรฟิลล์ รวม และแคโรทีนอยด์สูงกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็ม แสดงให้เห็นว่าภาวะเค็มมีผล ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1

### 5.5.3 ภาวะเค็มที่มีผลต่อการสะสมโปรตีน

ภาวะเค็มมีผลทำให้มีการสะสมโปรตีนในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์เพิ่มขึ้น โดยการ สะสมโปรตีนในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ในทุก ระดับความเข้มข้นของเกลือ จากถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มพบว่าในใบตำแหน่งที่ 5 จากยอดมีการสะสมโปรตีนสูงกว่าใบตำแหน่งที่ 3 จากยอด และเมื่อสิ้นสุดการทดลองถั่วเหลือง

พันธุ์ ชม.60 มีการสะสมโพรตีนน้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 นั้นแสดงได้ว่าภาวะเค็มมีผลต่อการทำลายเซลล์ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1

#### 5.5.4 ภาวะเค็มที่มีผลต่อแอกติวิตีของ SOD

ภาวะเค็มมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์เพิ่มสูงขึ้น และถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีความสามารถทนต่อภาวะเค็มได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 โดยเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือ ซึ่งในกระบวนการกำจัด ROS ที่เกิดจากภาวะเค็มจะต้องอาศัยเอนไซม์ SOD ดังนั้นถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเกิด ROS ที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1

### 5.6 ข้อเสนอแนะ

5.6.1 ในการศึกษาด้านการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ การควบคุมระบบปลูก แสง อุณหภูมิ และสภาวะในเรือนเพาะปลูก เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่จะมีผลอย่างมากต่อการเจริญเติบโต จึงต้องมีการเลือกสถานที่ทดลองที่เหมาะสม และการควบคุมดูแลที่มีคุณภาพ

5.6.2 การศึกษาการสะสมโพรตีนควรเพิ่มเติมการศึกษาการสะสมโพรตีนในราก และลำต้น เนื่องจากบริเวณรากและลำต้นมีการสะสมโพรตีนที่สูง ซึ่งสามารถอธิบายผลการทดลองได้อย่างชัดเจนมากขึ้น

5.6.3 ควรมีการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ ร่วมกับ SOD ในกระบวนการกำจัด ROS เพื่อเป็นข้อมูลในการทำนายผลในภาวะทนเค็มของถั่วเหลืองได้ชัดเจนมากขึ้น

5.6.4 ควรเพิ่มเติมการวิเคราะห์ไอออนของธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมถึงไอออนของเกลือ คือ โซเดียม และคลอไรด์ ที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ลำต้น ราก และใบ เปรียบเทียบกัน

## บรรณานุกรม

- กัลยา พรประเสริฐ. (2545). ผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณ รงควัสดุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการสะสมโปรตีนของถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) พันธุ์ สจ. 5. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ขจรเกียรติ แซ่ตัน, ปิยนุช เณรรอด, ภาคภูมิ วงศ์แจ่ม, ปัญญา ทองมี และจกมล พรมยะ. (2549). การศึกษาเบื้องต้นการใช้ประโยชน์สาหร่ายยูกลีนา (*Euglena sanguinea* Ehrenberg) ต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. ใน การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 7 วันที่ 25-26 พฤษภาคม 2549 ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (หน้า 20-25). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ฐปนา อัครเอกปัญญา. (2544). ผลของโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์แอกคลิเมชันต่อการสะสมโปรตีนและการแสดงออกของยีน *iPSC5* ในถั่วเหลือง 4 พันธุ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดิเรก ทองอร่าม. (2551). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ทิวา พาโคกทม. (2542). อิทธิพลของระดับความเค็มของดินต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบของผลผลิตและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยปลูกและอ้อยต่อ 1. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชไร่, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชญชนก กุลธนาโชคสุนทร. (2556). การเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) พันธุ์นครสวรรค์ 1 และเชียงใหม่ 60 ภายใต้ภาวะแล้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

- พนิตา ชุติมานุกูล, อัญชลี ใจดี, ชีรพงษ์ บัวบุชา, มีชัย เชียงหลิว, ชีรยุทธ ตู้จินดา, ศุภจิตรา ชัชวาลย์ และบุญธิดา โขมิตทรัพย์. (2556). ผลของความเค็มต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตในข้าวสาลีพันธุ์ทนเค็มที่ได้จากประชากร CSSL. *Thai Journal Genet*, 1, 276-279.
- พรศักดิ์ ภักดีวารกรณ์. (2543). ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโปรตีนโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพรัช พงษ์วิเชียร, ประสิทธิ์ ต้นประภาส, อภันตรี พฤษพงษ์ และสมศรี อรุณินท์. (2541). ผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของบุเล่. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- รสรินทร์ แซ่โล้ว. (2545). ผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการสะสมโปรตีนของถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) พันธุ์ สจ. 5. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่. (2557). พันธุ์ถั่วเหลือง. เข้าถึงได้จาก [http://www.doa.go.th/fcrc/chiangmai/index.php?option=com\\_content&view=article&id=65:chiangmai-soybean60&catid=39:soybean-seed&Itemid=103](http://www.doa.go.th/fcrc/chiangmai/index.php?option=com_content&view=article&id=65:chiangmai-soybean60&catid=39:soybean-seed&Itemid=103).
- ศิริพรรณ บรรหาร. (2543). การเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของถั่วเหลือง *Glycine max* (L.) Merrill พันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ต่อความเค็ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมศรี อรุณินท์ และอรุณี ชูระนิยม. (2539). การวิจัยพืชทนเค็มและพืชชอบเกลือบางชนิดในพืชที่ดินเค็มจัด. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สาวิตร มีจ้อย. (2546). เอกสารประกอบการปฏิบัติงานสรีรวิทยาของพืช ระดับปริญญาตรี สาขาพืชศาสตร์. ลำปาง: สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง.

- สิริมา เชชะ. (2556). *เอกสารประกอบการวิเคราะห์ปริมาณ โปรตีนในอาหารด้วยวิธี Kjeldahl method*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2557). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2555/2556*. กรุงเทพฯ: เจ เอ็น ที.
- อัญชลี ร่มพา. (2543). *ความสัมพันธ์ของแอกติวิตีของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส ปริมาณรงควัตถุ ในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตในถั่วเหลือง Glycine max (L.) Merrill ภายใต้ภาวะเค็ม*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพฤกษศาสตร์, ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรุณศิริ กำลั้ง. (2545). *ผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตและการสะสมไอออนต่างๆ ของถั่วเหลือง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอิบ เขียวรีนรมย์. (2551). *ดินเค็มในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Ain-Lhont, F., Zunzunegui, F. A., Diaz Barradas, M. C., Tirado, R., Clavijio, A. , & Novo, F. C. (2000). Comparison of proline accumulation into Mediterranean shrubs subjected to natural and experimental water deficit. *Plant Soil*, 230, 175-183.
- Albino, M., Giampaolo, R., Armando, M., & Stefania, D. P. (2007). Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 276-282.
- Allen, R. D. (1995). Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiology*, 107, 1049-1054.
- Alscher, K. G. , Donnahue, J. L., & Cramer, C. L. . (1997). Reactive oxygen species and antioxidants: Relationships in green cell. *Physiological Plant*, 100, 224-233.
- Asada, K., Takahashi, M., & Nagate, M. (1974). Assay and inhibitors of spinach superoxide dismutase. *Agriculture Biological Chemistry*, 38, 471-473.
- Bates, L. S., Woldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 31-37.



- Beadle, C. L. (1993). Growth Analysis. In D.O. Hall, H.R. Bolhar Norden kampf, R.C. Leegood, S.P. Long (Eds.), *Photosynthesis and Production in a changing Environment : A Field and Laboratory Manual* ( pp. 36-46). London : Chapman and Hall.
- Beyer, W. F., & Fridovich, I. (1987). Assaying for superoxide dismutase activity: Some large consequences of minor changes in condition. *Analyze Biochemistry*, *161*, 559-566.
- Bogges, S.F., Stewart, C.R., Aspinall, D., & Paleg, L.G. (1976). Effect of water stress on proline synthesis from radioactive precursors. *Plant Physiology*, *58*, 398-401.
- Bor, M., Ozdemir, F., & Tu`rkan, I. (2003). The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. *Plant Science*, *164*, 77-84.
- Borsani, O., Diaz, P., Agius, M.F., Valpuesta, V., & Monza, J. (2001). Water stress generates an oxidative stress through the induction of a specific Cu/Zn superoxide dismutase in *Lotus corniculatus* leaves. *Plant Science*, *161*, 757-763.
- Bouزيد, N. (2014). Effect of salinity on growth, membrane permeability and root hydraulic conductivity in three saltbush species. *Biochemical systematic and Ecology*, *52*, 4-13.
- Brown, H. R., & Byrd, T. G. (1997). Relationships between specific leaf weight and mineral concentration among genotypes. *Field Crops Res*, *54*, 19-28.
- Cabuslay, S. G., Ito, O., & Alejar, A. A. (2002) . Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. *Plant Science*, *163*, 815-827.
- Carillo, P., Annunziata, M. G., Pontecorvo, G., Fuggi, A., & Woodrow, P. (2011). Salinity stress and tolerance. *Abiotic Stress in Plants – Mechanisms and Adatations*, *24*, 21-38.
- Cassells, A. C., & Curry, R. F. (2001). Oxidative stress and physiological, epigenetic and genetic variability in plant tissue culture: implication for micropropagators and genetic engineers. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *64*, 145-157.
- Chaves, M.M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annual Botany*, *103*, 551-560.
- Delauney, A. J., & Verma, D. P. S. (1993). Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant Journal*, *4*, 215-223.

