ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโพรลีน และกิจกรรมของเอนไซม์คะตะเลส แอสคอร์เบต เพอร์ออกซิเดส และ ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส ในถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill)

จันทร์ธิรา ดวงจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
พฤษภาคม 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ จันทร์ธิรา ดวงจันทร์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร.ศิริพรรณ บรรหาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประวีณา มณีรัตนรุ่งโรจน์)

.....กรรมการ

(ดร.ศิริพรรณ บรรหาร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ พระประเสริฐ)

.....กรรมการ

(ดร.สลิล ชั้นโรจน์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษาของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 24 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งของ ดร.ศิริพรรณ บรรหาร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้สละเวลารับเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้องในการค้นคว้าหาความรู้ และประสบการณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน เอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประวีณา มณีรัตนรุ่งโรจน์ ที่ได้เสียสละเวลาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ศิริพรรณ บรรหาร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ พระประเสริฐ และ ดร.สลิล ชั้นโรจน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำตลอดจนตรวจทานข้อบกพร่องต่าง ๆ

ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาชีววิทยาทุกท่าน ที่คอยประสิทธิ์ประศาสตร์วิชาและให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ และนักวิชาชีพปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ประจำภาควิชาชีววิทยา และวิทยาศาสตร์เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้ความรู้และความอนุเคราะห์ในการขอใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ผล และขอขอบคุณท่านผู้อำนวยการและคณะครูโรงเรียนบางสวรรค์วิทยาคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเรื่องเวลาทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัวและพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

จันทร์ธิรา ดวงจันทร์

54990035: สาขาวิชา: ชีววิทยาศึกษา; วท.ม. (ชีววิทยาศึกษา)
คำสำคัญ: ถั่วเหลือง/ โซเดียมคลอไรด์/ โพรลีน/ ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส

จันทร์ธิรา ดวงจันทร์: ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโพรลีนและกิจกรรมของเอนไซม์คะตะเลส แอสคอร์เบต เพอร์ออกซิเดส และซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส ในถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) (EFFECT OF SODIUM CHLORIDE ON GROWTH, PIGMENT CONTENTS, PROLINE CONTENT AND CATALASE, ASCORBATE PEROXIDASE AND SUPEROXIDE DISMUTASE ACTIVITY IN SOYBEAN (*Glycine max* (L.) Merrill)) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ศิริพรรณ บรรหาร, Ph.D., 146 หน้า. ปี พ.ศ. 2559.

การศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโพรลีน และกิจกรรมของเอนไซม์ CAT APX และ SOD ในถั่วเหลืองสองพันธุ์คือ สจ. 5 และ มข.35 ที่ปลูกในสารละลายอาหารพืชสูตร Hoagland โดยเติมโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้การเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงของลำต้น พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้งของราก น้ำหนักแห้งของลำต้น น้ำหนักแห้งของใบ และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ มีแนวโน้มลดลงและน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีการเจริญเติบโตมากกว่าพันธุ์ มข. 35 สำหรับค่าน้ำหนักจำเพาะของใบ (Specific Leaf Weight: SLW) ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มีแนวโน้มสูงขึ้น โดย SLW ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้โซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์ ในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มีแนวโน้มลดลง แต่ในทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ สำหรับปริมาณโพรลีนและกิจกรรมของเอนไซม์ CAT APX และ SOD ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ พบว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีปริมาณโพรลีนและกิจกรรมของเอนไซม์ CAT APX และ SOD มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 จากผลการศึกษาเสนอแนะได้ว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีความสามารถทนต่อความเค็มได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35

54990035: MAJOR: BIOLOGY EDUCATION; M.Sc. (BIOLOGY EDUCATION)
KEYWORD: SOYBEAN/ SODIUM CHLORIDE/ PROLINE/ SUPEROXIDE DISMUTASE
CHANTHIRA DUANGCHAN: (EFFECT OF SODIUM CHLORIDE ON GROWTH, PIGMENT CONTENTS, PROLINE CONTENT AND CATALASE, ASCORBATE PEROXIDASE, SUPEROXIDE DISMUTASE ACTIVITY IN SOYBEAN (*Glycine max* (L.) Merrill) ADVISORY COMMITTEE: SIRIPHAN BANHARN, Ph.D.146 P. 2016.

The effect of sodium chloride on growth, pigment contents, proline content and catalase, ascorbate peroxidase, superoxide dismutase activity in two soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars i.e. SJ. 5 and KKU.35 was monitored. Sodium chloride was added to the Hoagland nutrient solution at the concentration of 0, 40, 80 and 120 mM for 24 days. At the end of the experimental period, growth (height, leaf area, root dry weight, shoot dry weight, leaf dry weight) and relative growth rate of the two soybeans under higher salinity concentration significantly decreased when compared to the control ($p \leq 0.05$). The growth of SJ.5 was higher than KKU. 35. For Specific Leaf Weight (SLW) of the two soybeans which were grown under all concentrations of sodium chloride tended to increase. But SLW of SJ.5 was higher than KKU. 35 significantly in all concentrations of sodium chloride . Effect of salinity on total chlorophyll and carotenoid of them under the all concentrations of sodium chloride tended to decreased and total chlorophyll , carotenoid of the two soybeans were not significantly. Total chlorophyll and carotenoid of SJ.5 similarly to KKU. 35. For proline content and activity of CAT, APX, SOD in the two soybeans under all concentrations of sodium chloride tended to increase significantly when compared to the control ($p \leq 0.05$) . In the other hands, KKU. 35 tended to accumulate more proline and increased CAT, APX, SOD enzyme activity than SJ.5 The results indicated that SJ.5 soybean may be more resistant to salinity than KKU. 35.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……...
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……..
สารบัญ……..... จ
สารบัญตารางภาคผนวก……... ช
สารบัญภาพ…….. ญ
สารบัญภาพภาคผนวก…… ฑ
บทที่
1 บทนำ……..……... 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา…… 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย…….. 3
สมมติฐาน……..……...……..……. 3
ขอบเขตการวิจัย……...……..…. 3
สถานที่ทำการวิจัย…….…… 3
ระยะเวลาการของวิจัย……...…….……... 4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….…… 5
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วเหลือง……..…...…… 5
ดินเค็ม……..……. 12
ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของพืช……...……...……. 15
ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณรงควัตถุ…….……...……. 17
ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณโพรลีน…….……. 17
ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ CAT, APX และ SOD ……...……..….. 18
การปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ ระบบ DFT (Deep Flow Technique)……...…..… 22
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..…….. 23
3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย…….…….. 26
วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี……... 26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
วิธีดำเนินการวิจัย…….	28
การวิเคราะห์ข้อมูล……...	36
4 ผลการวิจัย……	37
ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง……..	37
ผลของโซเดียมคลอไรด์ปริมาณรงควัตถุของถั่วเหลือง……..…...	51
ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณโพรลีนของถั่วเหลือง……	59
ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ CAT APX และ SOD…….…….	63
5 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย……	75
สรุปผลการวิจัย……	84
ข้อเสนอแนะ……	86
บรรณานุกรม……..…….……..…..	87
ภาคผนวก…….....	95
ภาคผนวก ก…….	96
ภาคผนวก ข…….	99
ภาคผนวก ค…….	104
ภาคผนวก ง……..…….	110
ประวัติของผู้วิจัย……..	130

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่		หน้า
ง-1	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)…..…….	110
ง-2	พื้นที่ใบรวมต่อต้น (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)…..…….	111
ง-3	น้ำหนักแห้งของราก (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)…..……...……..…….	112
ง-4	น้ำหนักแห้งของลำต้น (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)……...…….	113
ง-5	น้ำหนักแห้งของใบ (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)…..……..……..….	114
ง-6	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/วัน) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)…..……..……	115
ง-7	น้ำหนักจำเพาะของใบ (SLW) (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)…..……...	116
ง-8	ปริมาณโพรลีนในใบตำแหน่งข้อที่ 3 นับจากยอด (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)……..	117

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่		หน้า
ง-9	ปริมาณโพรลีนในใบตำแหน่งข้อที่ 5 นับจากยอด (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)…..……	118
ง-10	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในใบที่ตำแหน่งข้อ 2 นับจากยอด (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)	119
ง-11	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน(มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)	120
ง-12	ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)	121
ง-13	ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)	122
ง-14	กิจกรรมของเอนไซม์ CAT (μmole/mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)…….	123
ง-15	กิจกรรมของเอนไซม์ CAT (μmole/mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)…….	124
ง-16	กิจกรรมของเอนไซม์ APX (nmole/mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)…….	125

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

ง-17 กิจกรรมของเอนไซม์ APX (nmole/mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)..…... 126

ง-18 กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg^{-1} protein) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)……. 127

ง-19 กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg^{-1} protein) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)……. 128

.

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นถั่วเหลือง……	6
2-2	ส่วนประกอบของดอกถั่วเหลือง…….……..	8
2-3	ลักษณะของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5…….……	10
2-4	ลักษณะของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35……...……	12
2-5	โครงสร้างของโพรลีน (pyrroline-5-carboxylic acid)……..	18
2-6	การปลูกพืชแบบ DFT ชนิดเติมอากาศด้วยวิธีพ่นอากาศ…..…….	23
3-1	ลักษณะการจัดวางกระบะปลูกบนชั้นวาง ……	29
3-2	ลักษณะของถาดปลูกที่ติดตั้งระบบน้ำ……..	30
3-3	รูปแบบการเจาะช่องที่ฝากล่อง จำนวน 18 ช่อง……...……..	30
4-1	ความสูงลำต้น (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……...……	38
4-2	พื้นที่ใบรวม (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับภาวะเค็มในระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……..……..….	40
4-3	น้ำหนักแห้งราก (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……...……	42
4-4	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……...……	44
4-5	น้ำหนักแห้งใบ (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……...……	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-6	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/วัน) ของถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)..……	48
4-7	Specific Leaf Weight (mg/cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)…….…..……	50
4-8	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 จากยอดของถั่วเหลือง พันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……..……...……	52
4-9	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 จากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……...……	54
4-10	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……..……...……	56
4-11	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……..……...……	58
4-12	ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบที่ 3 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……...……	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4- 13	ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบตำแหน่งข้อที่ 5 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)…….....……	62
4-14	กิจกรรมของเอนไซม์ CAT (µmole/mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……...…….....……	65
4-15	กิจกรรมของเอนไซม์ CAT (µmole/mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……...……	66
4-16	กิจกรรมของเอนไซม์ APX (nmole /mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……...……	69
4-17	กิจกรรมของเอนไซม์ APX (nmole /mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……...……...……	70
4-18	กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg^{-1} protein) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)……...……	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-19	กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg^{-1} protein) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)…….....……	74

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่		หน้า
ข-1	กราฟเส้นตรงมาตรฐานสารละลายโปรตีน……	99
ข-2	กราฟเส้นตรงมาตรฐานของ SOD ปริมาณต่าง ๆ……..…….	100
ข-3	เปอร์เซ็นต์ inhibition ของ SOD ปริมาณต่าง ๆ……	101
ข-4	กราฟเส้นตรงมาตรฐานโพรลีนในการวิเคราะห์ปริมาณโพรลีนในใบถั่วเหลือง...	102
ค-1	การวางกล่องโฟมที่ดัดแปลงเป็นกระบะปลูกบนชั้นเหล็กที่มีการติดตั้งระบบน้ำแบบ DFT…….	104
ค-2	ต้นกล้าถั่วเหลืองอายุ 8 วัน ที่ปลูกในระบบ ไฮโดรโพนิกส์ แบบ DFT…….	104
ค-3	การวัดพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน……..…..	105
ค-4	การวัดพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน……..…	105
ค-5	การวัดพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 80 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน……..…	106
ค-6	การวัดพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน……...	106
ค-7	ลักษณะของใบถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน…….	107
ค-8	ลักษณะของใบถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน…….	107

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชตระกูลถั่วที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของโลกและประเทศไทย เป็นพืชที่ให้โปรตีนสูง ทั้งคนและสัตว์เลี้ยงใช้บริโภคเป็นอาหาร สำหรับประเทศไทยใช้บริโภคในรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น น้ำนมถั่วเหลือง เต้าหู้ เต้าเจี้ยว ซีอิ้ว เป็นต้น ส่วนกากถั่วเหลืองใช้เลี้ยงสัตว์ ประกอบกับสามารถใช้เป็นพืชบำรุงดินได้ดี ในประเทศไทยมีความต้องการใช้ถั่วเหลืองสูงกว่าผลผลิตที่มีจึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) สอดคล้องกับการลดลงของพื้นที่เพาะปลูก เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนเมล็ดพันธุ์ที่ดี ราคาพืชแข่งขันที่ดีกว่า และปัญหาการขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยว (สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร, 2556) และอีกสาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากในบางพื้นที่เพาะปลูกมีสภาพเป็นดินเค็ม ความเค็มจะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช (Takemura et al., 2000) โดยมีผลทำให้อัตราการเพิ่มขนาดของใบพืชลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของเกลือเพิ่มสูงขึ้น (Chartzoulakis & Klapaki, 2000) และมีผลต่อน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดของพืชทั้งใบ ลำต้น และรากลดลงอีกด้วย (Henandez, Jimenez, Mullineaux, & Sevilla., 2000) การเกิดดินเค็มมีสาเหตุจากหลายประการทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น แรงดันของน้ำใต้ดินที่เค็ม หรือสาเหตุที่มนุษย์เป็นผู้กระทำ เช่น การสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำจืดเหนือพื้นที่ที่เป็นแหล่งเกลือ และการให้น้ำชลประทานมากหรือน้อยเกินไปจนทำให้สูญเสียสมดุลของปริมาณเกลือในดิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) ถั่วเหลืองซึ่งเป็นพืชที่สามารถทนเค็มได้ในช่วงแคบและมีการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมค่อนข้างจำกัด เมื่อสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น ฤดูกาล การย้ายที่ปลูก การให้น้ำ ก็จะทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตเปลี่ยนแปลงไปด้วย

พันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกในอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้แก่ พันธุ์ สจ.1 (คำว่า สจ.ย่อมาจากสถานีกสิกรรมแม่โจ้) สจ.2 สจ.4 สจ.5 นครสวรรค์ 1 สุโขทัย 1 เชียงใหม่ 2 ราชมงคล 1 เชียงใหม่ 4 เชียงใหม่ 3 สุโขทัย 3 เชียงใหม่ 2 มข. 35 (คำว่า มข. ย่อมาจากขอนแก่น) และจักรพันธุ์ 1 (สมจินตนา ทุนแสน และคณะ, 2548) ในครั้งนี้ศึกษาถั่วเหลืองสองพันธุ์ คือ สจ.5 และมข. 35 ซึ่งจัดอยู่ในถั่วเหลืองกลุ่มอายุปานกลาง อายุเก็บเกี่ยว 86-112 วัน ส่วนใหญ่ลำต้นไม่ทอดยอด ความสูง 60-80 เซนติเมตร ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีดอกสีม่วง ผลผลิต 275 กิโลกรัม/ไร่ น้ำหนัก 100 เมล็ด เท่ากับ 13-15 กรัม มีน้ำมัน 19 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 42 เปอร์เซ็นต์ ทนทาน

ต่อโรคราสนิม เหมาะสำหรับปลูกในภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนพันธุ์ มข.35 เป็นพันธุ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ดอกสีขาว ขั้วเมล็ดสีดำ ผลผลิต 305 กก./ไร่ น้ำหนัก 100 เมล็ดเท่ากับ 16-17 กรัม มีน้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 47 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ผลผลิตสูงในฤดูแล้ง ต้านทานต่อโรคใบจุดนูน และราน้ำค้าง เหมาะสำหรับปลูกในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2559) ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์สามารถปลูกได้ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นบริเวณที่มีลักษณะการเกิดและการแพร่กระจายของดินเค็ม (วันชัย วงษา, 2559)

โดยปกติแล้วในสภาพดินเค็ม เกลือที่พบส่วนใหญ่ได้แก่ เกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นพิษต่อพืชและดินที่มีเกลือชนิดนี้จัดว่าเป็นดินที่มีปัญหาต่อการปลูกพืช เพราะพืชที่ปลูกในดินเค็มจะมีการเจริญเติบโตโดยรวมลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของเกลือที่มีมากในดินมีผลทำให้รากพืชดูดน้ำได้น้อยลงจึงประสบกับภาวะขาดน้ำ ทำให้การแผ่ขยายของแผ่นใบรวมถึงการยืดขยายของลำต้นลดลง ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชลดลง และอาจทำให้พืชเกิดความเป็นพิษเนื่องมาจากมีการสะสมเกลือในปริมาณมากเกินไปซึ่งพืชจะแสดงอาการผิดปกติ เช่น ลำต้นแคระแกร็น ใบเหี่ยว ใบเหลืองซีด ใบแห้งตายเป็นจุด ๆ หรือขอบใบไหม้ เป็นต้น (Jacoby, 2008) ทำให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง สาเหตุเนื่องมาจากรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้รับอันตรายจากเกลือ (Greenway & Munns, 1980) พืชที่เจริญอยู่ในภาวะเค็ม จึงต้องมีการปรับตัวเพื่อให้อยู่รอดได้ วิธีการปรับตัวอย่างหนึ่งของพืช คือ การสะสมกรดอะมิโนไว้ในเซลล์ของพืช กรดอะมิโนที่พบว่าพืชมีการสะสมในปริมาณมากเมื่ออยู่ในภาวะเค็มคือ โพรลีน ซึ่งทำหน้าที่ช่วยในการปรับแรงดันออสโมติคภายในเซลล์พืชให้ลดต่ำลงเพื่อพืชจะได้ดูดน้ำมาใช้ได้มากขึ้น (Smirnoff, 1993) นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์คะตะเลส (catalase: CAT) เอนไซม์แอสคอร์เบต เพอร์ออกซิเดส (ascorbate peroxidase: APX) (กัมปนาท สุขนิตย์, 2552) และเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (superoxide dismutase: SOD) (Foyer, Descourvieres, & Kurnert, 1994)

ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตและการตอบสนองสรีรวิทยาของถั่วเหลืองต่อภาวะเค็ม โดยการจำลองสภาวะเค็มซึ่งมีการปลูกพืชในระบบไฮโดรโพนิกส์และให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ซึ่งในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับพันธุ์ถั่วเหลืองไทยที่มีความทนเค็มยังมีน้อย โดยในการทดลองครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาในถั่วเหลืองพันธุ์ไทยที่ได้รับความเครียดจากภาวะเค็ม ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในงานด้านการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองทนเค็มได้อีกแนวทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโพรลีน และกิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX, SOD ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และพันธุ์ มข. 35

สมมติฐานของการวิจัย

โซเดียมคลอไรด์มีผลลดการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุ แต่เพิ่มปริมาณโพรลีนและกิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX, SOD ในถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) พันธุ์ สจ. 5 และพันธุ์ มข. 35

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ทราบผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโพรลีนและกิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX, SOD ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต โดยเก็บข้อมูลความสูงลำต้น พื้นที่ใบรวมต่อต้น น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก อัตราส่วนรากต่อต้น น้ำหนักแห้งใบจำเพาะ และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์

2. ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช เช่น ปริมาณรงควัตถุ โดยเก็บข้อมูลปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll a (Chl a) chlorophyll b (Chl b) total chlorophyll (total chl)) และแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ในใบ ปริมาณโพรลีน และกิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX , SOD ในใบ

3. เปรียบเทียบผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโพรลีน และกิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX, SOD ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์

สถานที่ทำการวิจัย

บริเวณด้านข้างเรือนเพาะชำของภาควิชาชีววิทยาและห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาของพืช ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

ระยะเวลาของการวิจัย

ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2556 – เดือนมีนาคม 2559

บทที่ 2
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วเหลือง

อนุกรมวิธานของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองจัดอยู่ใน family Leguminosae, sub family Papalionoideae และ tribe phaseoleae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max* (L.) Merrill (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2559)

ราก

ระบบรากแก้ว (tap root system) เมื่อเมล็ดเริ่มงอกรากแรกเกิด (radicle) ที่อยู่ภายในเมล็ดจะเจริญโผล่ออกจากเปลือกหุ้มเมล็ดผ่านทางช่องไมโครไพล์ (micropyle) และขยายตัวออกอย่างรวดเร็ว เรียกรากชนิดนี้ว่า รากแก้ว (primary root) มีปม (nodule) ที่เกิดที่รากถั่วเหลือง โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่โคนรากแก้วและรากแขนง ในบริเวณใกล้เคียงซึ่งเป็นที่อยู่ของเชื้อแบคทีเรียไรโซเบียม (*Rhizobium japonicum*) แบคทีเรียพวกนี้เข้าไปอาศัยในรากโดยผ่านทางรากขนอ่อน ปมที่เกิดขึ้นนี้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ นำมาสร้างเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลือง แบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในปมรากจะได้รับอาหารพวกคาร์โบไฮเดรทจากรากถั่วเหลือง

ลำต้น

ลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเป็นพุ่มขึ้นตรง และเลื้อยพันค้าง มีการแตกกิ่ง 0-24 กิ่ง ความสูงในระยะเก็บเกี่ยว 5-150 เซนติเมตร จำนวนข้อต่อต้น 3-26 ข้อ ซึ่งลักษณะการแตกกิ่งความสูงและจำนวนข้อขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน สภาพแวดล้อมในแต่ละฤดูปลูก โดยแบ่งการเจริญเติบโตถั่วเหลืองออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. แบบไม่ทอดยอด (determinate) การเจริญเติบโตทางลำต้นของถั่วเหลืองจะหยุดลงเมื่อถึงระยะออกดอก มีการออกดอกพร้อมกันทั้งต้น และเกิดช่อดอกหรือช่อฝักที่ตายอด ส่งผลให้ฝักแก่พร้อมกันทั้งต้นในระยะเก็บเกี่ยว

2. แบบทอดยอด (indeterminate) ถั่วเหลืองจะมีการเจริญเติบโตทางลำต้นพร้อมกับการเจริญเติบโตในระยะการเจริญพันธุ์ มีจำนวนข้อ และใบเพิ่มขึ้นหลังจากมีการออกดอกแรกแล้วความยาวของข้อจะใกล้เคียงกันในทุกส่วนของลำต้น ส่วนขนาดใบด้านบนจะเล็กกว่าด้านล่างของลำต้น ฝักที่อยู่ด้านล่างของลำต้นจะแก่เร็วกว่าฝักที่อยู่ด้านบนของลำต้น

3. แบบกึ่งทอดยอด (semi-determinate) ถั่วเหลืองยังคงมีการเจริญเติบโตทางลำต้นพร้อมกับการเติบโตในระยะเจริญพันธุ์ แต่ช่วงเวลาในการออกดอกแรก และดอกสุดท้ายจะ

สั้นกว่าถั่วเหลืองที่มีการเจริญเติบโตแบบทอดยอด การสุกแก่ของฝักที่อยู่ส่วนล่างและส่วนบนจะสุกแก่ในเวลาใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 2-1 ลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นถั่วเหลือง (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

ใบ

ใบของถั่วเหลืองมี 4 ชนิด คือ ใบเลี้ยง (cotyledon) ใบจริงคู่แรก (unifoliate leaves) ใบประกอบมี 3 ใบย่อย (compound leaves แบบ trifoliate leaves) และใบโพรฟิลล์ (prophyll)

ใบเลี้ยงเกิดขึ้นที่ข้อแรกของลำต้น จะร่วงหล่นเมื่อต้นกล้าถั่วเหลืองอายุได้ประมาณ 8-10 วัน ใบข้อถัดไปจะเป็นใบจริงคู่แรก มี 2 ใบ อยู่ตรงกันข้ามกัน ใบจริงคู่แรกนี้ปรากฏในเมล็ดแก่เรียบร้อยแล้ว เมื่อเมล็ดงอกใบนี้ก็แผ่ขยายออก ทั้งใบเลี้ยงและใบจริงคู่แรกจะเป็นใบเดี่ยว (simple leaves) เมื่อถั่วเหลืองเจริญต่อไปข้อถัด ๆ ไปจะเป็นใบประกอบ มีใบย่อย 3 ใบ แต่ละใบมีความยาวตั้งแต่ 4-20 เซนติเมตร และกว้าง 3-10 เซนติเมตร แต่ละใบย่อย (leaflet) มีรูปร่างคล้ายคลึงกัน แต่ใบประกอบของถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์อาจมีรูปร่างแตกต่างกัน

ใบประกอบของถั่วเหลืองประกอบด้วย ก้านใบรวม (petiole) มีความยาวตั้งแต่ 5-10 เซนติเมตร ที่โคนก้านใบรวม จะมีหูใบ (stipule) 2 อัน จากใบย่อย 3 ใบ ใบย่อยปลาย (terminal leaflet) จะมีก้านใบย่อย (petiolule) ยาว และมีหูใบย่อย (stipel) 2 อัน ส่วนใบย่อยด้านข้าง (lateral leaflet) ไม่มีก้านใบย่อย แต่มีหูใบย่อยข้างละ 1 อัน บริเวณโคนก้านใบรวม และก้านใบย่อยแต่ละใบ

มีข้อที่เรียกว่า พัลไวนัส (pulvinus) มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ขึ้นลงของใบในเวลากลางวันและกลางคืน

ใบอีกชนิดหนึ่งที่เกิดที่ฐานของกิ่งแขนงเรียกว่า ใบโพรฟิลล์ เป็นใบขนาดเล็ก และเกิดเป็นคู่ๆ ตรงโคนกิ่ง

เมื่อถั่วเหลืองแก่ ใบจะเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง และแห้งร่วงจากต้น ใบจะแห้งจากโคนต้นไปหายอด แต่ในกรณีที่มีน้ำในดินมากใบจะยังคงเขียว และไม่ร่วงจากต้นตามกำหนดเวลาแม้ว่าฝักจะแก่แล้วก็ตาม

ดอก

ถั่วเหลืองมีดอกเป็นแบบรวมอยู่บนช่อ (inflorescence) มีการเรียงของดอกแบบเรซีม (raceme) ช่อดอกหนึ่ง ๆ มีจำนวนดอกตั้งแต่ 2-35 ดอก ดอกจะแตกออกจากตาตรงส่วนต่าง ๆ ของดอกถั่วเหลืองมีดังนี้

1. ก้านช่อดอก (peduncle) ก้านช่อดอกมีลักษณะสั้น ๆ มีขนปกคลุม แต่ละดอกย่อยบนก้านช่อดอก จะมีก้านดอกย่อย (pedicle) มีขนปกคลุมเช่นกัน

2. กลีบเลี้ยง (bracteole) เป็นส่วนของดอกที่อยู่นอกสุด มีจำนวน 2 กลีบ กลีบเลี้ยงมีลักษณะสีเขียว มีขนปกคลุม และอยู่แนบชิดกับส่วนนอกสุดของกลีบรอง

3. กลีบรอง (calyx) กลีบรองอยู่ชั้นถัดเข้าไปด้านล่างมีลักษณะเป็นหลอด เรียกว่า tubular calyx ด้านบนมีลักษณะเป็นแฉก (lobe) มี 5 แฉกเห็นได้ชัดเจน กลีบรองมีสีเขียว มีขนปกคลุม ทำหน้าที่ห่อหุ้มดอกขณะที่ยังไม่บาน เมื่อดอกได้รับการผสมพันธุ์กลายเป็นฝักแล้ว กลีบรองจะทำหน้าที่เป็นขั้วฐานรองรับฝักถั่ว

4. กลีบดอก (corolla หรือ petal) กลีบดอกของถั่วเหลืองมี 5 กลีบ ไม่มีขน กลีบดอกนอกสุดเป็นกลีบที่ใหญ่ที่สุด มีกลีบเดียว เรียกว่า standard หรือ banner petal มีลักษณะกลม ป้อม ขอบทั้ง 2 ข้างลู่เข้าใน ถัดเข้าไปเป็น wing petals มีจำนวน 2 กลีบประกบกันอยู่ มีลักษณะปลายป้อม ฐานเรียว มีขนาดเล็กกว่า standard petal กลีบดอกชั้นในสุดเรียกว่า keel petals มีจำนวน 2 กลีบประกบกันอยู่เช่นกัน มีขนาดเล็กที่สุด ทำหน้าที่ห่อหุ้มรังไข่ เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย กลีบดอกนี้อาจจะมีสีม่วง หรือสีขาวก็ได้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ทำหน้าที่ล่อความสนใจของแมลง

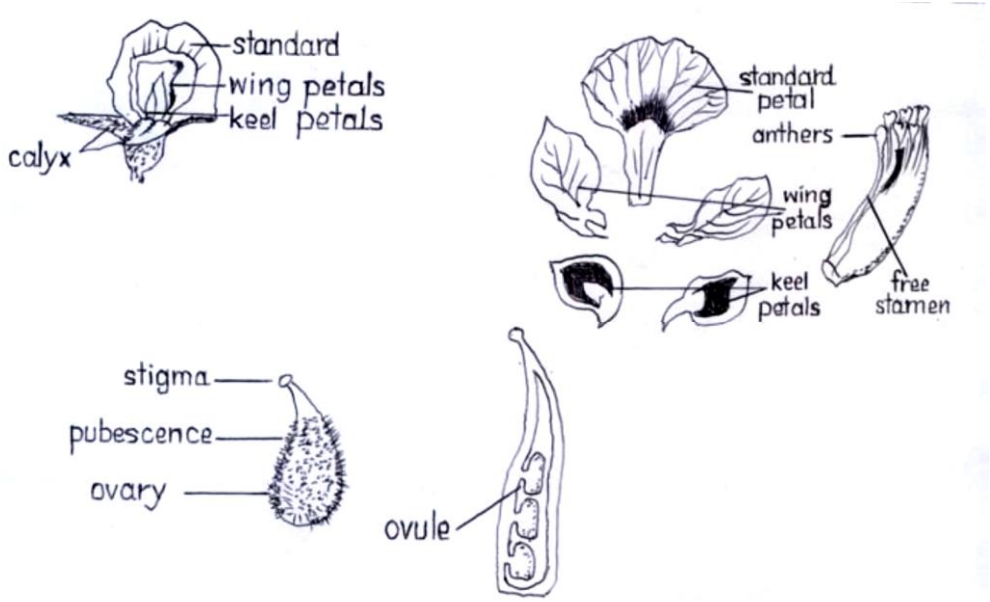
5. ก้านชูเกสรตัวผู้ (filament) ก้านชูเกสรตัวผู้มีจำนวน 10 อัน แต่มีจำนวน 9 อันที่รวมกันเป็นแผ่นห่อรังไข่ตรงปลายจะแยกออกเป็นแฉก ๆ

6. อับเกสรตัวผู้ (anther) เป็นอับเกสรอยู่บนปลายของก้านชูเกสรตัวผู้มีด้วยกัน 10 อับเกสร เมื่อถึงอายุผสมพันธุ์ อับเกสรตัวผู้จะแตกออกเป็น 2 แฉก (lobes) ข้างในมีละอองเกสร

(pollen grain) สีครีม เกสรตัวผู้เมื่อตกลงไปบนยอดเกสรตัวเมีย จะงอกเป็นหลอดแทงลงไปตามก้านชูเกสรตัวเมีย (style) เรียกว่า หลอดเรณู (pollen tube)

7. ก้านชูเกสรตัวเมีย (style) มีลักษณะเรียวจากส่วนล่างขึ้นไปส่วนยอดยอดของก้านชูเกสรตัวเมีย (stigma) จะโค้งเข้าหาก้านชูเกสรตัวผู้อันที่เป็นอิสระ ที่ยอดเกสรตัวเมียจะมียางเหนียว ๆ เพื่อรอรับละอองเกสรที่จะมาตก

8. รังไข่ (ovary) รังไข่เป็นกระเปาะอยู่ที่ส่วนฐานของดอก ติดต่อกับก้านชูเกสรตัวเมีย ผนังภายนอกของรังไข่มีขนเกิดขึ้นทั่วไป ภายในรังไข่มีไข่อ่อน (ovule) จำนวน 1-4 อัน เมื่อดอกได้รับการผสมพันธุ์แล้วหลอดเรณูจะแทงไปตามก้านชูเกสรตัวเมียไปผสมกับไข่อ่อนซึ่งอยู่ข้างในรังไข่ และกลายเป็นเมล็ดในที่สุด ส่วนรังไข่จะกลายเป็นฝักของถั่วเหลือง



ภาพที่ 2- 2 ส่วนประกอบของดอกถั่วเหลือง (กรมวิชาการเกษตร, 2552)

ฝัก

หลังจากถั่วเหลืองผสมเกสรแล้วกลีบดอกจะร่วงหล่น ผนังรังไข่จะขยายตัวออกมาเป็นฝัก ซึ่งมีฝา 2 ชิ้นประกบกันอยู่ ส่วนเมล็ดเกิดจากไข่อ่อนที่ผสมแล้ว เมล็ดที่เกิดอยู่โคนฝักจะเจริญเติบโตก่อนเมล็ดที่อยู่ถัดขึ้นมาในฝักเดียวกัน และฝักจะแก่จากส่วนล่างของลำต้นขึ้นข้างบน ฝักเกิดเป็นกลุ่ม มีลักษณะตรงหรือโค้งงอเล็กน้อย มีความยาวฝักตั้งแต่ 2-7 เซนติเมตร ในฝักหนึ่งอาจมีเมล็ดถึง 5 เมล็ด แต่โดยทั่วไปจะมีจำนวน 2-3 เมล็ด เมื่อเมล็ดภายในฝักเติบโตเต็มที่เปลือก

นอกของฝักเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ฝักอาจจะแตก (shattering) ตามรอยแตก (suture) ทำให้เมล็ดร่วง พันธุ์ปลูกของถั่วเหลืองนิยมคัดเลือกพันธุ์ที่ฝักไม่แตก (non-shattering) เมื่อแก่อายุเก็บเกี่ยวของถั่วเหลืองโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 100-120 วัน

เมล็ด

เมล็ดถั่วเหลืองมีรูปร่างค่อนข้างกลมรี จะมีลักษณะเว้าทางด้านของเมล็ดที่มีไฮลัม (hilum) ขนาดของเมล็ดแตกต่างกันตามพันธุ์ ฤดูกาลปลูก ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และปริมาณน้ำที่ได้รับ โดยทั่วไปมีขนาดเมล็ด 100 เมล็ด 5-20 กรัม ส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเหลือง

1. เปลือกนอกเมล็ด (seed coat หรือ testa) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ สีของเปลือกนอกมีหลายสีด้วยกัน เช่น สีเหลืองอ่อน สีเหลืองเข้ม สีเหลืองแกมเขียว สีเขียว สีน้ำตาลอ่อน และสีดำ ทางด้านเว้าของเมล็ดจะพบไฮลัมหรือรอยแผลเป็น (seed scar) ซึ่งเป็นจุดที่เมล็ดติดกับฝัก มีสีแตกต่างกันตามพันธุ์ เช่น สีดำ สีน้ำตาล และสีเหลืองเข้ม ทางปลายด้านหนึ่งของไฮลัมมีรูเล็ก ๆ เรียกว่า ไมโครไพล์ ซึ่งเป็นทางออกของรากแรกเกิดเวลางอก ถัดขึ้นไปจะเป็นรอยนูนของแกนกลางของต้นอ่อนในเมล็ด (hypocotyl radicle axis) ทางปลายอีกด้านหนึ่งของไฮลัมจะพบร่องเล็ก ๆ เรียกว่า ขั้วเมล็ด (raphe) ซึ่งขยายยาวไปถึงฐานออวุล (chalaza) ซึ่งเป็นจุดที่ผนังออวุล (integument) ติดกับออวุล

2. ต้นอ่อนขณะอยู่ในเมล็ด (embryo) เป็นเนื้อเยื่อทั้งหมดที่อยู่ในเมล็ด ประกอบด้วย

2.1 ใบเลี้ยง (cotyledon) จำนวน 2 ใบ ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเปลือกนอกเข้าไป มีขนาดใหญ่ ทำหน้าที่ในการสะสมอาหาร

2.2 ส่วนยอดของต้นอ่อนขณะอยู่ในเมล็ด (plumule) ต่อไปจะเจริญเป็นใบจริงคู่แรก 2 ใบ (primary leaves) และเป็นจุดเจริญที่ทำให้ถั่วเหลืองเจริญเติบโตต่อไป

2.3 แกนกลางของต้นอ่อนในเมล็ด (hypocotyl radicle axis) มีอยู่ 1 อัน เป็นเนื้อเยื่อเจริญ ซึ่งเมื่อเมล็ดงอกจะเจริญเป็นราก และส่วนของลำต้นที่อยู่ใต้ใบเลี้ยงลงมา (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2559)

ลักษณะประจำพันธุ์ของถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลอง

ถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลองใช้พันธุ์ถั่วเหลือง 2 พันธุ์คือ พันธุ์ สจ.5 และพันธุ์ มข.35 (ขอรับรองพันธุ์จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น) (กรมวิชาการเกษตร, 2552) ซึ่งได้พันธุ์มาจากกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ คือ

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5

พันธุ์ สจ.5 เป็นพันธุ์ที่ได้รับจากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ Tainung 4 กับพันธุ์ สจ.2 ในปี 2513 ณ สถานีทดลองพืชไร่แม่โจ้ (ปัจจุบัน คือ ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่) ทำการคัดเลือกแบบสืบประวัติ (pedigree selection) และประเมินผลผลิตในหลายท้องที่ มีการเจริญเติบโตปรับตัวได้ดี ผลผลิตสูงสม่ำเสมอจึงได้รับการเสนอรับรองพันธุ์ โดยกรมวิชาการเกษตร ในปี พ.ศ.2523

ภาพที่ 2- 3 ลักษณะของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2557)

ลำต้นมีลักษณะไม่ทอดยอด สูง 60-75 เซนติเมตร แตกกิ่ง 2-5 กิ่งโคนต้นสีม่วงใบหนาสีเขียวเข้มลักษณะกลมรี ขนบนใบสีน้ำตาลอ่อนดอกสีม่วง ออกดอกเมื่ออายุประมาณ 35 วัน เก็บเกี่ยวอายุ 90-100 วันติดฝักดก 40-60 ฝักต่อต้น ฝักติดเป็นกระจุกที่ข้อของต้นและกิ่ง ฝักแห้งมีการแตกน้อย ฝักค่อนข้างเหนียว เมล็ดกลมผิวสีเหลืองมัน ตาเมล็ดค่อนข้างเล็กสีน้ำตาลอ่อน น้ำหนัก 100 เมล็ดหนัก 14.5-15.5 กรัม (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2557)

ลักษณะเด่น

1. ผลผลิตสูง 320 กก./ไร่
2. ทนทานต่อโรคใบด่าง โรคราสนิม และโรคแอนแทรคโนส
3. ทนต่อสภาพดินที่มีความชื้นสูง หรือดินแฉะในช่วงการปลูกได้มากกว่าพันธุ์เชียงใหม่ 60
4. เมล็ดมีความงอกความแข็งแรงดี ลำต้นแข็งแรง

ลักษณะประจำพันธุ์

1. ตาหรือขั้วเมล็ดมีลักษณะเช่นเดียวกับพันธุ์ สจ. 4 คือมีสีน้ำตาลอ่อน
2. ลำต้นไม่ทอดยอด มีดอกสีม่วง ฝักแก่มีสีน้ำตาลเข้ม
3. อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 100 วัน

พื้นที่แนะนำ

เป็นพันธุ์ที่ใช้แนะนำปลูกได้ทั่วไป เช่นเดียวกับพันธุ์ สจ.4 เนื่องจากเป็นการคัดพันธุ์แบบปรับตัวได้กว้าง จึงใช้ปลูกได้ทั่วไปในแหล่งปลูกถั่วเหลืองของประเทศไทย

ข้อควรระวัง

หลีกเลี่ยงการใช้พันธุ์นี้ปลูกในเขตที่มีการระบาดของโรคใบจุดนูน (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2557)

ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35

เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ Williams กับพันธุ์ สจ.2 ในปี พ.ศ.2521 ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ทำการคัดเลือกแบบสืบประวัติ เป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคใบจุดนูน ลำต้นแข็งแรงต้านทานต่อการหักล้ม ลำต้นสูง สามารถคลุมวัชพืชในแปลงถั่วเหลืองได้ดีมาก เมล็ดมีขนาดใหญ่ เปลือกหุ้มเมล็ดหนาทำให้ไม่เสื่อมความงอกได้ง่าย ทนทานแล้งและเจริญได้ดีในดินกรดและดินด่าง ตรึงไนโตรเจนได้ดีกว่าพันธุ์ สจ.4 สามารถปลูกได้ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ สจ.5 ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ กรมวิชาการเกษตรรับรองพันธุ์เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2537

ลักษณะเด่น

ผลผลิตเฉลี่ย 306 กก.ต่อไร่ ฤดูแล้งให้ผลผลิตสูงกว่าปลายฤดูฝนและต้นฤดูฝน ขนาดเมล็ดโตเฉลี่ย 16.1 กรัมต่อ 100 เมล็ด มีน้ำมัน 20.1 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 46.6 เปอร์เซ็นต์ ต้านทานต่อโรคแบคทีเรียลพัสตูล

ลักษณะประจำพันธุ์

ลักษณะโคนต้นสีเขียว ดอกสีขาว ลักษณะทรงต้นกึ่งทอดยอด ฝักแก่มีสีน้ำตาลเข้ม เมล็ดสีเหลืองกลม ตาสีดำ ลักษณะใบกว้างและหนา ออกดอกประมาณ 37 วัน อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 104 วัน

พื้นที่แนะนำ

สามารถปลูกได้ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง

ข้อควรระวัง

ไม่แนะนำให้ปลูกฤดูฝนในภาคเหนือตอนบน เพราะอ่อนแอต่อโรคราสนิมและโรคราน้ำค้าง (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2557)

ภาพที่ 2- 4 ลักษณะของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2557)

ดินเค็ม (saline soil)

ดินเค็ม (saline soil) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในสารละลายดินมากเกินไป มีกระทบต่อการเจริญเติบโต ปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ซึ่งอาจรุนแรงถึงทาให้พืชตายได้ (บุญแสน เตียวนุกูลธรรม, 2548) โดยการรบกวนการดูดซึมของน้ำเข้าสู่รากพืช (Franzen, 2007) ทำให้พืชเกิดอาการขาดน้ำ และมีการสะสมไอออนที่เป็นพิษในพืชมากเกินไป

จนก่อให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช (Munns & Tester, 2008) นอกจากนี้ความเค็มในระดับสูงสามารถจำกัดการเจริญเติบโตของราก ก่อให้เกิดอาการขอบใบไหม้ ยับยั้งการออกดอกและการงอกของเมล็ด (Whiting, Card, & Wilson, 2010) เกลือที่พบโดยทั่วไปในสารละลานดินเค็ม คือ เกลือที่มีองค์ประกอบของแคตไอออน (cation) ต่าง ๆ ได้แก่ โซเดียมไอออน โพแทสเซียมไอออนแมกนีเซียมไอออน และแคลเซียมไอออน (El-Swaify, 2000) และแอนไอออน (anion) ได้แก่ คลอไรด์ไอออน ซัลเฟตไอออน คาร์บอเนตไอออน ที่อยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต (Yadav et al., 2011) สารประกอบเกลือที่พบได้ทั่วไปในดิน ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมซัลเฟต เป็นต้น โดยโซเดียมคลอไรด์จะพบมากในดินเค็มแต่ละพื้นที่ (Henschke, 2007)

ปัจจุบันประเทศไทยมีการแพร่กระจายของดินเค็มเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณภูมิอากาศแบบแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง ตามชายฝั่งทะเลดินมักจะมีการสะสมเกลือมากกว่าดินที่อยู่ห่างทะเล ส่วนดินบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีดินเค็มสะสมอยู่บริเวณกว้าง เนื่องจากอดีตบริเวณนั้นสันนิฐานว่าเคยเป็นทะเลมาก่อนเมื่อเวลาผ่านไปหลายพันล้านปีเกิดการทับถมจนกลายเป็นพื้นดินขึ้นมาทำให้มีเกลือสะสมในดินเป็นจำนวนมาก จนเป็นอุปสรรคต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตร ดินเกลือ หมายถึงดินที่มีเกลือสะสมอยู่เป็นจำนวนมากสามารถละลายน้ำได้ดี จนทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี ดินเกลือแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้ (บุญแสน เตียวนุกูลธรรม, 2548)

1. ดินเค็ม (saline soil) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลืออยู่สูง และละลายน้ำได้ง่าย หรือมีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณสูง จนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช ถ้าพิจารณาในด้านการนำไฟฟ้าของสารละลายดินเค็มที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (soil saturation extract) มีค่ามากกว่า 4 m.mho/cm และมีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio: SAR) ต่ำกว่า 15 และมีค่าพีเอช (pH) ของดินต่ำกว่า 8.5

2. ดินโซดิก (sodic soil) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลืออยู่สูง และละลายน้ำได้ง่าย หรือมีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณสูงมากจนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช ถ้าพิจารณาในด้านการนำไฟฟ้าของสารละลายดินเค็มที่อิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าต่ำกว่า 4 m.mho/cm และมีค่า SAR สูงกว่า 15 และมีค่า pH ของดินสูงกว่า 8.5

3. ดินเค็มโซดิก (saline sodic soil) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลืออยู่สูงมาก และละลายน้ำได้ง่าย หรือมีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณสูงมากจนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช ถ้าพิจารณาในด้านการนำไฟฟ้า ของสารละลายดินเค็มที่อิ่มตัวด้วยน้ำมีค่ามากกว่า 4 m.mho/cm และมีค่า SAR สูงกว่า 15 และมีค่า pH ของดินต่ำกว่า 8.5 พืชโดยทั่วไปเจริญเติบโตได้น้อยลงเมื่อความเค็มของดินเพิ่มขึ้น และพืชทนเค็มเท่านั้นที่เจริญในดินเค็มได้ดี เนื่องจากดินมีการสะสมเกลือ

มากหรือน้อยแตกต่างกัน จึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกันด้วย การจำแนกระดับความเค็มของดิน

สาเหตุการแพร่กระจายดินเค็ม

เกลือเกิดขึ้นเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ดี น้ำจึงเป็นตัวการหรือพาหนะในการพาเกลือไปสะสมในที่ต่าง ๆ ที่น้ำไหลผ่าน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการแพร่กระจายดินเค็ม หินหรือแร่ที่อมเกลืออยู่เมื่อสลายตัวหรือผุพังไป โดยกระบวนการทางเคมีและทางกายภาพก็จะปลดปล่อยเกลือออกมาเกลือเหล่านี้อาจสะสมอยู่กับที่หรือเคลื่อนตัวไปกับน้ำแล้วซึมสู่ชั้นล่างหรือซึมกลับมาบนผิวดินได้โดยการระเหยของน้ำไปโดยพลังแสงแดดหรือถูกพืชนำไปใช้น้ำใต้ดินเค็มที่อยู่ระดับใกล้ผิวดินเมื่อน้ำนี้ซึมขึ้นบนดิน จะนำเกลือขึ้นมาด้วยภายหลังจากที่น้ำระเหยแห้งไปแล้วก็จะทำให้มีเกลือเหลือสะสมอยู่บนผิวดินและที่ลุ่มที่เป็นแหล่งรวมของน้ำ แหล่งน้ำนี้ส่วนมากจะมีเกลือละลายอยู่เพียงเล็กน้อยก็ได้ นาน ๆ เข้าก็เกิดการสะสมของเกลือโดยการระเหยของน้ำพื้นที่แห่งนั้นอาจเป็นหนองน้ำหรือทะเลสาบเก่าก็ได้

สาเหตุจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำนาเกลือ โดยการสูบน้ำเค็มขึ้นมาตากหรือวิธีขูดคราบเกลือจากผิวดินมาต้ม เกลือที่อยู่ในน้ำทิ้งจะมีปริมาณมากพอที่จะทำให้พื้นที่บริเวณใกล้เคียงกลายเป็นพื้นที่ดินเค็มหรือแหล่งน้ำเค็มได้ การสร้างอ่างเก็บน้ำบนดินเค็ม หรือมีน้ำใต้ดินเค็ม จะทำให้อ่างเก็บน้ำนั้นและพื้นที่บริเวณรอบ ๆ อ่างกลายเป็นน้ำเค็มและดินเค็ม การตัดไม้ทำลายป่าหรือการปล่อยให้พื้นที่บริเวณที่มีศักยภาพในการแพร่กระจายเกลือให้ว่างเปล่าทำให้เกิดดินเค็มแพร่ไปยังบริเวณเชิงเนิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นนาข้าว (วันชัย วงษา, 2559)

การกระจายของดินเค็มในประเทศไทย

ดินเค็มในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ดินเค็มบก และดินเค็มชายทะเล ตัวอย่างดินเค็มบก ได้แก่ ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและดินเค็มภาคกลาง ดินเค็มชายทะเลได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลโดยตรง ดินเค็มแต่ละประเภทมีสาเหตุการเกิดชนิดของเกลือ การแพร่กระจายขยายอาณาเขต และวิธีการจัดการที่แตกต่างกัน

1. ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เกิดเนื่องจากเกลือรูปโซเดียมคลอไรด์โดยมีแหล่งจากหินเกลือใต้ดินและหรือน้ำใต้ดินเค็มและการสลายตัวของหินทราย หินดินดาน ดินเค็มในภูมิภาคนี้มีประมาณ 17.8 ล้านไร่ กระจายอยู่ในพื้นที่จังหวัด นครราชสีมา ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม ชัยภูมิ บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีษะเกษ ยโสธร อุบลราชธานี สกลนคร หนองคาย อุดรธานี และนครพนม ลักษณะของดินเค็มที่สังเกตได้คือ จะเห็นคราบเกลือเกิดขึ้นตามผิวดิน และมักเป็นที่ว่างเปล่าไม่มีการทำเกษตรกรรม ส่วนบริเวณที่ไม่ปรากฏคราบเกลือจะเห็นวัชพืชทนเค็ม เช่น

หนามปี และวัชพืชที่ชอบเกลือ เช่น หนามแดง ขึ้นปัญหาโดยทั่วไปของเกษตรกรในเขตดินเค็ม คือ ปลูกพืชไม่ค่อยได้ ผลผลิตต่ำ พืชบางชนิดที่ขึ้นได้ก็จะมีลักษณะบางอย่างเปลี่ยนแปลงไป เช่น ใบหนาขึ้น มีสารพวกไขเคลือบหนาขึ้น พืชส่วนมากที่ต้นแคระแกร็น ไม่แตกกอ ใบแสดงอาการซีดขาวแล้วไหม้ตายในที่สุด

2. ดินเค็มภาคกลาง

เกิดจากสาเหตุธรรมชาติ เช่น ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงของน้ำในแม่น้ำ ซึ่งน้ำทะเลหนุนทำให้เกิดน้ำกร่อย การทับถมของตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำเค็มเป็นเวลานาน หรือเกิดจากน้ำใต้ดินที่ไหลผ่านแหล่งเกลือแล้วไปโผล่ในที่ดินไม่เค็มที่อยู่ต่ำกว่าทำให้ดินบริเวณที่ต่ำกว่ากลายเป็นดินเค็ม ส่วนสาเหตุที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การสูบน้ำเค็มมาใช้ การขุดดินเพื่อยกร่องทำสวน การสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำเหนือพื้นที่แหล่งเกลือ และการใช้ปุ๋ยเคมีมากเกินไป ล้วนเป็นสาเหตุให้ดินเค็มแพร่กระจายอยู่ในบริเวณจังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม อ่างทอง สิงห์บุรี กาญจนบุรี ราชบุรี อยุธยา ลพบุรี อุทัยธานี ชัยนาท สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี บางจังหวัดอาจมีปัญหาดินเค็มชายทะเลร่วมด้วย