- De Pascale, S., & Barbieri, G. (1997). Effect of soil salinity and top removal on growth and yield of broadbean as a green vegetable. *Scientia Horticulture*, *71*, 147-165.
- De Pascale, S., Maggioa, A., Orsinib, F., Stanghellinic, C., & Heuvelink, E. (2015). Growth response and radiation use efficiency in tomato exposed to short-term and long-term salinized soils. *Scientia Horticulturae*, *189*, 139-149.
- De Ronde, J. A., Cress, W. A., Krüger, G. H. J., Strasser, R. J., & Van Staden, J. (2004). Photosynthetic response of transgenic soybean plants, containing an Arabidopsis P5CR gene, during heat and drought stress. *Plant Physiology*, *161*, 1211-1224.
- Diana, K., Rop, B., & Jelte, R. (2013). Salt tolerance in the halophyte *Salicornia dolichostachya* Moss: Growth, morphology and physiology. *Environmental and Experimental Botany*, *92*, 32-42.
- Dolatabadian, A., Modarressanavy, S. A. M., & Ghanati, F. (2011). Effect of Salinity on Growth Xylem Structure and Anatomical Characteristics of Soybean. *Notulae Scientia Biologicae*, *3*, 41-45.
- Drindsa, R. S., Drindsa, P. P., & Thorpe, T. A. (1981). Leaf senescence : correlated with increase levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decrease levels of superoxide dismutase and catalase. *Experimental Botany*, *32*, 93-101.
- Elstner, E. F., & Osswald, W. (1994). Mechanisms of active activation during plant stress. *Proc. R. Soc. Edinburgh*, *102*, 131-154.
- Foyer, C. H., Descourvieres, P., & Kunert, K. J. (1994). Protection against oxygen radicals: an important defence mechanism studied in transgenic plants. *Plant Cell Environment*, *17*, 507-523.
- Foyer, C. H., & Noctor, G. (2004). Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling. *New Phytology*, *146*, 359-388.
- Fu, J., & Huang, B. (2001). Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, *45*, 105-114.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*, 909-930.

- Greenway, H. (1973). Salinity plant growth and metabolism. *Agriculture Science*, *39*, 24-34.
- Greenway, H., & Munn, R. (1980). Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, *31*, 149-190.
- Gzik, A. (1996). Accumulation of proline and pattern of -amino acids in sugar beet plants in response to osmotic, water and salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, *36*, 29-38.
- Hanson, A. D., & Hitz, W. D. (1982). Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Plant Physiology*, *33*, 163-203.
- Hore, P. D., Cress, W. A., & Staden, J. V. (1998). Dissecting the role of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell Environment*, *21*, 535-553.
- Jacoby, B. (2008). Mechanism involved in salt tolerance by plant. In M. Pessaraki (Ed.), *Handbook of plant and crop stress* (pp. 33-41). New York: Marcel Dekker.
- Johnson, S. M., Doherty, S. J., & Croy, R. R. D. (2003). Biphasic superoxide generation in potato tubers: a self amplifying response to stress. *Plant Physiology*, *13*, 1440-1449.
- Jones, M.M., & Rawson, H.M. (1979). Influence of rate of development of leaf water deficits upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency and osmotic potential in sorghum. *Plant Physiology*, *45*, 103-111.
- Jung, S. (2003). Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of *Arabidopsis thaliana* subjected to drought. *Plant Science*, *166*, 459-466.
- Ketchum, R. E. B., Warren, R. C., Klima, L. J., Lopez-Gutierrez, F., & Nabors, M. W. (1991). The mechanism and regulation of proline accumulation in suspension culture of the halophytic grass *Distichlis spicata* L. *Plant Physiology*, *137*, 368-374.
- Khan, N. M., Siddiqui, H. M., Mohammad, F., & Naeem, M. (2012). Interactive role of nitric oxide and calcium chloride in enhancing tolerance to salt stress. *Nitric Oxide*, *27*, 210-218.
- Koca, H., Bor, M., Ozdemir, F., & Turkan, I. (2007). The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzyme and proline content of sesame cultivars. *Environment*, *60*, 344-351.
- Kyparissis, A., Petropoulou, Y., & Manetas, Y. (2005). Summer survival of leaves in a soft

- leaves shrub (*Phlomis frutescens* L.) under Mediterranean field condition : avoidance of photoinhibitory damage through decrease chlorophyll contents. *Experimental Botany*, 293, 1825-1831.
- KMUTT. (2001). Analysis method. In *Laboratory instruction: A workshop on mass cultivation of Spirulina*, 8 – 11 January, 2001. (pp 14 – 15). King Monkut's University of Technology, Thonburi, Bangkok, Thailand.
- Li, G., Wan, S., Zhoua, J., Yanga, Z., & Qina, P. (2010). Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. *Industrial Crops and Products*, 31, 13–19.
- Lichtenthaler, K.H. (1987). Chlorophylls and carotenoid: pigments of photosynthesis biomembranes. *Annual Review of Plant Physiology*, 26 , 351-383.
- Lifeng, Q., Shuangsheng, G., Weidang, A., Youngkang, T., Quanyong, C., & Guang, C. (2013). Effect of salt stress on growth and physiology in amaranth and lettuce : Implications for bioregenerative life support system. *Advance in Space Research*, 51, 476-482.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Far, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Biological Chemistry*, 193, 265-275.
- Lu, K.X., Cao, B.H., Feng, X.P., He, Y., & Jiang, D.A. (2009). Photosynthetic response of salt tolerant and sensitive soybean varieties. *Photosynthetica*, 47, 381-387.
- Meloni, D. A., Oliva, A. M., Martinez, A. C., & Cambraia, J. (2003). Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 49, 69-76.
- Min, Z., Yanming, F., Yonghua, J., Zeping, J., & Lei, W. (2013). Effect of salt stress on ion content antioxidant enzymes and protein profile in different tissue of *Broussonetia papyrifera*. *South African Journal of Botany*, 85, 1-9.
- Molinari, H. B. C., Marur, C. J., Filho, J. C. B., Kobayashi, A. K., Pileggi, M., Júnior, R. P. L., Pereira, L. F. P., & Vieira, L. G. E. (2004). Osmotic adjustment in transgenic citrus Rootstock Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb. x *Poncirus trifoliata* L. Raf.) overproducing proline. *Plant Science*, 167, 1375-1381.

- Mozafar, S., Mahlagha, G., & Hassan, E. (2007). Improved growth of salinity-stress soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi. *Plant Physiology*, *164*, 1144-1151.
- Muhammad, S., Zainab, M., Fatima, A., & Atifa, M. (2013). Does proline application ameliorate adverse effect of salt stress on growth, ion and photosynthetic ability of egg plant (*Solanum melongena*)? *Scientia Horticulturae*, *164*, 507-511.
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytology*, *167*, 645-663.
- Nayyar, H., & Gupta, D. (2005). Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, in press.
- Neto, D. A. A., Prisco, T. J., En'eas-Filho, J., Braga de Abreu, E. C., & Filho, G. E. (2006). Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, *56*, 87-94.
- Oufdou, K., Benidire, L., Lyubenova, L., Daoui, K., Fatemi, A. E. Z., & Schröder, P. (2014). Enzymes of the glutathione-ascorbate cycle in leaves and roots of rhizobia-inoculated faba bean plants (*Vicia faba* L.) under salinity stress. *Europaeen Journal of Soid Biology*, *60*, 89-103.
- Parida, A. K., Das, A. S., & Mitra, B. (2004). Effect of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, (*Bruguiera parviflora*). *Trees*, *18*, 167-174.
- Peltzer, D., Dreyer, E., & Polle, A. (2002). Differential temperature dependencies of antioxidative enzymes in two contrasting species. *Physiological Biochemistry*, *40*, 141-150.
- Pinheiro, H. A., Damatta, F. M., Chaves, A. R. M., Fontes, E. P. B., & Loureiro, M. E. (2004). Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. *Plant Science*, *167*, 1307-1314.

- Pongprayoon, W., Cha-um, S., Pichakum, A., & Kirdmanee, C. (2008). Proline profiles in aromatic rice cultivars photoautotrophically grown in response to salt stress. *Botany*, *4*, 276-282.
- Puyang, X., An, M., & Zhang, X. (2015). Protective effect of spermidine on salt stress induced oxidative damage in two Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) cultivars. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *117*, 96-106.
- Rajaona, A. M., Brueck, H., Seckinger, C., & Asch, F. (2012). Effect of salinity on canopy water vapor conductance of young and 3- year old *Jatropha curcas* L. *Journal of Arid Environments*, *87*, 35-41.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Physiology*, *161*, 1189-1202.
- Saffan, S.E.S. (2008). Effect of salinity and osmotic stresses on some economic plants. *Agriculture and Biological Sciences*, *4*, 159 – 166.
- Sairam, R. M., & Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*, *86*, 407-412.
- Salin, M. L. (1987). Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast. *Physiological Plant*, *72*, 681-689.
- Sarwar, S., Kim, E. N., Kim, Y. J., Ok, S. H., Kim, K. D., Hwang, B. K., & Shin, J. S. (2005). Overexpression of a pepper ascorbate peroxidase-like 1 gene in tobacco plants enhances tolerance to oxidative stress and pathogens. *Plant Science*, *169*, 55-63.
- Scandalios, J. (1993). Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiology*, *101*, 7-12.
- Sekmen, H. A., Turkan, I., Tanyolac, O. Z., Ozfidan, C., & Dinc, A. (2012). Different antioxidant defense responses to salt stress during germination and vegetative stages of endemic halophyte *Gypsophila oblongeolata* Bark. *Environmental and Experimental Botany*, *77*, 63-76.
- Sharma, K. Y., & Davis, K. R. (1997). The effects of ozone on antioxidant response in plants. *Free Radical Biology and Medicine*, *23*, 480-488.
- Smirnoff, N. (1993). The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and

- desiccation. *New Phytology*, 125, 27-58.
- Smirnoff, N. (1995). *Environment and Plant Metabolism*. Oxford: BIOS Scientific.
- Sommer, T.R.D., Souza, F.M.L., & Morrisy, N. M. (1992). Pigmentation of adult rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, using the green alga *Haematococcus pluvialis*. *Aquacult*, 106, 63-74 .
- Su, J., & Wu, R. (2004). Stress-inducible synthesis of proline in transgenic rice confers faster growth under stress conditions than that with constitutive synthesis. *Plant Science*, 166, 941-948.
- Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F., & Koca, H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and droughtsensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Physiology*, 161, 1211-1224.
- Ueda, A., Yamamoto-Yamane, Y., & Takabe, T. (2007). Salt stress enhances proline utilization in the apical region of barley roots. *Biophysiology*, 335, 61-66.
- Wang, W. B., Kim, Y. H., Lee, S. H., Kim, Y. K., Deng, P. X., & Kwak, S. S. (2009). Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47, 570-577.
- Yamane, K., Mitsuya, S., Taniguchi, M., & Miyake, H. (2012). Salt-induced chloroplast protrusion is the process of exclusion of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase from chloroplasts into cytoplasm in leaves of rice. *Plant Cell Environment*, 35, 1663-1671.
- Yeo, A.R., Caporn, S. M., & Flower, T. J. (2005). The effects of salinity upon photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.) : Gas exchange by individual leaves in relation to their salt content. *Experimental Botany*, 36, 1240-1248.
- Zang, D., Wang, C., Ji, X., & Wang, Y. (2015). *Tamarix hispida* zinc finger protein ThZFP1 participates in salt and osmotic stress tolerance by increasing proline content and SOD and POD activities. *Plant Science*, 235, 111-121.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
สารละลายธาตุอาหาร Hoagland's

## สารละลายธาตุอาหาร Hoagland's

### วิธีการเตรียม stock solution

1.  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  1 โมลาร์

ชั่ง  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  236.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

2.  $\text{KNO}_3$  3 โมลาร์

ชั่ง  $\text{KNO}_3$  101.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

3.  $\text{MgSO}_4$  1 โมลาร์

ชั่ง  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  246.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

4.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1 โมลาร์

ชั่ง  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  136.09 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

5. Fe-EDTA (มี Fe 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

ชั่ง EDTA disodium salt ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 22.4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนเป็น 372 มิลลิลิตร

ชั่ง  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  13.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนเป็น 728 มิลลิลิตร

เทสารละลายทั้งสองผสมกันที่ละน้อย หรือพ่นอากาศประมาณ 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน

6. micronutrients

ชั่ง  $\text{H}_3\text{BO}_3$  2.86 กรัม  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.05 กรัม  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  1.81 กรัม  $\text{ZnCl}_2$  0.11 กรัม

$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.025 กรัม แยกละลายในน้ำกลั่นที่ละตัว แล้วเทสารละลายรวมกัน และปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

เตรียมสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's (half strength) ปริมาตร 2 ลิตร

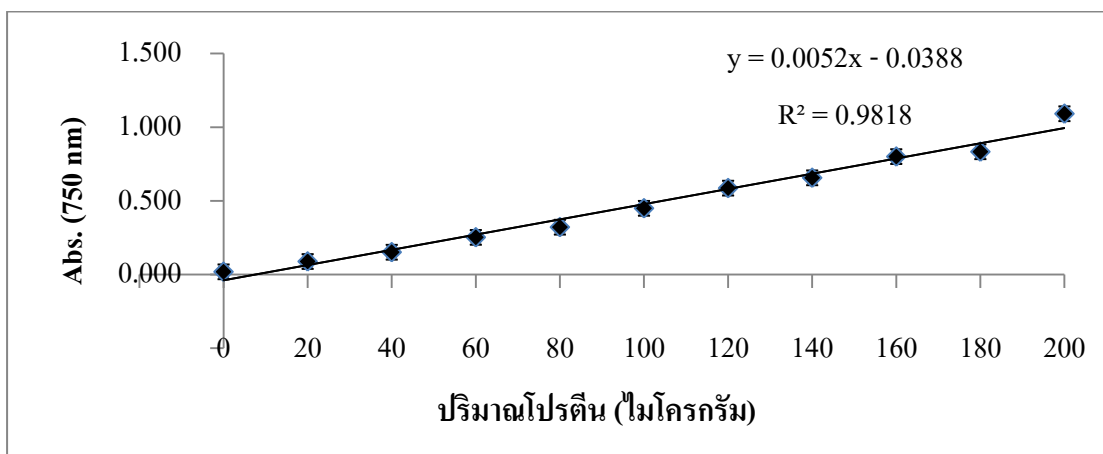
ประกอบด้วยสารเคมี ดังนี้

- |  |             |
|--|-------------|
| 1. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1 โมลาร์ | 5 มิลลิลิตร |
| 2. $\text{KNO}_3$ 3 โมลาร์                                       | 5 มิลลิลิตร |
| 3. $\text{MgSO}_4$ 1 โมลาร์                                      | 2 มิลลิลิตร |
| 4. $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 1 โมลาร์                             | 1 มิลลิลิตร |
| 5. Fe-EDTA (มี Fe 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)                     | 4 มิลลิลิตร |
| 6. micronutrients  | 1 มิลลิลิตร |

ภาคผนวก ข  
การสร้างกราฟมาตรฐาน

ตัวอย่างการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน

ปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัม)	Abs. (750 นาโนเมตร)
1. 0	0.019
2. 20	0.089
3. 40	0.152
4. 60	0.253
5. 80	0.322
6. 100	0.450
7. 120	0.587
8. 140	0.657
9. 160	0.801
10. 180	0.834
11. 200	1.092



ภาพภาคผนวกที่ ข-1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีน bovine albumin protein

ตัวอย่างการสร้างกราฟมาตรฐาน

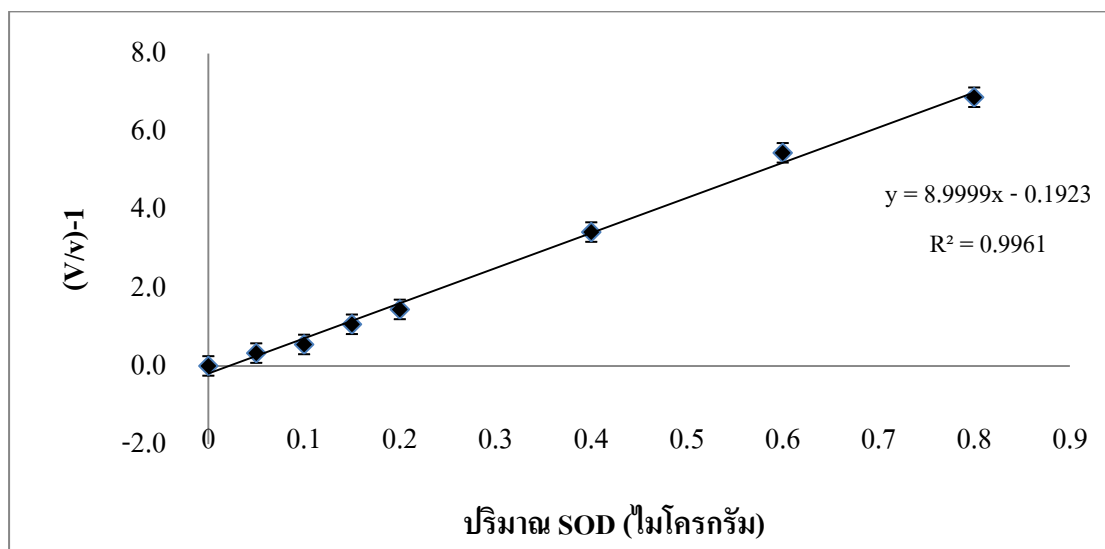
ปริมาณ SOD (ไมโครกรัม)	Abs. (560 นาโนเมตร)	$(V/v) - 1$
0	0.465	0.000
0.05	0.350	0.329
0.1	0.300	0.550
0.15	0.225	1.067
0.2	0.190	1.447
0.4	0.105	3.429
0.6	0.072	5.458
0.8	0.059	6.881