3. ดินเค็มชายทะเล

ดินเค็มชายทะเลกระจายอยู่ตามลุ่มน้ำและสันดอนปากแม่น้ำตลอดชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่รวบรวมโดยกองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน ประมาณ 2 ล้านไร่ สาเหตุของการเกิดดินเค็มประเภทนี้เนื่องจากการได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลโดยตรง ดินที่น้ำทะเลท่วมถึงและเป็นตะกอนของน้ำทะเลหรือน้ำกร่อยล้วนมีโอกาสเป็นดินเค็มทั้งสิ้น (บุญแสน เตียวนุกูลธรรม, 2559)

ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของพืช

ความเค็มจะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช (Takemura et al., 2000) โดยมีผลทำให้อัตราการเพิ่มขนาดของใบพืชลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของเกลือเพิ่มสูงขึ้น (Chartzoulakis & Klapaki, 2000) และมีผลต่อน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดของพืชทั้งที่ใบ ลำต้น และรากลดลงอีกด้วย (Hernandez et al., 2000)

ความเค็มทำ ให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของพืชลดลง เนื่องจาก

1. ความเครียดออสโมติก (osmotic stress)
2. ความเป็นพิษของธาตุบางชนิด (ion toxicity)
3. ความไม่สมดุลของธาตุอาหาร (Bernstein, 1964 อ้างถึงใน กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

ความเครียดออสโมติก (osmotic stress)

พืชที่ขึ้นบนพื้นที่ดินเค็มจะต้องใช้พลังงานมากกว่าปกติเพื่อดูดน้ำและธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโต เกลือในดินทำให้น้ำในดินมีแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) เพิ่มขึ้น และความต่างศักย์ของน้ำ (water potential) ลดลง เซลล์พืชมีอาการขาดน้ำและอาจถึงตายได้ เพราะน้ำจะไหลจากบริเวณที่มีความต่างศักย์สูง (เกลือเจือจาง) ไปสู่บริเวณที่มีความต่างศักย์ที่ต่ำกว่า (เกลือเข้มข้น) หากดินมีเกลือในสารละลายดินเข้มข้นกว่าในพืช ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินจะลดลง ทำ ให้พืชไม่สามารถดูดน้ำจากดินได้ มีผลกระทบต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืช พืชแสดงอาการเฉา หรือขอบใบไหม้ ซึ่งเป็นผลจากอิทธิพลร่วมของเกลือทุกชนิดมากกว่าผลของชนิดของเกลือตัวใดตัวหนึ่งโดยเฉพาะ

ความเป็นพิษของธาตุบางชนิด (ion toxicity)

ความเป็นพิษเนื่องจากไอออนบางชนิดที่พืชดูดเข้าไปสะสมมากเกินความต้องการ พืชแสดงอาการขอบใบไหม้ และลุกลามเข้าเส้นกลางใบในที่สุด ไอออนที่มีอิทธิผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ Na^{+}, Mg^{+2}, Cl^{-}, CO_3^{-2} และ SO_4^{-2}

โซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นทำ ให้พืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง และสังเคราะห์โปรตีนลดลง โซเดียมที่สะสมในใบ มีผลทำให้ใบไหม้ เนื้อเยื่อตามขอบใบตาย ในสภาพอากาศร้อนและแห้งจะแสดงความเสียหายรวดเร็ว เกิดที่ใบแก่ก่อน เริ่มที่ปลายใบ ขอบใบ แล้วลามมาที่เส้นกลาง ในต้นส้ม แอปเปิล เกิดอาการเมื่อดินและน้ำมีโซเดียมเพียง 5 กรัมสมมูลย์/ลิตร โซเดียมมีผลทางอ้อมในแง่ที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช โซเดียมปริมาณมากทำ ให้เกิดอาการขาดแคลเซียม โพแทสเซียมและแมกนีเซียม และการทำให้โครงสร้างของดินเสีย

ความไม่สมดุลของธาตุอาหาร

โซเดียมคอลไรด์ส่งผลให้ดินมีระดับ pH สูง ทำให้ประโยชน์ของธาตุอาหารบางตัวลดลง เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ที่ระดับ pH ระหว่าง 6-7 ฟอสเฟตอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืช แต่ที่ระดับ pH มากกว่า 7 ธาตุอาหารพวกเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และ โคบอลท์ อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้น้อย

การเป็นพิษและการขาดธาตุอาหารพืช (specific ion effect) จะเกิดขึ้นเมื่อในสารละลายดินมีความเข้มข้นของประจุธาตุบางชนิดมากกว่าระดับปกติ ไปขัดขวางหรือยับยั้งการดูดธาตุอาหารและขบวนการทางสรีรวิทยาบางอย่างของพืชได้ เช่น โบรอน (B) เป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช แต่พืชต้องการปริมาณน้อยมาก ถ้าในสารละลายดินมีโบรอนมากกว่า 1 mg/l ก็ทำให้พืชเสียหายได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณรงควัตถุ

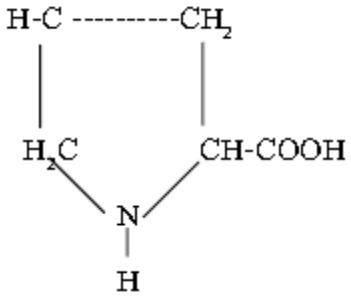
เกลือโซเดียมคลอไรด์ในดินเค็ม มีผลยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Romero, Aranda, Soria, & Cuartero, 2001) อาจก่อให้เกิดการสะสมเกลือในเนื้อเยื่อของใบพืช จนถึงระดับที่เป็นผลเสียต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง อัตราการหายใจและความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide; CO_2) เพิ่มขึ้น Gale and Poljakoff- Mayber (2007) พบว่าโซเดียมคลอไรด์ ทำให้ความต้านทานในการเปิดปากใบ (stomatal resistance) ที่มีต่อการแพร่กระจายของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบถั่วเพิ่มขึ้นด้วย แต่ปริมาณของคาโรทีนอยด์ ไม่เปลี่ยนแปลงในใบพืช (Khavari-Nejad & Mostofi, 1998) นอกจากนั้นยังมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และมีผลกระทบต่อ การถ่ายทอดอิเลคตรอน (Electron transport chain: ETC) ด้วย (Sudhir & Murthy, 2004) ซึ่ง Yeo, Caporn and Flower (2005) ได้รายงานว่าการยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthesis) ในต้นพืชที่ได้รับเกลือเกิดจากการขาดน้ำในเซลล์ของใบและเกิดจากการสะสมเกลือในส่วนของอะโพพลาสต์ (apoplast) ของเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันออสโมติก และมีการสะสมโซเดียมคลอไรด์ในเนื้อเยื่อเพิ่มสูงขึ้นมีผลไปลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณโพรลีน

โพรลีนเป็นกรดอะมิโนที่ประกอบเป็นโปรตีนของสิ่งมีชีวิตทั้งในพืช สัตว์ และแบคทีเรีย พบ 2 รูปแบบ คือ โพรลีนอิสระ (free proline หรือ non-protein proline) กับโพรลีนที่ยึดติดกับโมเลกุลอื่น (bound proline หรือ protein proline) พืชมีการสะสมโพรลีนในราก ลำต้น ใบ และส่วนต่าง ๆ ของพืช ในรูปโพรลีนอิสระและบางสวนโพรลีนอิสระนี้ เซลล์สามารถนำไปสร้างโพรลีนที่ยึดติดกับโมเลกุลอื่นได้ (Hien et al, 2003)

ในสภาพการขาดน้ำ พืชตอบสนองตอบการสังเคราะห์ และสะสมโพรลีนอิสระในปริมาณที่สูงมากภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นมีโซฟิลล์ของใบ เพื่อลดอัตราการสูญเสียของธาตุอาหารคาร์บอนและไนโตรเจน ปริมาณโพรลีนที่สะสมขึ้นอยู่กับอัตราการสลายตัวของโปรตีน (Turkan, Bor , Ozdemir, & Koca , 2005)

โพรลีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มไฮโดรคาร์บอนและกลุ่มอะมิโน มีสูตร $C_5H_9NO_2$ และมีสูตรโครงสร้างดังนี้



ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของโพรลีน (pyrroline-5-carboxylic acid) (เสาวลักษณ์ บันเทิงสุข, 2549)

การสะสมสารนี้เพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยในการปรับแรงดันออสโมติก เพื่อช่วยให้พืชสามารถอยู่รอดได้ในภาวะเครียด (Smirnoff, 1995) นอกจากนี้มีรายงานว่า มีการสะสมโพรลีนเพิ่มมากขึ้นเมื่อพืชได้รับภาวะเค็ม และมีผลช่วยในการทำงานของเอนไซม์ให้ดำเนินไปตามปกติ เนื่องจากโพรลีนช่วยทำให้โมเลกุลของน้ำรวมตัวกับโปรตีนได้ดีขึ้น เป็นการรักษาสภาพไฮเดรชัน (hydration) ของโปรตีน และช่วยรักษาโครงสร้างของเซลล์ให้เป็นปกติ (Salomon, Beer, Boggess, Aspinall, & Paleg, 2004) จากการศึกษาในข้าวโพดที่ได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโมลาร์ พบว่า ปริมาณของน้ำตาลซูโครส และปริมาณโพรลีนเพิ่มสูงขึ้นในบริเวณส่วยปลายของราก ข้าวโพดที่ระยะ 0-3 มิลลิเมตรจากปลายราก (Rodriguez, Robert, Jordan, & Drew, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor*) พบว่า หลังจากได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์เป็นเวลา 2 วัน ปริมาณโพรลีนเพิ่มมากขึ้นเกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ ในบริเวณปลายราก (root tip) ที่ระยะ 0-10 มิลลิเมตร จากปลายราก (Colmer, Fan, Higashi, & Lauchli, 2006)

ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ CAT, APX และ SOD

เกลือทำให้พืชอยู่ในสภาวะความเครียดออสโมติก ส่งผลให้เกิดการสร้าง reactive oxygen species (ROS) สูงขึ้นนำไปสู่การเกิดลิปิดเพอร์ออกซิเดชั่น (lipid peroxidation) และการทำลายองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์เช่น เกิดการทำลายโปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดนิวคลีอิก (Elstner & Oswald, 2004) และเมมเบรนของคลอโรพลาสต์ (chloroplast) และไทลาคอยด์ (thylakoid) ซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมาก ทำให้พืชที่ได้รับภาวะเค็มหรือภาวะแล้งมีปริมาณสารสีลดลง นอกจากนี้มีรายงานว่า ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen superoxide: H_2O_2) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย โดยเฉพาะ H_2O_2 จำนวนมากที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide) ของ SOD (Kaiser, 1979

อ้างถึงใน Scandalios, 1993) ซึ่งลิปิดเพอร์ออกซิเดชั่น เกิดจากออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (singlet oxygen) และอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล (hydroxyl redical) ไปทำลายกรดไขมันไม่อิ่มตัว ออกซิเจนอะตอมเดี่ยวสามารถที่จะทำปฏิกิริยากับ organic molecule ต่าง ๆ (RH) ได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่เป็นพันธะคู่ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide; ROOH) ผลิตภัณฑ์ของลิปิดเพอร์ออกซิเดชั่น คือ H_2O_2 สามารถแตกตัวได้เป็นอัลดีไฮด์ (aldehyde) และมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehydes หรือ MDA) ได้ (Smirnoff, 1995) ซึ่งจะนำไปสู่การแตกสลายของไขมันและทำให้เมมเบรนเสียสภาพและเกิดการรั่วของเซลล์ (Aziz & Larher, 1998)

Catalase (CAT) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน H_2O_2 ให้เป็นน้ำ (H_2O) และออกซิเจน (O_2) ดังสมการ (3) พบบริเวณไกลออกซิโซม (glyoxysome) หรือเพอรอกซิโซม (peroxisome) ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) คลอโรพลาสต์ ไซโทซอล (cytosol) และร่างแหเอนโดพลาซึม (endoplasmic recticulum: ER) ภายในเซลล์ของพืช สัตว์ สาหร่าย และแบคทีเรีย สามารถแบ่งได้ 3 ชนิดย่อย (Feierabend, 2005) ดังนี้

1. Monofunctional catalases เป็นกลุ่มที่มีเหล็ก (Fe) เป็นโคแฟกเตอร์ (co-factor) พบทั่วไปในพืชสัตว์ และแบคทีเรียกลุ่มหายใจโดยใช้อากาศ

2. Bifunctional catalase-peroxidases เป็นกลุ่มที่มีเหล็ก (Fe) เป็นโคแฟกเตอร์เช่นกัน แต่มีขนาดใหญ่กว่า และมีชนิดของหมู่อะมิโนแตกต่างกัน มักพบเฉพาะในพวก เห็ด รา เท่านั้น และอาจพบในแบคทีเรียบางชนิดกลุ่ม

3. Non-heam Mn-containing catalases เป็นกลุ่มที่มีแมงกานีส (Mn) เป็นโคแฟกเตอร์ พบเฉพาะในกลุ่มแบคทีเรียแลคติก (lactic acid bacteria) ได้แก่ *Lactobacillus plantarum* และกลุ่มแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophilic bacteria)

กลไกการต้านออกซิเดชันของ CAT มี 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ (Fe^{3+}-CAT) จะรับอิเลคตรอน 2 ตัว จาก H_2O_2 เป็น H_2O และ compound I ($O=Fe^{5+}$-CAT) ดังสมการ (1) และขั้นตอนที่ 2 H_2O_2 จะให้อิเลคตรอน 2 ตัว แก่ compound I เพื่อให้ได้เป็นน้ำ ออกซิเจน และเอนไซม์กลับคืนมา ดังสมการ (3) (Halliwell & Gutteridge, 1999) กลไกการต้านออกซิเดชันของ CAT มี 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ (Fe^{3+}-CAT) จะรับอิเลคตรอน 2 ตัว จาก H_2O เป็น น้ำ และ compound I ($O=Fe^{5+}$-CAT) ดังสมการ (1) และขั้นตอนที่ 2 H_2O_2จะให้อิเลคตรอน 2 ตัว แก่ compound I เพื่อให้ได้เป็นน้ำ ออกซิเจน และเอนไซม์กลับคืนมา ดังสมการ (3) (Halliwell & Gutteridge, 1999)

$H_2O_2 + Fe^{3+}\text{-CAT} \longrightarrow H_2O + \text{compound I}$ (1)

$H_2O_2 + \text{compound I} \longrightarrow H_2O + O_2 + Fe^{3+}\text{-CAT}$ (2)

$2H_2O_2 \longrightarrow 2\,H_2O + O_2$ (3)

Ascorbate peroxidase (APX) มีหมู่เหล็ก (Fe) เป็นโคแฟกเตอร์ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน H_2O_2 ร่วมกับแอสคอร์เบต (ascorbate) ให้เป็นน้ำและโมโนดีไฮโดรแอสคอร์เบต (monodehydroascorbate: MDA) ดังสมการ (7) พบบริเวณเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) และสโตรมา (stroma) ของคลอโรพลาสต์ ไมโทคอนเดรีย และไซโทซอลในพืช สัตว์ และสาหร่าย (Halliwell & Gutteridge, 1999)

กลไกการต้านออกซิเดชันของ APX มี 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก H_2O_2 จะให้อิเลคตรอน 2 ตัวแก่โคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ (Fe^{3+}P-APX) ได้เป็น compound I ($O=Fe^{4+}P\bullet$-APX) และน้ำ ดังสมการ (4) ส่วนอีก 2 ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำเอนไซม์กลับมาโดยขั้นตอนที่ 2 ascorbate ให้อิเลคตรอน 1 ตัวแก่ compound I ได้เป็น MDA และ compound II ($O=Fe^{4+}$P-APX) ดังสมการ (5) และขั้นตอนสุดท้าย ascorbate อีกตัวหนึ่งให้อิเลคตรอน 1 ตัวแก่ compound II ได้เป็น MDA น้ำ และเอนไซม์กลับคืนมา ดังสมการ (6) (Lad, Martin, & Raven, 2002)

$Fe^{3+}\text{P-APX} + H_2O_2 \longrightarrow \text{compound I} + H_2O$ (4)

$\text{compound I} + \text{ascorbate} \longrightarrow \text{compound II} + \text{MDA}$ (5)

$\text{compound II} + \text{ascorbate} \longrightarrow \text{MDA} + Fe^{3+}\text{P-APX} + H_2O$ (6)

$H_2O_2 + 2\ \text{ascorbate} \longrightarrow 2\text{MDA} + 2H_2O$ (7)

Superoxide dismutase (SOD) เป็นเอนไซม์ตัวแรกที่กำจัดพวก ROS ภายใต้สภาวะความเครียดออสโมติกโดย SOD สามารถเปลี่ยน superoxide radical ไปเป็น H_2O_2 และจัดเป็นพวกเอนไซม์ที่เกาะติดอยู่กับโลหะ (metalloenzyme) ได้แก่ Cu/Zn SOD พบในส่วนของไซโทซอลและคลอโรพลาสต์ Mn-SOD พบในไมโทคอนดรียของยูคาริโอต Fe-SOD สามารถตรวจพบได้น้อยในพืช จะพบเพียงในส่วนของคลอโรพลาสต์ (Yordanova, 2004)

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นอาจก่อให้เกิดการสะสมเกลือในเนื้อเยื่อของใบพืชจนถึงระดับที่เป็นผลเสียต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ และนอกจากนี้ยังพบว่าโซเดียมคลอไรด์ ทำให้ความต้านทานในการเปิดปากใบ (stomatal resistance) เพิ่มขึ้นอีกด้วย และเมื่อพืชเกิดการขาดน้ำทำให้พืชมีการปรับตัวโดยการปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ และการปรับค่าออสโมติกของพืชเพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ภายใต้ภาวะเค็มที่พืช

ได้รับ การปิดปากใบของพืชเพื่อลดการคายน้ำในช่วงที่พืชได้รับภาวะเค็มนั้น มีผลไปยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เนื่องจากทำให้กระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดได้ช้าลง

กระบวนการส่งถ่ายอิเลคตรอนในปฏิกิริยาแสง (light reaction) ของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชก็ได้รับผลกระทบจากการปิดปากใบของพืชด้วยเช่นกัน โดยในกระบวนการส่งถ่ายอิเลคตรอนที่มี $NADP^+$ เป็นตัวสุดท้ายที่เข้าไปรับอิเลคตรอนที่ส่งมาจากระบบแสง I (Photosystem I: PS I) ได้เป็น NADPH ซึ่งจะถูกนำไปใช้ต่อในกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้ว NADPH จะถูกเปลี่ยนกลับคืนเป็น $NADP^+$ เพื่อกลับไปรับอิเลคตรอนใหม่ ถ้าพืชปิดปากใบทำให้กระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นช้าลง จึงเกิดการสะสม NADPH เพิ่มขึ้นและมี $NADP^+$ ไปรับอิเลคตรอนจาก PS I ลดลง ทำให้กระบวนการส่งถ่ายอิเลคตรอนมีตัวรับอิเลคตรอนไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงมีการส่งถ่ายอิเลคตรอนไปให้ตัวรับอิเลคตรอนตัวอื่นเช่น ออกซิเจนซึ่งมีความเข้มข้นสูงในคลอโรพลาสต์เกิดเป็น superoxide (Allen, 2005) นอกจากนี้ที่ PS II ก็ได้รับผลกระทบด้วยเพราะเมื่อพลาสโตควิโนน (plastoquinone; Q) รับอิเลคตรอนจาก PS II แล้วจะเปลี่ยนเป็นพลาสโตไฮโดรควิโนน (plastohydroquinone; QH_2) ในกรณีที่มีการยับยั้งกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ QH_2 ไม่สามารถส่งอิเลคตรอนต่อไปได้ จึงมีการส่งถ่ายอิเลคตรอนให้กับออซิเจนเกิดเป็น superoxide เช่นกัน (Smirnoff, 1995)

ในการทดลองการให้ภาวะเค็มกับพืช ทำให้พืชขาดน้ำและตรวจสอบการเพิ่มขึ้นของ superoxide ได้โดยการตรวจวัดด้วยอิเลคตรอนสปินเรโซแนนซ์ (electron spin resonance; ESR) ที่เกิดขึ้นจากภาวะที่มี 1,2-dihydroxybenzene-3,5-disulphonic acid (Trion) ซึ่งจะถูกออกซิไดส์เป็นเซมิควิโนน (semiquinone) โดย superoxide ทำให้ตรวจสอบหา superoxide ได้ (Smirnoff, 1995) มีรายงานว่าต้นกล้าทานตะวัน (*Helianthus annus* L. cv. *Licia Stella*) ที่ได้รับภาวะเค็มจนมีความต่างศักย์ของน้ำ เท่ากับ -0.6 ถึง -2.0 MPa มีสัญญาณที่แสดงให้เห็นว่ามีการเกิด superoxide มากกว่าต้นกล้าทานตะวันที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (Sgherri, Pinzino, & Navari-Izzo, 1993)

กิจกรรมของ SOD ในพืชที่ได้รับภาวะเค็มนั้น มีการศึกษาค่อนข้างน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในพืชที่ได้รับภาวะแล้ง ดังเช่นในการทดลองให้พืชได้รับภาวะแล้งในระยะสั้น (72 ชั่วโมง) ซึ่งได้ทดลองในต้นกล้าถั่วเขียว (*Vigna radiata*) พบว่า มีกิจกรรมของ SOD ลดลง (Ahuja & Kaur, 1985) เช่นเดียวกับต้นกล้าทานตะวัน (*Helianthus annus* cv. *Ida*) ที่ได้รับภาวะแล้งโดยการงดให้น้ำ 6 วันและมีค่าศักย์ของน้ำ เท่ากับ -1.8 MPa (Quartacci & Navari-Izzo, 1994) การลดลงของกิจกรรม SOD อาจเกิดจากความรุนแรงของภาวะแล้งที่พืชได้รับทำให้พืชสร้างเอนไซม์ที่ใช้กำจัด ROS ออกมาไม่เพียงพอ และอาจเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของกลไกการป้องกันตัวของพืชแต่ละชนิดที่ขึ้นอยู่กับการกำจัดทั้ง superoxide และ H_2O_2 ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ

การปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ในระบบ DFT (Deep Flow Technique)

ความหมาย

ความหมายของการปลูกพืชไม่ใช้ดินจากคำว่า **ไฮโดรโพนิกส์ (hydroponics)** เป็นการปลูกที่ไม้ใช้วัสดุปลูก (nonsubstrate หรือ water culture) กล่าวคือ จะทำการปลูกพืชลงบนสารละลายโดยให้รากสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง เนื่องจากคำว่า hydroponics มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ Hydro (water) แปลว่า น้ำ กับ ponos = labor (working) แปลว่า ทำงาน จึงเรียกรวมกันว่า Hydroponics ซึ่งหมายถึงการทำงานเกี่ยวกับน้ำหรือการปลูกพืชในสารละลายนั่นเอง เป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแต่ใช้น้ำที่มีธาตุอาหารพืชละลายอยู่ หรือการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืชทดแทน ซึ่งนับเป็นวิธีการใหม่ในการปลูกพืช โดยเฉพาะการปลูกผักและพืชที่ใช้เป็นอาหาร เนื่องจากประหยัดพื้นที่ และไม่ปนเปื้อนกับสารเคมีต่างๆ ในดิน ให้ได้พืชผักที่สะอาดเป็นอาหาร (มนูญ ศิรินุพงศ์, 2556)

ระบบ DFT (Deep Flow Technique)

DFT (Deep Flow Technique) คือ เป็นระบบที่ปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายลึกประมาณ 15- 20 เซนติเมตร โดยจะมีการปลูกพืชบนแผ่นโฟมหรือวัสดุที่ลอยน้ำ ได้เพื่อยึดลำต้น แต่จะปล่อยให้รากเป็นอิสระในนำ ระบบนี้ไม่มีความลาดเอียง เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลายโดยการใช้ปั๊มดูดสารละลายจากถังพักขึ้นมาใช้ใหม่ในระบบ เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับระบบน้ำที่ใช้ในการผลิตผัก ระบบนี้อาจมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบไฮโดรโพนิกส์ลอยน้ำ (floating hydroponic systems) การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในภาชนะ หรือรางปลูกในระดับลึก คือน้ำจะมีมากกว่าระบบ NFT (Nutrient Film Technique)

จุดเด่นของ DFT

1. DFT บรรจุสารละลายธาตุอาหารไว้ในภาชนะปลูกทั้งหมด (ระบบดั้งเดิมของ DFT ภายหลังมีผู้ดัดแปลงต่างไปบ้าง) ทำให้ไม่ต้องมีถังเก็บสารละลาย ไม่ต้องมีท่อ ไม่ต้องมีปั๊มหมุนเวียนสารละลาย (อาจต้องใช้ปั๊มในการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย) ทำให้สามารถลดต้นทุนในส่วนนี้ลงไปได้

2. พืชไม่ขาดน้ำและธาตุอาหาร เนื่องจากรากแช่อยู่ในสารละลายตลอดเวลา

จุดด้อยของ DFT

1. รากพืชมีโอกาสขาดออกซิเจนได้ง่าย เนื่องจากรากแช่อยู่ในสารละลายที่ลึกและไม่ไหลเวียน ผู้ปลูกจะต้องหาทางแก้ปัญหาโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง เช่น

1.1 ลดระดับสารละลายลงเมื่อพืชโตขึ้น เพื่อให้รากแช่อยู่ในสารละลายเพียงบางส่วน สามารถทำให้รากไม่ขาดออกซิเจนในขณะที่พืชต้นเล็ก แต่เมื่อพืชที่ปลูกโตขึ้น พืชจะใช้ออกซิเจนเพิ่มอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องเติมอากาศลงไปในสารละลายอย่างต่อเนื่อง