ได้ค่า  $V = 0.465/10 = 0.0465$  และ  $v = 0.0350$   $0.0300$   $0.0225$   $0.0190$   $0.0105$   $0.0072$  และ  $0.0059$

ในหลอดที่ 2 ถึง 8 ตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณหา  $(V/v) - 1$  และนำไปใช้สร้างกราฟได้ ดังนี้

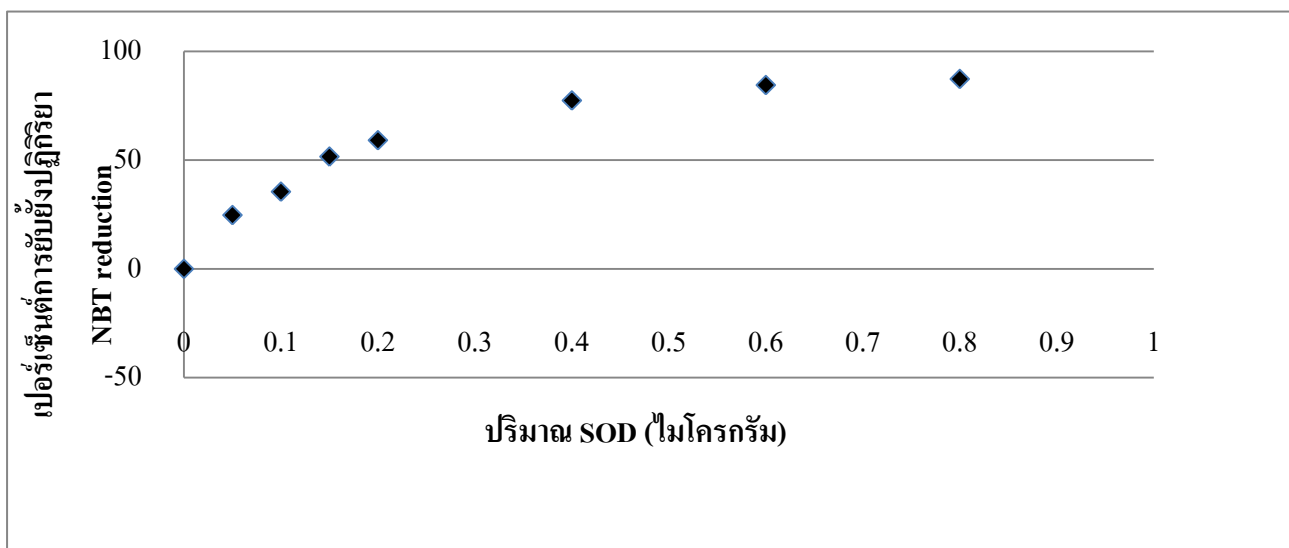
โดย  $V$  = ค่า absorbance ของปฏิกิริยาที่ไม่มี SOD /เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา

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



ภาพภาคผนวกที่ ข – 2 กราฟมาตรฐานของเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส (superoxide dismutase enzyme; SOD) ปริมาณต่าง ๆ

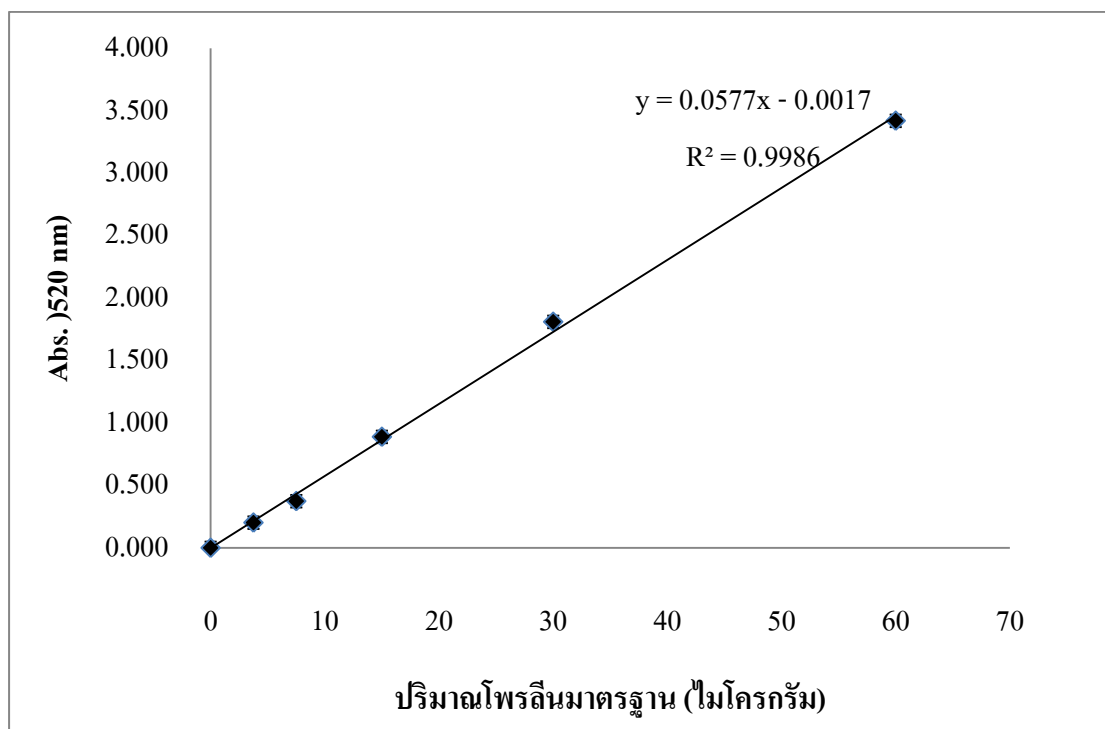
ในแต่ละหลอดสามารถหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งปฏิกิริยา NBT reduction ได้จากสูตร  $(V - v) * 100 / V$  และเขียนกราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งปฏิกิริยา NBT reduction และปริมาณ SOD ได้ดังนี้



ภาพภาคผนวกที่ ข – 3 กราฟเปอร์เซ็นต์การยับยั้งปฏิกิริยา NBT reduction ของ SOD

## ตัวอย่างการสร้างกราฟมาตรฐานโพรตีน

ปริมาณโพรตีน (ไมโครกรัม)	Abs. (520 นาโนเมตร)
1. 0	0.000
2. 3.75	0.202
3. 7.5	0.374
4. 15	0.889
5. 30	1.810
6. 60	3.420



ภาพภาคผนวกที่ ข – 4 กราฟมาตรฐาน โพรตีนในการวิเคราะห์ปริมาณ โพรตีนในใบถั่วเหลือง

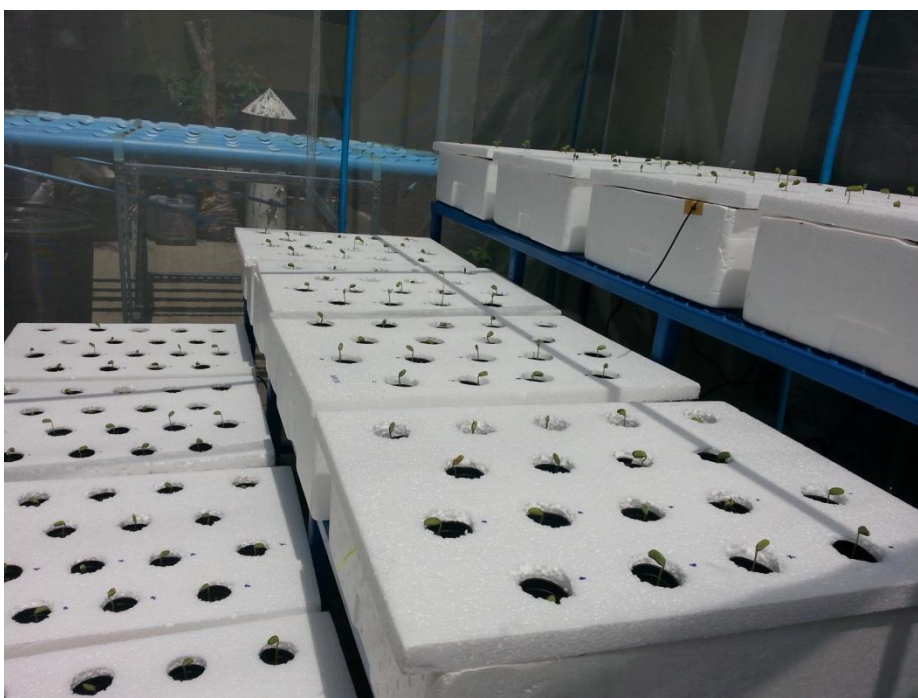


**ภาคผนวก ค**

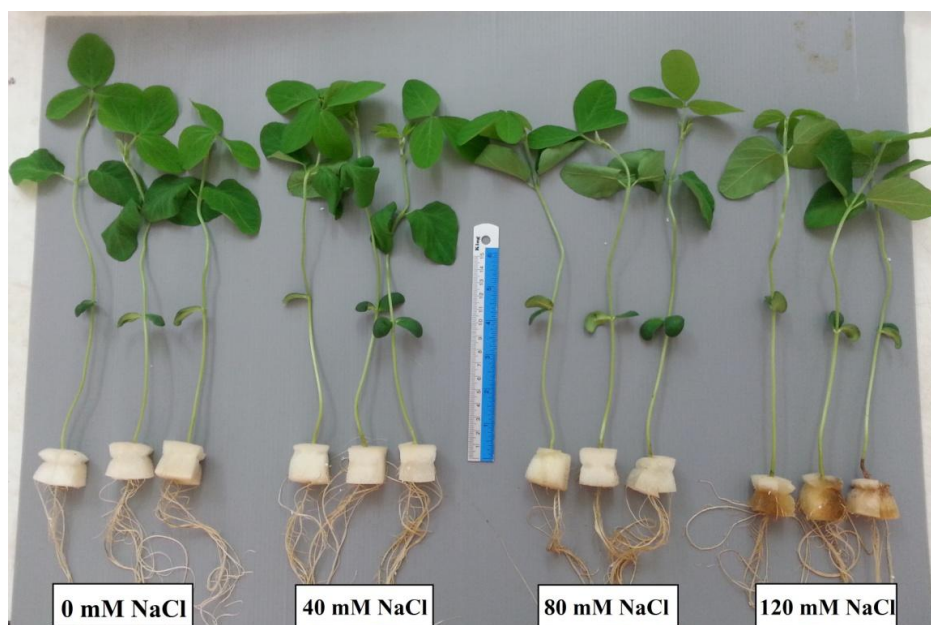
ภาพถ่ายกล้องพันธุฯ ชม.60 และ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มในระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์  
0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์



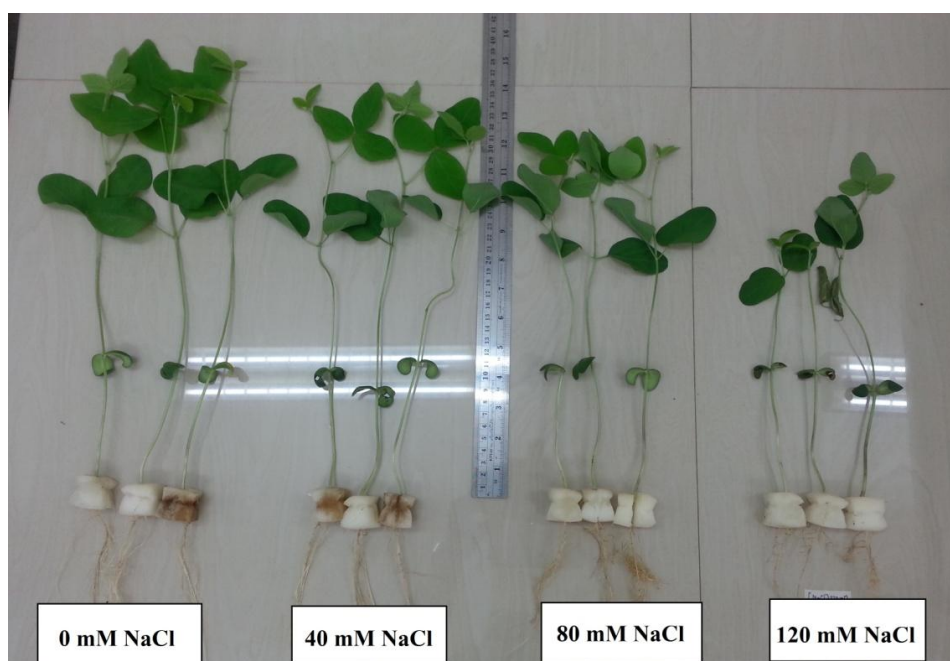
ภาพภาคผนวกที่ ค - 1 ลักษณะแปลงทดลองในรูปแบบการปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ ระบบ DFT



ภาพภาคผนวกที่ ค - 2 ต้นกล้าถั่วเหลืองที่ทดลองปลูกระบบไฮโดรโปนิกส์ แบบระบบ DFT



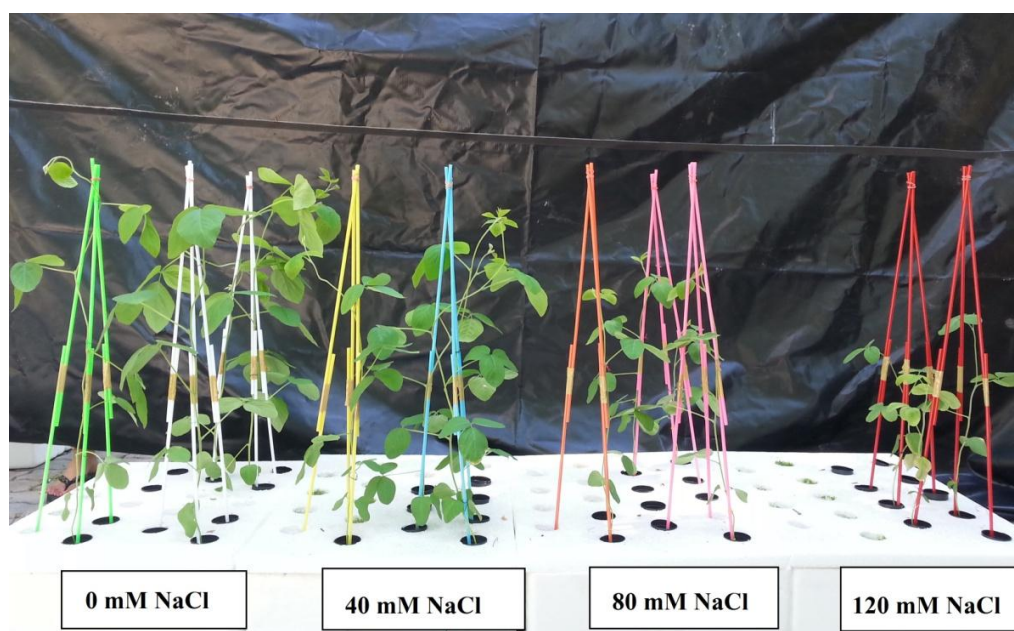
ภาพภาคผนวกที่ ค-3 ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 8 วัน ที่ระดับเกลือต่างกัน



ภาพภาคผนวกที่ ค-4 ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 8 วัน ที่ระดับเกลือต่างกัน



ภาพภาคผนวกที่ ค - 5 ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน ที่ระดับเกลือต่างกัน



ภาพภาคผนวกที่ ค - 6 ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน ที่ระดับเกลือต่างกัน



ภาพภาคผนวกที่ ค - 7 อาการใบบาง ปลายใบเหี่ยวใหม่ ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็ม



ภาพภาคผนวกที่ ค - 8 อาการใบเหี่ยว ขอบใบไหม้ แผ่นใบเหลือง ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็ม

## ภาคผนวก ง

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ

ตารางภาคผนวกที่ ง-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินของ  
ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเต็มในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และ  
ระยะเวลาที่แตกต่างกัน