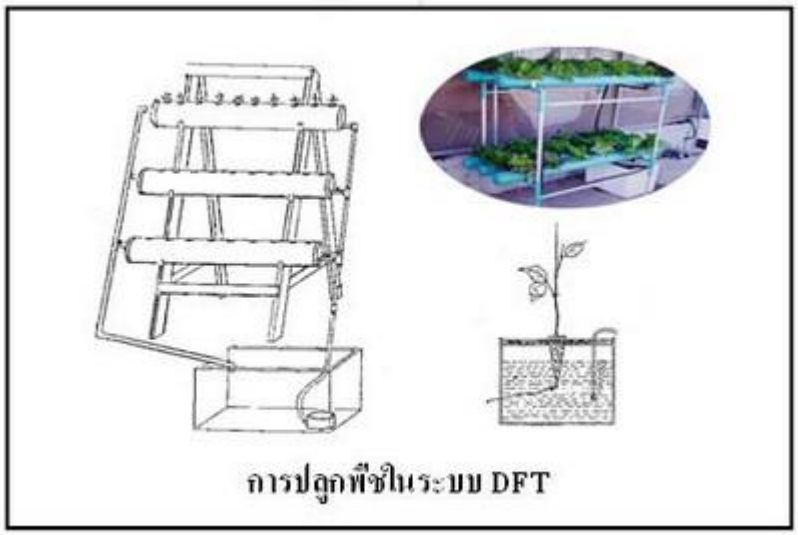
1.2 เติมอากาศลงไปในสารละลายตลอดเวลา

1.3 หมุนเวียนสารละลายเช่นเดียวกับ NFT เป็นต้น

2. การควบคุมความเข้มข้นของสารละลายทำได้ยากกว่าระบบอื่น ถ้าปลูกพืชปริมาณมาก

3. สารละลายธาตุอาหารพืชมีองค์ประกอบเปลี่ยนไปตามระยะเวลาที่ใช้ปลูก ผู้ปลูกจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายสารละลาย โดยเฉพาะถ้าอายุการเก็บเกี่ยวพืชนั้นนานกว่า 4 สัปดาห์

4. รากพืชที่แช่อยู่ในสารละลายไม่สามารถค้ำจุนลำต้นให้ตั้งตรงได้ ถ้าพืชที่ปลูกมีลำต้นสูง ผู้ปลูกจำเป็นต้องสร้างอุปกรณ์พยุงลำต้นถ้าปลูกพืชลำต้นสูง (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2555)



ภาพที่ 2- 6 การปลูกพืชแบบ DFT (สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, 2555)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชุติมา โฮมวงศ์ และ กัลยา กองเงิน (2556) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชีวเคมีบางประการของข้าว อายุ 21 วัน ในต้นกล้า 3 พันธุ์คือ พอคคาลี (พันธุ์ทนเค็ม) เหลืองอนันต์ (พันธุ์ทนเค็มปานกลาง) ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (พันธุ์ไม่ทนเค็ม) ที่ได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0 และ12 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เป็นเวลา 10 วัน ผลจากการศึกษาพบวา ความเค็มมีผลทำให้ค่าการรั่วไหลของ

อิเล็กโทรไลท์ ปริมาณโพรลีน ปริมาณสารมัลลอนไดอัลดีไฮด์ ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (สารที่บ่งชี้สภาวะเครียดเกลือ) และกิจกรรมของเอนไซม์เพอร์รีอกซิเดสที่ต้านสารอนุมูลอิสระในข้าวทั้ง 3 พันธุ์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยค่าต่าง ๆที่วัดได้จะตรงข้ามกับระดับการทนเค็มของข้าว

พนิตา ชุติมานุกูล และ คณะ (2556) ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการต่อภาวะเค็มในข้าวที่ได้รับการแทนที่บางส่วนจากโครโมโซม (CSSL) ที่ 1 ที่คาดว่ามียีนทนเค็มที่อยู่ระหว่างเครื่องหมายโมเลกุล RM212 และ RM3362 หลังจากได้รับภาวะเค็ม 18 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายีนที่อยู่ในบริเวณเครื่องหมาย RM212 และ RM33662 น่าจะเกี่ยวข้องกับการปรับตัวด้านการสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อได้รับภาวะเครียดจากความเค็ม

Lin, Hsu and Kao (2002) ศึกษาผลกระทบของ NaCl ต่อการสะสมโพรลีนในใบข้าว พบว่าปริมาณของโพรลีนเพิ่มขึ้นและปริมาณของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โพรลีน เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่กิจกรรมของเอนไซม์ Proline dehydrogenase กลับลดลง ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ตั้งแต่ 50 จนถึง 200 มิลลิโมลาร์

Heuer (2003) ศึกษาผลของโพรลีนและไกลซีนบีเทน (Glycine betaine: GB) ต่อการเจริญเติบโตในมะเขือเทศที่อยู่ในสภาวะความเค็ม พบว่าโพรลีนและไกลซีนบีเทนช่วยลดการสะสมไอออนของโซเดียมและคลอไรด์

Molinari et al. (2004) พบว่าใน *Carrizo citrange* เมื่อถ่ายยีนกลายพันธุ์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ pyrroline-5-carboxylate synthetase ได้ แต่จะไม่เกิดกระบวนการยับยั้งแบบย้อนกลับ (feedback inhibition) เมื่ออยู่ในสภาวะที่ได้รับน้ำปกติ พบว่าจะไม่มีความแตกต่างระหว่างพืชที่ถ่ายยีนกับไม่ได้ถ่ายยีน แต่เมื่อหลังจากไม่ได้รับน้ำ 15 วัน พบว่า พืชพวกที่มีการถ่ายยีนอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่าพวกที่ไม่ได้ถ่ายยีน

Kyparissis, Petropoulou and Manetas (2005) ศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในข้าว (*Oryza sativa* L.) พบว่า เมื่อให้ระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 150 ถึง 500 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์จากชุดควบคุม (Yeo & Flower, 2005) ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงนี้เป็นการปรับตัวเพื่อลดพื้นที่การรับแสงให้น้อยลงเพื่อสงวนพลังงานเอาไว้เป็นการหลีกเลี่ยงภาวะเค็มอีกวิธีการหนึ่งของพืชที่จะสามารถทนต่อภาวะเค็มและอยู่รอดได้จนกว่าภาวะเค็มจะผ่านพ้นไป

Misra and Gupta (2005) ศึกษาผลกระทบของความเค็มต่อการสะสมโพรลีน กิจกรรมของเอนไซม์ pyrroline-5-carboxylate reductase (P5CR), proline oxidase และ γ-glutamyl kinase ปริมาณของไกลซีนบีเทนและคลอโรฟิลล์ของถั่วเขียวโดยเปรียบเทียบ 2 สายพันธุ์คือ

สายพันธุ์ที่ทนเค็ม และไม่ทนเค็ม ภายใต้สภาวะความเค็มในระดับต่าง ๆ จากการทดลองพบว่า เมื่อถั่วเขียวอยู่ภายใต้สภาวะความเค็มมีการสะสมโพรลีนและปริมาณไกลซีนบีเทนเพิ่มขึ้นทั้ง 2 สายพันธุ์ และกิจกรรมของเอนไซม์ P5CR และ γ-glutamyl kinase มีการเพิ่มขึ้นแต่กิจกรรมของเอนไซม์ proline oxidase ลดลง และปริมาณคลอโรฟิลล์ก็ลดลง

Turkan, Bor, Ozdemir and Koca (2005) ทำการทดสอบโดยใช้ *Phaseolus acutifolius* ซึ่งทนทานต่อสภาพแล้งและ *Phaseolus vulgaris* ซึ่งไม่ทนทานต่อสภาพแล้ง พบว่า เมื่อได้รับสภาพแล้ง การเจริญเติบโตของ *Phaseolus acutifolius* ดีกว่า มีค่าลิปิดเพอร์ออกซิเดชั่น ต่ำกว่า มี superoxide dismutase, catalase,ascorbate peroxidase และ peroxidase สูงกว่าในพันธุ์ *Phaseolus vulgaris* ส่วนการสะสมโพรลีนพบว่าในพันธุ์ *Phaseolus acutifolius* สูงกว่าในพันธุ์ *Phaseolus vulgaris*

Demiral and Turkan (2006) ศึกษาผลกระทบของความเค็มต่อการสะสมไกลซีนบีเทนและโพรลีนของต้นข้าว พบว่าเมื่อต้นข้าวอยู่ในสภาวะความเค็ม ทำให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตลดลงและปริมาณของคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ก็ลดลงเช่นเดียวกัน แต่มีปริมาณของไกลซีนบีเทนและโพรลีนเพิ่มขึ้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์การเจริญเติบโต

1. อุปกรณ์

ก. ไม้บรรทัด

ข. ตู้อบตัวอย่างพืช ยี่ห้อ Memmert รุ่น UN 30

ค. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น GE 2102

ง. โปรแกรม Image J version 1.41

จ. เครื่องคอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ Acer รุ่น Aspire Z1 601-282G5019Mi/T003

ง. เครื่องสแกนเนอร์ ยี่ห้อ Canon รุ่น Lide 120

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุ

1. อุปกรณ์

ก. กรรไกรขนาดเล็ก

ข. ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร

ค. กระดาษกรองเบอร์1

ง. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

จ. หลอดทดลอง ขนาด 10×75 มิลลิเมตร

ฉ. กระดาษฟลอยด์

ช. ปิเปต ขนาด 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร

ซ. เครื่องวัดความเขียวใบ (SPAD unit) ยี่ห้อ Minolta รุ่น SPAD-502

ฌ. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น WNB

ญ. ตู้อบตัวอย่างพืช ยี่ห้อ Memmert รุ่น UN 30

ฎ. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ยี่ห้อ Lugar view รุ่น 80-2B

ฏ. เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ Labomed รุ่น Spectro 23.1

2. สารเคมี

ก. 80% acetone

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโพรลีน

1. อุปกรณ์

ก. โกร่งบด

ข. กระดาษกรองเบอร์ 1

ค. หลอดทดลอง ขนาด 10×75 มิลลิเมตร

ง. หลอดหยด

จ. ตู้แช่แข็ง ยี่ห้อ PANASONIC รุ่น SF-PC1497

ฉ. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น WNB

ช. เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ Labomed รุ่น Spectro 23.1

2. สารเคมี

ก. กรดซัลโฟซาลิไซลิค (sulfosalicylic acid)

ข. นินไฮดริน (ninhydrin)

ค. glacial acetic acid

ง. toluene

จ. 6 M Phosphoric acid

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ SOD, CAT, APX และโปรตีน

1. อุปกรณ์

ก. โกร่งบด

ข. ขวดรูปชมพู่ขนาด 150 มิลลิลิตร

ค. หลอดทดลอง ขนาด 10×75 มิลลิเมตร

ง. บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร

จ. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ยี่ห้อ Lugar view รุ่น 80-2B

ฉ. เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ Labomed รุ่น Spectro 23.1

ช. ชุดตรวจสอบ total protein ของบริษัท Clinaq

ซ. กระดาษกรอง Whatman No. 1

ฌ. ถุงไดอะไลซิส

ญ. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น WNB

2.สารเคมี

ก. ไนโตรเจนเหลว

ข. Ascorbic acid

ค. Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)

ง. Di-potassium hydrogen phosphate

จ. Potassiun dihydrogen phosphate

ฉ. Polyvinypolypyrrolidone (PVPP)

ช. Hydrogen peroxide solution 30% m/m in water

ซ. Ammonium sulfate

ฌ.. Cytochrome C from horse heart

ญ. Sodium hydroxide

ฎ. Xanthine

ฏ. Xanthine oxidase

ฐ. Copper sulphate

ฑ. Folin-Ciocalteu's phenol reagent

ฒ. Potassium tartrate

ณ. Sodium carbonate

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) จำนวน 3 ซ้ำประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 ใช้ถั่วเหลือง 2 พันธุ์คือ พันธุ์ สจ.5 และพันธุ์ มข. 35 ปัจจัยที่ 2 ให้โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ในสารละลายธาตุอาหารพืช ตามลำดับ โดยในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งใช้การเก็บแบบสุ่มต้นถั่วเหลืองมา 3 ต้นในแต่ละซ้ำ

การเตรียมปลูกพืชทดลองด้วยระบบ DFT

การปลูกพืชทดลองโดยใช้วิธีไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งได้ทำการดัดแปลงจากหลักการปลูกด้วยระบบ DFT โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน เพื่อง่ายต่อการดูแล และติดตั้งระบบในแปลงทดลองปลูก มีวิธีการติดตั้งระบบ ดังนี้

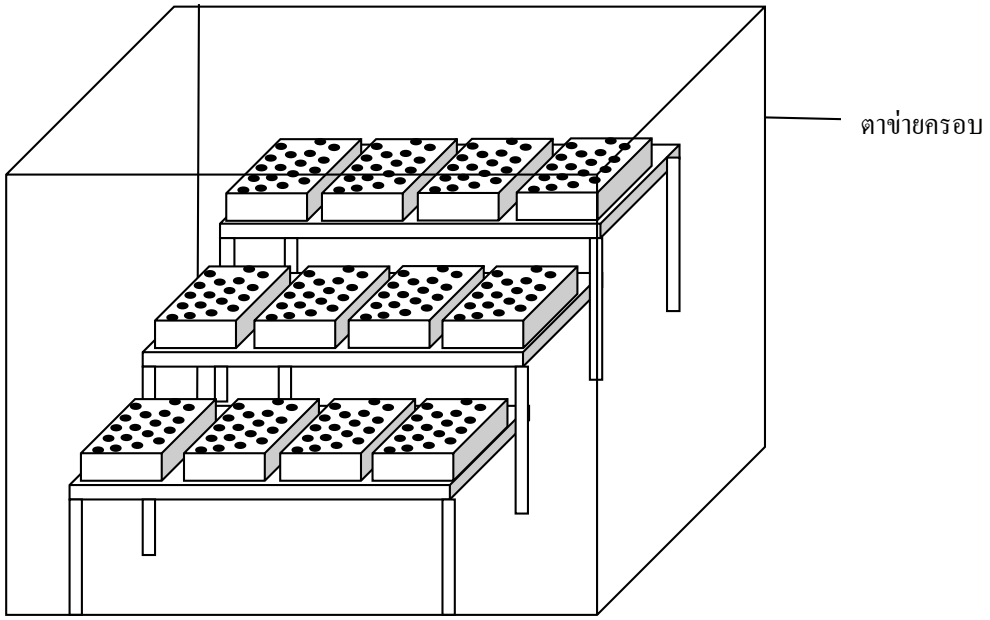
1. ประกอบชั้นวางกระบะปลูกพืชทดลอง โดยจะใช้ชั้นวางในลักษณะเป็นขั้นบันได เพื่อให้พืชทดลองได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอในแต่ละชุดการทดลอง

2. นำกล่องโฟมสีขาวที่ดัดแปลงวางบนชั้นเหล็ก ติดตั้งระบบน้ำวนภายในแต่ละกล่องโฟมเพื่อเติมออกซิเจนให้แก่ระบบ ทั้งนี้ระบบน้ำวนได้ดัดแปลงจากการทำงานของระบบปั๊มน้ำพุ ทำงานโดยเครื่องปั๊มจะดูดสารละลายธาตุอาหารภายในกล่องโฟมเข้าสู่ท่อที่เจาะรูไว้ จากนั้นสารละลายธาตุอาหารก็จะไหลออกทางรูของแต่ละท่อ ซึ่งจะติดตั้งท่อไว้โดยรอบกล่องโฟม (ดังภาพที่ 3-2) วิธีการนี้จะทำให้สารละลายธาตุอาหารได้ไหลวนภายในกล่องโฟม และเติมออกซิเจนให้แก่ระบบ โดยจะแตกต่างจากการใช้ปั๊มอากาศที่จะให้อากาศภายในระบบอย่างเดียว แต่สารละลายธาตุอาหารไม่ได้ไหลเวียน

3. ติดตั้งระบบไฟฟ้า เพื่อต่อเข้าปั๊มน้ำภายในกล่องโฟม ระบบไฟฟ้าจะทำงานตลอดเวลา เพื่อให้อากาศและเกิดการไหลเวียนของสารละลายธาตุอาหารภายในกล่องโฟม

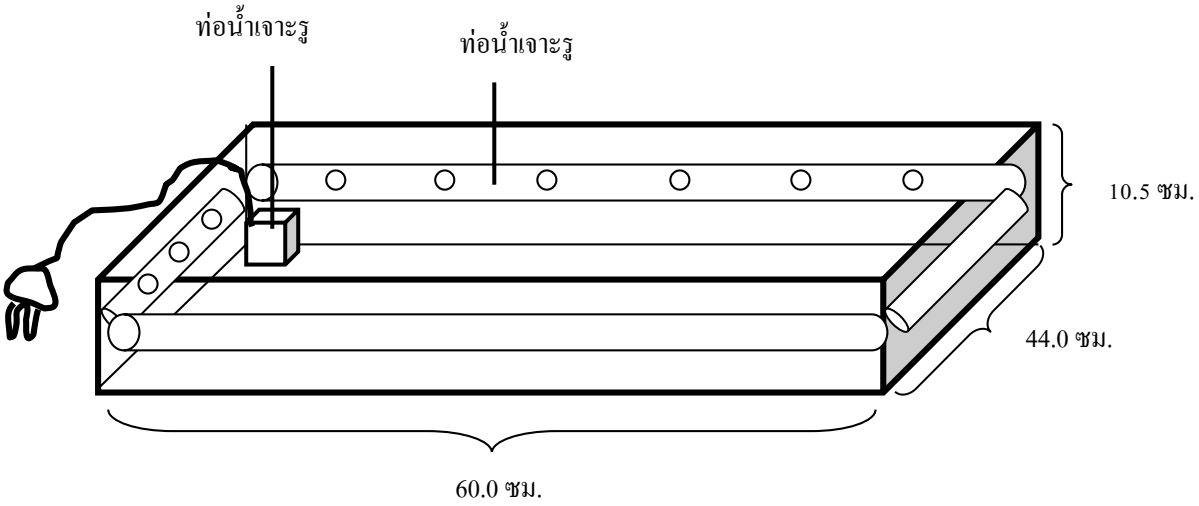
4. ประกอบตาข่ายครอบกันแมลงและปัจจัยรบกวนอื่น ๆ เช่น เศษวัสดุที่ตกหล่น การรบกวนจากสัตว์ภายนอก เป็นต้น โดยใช้ตาข่ายตาถี่โปรงแสง เพื่อให้แสงสามารถลอดผ่านมาได้ตามปกติ ไม่เป็นการบดบังแสง

5. ภายในกล่องโฟมอาจใช้วัสดุตาข่ายพลาสติกกั้นเป็นแนวตามช่องที่ปลูกพืชทดลอง เนื่องจากเมื่อปลูกไประยะหนึ่งรากพืชทดลองจะยาวเพิ่มขึ้น ตาข่ายพลาสติกจึงช่วยป้องกันการเกี่ยวพันกันของรากแต่ละต้นที่ปลูก

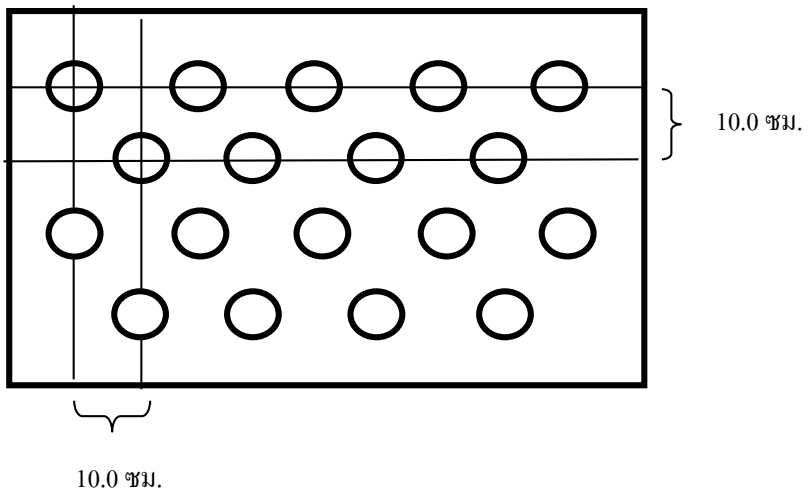


ภาพที่ 3-1 ลักษณะการจัดวางกล่องโฟมปลูกบนชั้นวาง

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้มีการดัดแปลงระบบการปลูกด้วยวิธีไฮโดรโพนิกส์จากระบบ DFT โดยการดัดแปลงวัสดุอุปกรณ์การปลูก เพื่อให้เอื้อประโยชน์ และความสะดวกในการปฏิบัติงานขณะการทำวิจัย ซึ่งใช้กล่องโฟมสีขาว ขนาด 44 x 60 x 10.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร พร้อมฝาปิด เจาะช่องบนฝาในแนวทแยง ความห่างระหว่างจุดศูนย์กลางช่อง 10 เซนติเมตร ต่อท่ออากาศและปั๊มน้ำภายในกล่อง เพื่อเป็นการเติมออกซิเจนให้แก่ระบบ ดังแสดงในภาพที่ 3-2 และ 3-3



ภาพที่ 3 -2 ลักษณะของถาดปลูกที่ติดตั้งระบบน้ำ



ภาพที่ 3-3 รูปแบบการเจาะช่องที่ฝากล่อง จำนวน 18 ช่อง

การปลูกพืชทดลองและการให้โซเดียมคลอไรด์

เพาะเมล็ดถั่วเหลืองบนกระดาษเพาะที่มีความชื้นประมาณ 5 วันที่อุณหภูมิห้อง หลังจากเมล็ดงอกย้ายต้นกล้าลงปลูกในกระบะพลาสติกที่มีสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's solution ตามวิธีการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของนันทนา อิงกินันท์ (2526) ปริมาตร 10 ลิตรโดยปลูกถั่วเหลือง 18 ต้นต่อกระบะ ควบคุม pH ของสารละลายที่ 5.6 เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุกสัปดาห์ และให้อากาศในสารละลายธาตุอาหารเพื่อให้รากได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอตลอดการทดลอง

เมื่อต้นกล้าอายุครบ 14 วันหลังการย้ายปลูก ก็ทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารที่มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ 4 ระดับคือ 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ระหว่างการทดลองควบคุมความเค็มให้สม่ำเสมอโดยตรวจสอบจากค่าการนำไฟฟ้า และให้ต้นกล้าถั่วเหลืองได้รับแสงจากธรรมชาติ โดยวางภาชนะปลูกบนชั้นวางเหล็กบริเวณข้างเรือนเพาะชำของภาควิชาชีววิทยา และทำการเก็บข้อมูลหลังจากที่ถั่วเหลืองได้รับโซเดียมคลอไรด์ ที่ระยะเวลา 0, 4, 8, 12, 16, 20 และ 24 วัน

การเก็บข้อมูลการทดลอง

ในการทดลองมีการเก็บข้อมูลการทดลอง ดังนี้

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 พื้นที่ใบรวมต่อต้น 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 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate, RGR) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนน้ำหนักแห้งต้นต่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ตามวิธีการของ Beadle (1993)

RGR = $\frac{InW_2 - InW_1}{t_2 - t_1}$ หน่วย กรัม/ กรัม- วัน

W_2 และ W_1 = น้ำหนักแห้งต้นเก็บครั้งที่ 2 และ 1

t_1 และ t_2 = ระยะเวลาในการเก็บครั้งที่ 1 และ 2

1.5 Specific Leaf Weight (SLW) ซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของใบรวมทั้งต้นต่อพื้นที่ใบรวมทั้งต้น (Beadle, 1993) หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (mg/cm^2)

2. การวิเคราะห์ลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช

2.1 การวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุ

วิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุ ได้แก่ Chl *a* Chl *b* total Chl และ carotenoid เก็บตัวอย่าง 2 ตำแหน่งใบ คือ ใบอ่อน (ใบประกอบที่ 2 จากยอดใช้เฉพาะใบด้านข้าง)และใบแก่ (ใบประกอบใบที่ 1 จากโคนต้นใช้เฉพาะใบด้านข้าง) โดยสกัดใบสดถั่วเหลืองด้วย acetone 80% ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก อัญชลี ร่มพา (2543) เจาะใบถั่วเหลืองด้วยที่เจาะกระดาษเป็นชิ้นเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 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

Chlorophyll a	=	$12.25A_{663.2} - 2.79A_{646.8}$
Chlorophyll b		$21.50A_{646.8} - 5.10A_{663.2}$
total Chlorophyll	=	$7.15A_{663.2} + 18.71A_{646.8}$
carotenoid		$(1000A_{470} - 1.82C_a - 85.02C_b) / 198$

การวิเคราะห์ความเขียวของใบด้วยการวัดความเข้มของสีใบ (SPAD unit ยี่ห้อ Minolta) โดยทำการวัดความเข้มของสีใบของใบจริงที่กางเต็มที่ แต่ละใบจะทำการวัดที่ 3 ตำแหน่ง คือ ปลายใบ กลางใบ และโคนใบ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโพรลีน

การวัดปริมาณโพรลีน (หน่วยเป็นไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) โดยเก็บตัวอย่างพืชสดไว้ในตู้แช่แข็งเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณโพรลีนในภายหลัง ทำการสกัดตามวิธีการของ Bates, Woldren and Teare (1973) ดังนี้

2.2.1 เตรียมสารละลายโพรลีนมาตรฐานเข้มข้น 0 3, .75, 7.5, 15 และ 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จากสารละลายโพรลีนมาตรฐาน 6 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเจือจางด้วย 3% sulfosalicylic acid แล้วนำสารละลายโพรลีนมาตรฐาน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองและทำการทดลองเหมือนสารละลายตัวอย่างพืช

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

2.2.3 นำสารละลายที่กรองได้ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองเติม acid-ninhydrin ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และ glacial acetic acid ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากันแล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและสิ้นสุดปฏิกิริยาที่อ่างน้ำแข็ง

2.2.4 นำ reaction mixture ที่ได้เติม toluene ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าประมาณ 15-20 วินาที สารละลายจะเกิดการแยกตัวออกจากกันเป็นชั้นบนและชั้นล่าง

2.2.5 ดูดสารละลายส่วนบนออกจากหลอดทดลอง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร โดยมี toluene เป็น blank

2.2.6 คำนวณหาปริมาณโพรลีนในสารละลายตัวอย่างพืช โดยใช้วิธีเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานโพรลีน

<u>หมายเหตุ</u> การเตรียมสารละลาย acid-ninhydrin โดยนำ ninhydrin หนัก 1.25 กรัม ผสมกับ glacial acetic ปริมาตร 30 มิลลิลิตร และ 6M phosphoric acid ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

2.3 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) , superoxide dismutase (SOD) และโปรตีน

นำใบถั่วเหลือง มาวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX, SOD และโปรตีน โดยดัดแปลงจาก Sunohara and Matsumoto (2004) มีขั้นตอนดังนี้

2.3.1 การสกัดเอนไซม์ (Enzyme extraction)

ทำการสกัดเอนไซม์ภายใต้อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยนำตัวอย่างใบถั่วเหลืองที่หั่นละเอียดหนัก 1 กรัม ใส่ในโกร่งบดแช่เย็นที่มีไนโตรเจนเหลว แล้วเติมสารละลายสกัด (extraction solution) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ซึ่งสารละลายสกัดประกอบด้วย 25 mM potassiumphosphate buffer (pH 7.8), 0.4 mM EDTA, 1 mM ascorbic acid และ 2% PVPP เมื่อบดเข้ากันดีแล้วนำไปเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 15,000 x g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20

นาที แล้วนำส่วนของเหลวใส (supernatant) มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 นำส่วนของเหลวใสที่ผ่านการกรองซึ่งเป็น crude enzyme ไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX และ SOD ต่อไป

2.3.2 การวิเคราะห์โปรตีน โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Lowry et al. (1951) ดังนี้

นำ crude enzyme ที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยเติม crude enzyme (จากข้อ 2.3.1) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบที่มี alkaline copper solution ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร (สารละลายนี้ประกอบด้วย 4% Na_2CO_3: 0.2 N NaOH: 1% $CuSO_4$•$5H_2O$: 2% potassium tartrate ในอัตราส่วน 5:5:0.1:0.1) ผสมให้เข้ากันวางไว้นาน 15 นาที จากนั้นเติมสารละลาย 50% folin-ciocalteu's phenol reagent ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร วางไว้เป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายผสมวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโปรตีน โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ bovine serum albumin (BSA) ซึ่งปริมาณโปรตีนที่ได้มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ 1 กรัมน้ำหนักสด (mg/g fresh weight) โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

ปริมาณโปรตีน (mg/g fresh weight) = 50Y

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

2.3.3 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์

2.3.3.1 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ CAT (CAT activity assay)

เตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ (assay mixture) ปริมาตรรวมทั้งหมด 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบซึ่งประกอบด้วย 25 mM H_2O_2 ใน 50 mM potassium phosphate buffer (pH 7.0) ปริมาตร 1.9 มิลลิลิตร และ crude enzyme (จากข้อ 2.3.1) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำสารละลายผสมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 240 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงยูวี แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ CAT โดยมีหน่วยเป็น µmole H_2O_2 decomposed/mg protein • min (molar absorbance coefficient ของ H_2O_2 เท่ากับ 0.04 mM^{-1}• cm^{-1}) ตามสูตรคำนวณดังนี้

กิจกรรมของเอนไซม์ CAT = 5000X/Y

เมื่อ X คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไปใน 1 นาที ที่ความยาวคลื่น 240 นาโนเมตร

Y คือ ปริมาณโปรตีน (จากข้อ 2.3.2)

2.3.2. 2 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ APX (APX activity assay)

เตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ (assay mixture) ปริมาตรรวมทั้งหมด 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบซึ่งประกอบด้วย 100 mM potassium phosphate buffer (pH 7.0), 1 mM L-ascorbic acid, 0.4 mM EDTA และ 10 mM H_2O_2 ปริมาตร 1.9 มิลลิลิตร และ crude enzyme (จากข้อ 2.3.1) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำสารละลายผสมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงยูวี แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ APX โดยมีหน่วยเป็น nmole L-ascorbic acid decomposed/mg protein • min (molar absorbance coefficient ของ L-ascorbic acid เท่ากับ 2.8 mM^{-1}• cm^{-1}) ตามสูตรคำนวณดังนี้

กิจกรรมของเอนไซม์ APX = 71,400X/Y

เมื่อ X คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไปใน 1 นาที ที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร

Y คือ ปริมาณโปรตีน (จากข้อ 2.3.2)

2.3.3.3 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (SOD activity assay)

นำ crude enzyme (จากข้อ 2.3.1) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในถุงไดอะไลซิส แล้วทำการไดอะไลซิส โดยแช่ถุงลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย 10 mM potassium phosphate buffer (pH 7.8) และมีการคนสารละลายตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายในถุงออกไปเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 15,000 x g ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 20 นาที นำส่วนของเหลวใสซึ่งเป็น crude extract ไปใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ SOD

เตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ (assay mixture) ปริมาตรรวมทั้งหมด 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบซึ่งประกอบด้วย 0.5 mM potassium phosphate buffer (pH 7.8), 1 mM xanthine ใน 10 mM NaOH, 0.01 mM cytochrome C, xanthine oxidase ใน 2 M ammonium sulfate และ1 mM EDTA ปริมาตร 1.96 มิลลิลิตร และ crude extract ที่ผ่านการไดอะไลซิสแล้วปริมาตร 40 ไมโครลิตรในชุดทดลอง (สำหรับชุด blank ใช้น้ำกลั่นแทน crude extract) ผสมให้เข้ากันแล้วนำสารละลายผสมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงยูวี แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ SOD โดยมีหน่วยเป็น unit/mg protein ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์ 1 unit มีค่าเท่ากับปริมาณเอนไซม์ที่สามารถยับยั้งการเปลี่ยนสับสเตรทไปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยทำให้มีค่าการดูดกลืนแสงลดลง 50 %ต่อนาที ภายใต้สภาวะที่กำหนด ตามสูตรคำนวณดังนี้

กิจกรรมของเอนไซม์ SOD = [| (Xb/Xs) – 1| * 500]/Y

เมื่อ Xb คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไปใน 1 นาทีในชุด blank ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร

Xs คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไปใน 1 นาทีในชุดทดลองที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร

Y คือ ปริมาณโปรตีน (จากข้อ 2.3.2)

2.4 วิธีการประเมินผล/สังเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (one-way analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้ Duncan’s multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

บทที่ 4

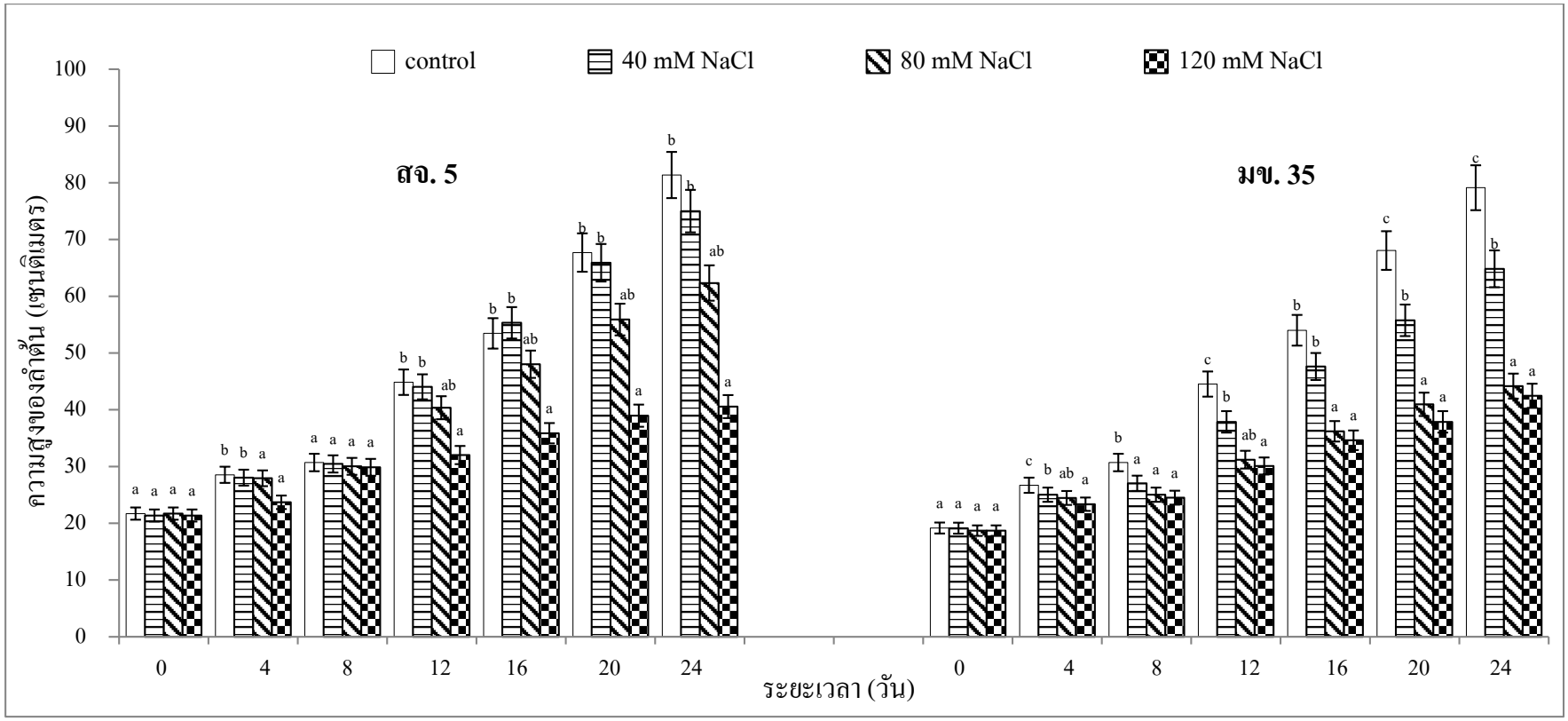
ผลการศึกษา

4.1 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

4.1.1 ความสูงของลำต้น

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีความสูงเท่ากับ 81.36, 75.00, 62.33 และ 43.56 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความสูงของลำต้นที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติจากชุดควบคุม แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีความสูงของลำต้นเท่ากับ 79.13, 64.83, 44.16 และ 42.46 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยความสูงของลำต้นที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ แต่ความสูงของลำต้นที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อความสูงของลำต้นของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยความสูงของลำต้นมีแนวโน้มลดลงแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ในระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 40 และ 120 มิลลิโมลาร์ ความสูงของต้นถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ ความสูงของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีความสูงของลำต้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (ภาพที่ 4-1)

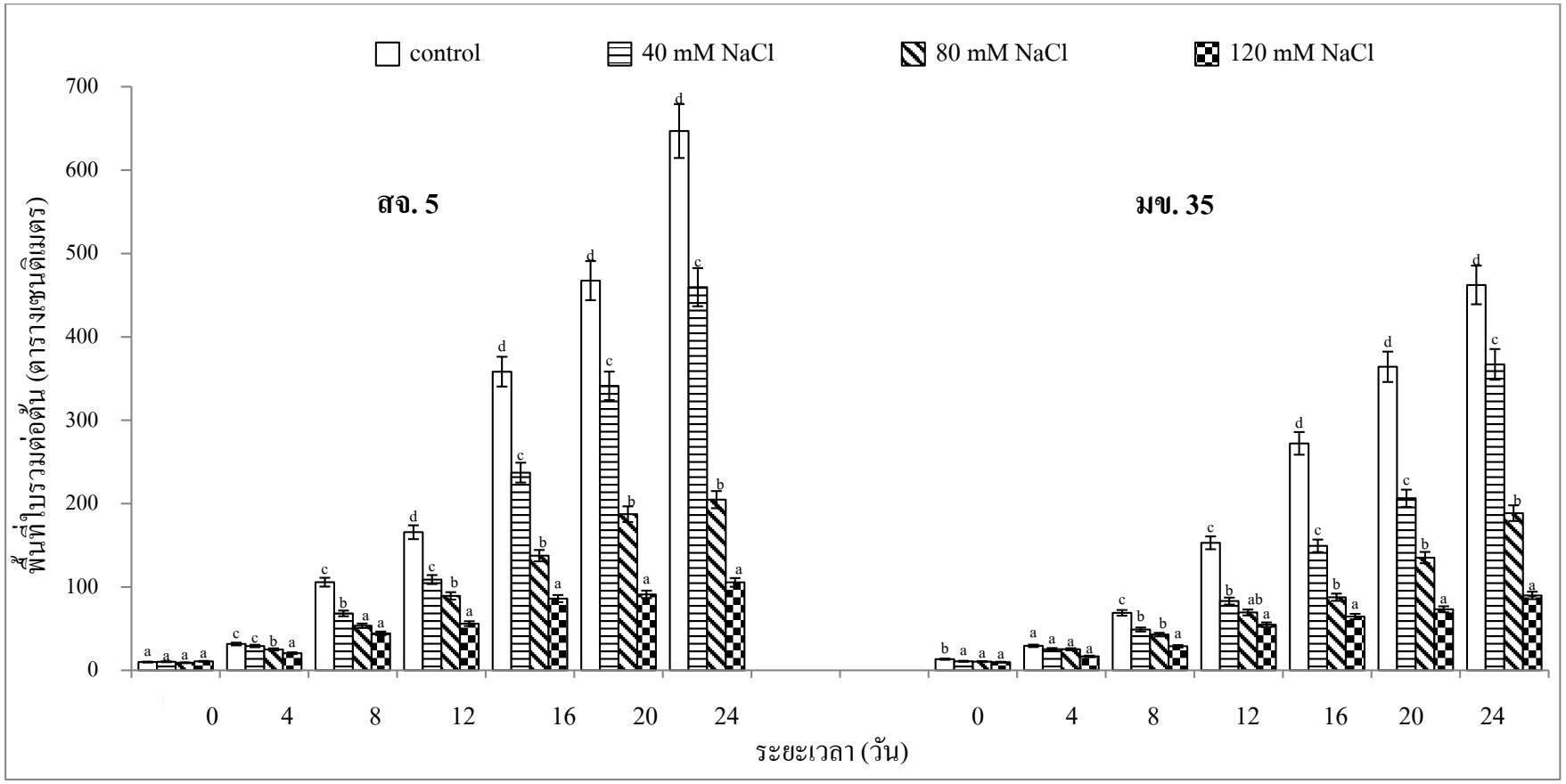


ภาพที่ 4-1 ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.1.2 พื้นที่ใบรวมต่อต้น

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีพื้นที่ใบรวมเท่ากับ 646.79, 459.61, 204.78 และ 105.52 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า พื้นที่ใบรวมต่อต้นที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีพื้นที่ใบรวมเท่ากับ 462.24, 366.98, 188.54 และ 89.90 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยพื้นที่ใบรวมต่อต้นที่ทุกระดับโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อพื้นที่ใบรวมของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยพื้นที่ใบรวมมีแนวโน้มแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ในระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 80 และ120 มิลลิโมลาร์ พื้นที่ใบรวมต่อต้นต้นถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ พื้นที่ใบรวมต่อต้นของถั่วเหลืองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นในมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (ภาพที่ 4-2)

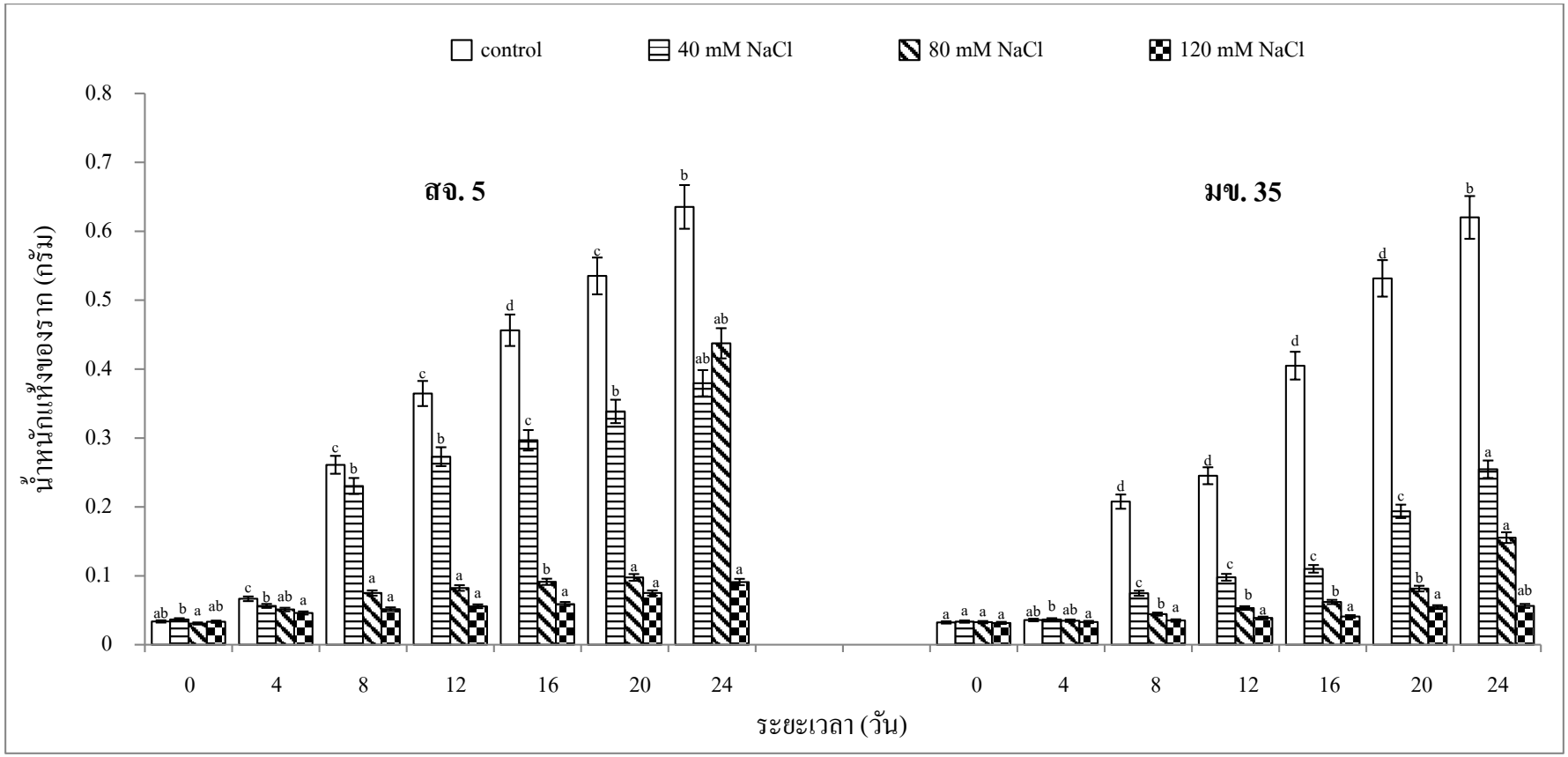


ภาพที่ 4-2 พื้นที่ใบรวมต่อต้น (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.1.3 น้ำหนักของแห้งราก

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีน้ำหนักแห้งของรากเท่ากับ 0.63, 0.43, 0.37 และ 0.09 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า น้ำหนักแห้งของรากที่ระดับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติจากชุดควบคุม และไม่แตกต่างทางสถิติจาก 120 มิลลิโมลาร์ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีน้ำหนักแห้งของรากเท่ากับ 0.62, 0.25, 0.15 และ 0.05 กรัม ตามลำดับ โดยน้ำหนักแห้งของรากที่ระดับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม แต่ไม่แตกต่างทางสถิติจาก 80 และ 120 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อน้ำหนักแห้งของรากของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยน้ำหนักแห้งของรากมีแนวโน้มลดลงจากชุดควบคุม และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ น้ำหนักแห้งของรากของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีน้ำหนักแห้งของรากใกล้เคียงกับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (ภาพที่ 4-3)

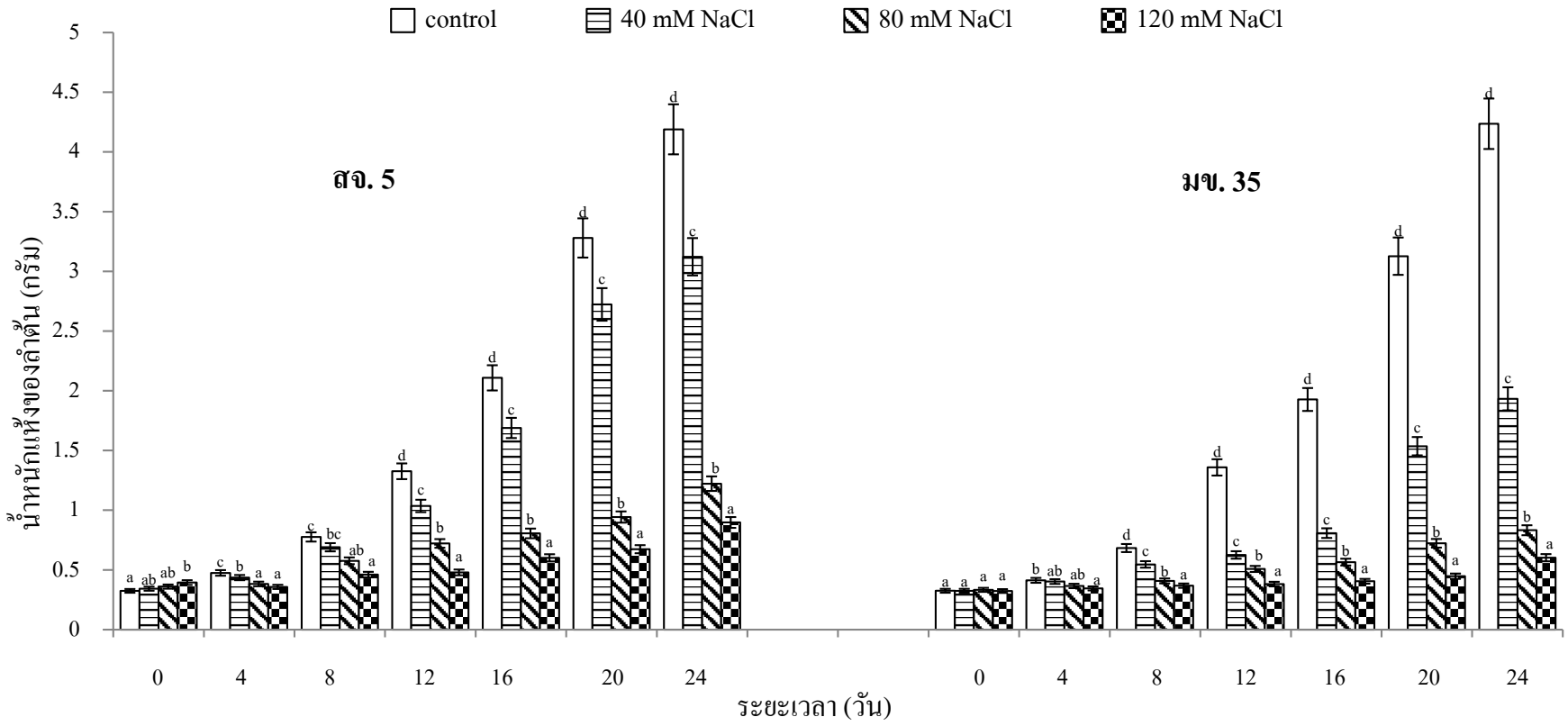


ภาพที่ 4-3 น้ำหนักแห้งของราก (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.1.4 น้ำหนักแห้งของลำต้น

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 4.18, 3.12, 1.22 และ 0.89 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า น้ำหนักแห้งของลำต้นที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 4.23, 1.93, 0.83 และ 0.60 กรัม ตามลำดับ โดยน้ำหนักแห้งของลำต้นที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อน้ำหนักแห้งของลำต้นของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยน้ำหนักแห้งของลำต้นมีแนวโน้มลดลงแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และที่ระดับความเข้มของโซเดียมคลอไรด์เดียวกันจะเห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ น้ำหนักแห้งของลำต้นของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีน้ำหนักแห้งของลำต้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (ภาพที่ 4-4)

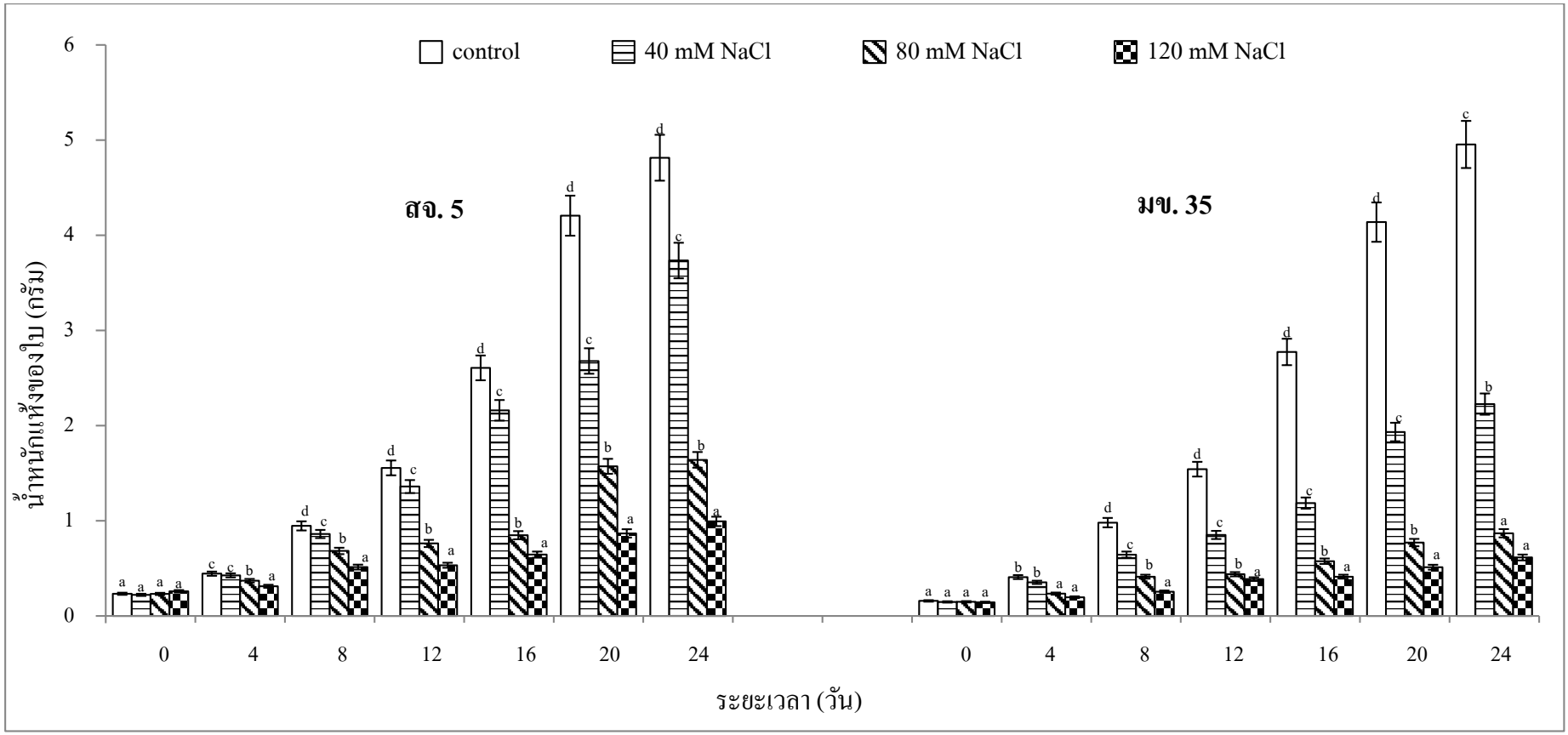


ภาพที่ 4-4 น้ำหนักแห้งของลำต้น (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.1.5 น้ำหนักแห้งของใบ