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
ความสูง ชม.60 วันที่ 0	Between Groups	.007	3	.002	.889	.487
	Within Groups	.020	8	.003		
	Total	.027	11			
ความสูง ชม.60 วันที่ 4	Between Groups	15.669	3	5.223	26.446	.000
	Within Groups	1.580	8	.198		
	Total	17.249	11			
ความสูง ชม.60 วันที่ 8	Between Groups	72.723	3	24.241	93.837	.000
	Within Groups	2.067	8	.258		
	Total	74.790	11			
ความสูง ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	415.036	3	138.345	67.872	.000
	Within Groups	16.307	8	2.038		
	Total	431.343	11			
ความสูง ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	1305.027	3	435.009	70.935	.000
	Within Groups	49.060	8	6.132		
	Total	1354.087	11			
ความสูง ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	3930.917	3	1310.306	411.076	.000
	Within Groups	25.500	8	3.188		
	Total	3956.417	11			
ความสูง ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	6008.547	3	2002.849	356.590	.000
	Within Groups	44.933	8	5.617		
	Total	6053.480	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินของ  
ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และ  
ระยะเวลาที่แตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ความสูง นว.1 วันที่ 0	Between Groups	.007	3	.002	.889	.487
	Within Groups	.020	8	.002		
	Total	.027	11			
ความสูง นว.1 วันที่ 4	Between Groups	77.989	3	25.996	20.881	.000
	Within Groups	9.960	8	1.245		
	Total	87.949	11			
ความสูง นว.1 วันที่ 8	Between Groups	72.250	3	24.083	5.505	.024
	Within Groups	35.000	8	4.375		
	Total	107.250	11			
ความสูง นว.1 วันที่ 12	Between Groups	313.167	3	104.389	28.309	.000
	Within Groups	29.500	8	3.688		
	Total	342.667	11			
ความสูง นว.1 วันที่ 16	Between Groups	863.583	3	287.861	39.591	.000
	Within Groups	58.167	8	7.271		
	Total	921.750	11			
ความสูง นว.1 วันที่ 20	Between Groups	3196.277	3	1065.426	716.654	.000
	Within Groups	11.893	8	1.487		
	Total	3208.170	11			
ความสูง นว.1 วันที่ 24	Between Groups	5230.063	3	1743.354	95.417	.000
	Within Groups	146.167	8	18.271		
	Total	5376.229	11			



ตารางภาคผนวกที่ ง-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60  
ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่แตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
น้ำหนักแห้งของใบ ชม.60 วันที่ 0	Between Groups	.002	3	.001	.697	.580
	Within Groups	.009	8	.001		
	Total	.011	11			
น้ำหนักแห้งของใบ ชม.60 วันที่ 4	Between Groups	.191	3	.064	72.886	.000
	Within Groups	.007	8	.001		
	Total	.198	11			
น้ำหนักแห้งของใบ ชม.60 วันที่ 8	Between Groups	1.197	3	.399	392.721	.000
	Within Groups	.008	8	.001		
	Total	1.205	11			
น้ำหนักแห้งของใบ ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	8.803	3	2.934	742.619	.000
	Within Groups	.032	8	.004		
	Total	8.834	11			
น้ำหนักแห้งของใบ ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	14.076	3	4.692	448.799	.000
	Within Groups	.084	8	.010		
	Total	14.160	11			
น้ำหนักแห้งของใบ ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	21.469	3	7.156	654.806	.000
	Within Groups	.087	8	.011		
	Total	21.556	11			
น้ำหนักแห้งของใบ ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	45.523	3	15.174	106.277	.000
	Within Groups	1.142	8	.143		
	Total	46.665	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1  
ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่แตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
น้ำหนักแห้งของใบ นว.1 วันที่ 0	Between Groups	.000	3	.000	.847	.506
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.000	11			
น้ำหนักแห้งของใบ นว.1 วันที่ 4	Between Groups	.295	3	.098	39.759	.000
	Within Groups	.020	8	.002		
	Total	.315	11			
น้ำหนักแห้งของใบ นว.1 วันที่ 8	Between Groups	2.244	3	.748	175.669	.000
	Within Groups	.034	8	.004		
	Total	2.278	11			
น้ำหนักแห้งของใบ นว.1 วันที่ 12	Between Groups	2.574	3	.858	271.368	.000
	Within Groups	.025	8	.003		
	Total	2.599	11			
น้ำหนักแห้งของใบ นว.1 วันที่ 16	Between Groups	8.182	3	2.727	283.983	.000
	Within Groups	.077	8	.010		
	Total	8.258	11			
น้ำหนักแห้งของใบ นว.1 วันที่ 20	Between Groups	15.813	3	5.271	924.077	.000
	Within Groups	.046	8	.006		
	Total	15.859	11			
น้ำหนักแห้งของใบ นว.1 วันที่ 24	Between Groups	24.304	3	8.101	371.853	.000
	Within Groups	.174	8	.022		
	Total	24.479	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งของลำต้นถั่วเหลืองพันธุ์  
ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่  
แตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
น้ำหนักแห้งของลำต้น ชม.60 วันที่ 0	Between Groups	.000	3	.000	7.509	.010
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.000	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น ชม.60 วันที่ 4	Between Groups	.027	3	.009	70.481	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.028	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น ชม.60 วันที่ 8	Between Groups	.349	3	.116	181.889	.000
	Within Groups	.005	8	.001		
	Total	.354	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	1.979	3	.660	653.610	.000
	Within Groups	.008	8	.001		
	Total	1.987	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	8.238	3	2.746	408.713	.000
	Within Groups	.054	8	.007		
	Total	8.292	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	21.709	3	7.236	1856.528	.000
	Within Groups	.031	8	.004		
	Total	21.741	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	37.977	3	12.659	4029.185	.000
	Within Groups	.025	8	.003		
	Total	38.003	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งของลำต้นถั่วเหลืองพันธุ์  
 นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่  
 แตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
น้ำหนักแห้งของลำต้น นว.1 วันที่ 0	Between Groups	.000	3	.000	14.915	.001
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.000	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น นว.1 วันที่ 4	Between Groups	.016	3	.005	31.986	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.017	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น นว.1 วันที่ 8	Between Groups	.103	3	.034	132.878	.000
	Within Groups	.002	8	.000		
	Total	.105	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น นว.1 วันที่ 12	Between Groups	.370	3	.123	103.207	.000
	Within Groups	.010	8	.001		
	Total	.380	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น นว.1 วันที่ 16	Between Groups	1.093	3	.364	229.070	.000
	Within Groups	.013	8	.002		
	Total	1.106	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น นว.1 วันที่ 20	Between Groups	2.803	3	.934	550.461	.000
	Within Groups	.014	8	.002		
	Total	2.816	11			
น้ำหนักแห้งของลำต้น นว.1 วันที่ 24	Between Groups	6.539	3	2.180	274.820	.000
	Within Groups	.063	8	.008		
	Total	6.602	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งของรากกล้วยเหลืองพันธุ์  
ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่  
แตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
น้ำหนักแห้งของราก ชม.60 วันที่ 0	Between Groups	.000	3	.000	1.455	.298
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.000	11			
น้ำหนักแห้งของราก ชม.60 วันที่ 4	Between Groups	.001	3	.000	26.017	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.001	11			
น้ำหนักแห้งของราก ชม.60 วันที่ 8	Between Groups	.019	3	.006	1254.970	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.019	11			
น้ำหนักแห้งของราก ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	.148	3	.049	1239.223	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.149	11			
น้ำหนักแห้งของราก ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	.245	3	.082	1733.500	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.245	11			
น้ำหนักแห้งของราก ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	.356	3	.119	575.708	.000
	Within Groups	.002	8	.000		
	Total	.358	11			
น้ำหนักแห้งของราก ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	.366	3	.122	2341.141	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.366	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งของรากกล้วยเหลืองพันธุ์  
 นว.1 ที่ได้รับภาวะเต็มทีระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่  
 แตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
น้ำหนักแห้งของราก นว.1 วันที่ 0	Between Groups	.000	3	.000	5.377	.025
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.000	11			
น้ำหนักแห้งของราก นว.1 วันที่ 4	Between Groups	.000	3	.000	14.298	.001
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.000	11			
น้ำหนักแห้งของราก นว.1 วันที่ 8	Between Groups	.015	3	.005	432.839	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.015	11			
น้ำหนักแห้งของราก นว.1 วันที่ 12	Between Groups	.048	3	.016	464.669	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.048	11			
น้ำหนักแห้งของราก นว.1 วันที่ 16	Between Groups	.055	3	.018	2044.445	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.055	11			
น้ำหนักแห้งของราก นว.1 วันที่ 20	Between Groups	.087	3	.029	259.855	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.088	11			
น้ำหนักแห้งของราก นว.1 วันที่ 24	Between Groups	.142	3	.047	2350.238	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.142	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60  
ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่แตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
พื้นที่ใบ ชม.60 วันที่ 0	Between Groups	8.766	3	2.922	.971	.453
	Within Groups	24.073	8	3.009		
	Total	32.839	11			
พื้นที่ใบ ชม.60 วันที่ 4	Between Groups	441.009	3	147.003	5.686	.022
	Within Groups	206.835	8	25.854		
	Total	647.844	11			
พื้นที่ใบ ชม.60 วันที่ 8	Between Groups	3622.443	3	1207.481	26.690	.000
	Within Groups	361.925	8	45.241		
	Total	3984.368	11			
พื้นที่ใบ ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	35886.150	3	11962.050	68.084	.000
	Within Groups	1405.564	8	175.695		
	Total	37291.714	11			
พื้นที่ใบ ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	71746.327	3	23915.442	48.960	.000
	Within Groups	3907.778	8	488.472		
	Total	75654.105	11			
พื้นที่ใบ ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	192823.864	3	64274.621	570.789	.000
	Within Groups	900.853	8	112.607		
	Total	193724.717	11			
พื้นที่ใบ ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	878266.385	3	292755.462	1438.787	.000
	Within Groups	1627.791	8	203.474		
	Total	879894.175	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1  
ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่แตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
พื้นที่ใบ นว.1 วันที่ 0	Between Groups	.650	3	.217	.295	.828
	Within Groups	5.884	8	.735		
	Total	6.534	11			
พื้นที่ใบ นว.1 วันที่ 4	Between Groups	372.967	3	124.322	32.555	.000
	Within Groups	30.551	8	3.819		
	Total	403.518	11			
พื้นที่ใบ นว.1 วันที่ 8	Between Groups	3591.942	3	1197.314	197.624	.000
	Within Groups	48.468	8	6.059		
	Total	3640.410	11			
พื้นที่ใบ นว.1 วันที่ 12	Between Groups	22867.133	3	7622.378	1358.910	.000
	Within Groups	44.873	8	5.609		
	Total	22912.007	11			
พื้นที่ใบ นว.1 วันที่ 16	Between Groups	56467.454	3	18822.485	694.969	.000
	Within Groups	216.671	8	27.084		
	Total	56684.125	11			
พื้นที่ใบ นว.1 วันที่ 20	Between Groups	82020.597	3	27340.199	537.776	.000
	Within Groups	406.715	8	50.839		
	Total	82427.312	11			
พื้นที่ใบ นว.1 วันที่ 24	Between Groups	894559.415	3	298186.472	3114.153	.000
	Within Groups	766.016	8	95.752		
	Total	895325.431	11			