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีน้ำหนักแห้งของใบเท่ากับ 4.81, 3.73, 1.64 และ 0.99กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า น้ำหนักแห้งของใบที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีน้ำหนักแห้งของใบ 4.59, 2.22, 0.86 และ 0.61กรัม ตามลำดับ โดยน้ำหนักแห้งของใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ แต่น้ำหนักแห้งของใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อน้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยน้ำหนักแห้งของใบมีแนวโน้มลดลงแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่าทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์น้ำหนักแห้งของใบถั่วเหลืองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีน้ำหนักแห้งของใบมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (ภาพที่ 4-5)

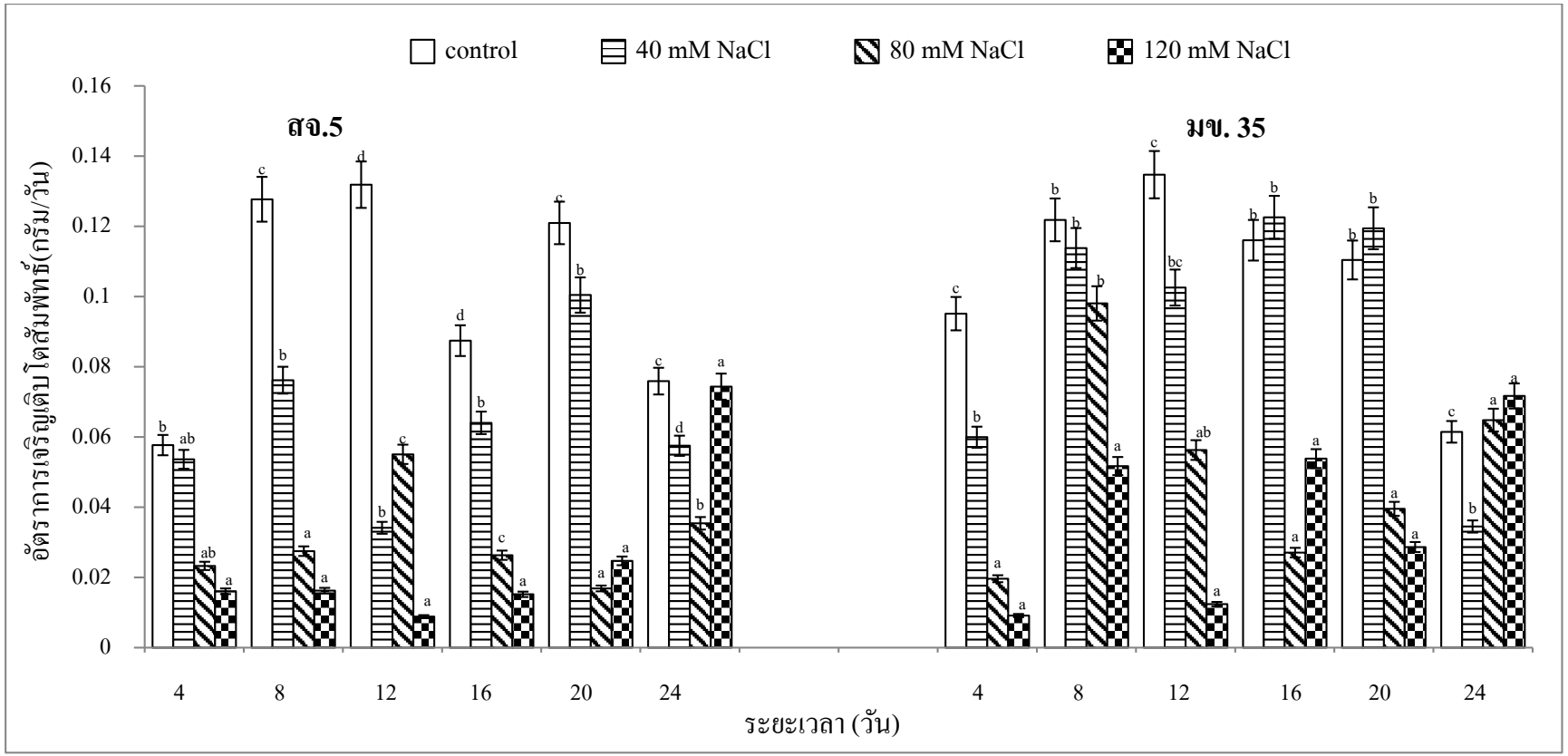


ภาพที่ 4-5 น้ำหนักแห้งของใบ (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.1.6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เท่ากับ 0.07, 0.05, 0.03 และ 0.02 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เท่ากับ 0.06, 0.04, 0.03 และ 0.02 กรัม/วัน ตามลำดับโดยอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ แต่อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับโซเดียมคลอไรด์120 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์มีแนวโน้มลดลงแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความเข้มของโซเดียมคลอไรด์เดียวกันจะเห็นได้ว่า ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 40 และ 120 มิลลิโมลาร์ อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (ภาพที่ 4-6)

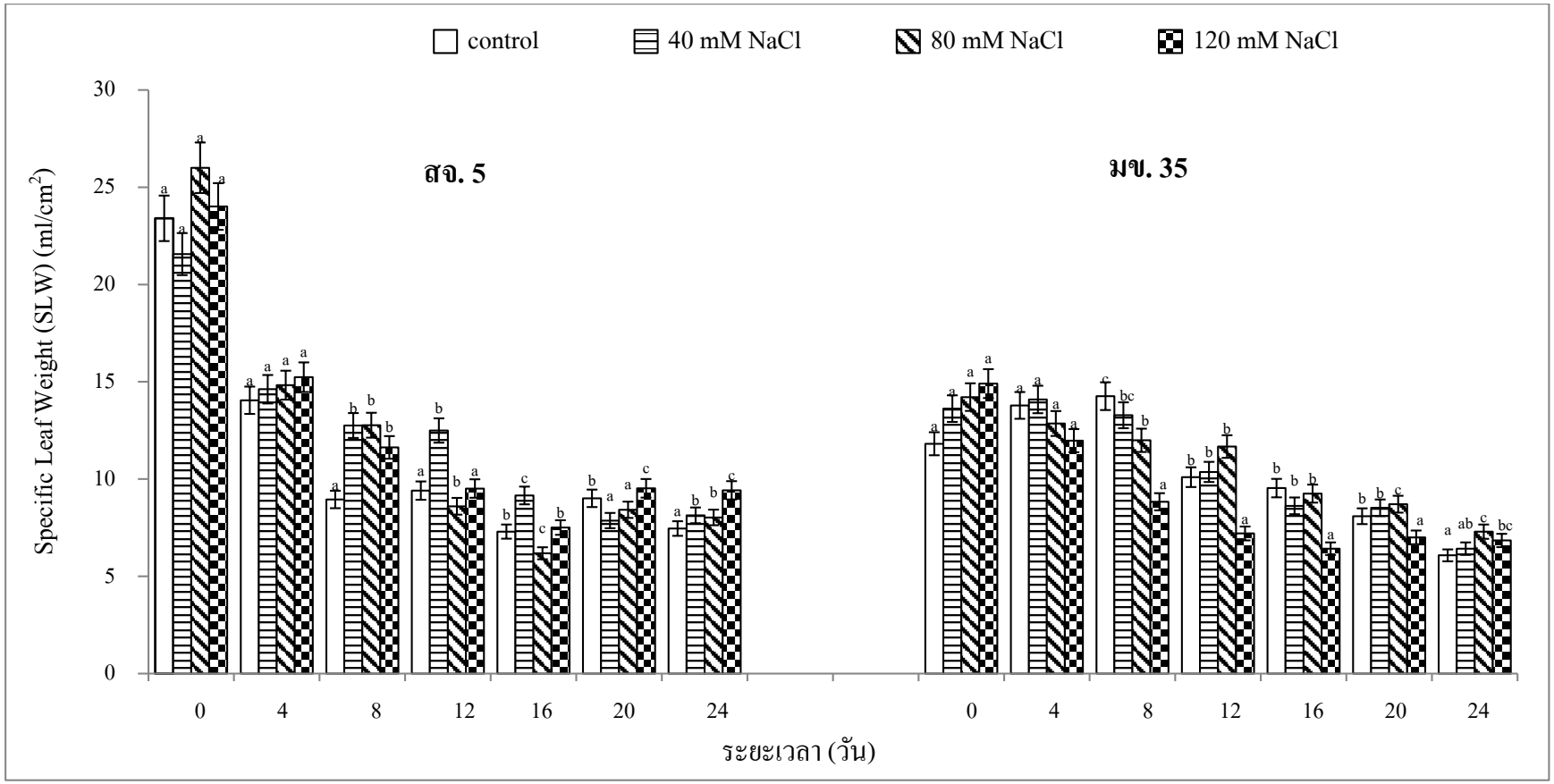


ภาพที่ 4-6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/วัน) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.17 น้ำหนักจำเพาะของใบ (Specific Leaf Weight : SLW)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มี SLW เท่ากับ 7.45, 8.13, 8.22 และ 9.42 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า SLW ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์ SLW ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์มข. 35 มี SLWเท่ากับ 6.07, 6.42, 7.29 และ 7.84 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดย SLW ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติจากชุดควบคุม แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ และ SLW ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับโซเดียมคลอไรด์ 20 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อ SLW ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดย SLW มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ SLW ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจะเห็นได้ว่า SLW ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (ภาพที่ 4-7)



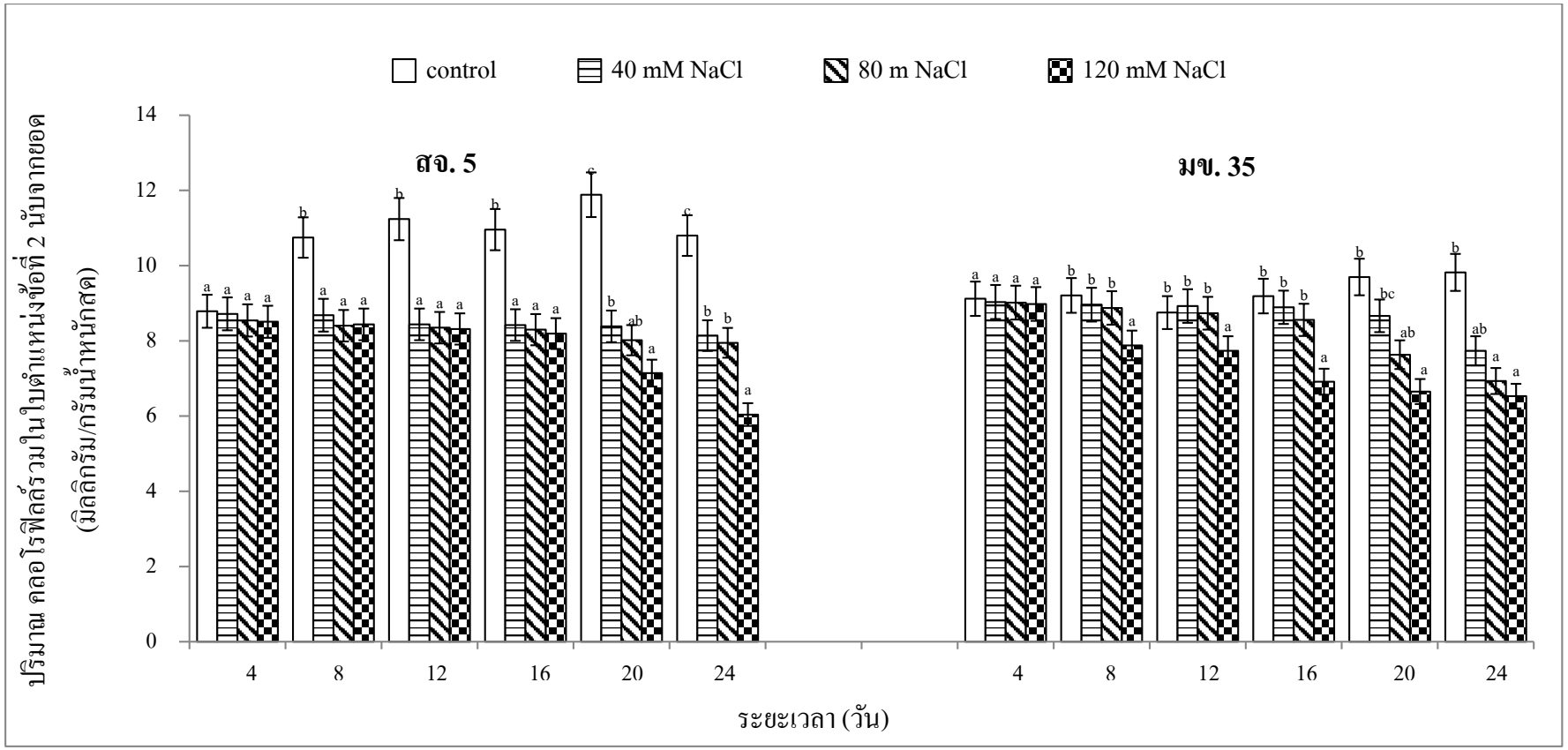
ภาพที่ 4-7 Specific Leaf Weight (mg/cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.2 ผลของโซเดียมคลอไรด์ปริมาณรงควัตถุ

4.2.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมใบเท่ากับ 10.80, 8.14, 7.94 และ 6.04 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากชุดควบคุม และระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมใบเท่ากับ 9.82, 7.73, 6.93 และ 6.03 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์รวมใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม แต่ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 และ120 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมใบถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์รวมใบมีแนวโน้มลดลงจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความเข้มของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่าที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของถั่วเหลืองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมใบใกล้เคียงกันกับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (ภาพที่ 4-10)

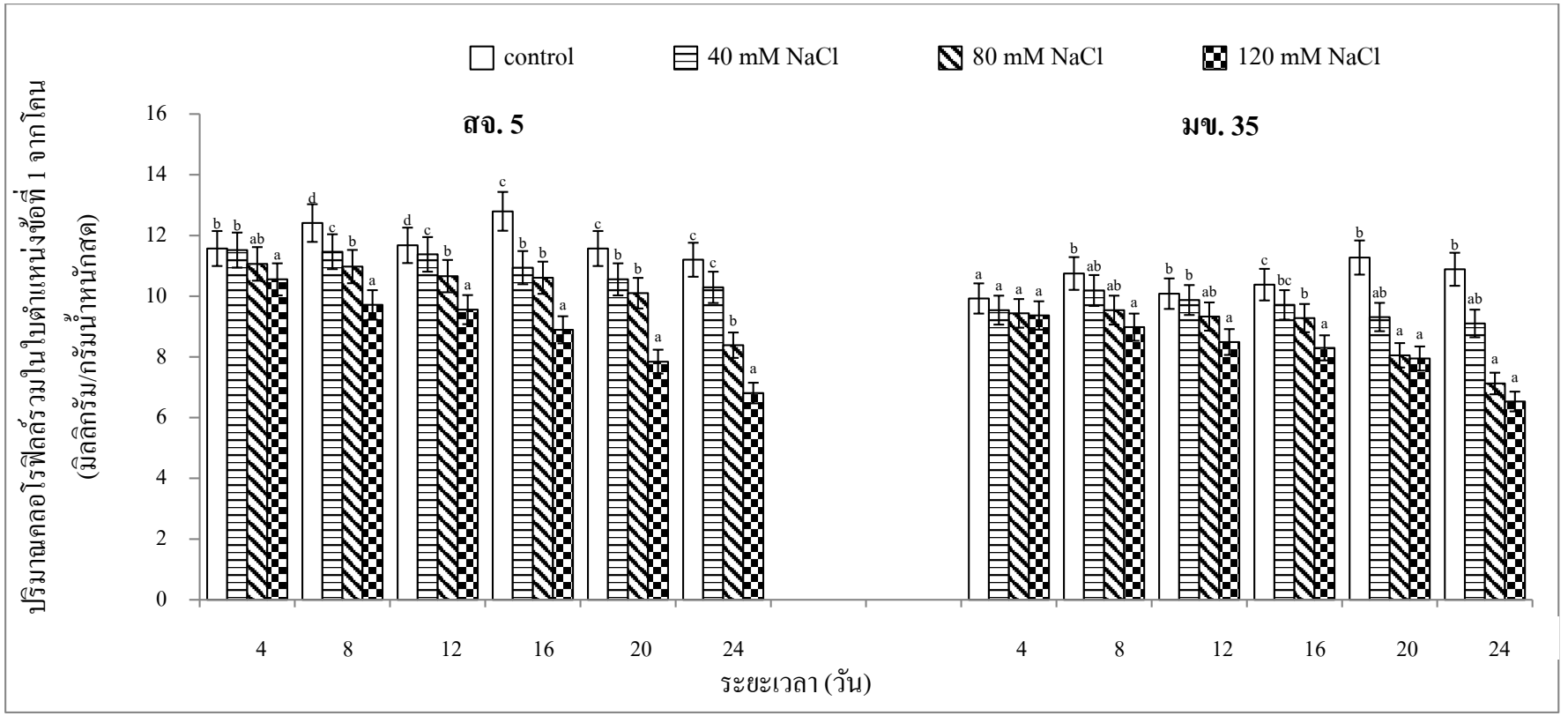


ภาพที่ 4-8 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.2.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเท่ากับ 11.20, 10.29, 8.83 และ 6.81 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติจากชุดควบคุม แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบเท่ากับ 10.88, 9.10, 7.12 และ 6.53 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุมแต่ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 และ120 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์รวมใบมีแนวโน้มลดลงจากชุดควบคุม และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของถั่วเหลืองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบใกล้เคียงกันกับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (ภาพที่ 4-9)

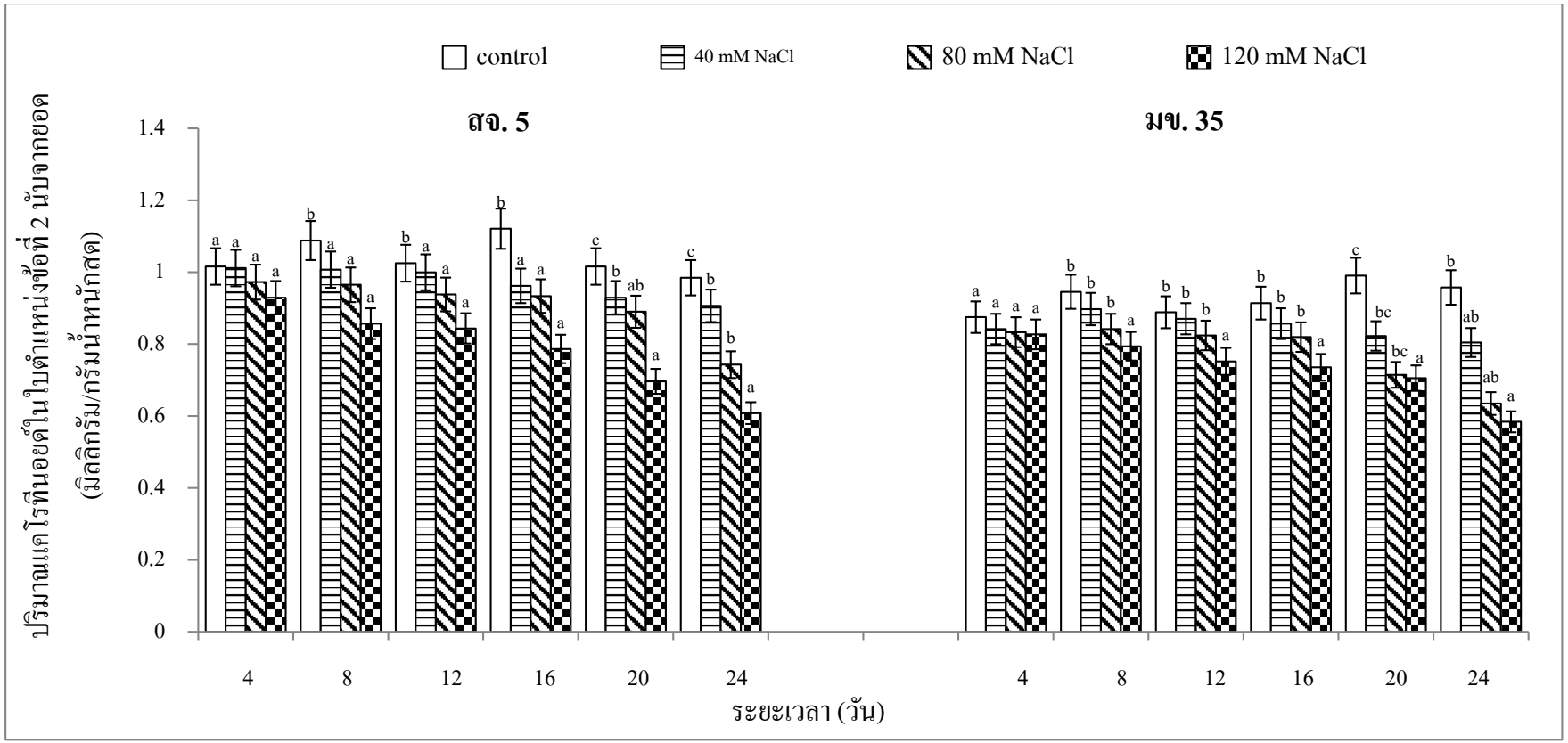


ภาพที่ 4-9 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.2.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบเท่ากับ 0.95, 0.72, 0.70 และ 0.54 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)จากชุดควบคุม และที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.86, 0.68, 0.61 และ 0.52 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากชุดควบคุม แต่ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ใบถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบมีแนวโน้มลดลงจากชุดควบคุม และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของถั่วเหลืองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบใกล้เคียงกันกับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (ภาพที่ 4-10)

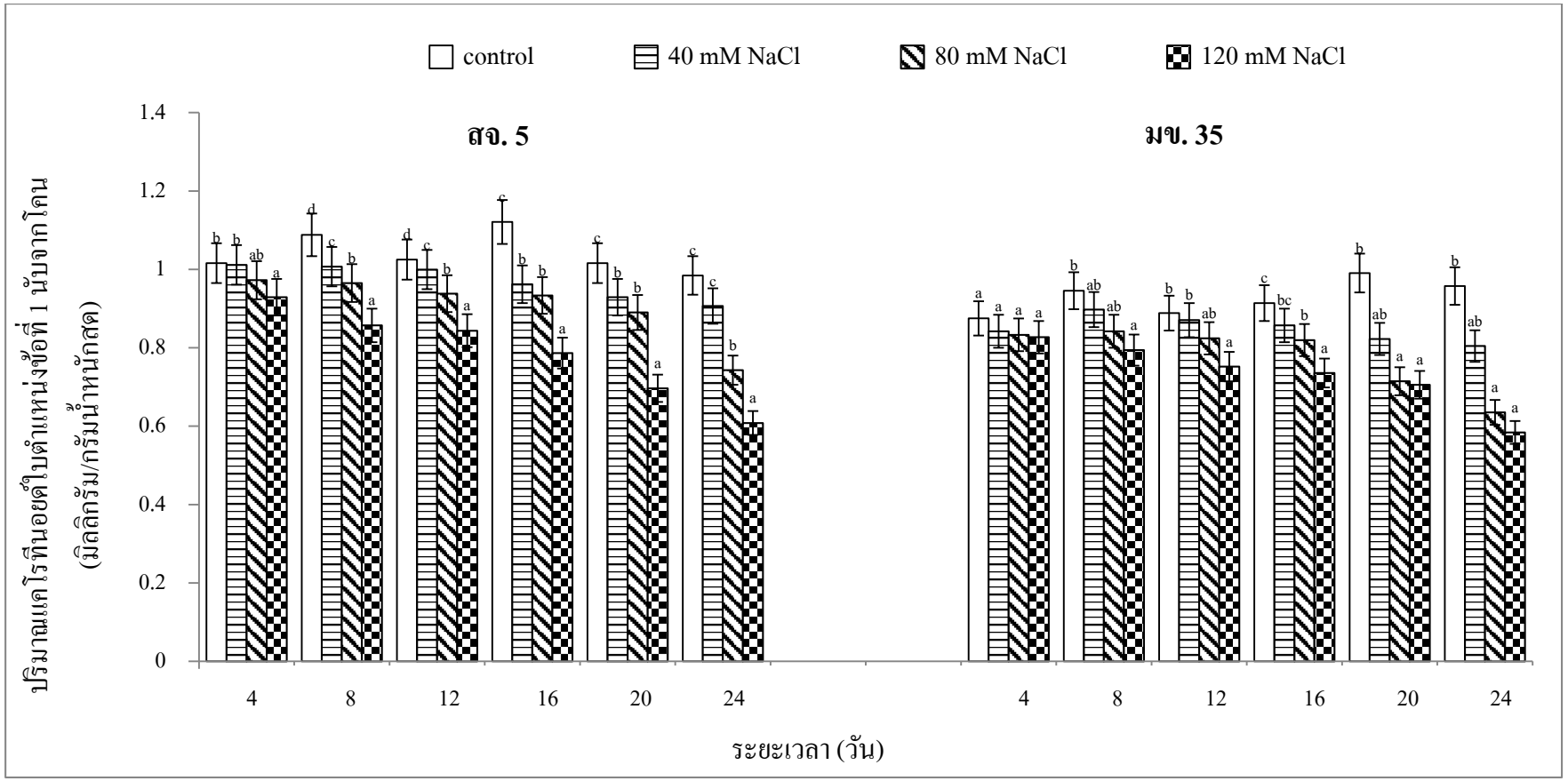


ภาพที่ 4-10 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.2.4 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบเท่ากับ 0.98, 0.90, 0.74 และ 0.60 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติจากชุดควบคุม แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.95, 0.80, 0.63 และ 0.58 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยแคโรทีนอยด์ในใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติจากชุดควบคุมและระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 และ120 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ใบถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบมีแนวโน้มลดลงจากชุดควบคุม และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของถั่วเหลืองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบใกล้เคียงกันกับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 (ภาพที่ 4-11)



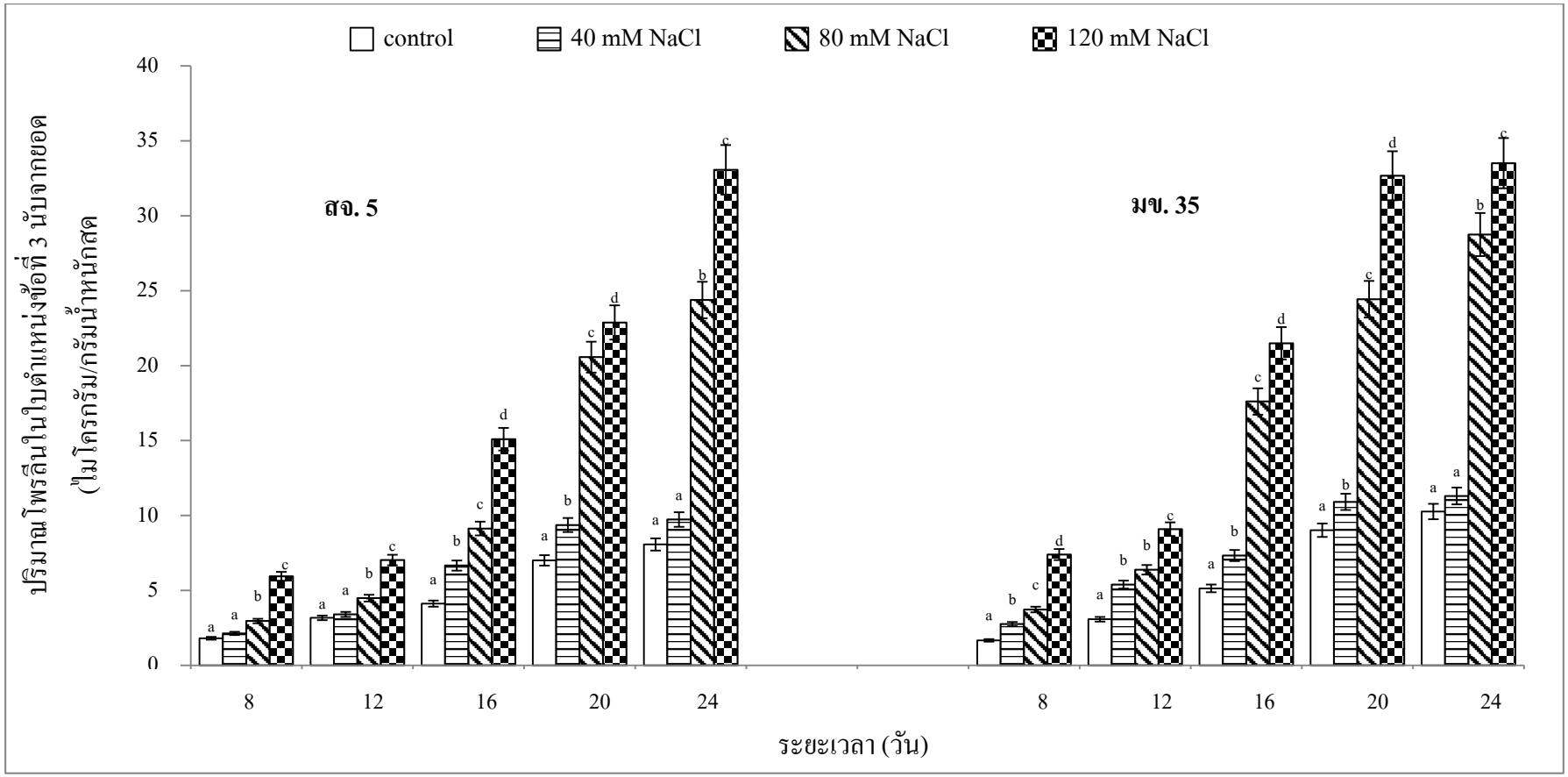
ภาพที่ 4- 11 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.3 ผลของโซเดียมคลอไรด์ปริมาณโพรลีน

4.3.1 ปริมาณโพรลีนในใบตำแหน่งข้อที่ 3 นับจากยอด

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณโพรลีนในใบเท่ากับ 8.06, 9.73, 24.38 และ 33.06 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีปริมาณโพรลีนในใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติจากชุดควบคุม แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ และปริมาณโพรลีนในใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีปริมาณโพรลีนในใบเท่ากับ 10.26, 11.30, 28.74 และ 33.50 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยปริมาณโพรลีนในใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ และปริมาณโพรลีนในใบที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อปริมาณโพรลีนในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยปริมาณโพรลีนในใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมและที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ในระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 และ120 มิลลิโมลาร์ ปริมาณโพรลีนในใบของถั่วเหลืองค่าไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ ปริมาณโพรลีนในใบของถั่วเหลืองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะเห็นได้ว่า ปริมาณโพรลีนในใบตำแหน่งข้อที่ 3 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 (ภาพที่ 4-12)

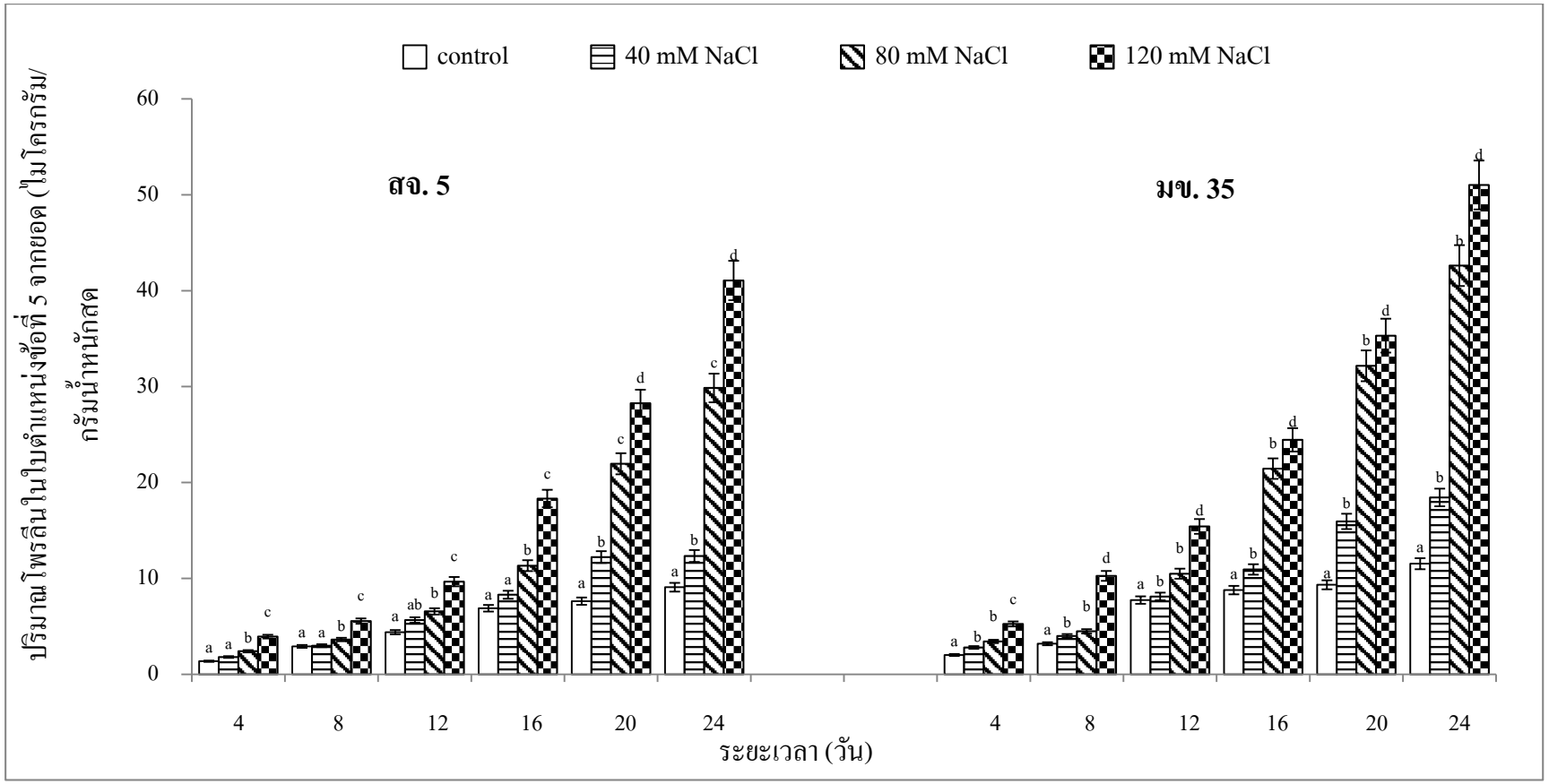


ภาพที่ 4-12 ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบตำแหน่งข้อที่ 3 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.3.2 ปริมาณโพรลีนในใบตำแหน่งข้อที่ 5 นับจากยอด

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณโพรลีนในใบเท่ากับ 9.08, 12.34, 29.85 และ 41.06 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณโพรลีนในใบที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีปริมาณโพรลีนในใบเท่ากับ 11.53, 18.44, 42.61 และ 51.02 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยปริมาณโพรลีนในใบที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อปริมาณโพรลีนในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยปริมาณโพรลีนในใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน เห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณโพรลีนในใบของถั่วเหลืองค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณโพรลีนในใบตำแหน่งข้อที่ 5 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 (ภาพที่ 4-13)



ภาพที่ 4-13 ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในใบตำแหน่งข้อที่ 5 จากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.4 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ CAT APX และ SOD

4.4.1 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ CAT

4.4.1.1 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ CAT ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีกิจกรรมของ CAT เท่ากับ 184.21, 257.50 418.45 และ 509.66 μmole/mg protein • min ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กิจกรรมของ CAT ในใบที่ทุกระดับโซเดียมคลอไรด์ แตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีกิจกรรมของ CAT เท่ากับ 242.45, 369.45, 484.40 และ 757.54 μmole/mg protein • min ตามลำดับ โดยกิจกรรมของ CAT ในใบ ที่ทุกระดับโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม

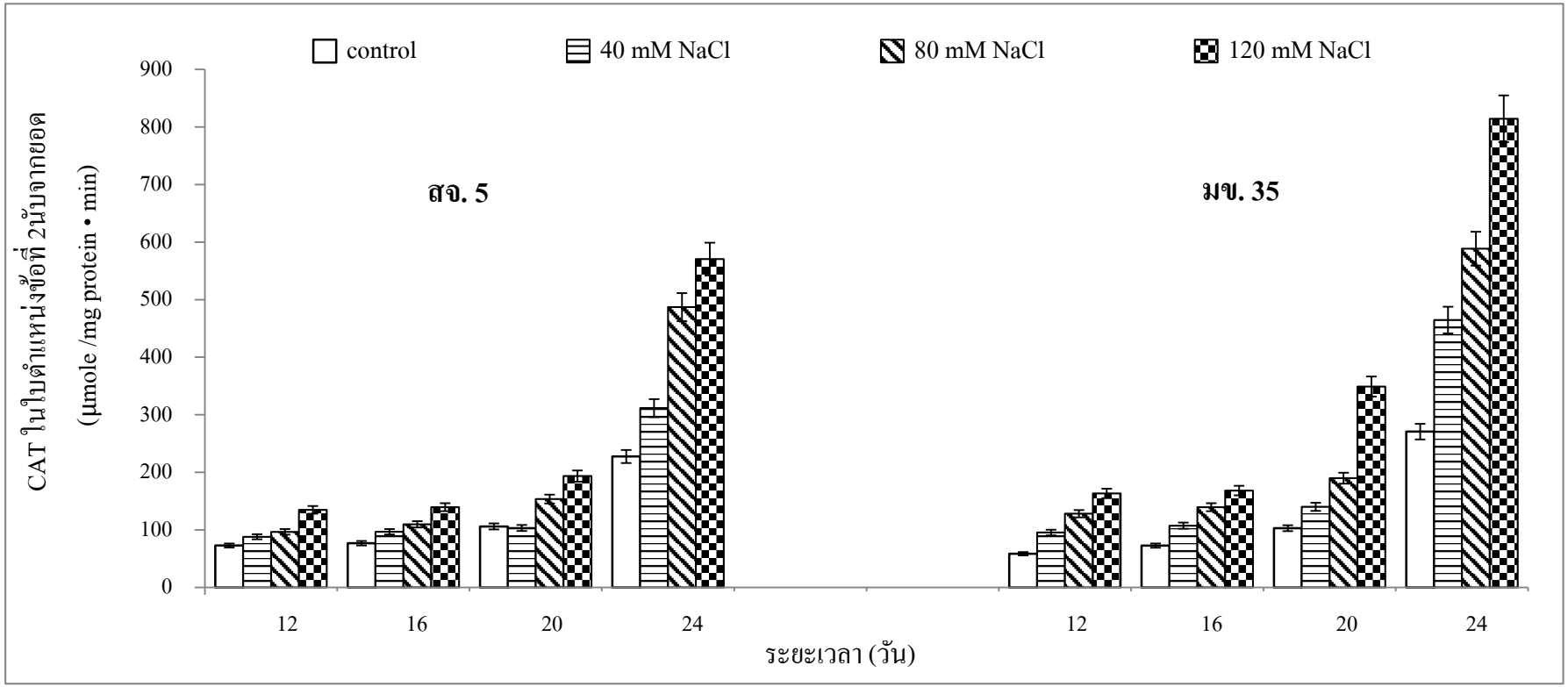
จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อกิจกรรมของ CAT ในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยกิจกรรมของ CAT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ กิจกรรมของ CAT ในใบของถั่วเหลืองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกิจกรรมของ CAT ในใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 (ภาพที่ 4-14)

4.4.1.2 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ CAT ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน

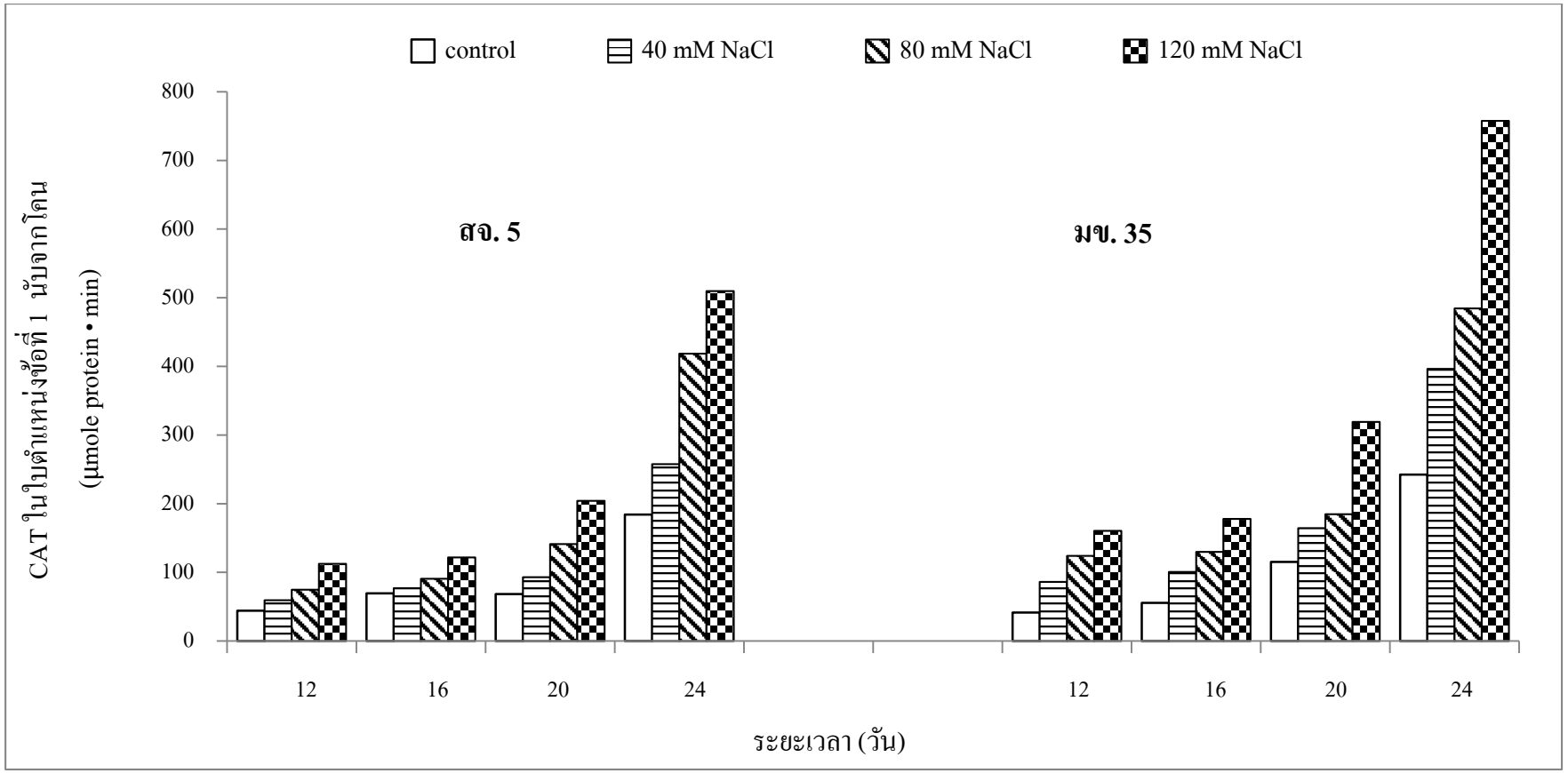
เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีกิจกรรมของ CAT เท่ากับ 227.50, 311.59, 486.98 และ 570.51 μmole/mg protein • min ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กิจกรรมของ CAT ในใบที่ทุกระดับโซเดียมคลอไรด์ แตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีกิจกรรมของ CAT เท่ากับ 270.69, 464.58, 588.58 และ 814.32

μmole/mg protein • min ตามลำดับ โดยกิจกรรมของ CAT ในใบ ที่ทุกระดับโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อกิจกรรมของ CAT ในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยกิจกรรมของ CAT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ กิจกรรมของ CAT ในใบของถั่วเหลืองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และแอกติวิตีของ CAT ในใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 (ภาพที่ 4-15)



ภาพที่ 4-14 กิจกรรมของ CAT (µmole /mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)



ภาพที่ 4-15 กิจกรรมของ CAT (µmole /mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความ เข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.4.2 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ APX

4.4.2.1 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ APX ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด

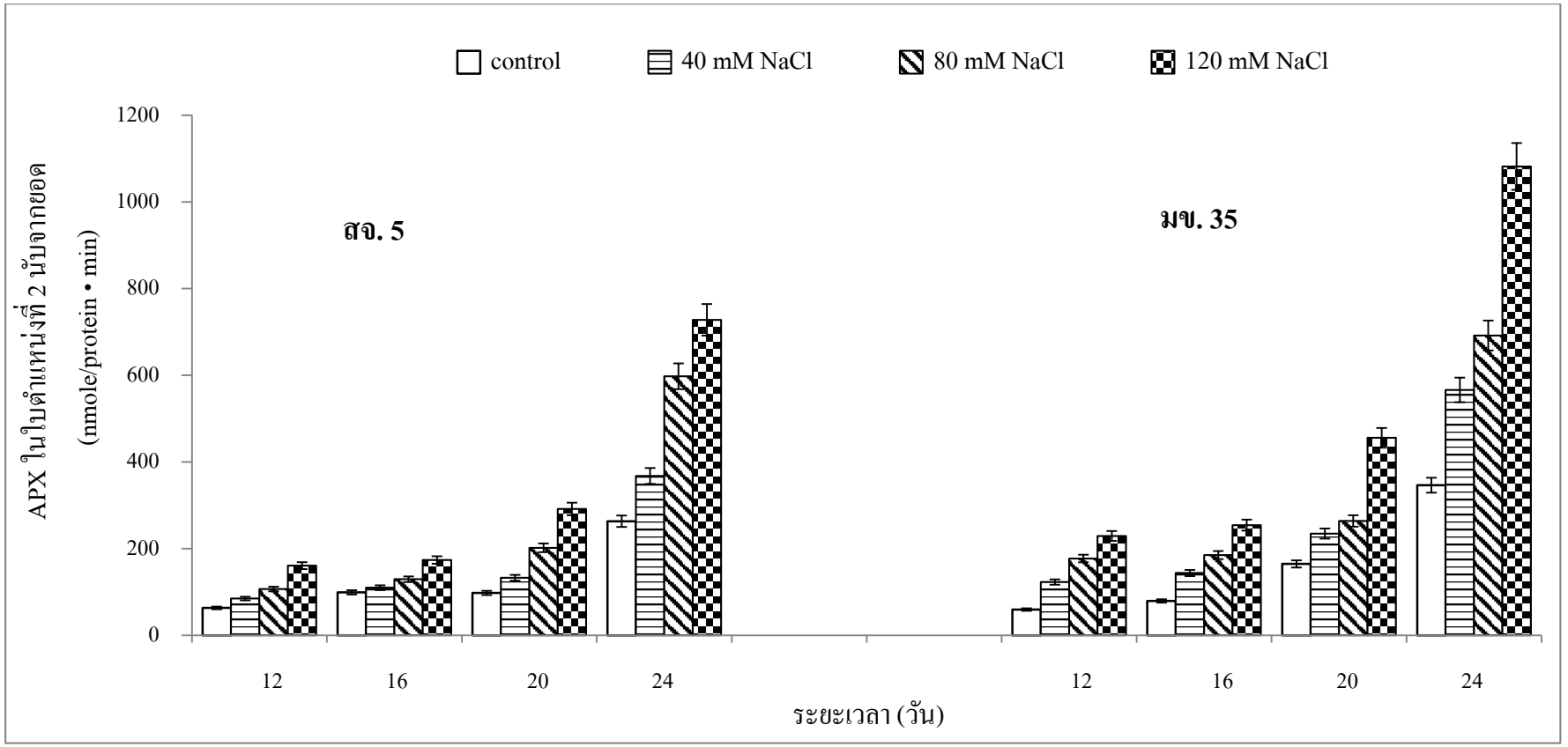
เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีกิจกรรมของ APX เท่ากับ 346.22, 367.72, 597.55 และ 627.80 nmole/mg protein • min ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กิจกรรมของ APX ในใบที่ทุกระดับโซเดียมคลอไรด์ แตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีกิจกรรมของ APX เท่ากับ 263.06, 566.13, 691.72 และ 781.77 nmole/mg protein • min ตามลำดับ โดยกิจกรรมของ APX ในใบ ที่ทุกระดับโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อกิจกรรมของ APX ในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยกิจกรรมของ APX มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความเข้มของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ กิจกรรมของ APX ในใบของถั่วเหลืองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกิจกรรมของ APX ในใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 (ภาพที่ 4-16)