ตารางภาคผนวกที่ ง-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของ  
ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเต็มทีระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และ  
ระยะเวลาที่แตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ ชม.60 วันที่ 4	Between Groups	.002	3	.001	112.147	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.002	11			
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ ชม.60 วันที่ 8	Between Groups	.011	3	.004	66.900	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.012	11			
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	.042	3	.014	106.397	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.043	11			
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	.135	3	.045	197.334	.000
	Within Groups	.002	8	.000		
	Total	.137	11			
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	.251	3	.084	78.233	.000
	Within Groups	.009	8	.001		
	Total	.259	11			
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	.006	3	.002	5.477	.024
	Within Groups	.003	8	.000		
	Total	.009	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของ  
ถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และ  
ระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ นว.1 วันที่ 4	Between Groups	.001	3	.000	32.433	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.001	11			
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ นว.1 วันที่ 8	Between Groups	.002	3	.001	136.172	.000
	Within Groups	.000	8	.000		
	Total	.002	11			
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ นว.1 วันที่ 12	Between Groups	.005	3	.002	26.623	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.006	11			
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ นว.1 วันที่ 16	Between Groups	.012	3	.004	15.578	.001
	Within Groups	.002	8	.000		
	Total	.014	11			
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ นว.1 วันที่ 20	Between Groups	.027	3	.009	58.063	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.028	11			
อัตราการเจริญเติบโต สัมพัทธ์ นว.1 วันที่ 24	Between Groups	.009	3	.003	39.765	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.009	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งจำเพาะของใบถั่วเหลืองพันธุ์  
ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลา  
แตกต่างกัน

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
specific leaf weight	28.962	3	9.654	4.611	.037
ชม.60 วันที่ 0	16.751	8	2.094		
Total	45.713	11			
specific leaf weight	10.911	3	3.637	5.952	.020
ชม.60 วันที่ 4	4.889	8	.611		
Total	15.799	11			
specific leaf weight	2.877	3	.959	1.135	.391
ชม.60 วันที่ 8	6.758	8	.845		
Total	9.635	11			
specific leaf weight	22.377	3	7.459	3.641	.064
ชม.60 วันที่ 12	16.390	8	2.049		
Total	38.767	11			
specific leaf weight	147.761	3	49.254	58.622	.000
ชม.60 วันที่ 16	6.721	8	.840		
Total	154.482	11			
specific leaf weight	41.548	3	13.849	180.615	.000
ชม.60 วันที่ 20	.613	8	.077		
Total	42.161	11			
specific leaf weight	27.796	3	9.265	161.495	.000
ชม.60 วันที่ 24	.459	8	.057		
Total	28.255	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งจำเพาะของใบถั่วเหลืองพันธุ์  
นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
specific leaf weight	.472	3	.157	.287	.834
นว.1 วันที่ 0					
Between Groups					
Within Groups	4.386	8	.548		
Total	4.857	11			
specific leaf weight	98.583	3	32.861	26.616	.000
นว.1 วันที่ 4					
Between Groups					
Within Groups	9.877	8	1.235		
Total	108.460	11			
specific leaf weight	175.179	3	58.393	479.757	.000
นว.1 วันที่ 8					
Between Groups					
Within Groups	.974	8	.122		
Total	176.152	11			
specific leaf weight	24.980	3	8.327	219.609	.000
นว.1 วันที่ 12					
Between Groups					
Within Groups	.303	8	.038		
Total	25.283	11			
specific leaf weight	73.216	3	24.405	234.545	.000
นว.1 วันที่ 16					
Between Groups					
Within Groups	.832	8	.104		
Total	74.048	11			
specific leaf weight	32.948	3	10.983	59.249	.000
นว.1 วันที่ 20					
Between Groups					
Within Groups	1.483	8	.185		
Total	34.431	11			
specific leaf weight	8.491	3	2.830	37.395	.000
นว.1 วันที่ 24					
Between Groups					
Within Groups	.605	8	.076		
Total	9.096	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสะสมโพรลินในใบที่ 3 นับจากยอด  
ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60ที่ได้รับภาวะเต็มในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และ  
ระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณโพรลิน ชม.60 วันที่ 8	Between Groups	272.529	3	90.843	387.722	.000
	Within Groups	1.874	8	.234		
	Total	274.404	11			
ปริมาณ โพรลิน ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	386.195	3	128.732	102.772	.000
	Within Groups	10.021	8	1.253		
	Total	396.216	11			
ปริมาณโพรลิน ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	464.339	3	154.780	680.423	.000
	Within Groups	1.820	8	.227		
	Total	466.159	11			
ปริมาณโพรลิน ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	1345.717	3	448.572	89.994	.000
	Within Groups	39.876	8	4.984		
	Total	1385.592	11			
ปริมาณโพรลิน ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	2947.505	3	982.502	198.871	.000
	Within Groups	39.523	8	4.940		
	Total	2987.028	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสะสมโพรลินในใบที่ 5 นับจากยอด  
ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะแล้งที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และ  
ระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณโพรลิน					
Between Groups	415.555	3	138.518	147.220	.000
Within Groups	7.527	8	.941		
Total	423.082	11			
ปริมาณโพรลิน					
Between Groups	429.086	3	143.029	80.959	.000
Within Groups	14.133	8	1.767		
Total	443.219	11			
ปริมาณโพรลิน					
Between Groups	1643.787	3	547.929	282.791	.000
Within Groups	15.501	8	1.938		
Total	1659.288	11			
ปริมาณโพรลิน					
Between Groups	3141.353	3	1047.118	414.904	.000
Within Groups	20.190	8	2.524		
Total	3161.543	11			
ปริมาณโพรลิน					
Between Groups	10079.948	3	3359.983	78.587	.000
Within Groups	342.042	8	42.755		
Total	10421.990	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสะสมโพรลินในใบที่ 3 นับจากยอด  
ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และ  
ระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณโพรลิน นว.1 วันที่ 8	Between Groups	272.368	3	90.789	60.203	.000
	Within Groups	12.064	8	1.508		
	Total	284.432	11			
ปริมาณโพรลิน นว.1 วันที่ 12	Between Groups	377.864	3	125.955	32.333	.000
	Within Groups	31.165	8	3.896		
	Total	409.029	11			
ปริมาณโพรลิน นว.1 วันที่ 16	Between Groups	417.123	3	139.041	136.740	.000
	Within Groups	8.135	8	1.017		
	Total	425.258	11			
ปริมาณโพรลิน นว.1 วันที่ 20	Between Groups	2393.303	3	797.768	814.444	.000
	Within Groups	7.836	8	.980		
	Total	2401.140	11			
ปริมาณโพรลิน นว.1 วันที่ 24	Between Groups	4376.281	3	1458.760	1005.238	.000
	Within Groups	11.609	8	1.451		
	Total	4387.890	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสะสมโพรตีนในใบที่ 5 นับจากยอด  
ของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และ  
ระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณโพรตีน นว.1 วันที่ 8	Between Groups	435.350	3	145.117	32.816	.000
	Within Groups	35.377	8	4.422		
	Total	470.727	11			
ปริมาณโพรตีน นว.1 วันที่ 12	Between Groups	510.235	3	170.078	67.436	.000
	Within Groups	20.176	8	2.522		
	Total	530.411	11			
ปริมาณโพรตีน นว.1 วันที่ 16	Between Groups	2124.910	3	708.303	473.779	.000
	Within Groups	11.960	8	1.495		
	Total	2136.870	11			
ปริมาณโพรตีน นว.1 วันที่ 20	Between Groups	3492.003	3	1164.001	176.845	.000
	Within Groups	52.656	8	6.582		
	Total	3544.659	11			
ปริมาณโพรตีน นว.1 วันที่ 24	Between Groups	16480.984	3	5493.661	2710.075	.000
	Within Groups	16.217	8	2.027		
	Total	16497.201	11			



ตารางภาคผนวกที่ ง-19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ชม.60 วันที่ 4	Between Groups	.447	3	.149	1.075	.413
	Within Groups	1.110	8	.139		
	Total	1.557	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ชม.60 วันที่ 8	Between Groups	4.404	3	1.468	27.200	.000
	Within Groups	.432	8	.054		
	Total	4.836	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	24.098	3	8.033	31.879	.000
	Within Groups	2.016	8	.252		
	Total	26.113	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์ ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	48.955	3	16.318	21.284	.000
	Within Groups	6.134	8	.767		
	Total	55.089	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	49.135	3	16.378	59.423	.000
	Within Groups	2.205	8	.276		
	Total	51.340	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	121.435	3	40.478	932.444	.000
	Within Groups	.347	8	.043		
	Total	121.782	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ 1 นับจาก โคนของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเต็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ชม.60 วันที่ 4	Between Groups	1.390	3	.463	23.733	.000
	Within Groups	.156	8	.020		
	Total	1.546	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ชม.60 วันที่ 8	Between Groups	4.727	3	1.576	96.615	.000
	Within Groups	.130	8	.016		
	Total	4.857	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	7.136	3	2.379	66.382	.000
	Within Groups	.287	8	.036		
	Total	7.422	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	25.702	3	8.567	84.008	.000
	Within Groups	.816	8	.102		
	Total	26.518	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	42.480	3	14.160	123.545	.000
	Within Groups	.917	8	.115		
	Total	43.397	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	97.862	3	32.621	1256.835	.000
	Within Groups	.208	8	.026		
	Total	98.070	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเต็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นว.1 วันที่ 4	Between Groups	3.550	3	1.183	51.520	.000
	Within Groups	.184	8	.023		
	Total	3.734	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นว.1 วันที่ 8	Between Groups	.372	3	.124	4.737	.035
	Within Groups	.209	8	.026		
	Total	.582	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นว.1 วันที่ 12	Between Groups	32.245	3	10.748	63.929	.000
	Within Groups	1.345	8	.168		
	Total	33.590	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์ นว.1 วันที่ 16	Between Groups	74.620	3	24.873	1244.732	.000
	Within Groups	.160	8	.020		
	Total	74.780	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นว.1 วันที่ 20	Between Groups	128.690	3	42.897	305.165	.000
	Within Groups	1.125	8	.141		
	Total	129.815	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นว.1 วันที่ 24	Between Groups	163.260	3	54.420	1167.146	.000
	Within Groups	.373	8	.047		
	Total	163.633	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ 1 นับจาก โคนของก้นห้อยพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเต็มทีระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นว.1 วันที่ 4	Between Groups	3.624	3	1.208	26.566	.000
	Within Groups	.364	8	.045		
	Total	3.988	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นว.1 วันที่ 8	Between Groups	2.717	3	.906	54.759	.000
	Within Groups	.132	8	.017		
	Total	2.849	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์ นว.1 วันที่ 12	Between Groups	18.822	3	6.274	55.183	.000
	Within Groups	.910	8	.114		
	Total	19.732	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นว.1 วันที่ 16	Between Groups	40.975	3	13.658	312.974	.000
	Within Groups	.349	8	.044		
	Total	41.324	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นว.1 วันที่ 20	Between Groups	80.363	3	26.788	1214.861	.000
	Within Groups	.176	8	.022		
	Total	80.539	11			
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม นว.1 วันที่ 24	Between Groups	154.999	3	51.666	497.660	.000
	Within Groups	.831	8	.104		
	Total	155.830	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 4	Between Groups	.003	3	.001	1.075	.413
	Within Groups	.008	8	.001		
	Total	.011	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 8	Between Groups	.032	3	.011	27.200	.000
	Within Groups	.003	8	.000		
	Total	.036	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	.177	3	.059	31.879	.000
	Within Groups	.015	8	.002		
	Total	.192	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	.360	3	.120	21.284	.000
	Within Groups	.045	8	.006		
	Total	.405	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	.361	3	.120	59.423	.000
	Within Groups	.016	8	.002		
	Total	.377	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	.892	3	.297	932.444	.000
	Within Groups	.003	8	.000		
	Total	.895	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 1 นับจาก โคนของก้านเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเต็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 4	Between Groups	.010	3	.003	23.733	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.011	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 8	Between Groups	.035	3	.012	96.615	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.036	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	.052	3	.017	66.382	.000
	Within Groups	.002	8	.000		
	Total	.055	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	.189	3	.063	84.008	.000
	Within Groups	.006	8	.001		
	Total	.195	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	.312	3	.104	123.545	.000
	Within Groups	.007	8	.001		
	Total	.319	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	.719	3	.240	1256.835	.000
	Within Groups	.002	8	.000		
	Total	.721	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว.1 วันที่ 4	Between Groups	.026	3	.009	51.520	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.027	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว.1 วันที่ 8	Between Groups	.003	3	.001	4.737	.035
	Within Groups	.002	8	.000		
	Total	.004	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว.1 วันที่ 12	Between Groups	.237	3	.079	63.929	.000
	Within Groups	.010	8	.001		
	Total	.247	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว.1 วันที่ 16	Between Groups	.548	3	.183	1244.732	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.549	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว.1 วันที่ 20	Between Groups	.945	3	.315	305.165	.000
	Within Groups	.008	8	.001		
	Total	.954	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว.1 วันที่ 24	Between Groups	1.199	3	.400	1167.146	.000
	Within Groups	.003	8	.000		
	Total	1.202	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 1 นับจาก โคนของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว.1 วันที่ 4	Between Groups	.027	3	.009	26.566	.000
	Within Groups	.003	8	.000		
	Total	.029	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว.1 วันที่ 8	Between Groups	.020	3	.007	54.759	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.021	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว.1 วันที่ 12	Between Groups	.138	3	.046	55.183	.000
	Within Groups	.007	8	.001		
	Total	.145	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว.1 วันที่ 16	Between Groups	.301	3	.100	312.974	.000
	Within Groups	.003	8	.000		
	Total	.304	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว. วันที่ 20	Between Groups	.590	3	.197	1214.861	.000
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.592	11			
ปริมาณแคโรทีนอยด์ นว.1 วันที่ 24	Between Groups	1.139	3	.380	497.660	.000
	Within Groups	.006	8	.001		
	Total	1.145	11			



ตารางภาคผนวกที่ ง-27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 2 นับ  
จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น  
ต่าง ๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	4.787	3	1.596	146.448	.000
	Within Groups	.087	8	.011		
	Total	4.875	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	4.992	3	1.664	101.553	.000
	Within Groups	.131	8	.016		
	Total	5.123	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	6.777	3	2.259	60.430	.000
	Within Groups	.299	8	.037		
	Total	7.077	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	22.230	3	7.410	74.574	.000
	Within Groups	.795	8	.099		
	Total	23.025	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเต็มทีระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ชม.60 วันที่ 12	Between Groups	2.205	3	.735	26.390	.000
	Within Groups	.223	8	.028		
	Total	2.427	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ชม.60 วันที่ 16	Between Groups	2.532	3	.844	14.190	.001
	Within Groups	.476	8	.059		
	Total	3.007	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ชม.60 วันที่ 20	Between Groups	14.748	3	4.916	54.411	.000
	Within Groups	.723	8	.090		
	Total	15.471	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ชม.60 วันที่ 24	Between Groups	29.342	3	9.781	59.280	.000
	Within Groups	1.320	8	.165		
	Total	30.662	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 2 นับ  
จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้น  
ต่าง ๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD นว.1 วันที่ 12	Between Groups	7.799	3	2.600	42.671	.000
	Within Groups	.487	8	.061		
	Total	8.286	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD นว.1 วันที่ 16	Between Groups	17.693	3	5.898	63.444	.000
	Within Groups	.744	8	.093		
	Total	18.437	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD นว.1 วันที่ 20	Between Groups	32.752	3	10.917	142.742	.000
	Within Groups	.612	8	.076		
	Total	33.364	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD นว.1 วันที่ 24	Between Groups	52.239	3	17.413	69.257	.000
	Within Groups	2.011	8	.251		
	Total	54.251	11			

ตารางภาคผนวกที่ ง-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในใบที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ นว.1 ที่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาแตกต่างกัน

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD นว.1 วันที่ 12	Between Groups	4.566	3	1.522	39.232	.000
	Within Groups	.310	8	.039		
	Total	4.877	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD นว.1 วันที่ 16	Between Groups	12.748	3	4.249	57.464	.000
	Within Groups	.592	8	.074		
	Total	13.340	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD นว.1 วันที่ 20	Between Groups	38.056	3	12.685	168.771	.000
	Within Groups	.601	8	.075		
	Total	38.658	11			
กิจกรรมของเอนไซม์ SOD นว.1 วันที่ 21	Between Groups	80.177	3	26.726	135.203	.000
	Within Groups	1.581	8	.198		
	Total	81.758	11			