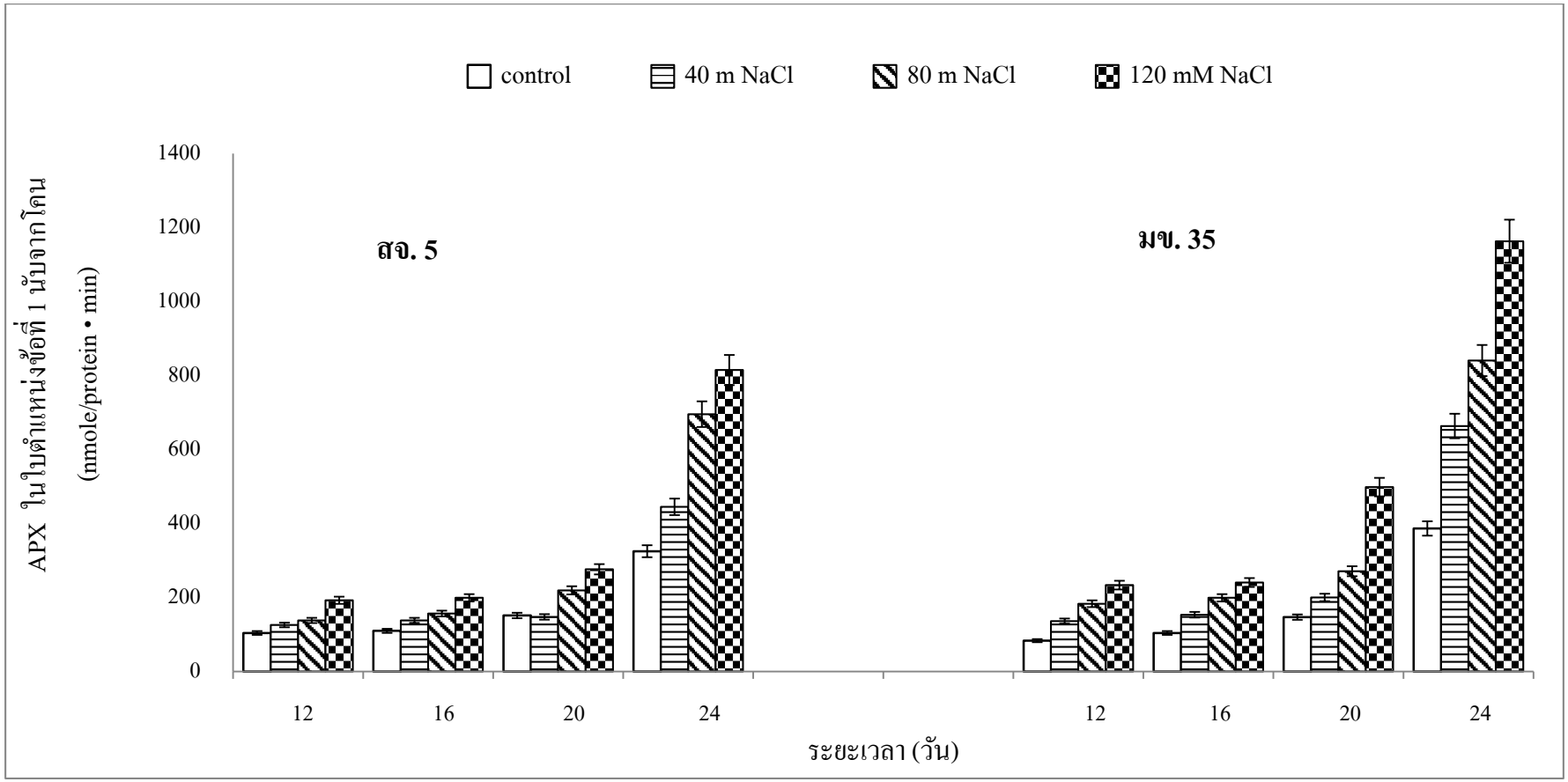
4.4.2.2 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ APX ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีกิจกรรมของ APX เท่ากับ 324.87, 444.95, 695.42 และ 814.69 nmole/mg protein • min ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กิจกรรมของ APX ในใบที่ทุกระดับโซเดียมคลอไรด์ แตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีกิจกรรมของ APX เท่ากับ 386.55, 663.43, 840.50 และ 1162.86 nmole/mg protein • min ตามลำดับ โดยกิจกรรมของ APX ในใบ ที่ทุกระดับโซเดียมคลอไรด์แตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อกิจกรรมของ APX ในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยกิจกรรมของ APX มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความเข้มของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ กิจกรรมของ APX ในใบของถั่วเหลืองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกิจกรรมของ APX ในใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 (ภาพที่ 4-17)



ภาพที่ 4-16 กิจกรรมของ APX (nmole /mg protein • min) ในใบตำแหน่งที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)



ภาพที่ 4-17 กิจกรรมของ APX (nmole /mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น ที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

4.4.3 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ SOD

4.4.3.1 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ SOD ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีกิจกรรมของ SOD เท่ากับ 6.70, 7.63, 9.47 และ 9.94 Unit mg^{-1} protein ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า กิจกรรมของ SOD ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีกิจกรรมของ SOD เท่ากับ 8.61, 9.46, 10.54 และ11.88 Unit mg^{-1} protein ตามลำดับ โดยกิจกรรมของ SOD ในใบ ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์

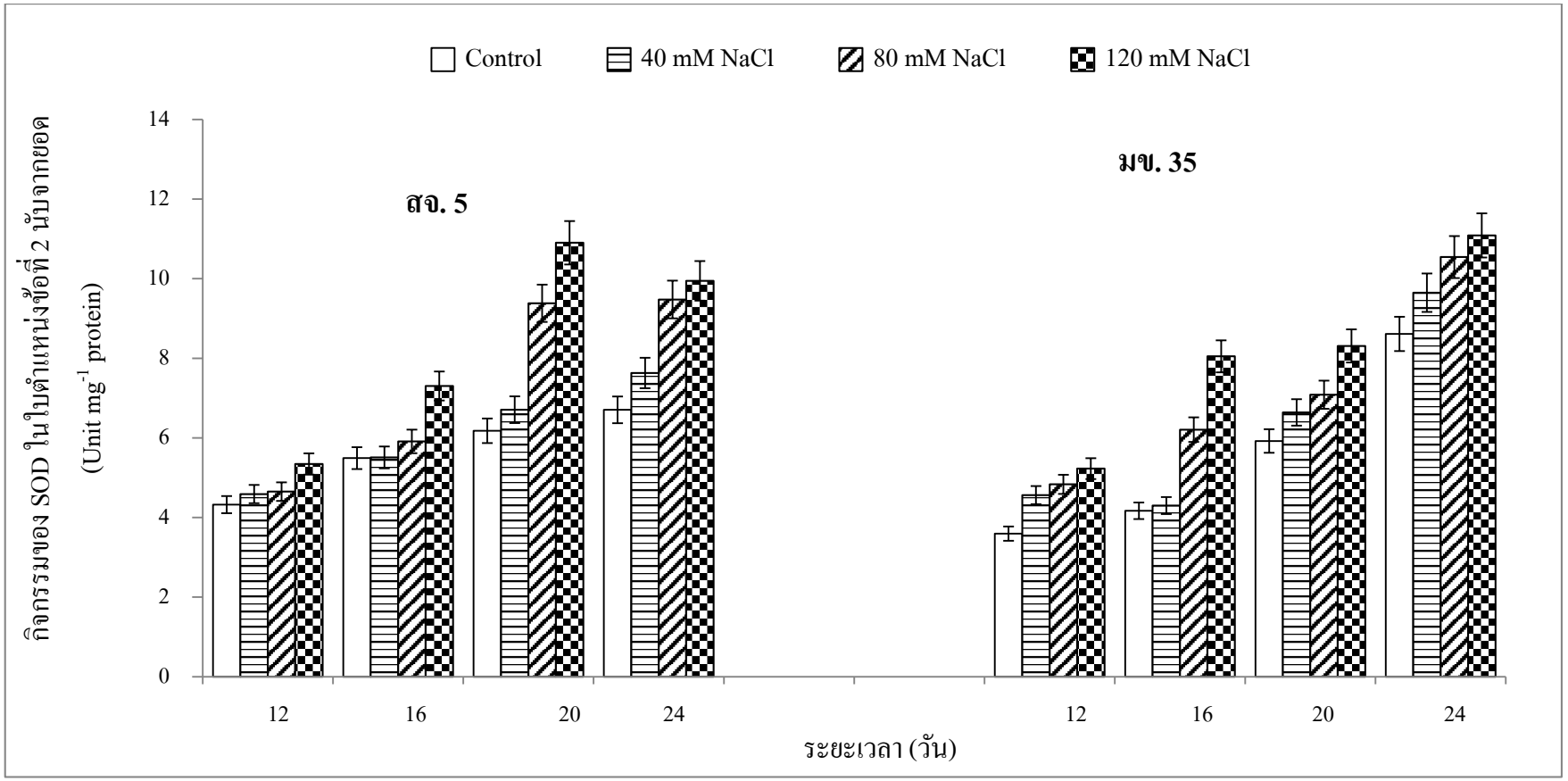
จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อกิจกรรมของ SOD ในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยกิจกรรมของ SOD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความเข้มของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ กิจกรรมของ SOD ในใบของถั่วเหลืองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกิจกรรมของ SOD ในใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 (ภาพที่ 4-18)

4.4.3.2 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของ SOD ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน

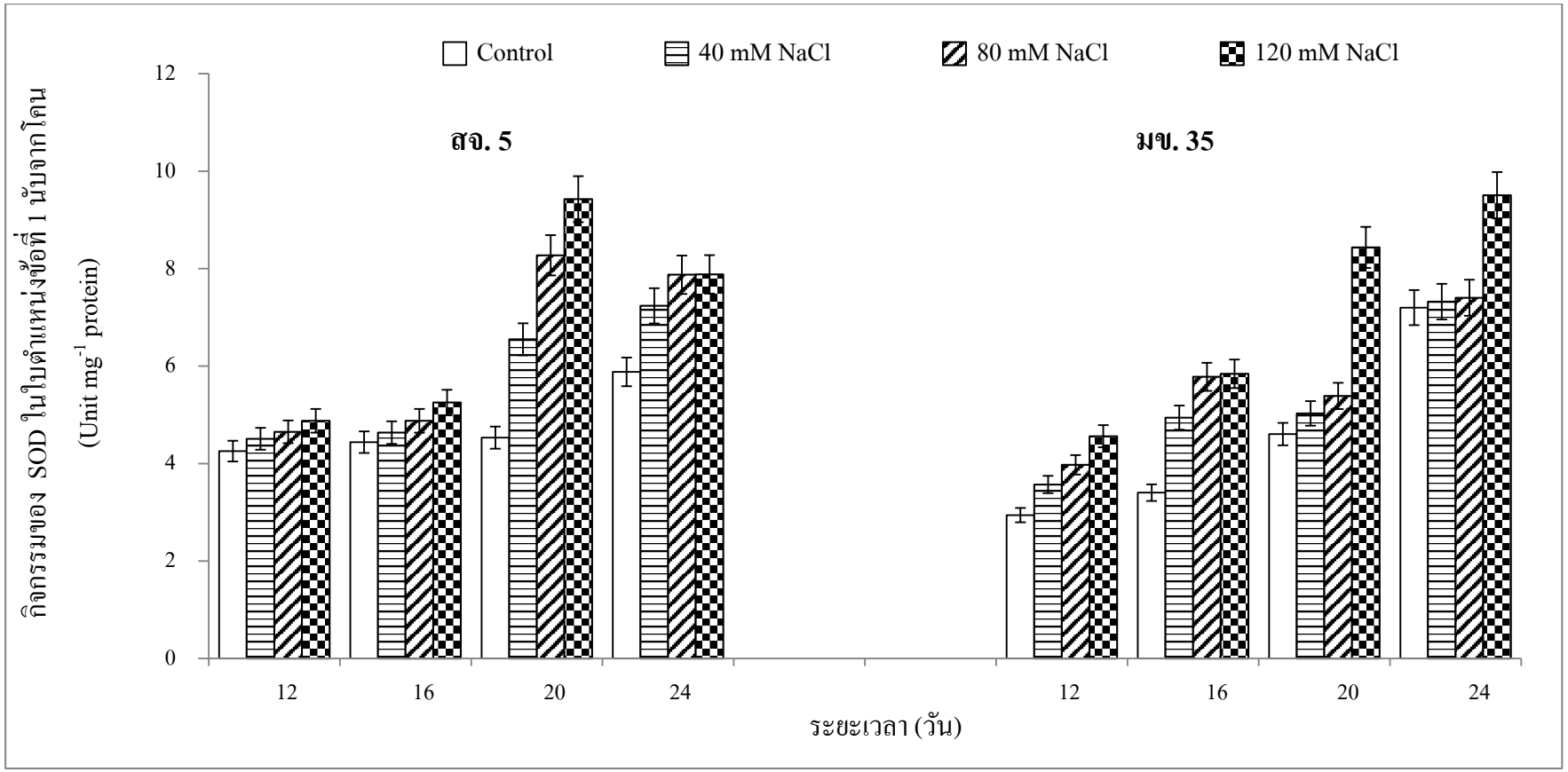
เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีกิจกรรมของ SOD เท่ากับ 7.19, 7.23, 7.37 และ 7.88 Unit mg^{-1} protein ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า แอกติวิตีของ SOD ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ

ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีกิจกรรมของ SOD เท่ากับ 5.88, 7.32, 7.40 และ 9.50 Unit mg^{-1} protein ตามลำดับ โดยกิจกรรมของ SOD ในใบ ที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 40 มิลลิโมลาร์ ไม่แตกต่างทางสถิติจากชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) และที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 แต่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 80 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อกิจกรรมของ SOD ในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยกิจกรรมของ SOD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระดับความเข้มของโซเดียมคลอไรด์เดียวกัน จะเห็นได้ว่า ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ กิจกรรมของ SOD ของถั่วเหลืองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์ กิจกรรมของ SOD ของถั่วเหลืองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีกิจกรรมของ SOD มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 (ภาพที่ 4-19)



ภาพที่ 4-18 กิจกรรมของ SOD (Unit mg^{-1} protein) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)



ภาพที่ 4-19 กิจกรรมของ SOD (Unit mg^{-1} protein) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Bars แทนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

5.1 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 40, 80 และ120 มิลลิโมลาร์ มีผลต่อการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง กล่าวคือ ความสูงของลำต้น น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักแห้งใบ พื้นที่ใบรวมต่อต้นและอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของถั่วเหลืองทั้งสองสายพันธุ์ลดลงและน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีความสูงของลำต้น น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักแห้งใบ และพื้นที่ใบรวมต่อต้นและอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 แสดงให้เห็นว่า โซเดียมคลอไรด์ที่ได้รับมีผลต่อการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 โดยจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีความสามารถทนต่อโซเดียมคลอไรด์ที่ได้รับได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35

จากการที่ถั่วเหลืองที่ได้รับความเครียดจากโซเดียมคลอไรด์นี้และมีผลต่อการเจริญเติบโต สอดคล้องกับรายงานของ บุญแสน เตียวนุกูลธรรม (2548) ที่ได้กล่าวว่า โซเดียมคลอไรด์ในสารละลายมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช นอกจากนี้ โซเดียมคลอไรด์จะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช (Takemura et al., 2000) โดยมีผลทำให้อัตราการเพิ่มขนาดของใบพืชลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของเกลือเพิ่มสูงขึ้น (Chartzoulakis & Klapaki, 2000) และมีผลต่อน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดของพืชทั้งที่ใบลำต้น และรากลดลงอีกด้วย (Henandez et al., 2000)

การที่โซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของพืชลดลง ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโต ความสูง น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบลดลง (Amira & Qados, 2011) เนื่องจาก ความเครียดออสโมติกพืชที่เจริญเติบโตในโซเดียมคลอไรด์จะต้องใช้พลังงานมากกว่าปกติเพื่อดูดน้ำและธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโต โซเดียมคลอไรด์ทำให้น้ำในดินมีแรงดันออสโมติกเพิ่มขึ้น และความต่างศักย์ของน้ำลดลง เซลล์พืชมีอาการขาดน้ำและอาจถึงตายได้

เพราะน้ำจะไหลจากบริเวณที่มีความต่างศักย์สูงไปสู่บริเวณที่มีความต่างศักย์ที่ต่ำกว่า หากมีโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายเข้มข้นกว่าในพืช ความเป็นประโยชน์ของน้ำในสารละลายจะลดลง ทำให้พืชไม่สามารถดูดน้ำจากสารละลายได้ มีผลกระทบต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืช (Hanson et al., 1993 อ้างถึงใน กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

จากการทดลองสังเกตได้ว่า ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์มีลักษณะใบเหี่ยว ขอบใบไหม้ เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์ที่ละลายอยู่ในสารละลายธาตุอาหารทำให้มีแรงดันออสโมติกเพิ่มขึ้นและน้ำไหลออกจากต้นถั่วเหลืองจึงเป็นสาเหตุทำให้ใบเหี่ยวและการเจริญเติบโตลดลง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

จากผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dolatabadian, Modarressanavy and Ghanati (2011) ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ในการเพาะปลูกถั่วเหลือง พบว่า ถั่วเหลืองที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์มีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งลำต้น ความสูง และจำนวนใบถั่วเหลืองน้อยกว่าชุดควบคุม และสอดคล้องกับการทดลองของ อธิภัทร เงินหมื่น (2556) ที่ศึกษาผลของความเค็มต่อลักษณะทางกายวิภาคของพืชทนเค็มบางชนิดภายในพื้นที่นากุ้งทิ้งร้าง เมื่อนำพืชเด่นในก้นบ่อ 2 ชนิด คือ *Paspalum vaginatum* Swartz (หญ้าสะกาดน้ำเค็ม) และ *Eleocharis dulcis* Trin (กกแห้วทรงกระเทียม) มาปลูกในสารละลาย Hoagland ซึ่งเพิ่มโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0, 50,100, 200 และ 300 mM เป็นเวลา 60 วัน พบว่า การเจริญเติบโตของพืชลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้นและค่าความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ยับยั้งการเจริญของข้าวขาวดอกมะลิ คือ 50 มิลลิโมลาร์ โซเดียมคลอไรด์มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชให้ลดลง เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้แรงดันเต่งและค่าความต่างศักย์ของน้ำของพืชลดลง ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช (Flowers, 2004)

จากการทดลองพบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อค่าน้ำหนักจำเพาะของใบ (Specific Leaf Weight; SLW) ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ SLW ของถั่วเหลืองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 120 มิลลิโมลาร์ SLW ของถั่วเหลืองมีค่า

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีค่า SLW ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ SLW ของถั่วเหลืองมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ SLW ของถั่วเหลืองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อค่า SLW ในถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5

นอกจากนี้ เมื่อถั่วเหลืองได้รับโซเดียมคลอไรด์ ยังมีผลทำให้ค่า SLW ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การปรับตัวดังกล่าวนี้ จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของเซลล์มีโซฟิลล์ (mesophyll) ต่อการแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่การปรับตัวดังกล่าวเหมือนว่าจะไม่สามารถทดแทนอย่างเพียงพอต่อการลดประสิทธิภาพของกลไกทางชีวเคมีในการสังเคราะห์ด้วยแสง (Vanloo, 1992)

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ การศึกษาของ De, Maggio, Fogliano, Abrosino and Ritieni (2001) ที่ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของมะเขือเทศที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์เป็นระยะเวลาช่วงสั้น และระยะเวลานาน พบว่า โซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกันกับค่า SLW คือ ค่า SLW เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์

5.3 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณรงควัตถุของถั่วเหลือง

จากการทดลองโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 พบว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบมีแนวโน้มลดลง และน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ทั้งตำแหน่งใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดและใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 สูงกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ทุกระดับความเข้มข้น แสดงว่าโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อปริมาณคลอฟิลล์รวมและปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 เป็นไปได้ว่าเซลล์ที่สะสมรงควัตถุบริเวณใบของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ได้รับความเสียหายจากโซเดียมคลอไรด์มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 จึงส่งผลให้ปริมาณสารสีที่สะสมมีค่าน้อยกว่า

โซเดียมคลอไรด์ มีผลยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงด้วยของพืช (Romero-Aranda et al., 2001) อาจก่อให้เกิดการสะสมเกลือในเนื้อเยื่อของใบพืชจนถึงระดับที่เป็นผลเสียต่อการสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง อัตราการหายใจและความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยสภาวะเครียดจากโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้กรดอัลฟาไลโปอิค (Alpha lipoic acid: ALA)ในพืชลดลงซึ่ง ALA เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการสร้างคลอโรฟิลล์ การลดลงของสารนี้จึงทำให้คลอโรฟิลล์ในพืชลดลง และโซเดียมคลอไรด์ยังมีผลเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายคลอโรฟิลล์ (Conceicao, 2004) จากการศึกษาของ Gale and Poljakoff-Mayber (2007) พบว่า โซเดียมคลอไรด์ ทำให้ความต้านทานในการเปิดปากใบที่มีต่อการแพร่กระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในใบถั่วเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นยังมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และมีผลกระทบต่อ Electron transport chain (ETC) ด้วย (Sudhir & Murthy, 2004) ซึ่ง Yeo et al. (2005) ได้รายงานว่า การยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthesis) ในต้นพืชที่ได้รับเกลือเกิดจากการขาดน้ำในเซลล์ของใบและเกิดจากการสะสมเกลือในส่วนของอะโพพลาสต์ของเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันออสโมติกและมีการสะสมโซเดียมคลอไรด์ในเนื้อเยื่อเพิ่มสูงขึ้นมีผลไปลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง และส่งผล

กระทบต่อการสังเคราะห์โปรตีน เช่น ribulosebiphosphate carboxylase (Rubisco) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง (Parida & Das,2005)

ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองของ ทวิพร แก้วเนรมิตร และนุชนาถ วุฒิประดิษฐกุล (2557) ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตและรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้าว พบว่า โซเดียมคลอไรด์ส่งผลต่อการเจริญเติบโตต่ออัตราการเจริญเติบโต และปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชภายใต้ภาวะเครียดจากความเค็ม โดยปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการทดลองของ พนิตา ชุติมานุกูล และคณะ (2556) ศึกษา ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตในข้าวสายพันธุ์ทนเค็ม พบว่า ภาวะความเข้มข้น 0, 75, และ 150 mM NaCl ความเข้มเกลือสูงมากทำให้ต้นข้าวเกิดการยับยั้งการสังเคราะห์แสง เนื่องจากผลของความเค็มทำให้ใบพืชขาดน้ำโดยเกิดจากการสะสมเกลือภายในใบ รวมถึงในใบพืชมีปริมาณของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ลดลงภายใต้โซเดียมคลอไรด์ ตรงกับรายงานของ Li, Wan, Zhoua, Yanga, and Qina, (2010) ที่ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 100, 200 และ 300 mM NaCl ในละหุ่ง (*Ricinus communis* L.) พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมีแนวโน้มลดลง และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ในละหุ่งที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และผลการทดลองนี้ตรงกับรายงานของ Silva et al. (2010) ศึกษาผลกระทบเปรียบเทียบความเค็มและแรงดันน้ำต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำและการเจริญเติบโตของสบู่ดำ *Jatropha curcas* หลังจากได้รับความเค็มที่ระดับความเข้มข้น 50 mM NaCl เป็นเวลา 8 วัน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสบู่ดำอยู่ในสภาพขาดน้ำ

5.3 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณโพรลีน

จากการทดลองโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีผลต่อปริมาณโพรลีนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 โดยถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ทุกระดับความเข้มข้นมีแนวโน้มปริมาณโพรลีนสูงขึ้นและมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มีปริมาณโพรลีนมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 แสดงให้เห็นว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อปริมาณโพรลีนของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 จากผลการทดลองอาจบ่งบอกได้ว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ได้รับผลกระทบจากโซเดียมคลอไรด์มากว่าเหลืองพันธุ์ สจ. 5

โซเดียมคลอไรด์ที่ถั่วเหลืองได้รับส่งผลให้ถั่วเหลืองอยู่ในสภาพการขาดน้ำ ซึ่งในสภาพนี้พืชตอบสนองตอบการสังเคราะห์และสะสมโพรลีนอิสระในปริมาณที่สูงมากภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นมีโซฟิลล์ของใบ เพื่อลดอัตราการสูญเสียของธาตุอาหารคาร์บอนและไนโตรเจน ปริมาณโพรลีนที่สะสมขึ้นอยู่กับอัตราการสลายตัวของโปรตีน และการสร้างและสลายตัวของโพรลีนอิสระซึ่งการสร้างและการสลายตัวของโพรลีนขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์โบไฮเดรทในใบและระยะเวลาของการสังเคราะห์ด้วยแสง การสะสมสารนี้เพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยในการปรับแรงดันออสโมติก ช่วยให้พืชสามารถอยู่รอดได้ในภาวะเครียด (Smirnoff, 1995) ตัวอย่างจากการศึกษาในข้าวโพดที่ได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโมลาร์ พบว่าปริมาณของน้ำตาลซูโครส และปริมาณโพรลีนเพิ่มสูงขึ้นในบริเวณปลายของรากข้าวโพดที่ระยะ 0-3 มิลลิเมตรจากปลายราก (Rodriguez, Robert, Jordan, & Drew, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor*) พบว่า หลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์เป็นเวลา 2 วัน ปริมาณโพรลีนเพิ่มมากขึ้นเกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ในบริเวณปลายรากที่ระยะ 0-10 มิลลิเมตรจากปลายราก (Colmer et al., 2006)

ผลการทดลองเมื่อถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ การสะสมโพรลีนมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Su & Wu (2004) ศึกษา การกระตุ้นการสังเคราะห์โพรลีนที่ในข้าวภายใต้สภาวะความเครียด พบว่า เมื่อทำการถ่ายยีนที่สามารถผลิตเอนไซม์ pyrroline-5-carboxylate synthetase ได้มาจากถั่วมอท (moth bean)

ไปยังข้าว ทำให้ข้าวมีการสะสมโพรลีนเพิ่มมากขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพแล้ง ในข้าวที่มีการถ่ายยีน ในชั่วโมงที่ 3 พบว่า สามารถทนสภาพแล้ง และสภาพดินเค็ม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับข้าวพวกที่ไม่ได้ถ่ายยีน สอดคล้องกับการทดลองของ Mozafar, Mahlagha and Hassan (2007) ศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง เพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองโดยทดลองที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100, 150 และ200 mM NaCl พบว่า ถั่วเหลืองกลุ่มที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์จะมีการสะสมโพรลีนในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่สูงขึ้น และสอดคล้องกับการทดลองของ ศรินญา กุลทรงคุณากร (2550) ศึกษาเมแทบอลิซึมของโพรลีนภายใต้สภาวะความเค็มและการฟื้นจากความเครียดในยูคาลิปตัส พบว่า ยูคาลิปตัสที่อยู่ในโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นสูงมีปริมาณของโพรลีนสูงกว่ายูคาลิปตัสที่อยู่ในโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่ำกว่า

5.4 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของเอนไซม์คะตะเลส (CAT), แอสคอร์เบตเพอร์ออกซิเดส (APX) และ ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (SOD)

จากการทดลองโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ CAT APX และ SOD ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 โดยถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ทุกระดับความเข้มข้นมีแนวโน้มกิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX และ SOD สูงขึ้น และสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์มีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX และ SOD ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน สูงกว่าในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด ในทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ เป็นไปได้ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน มีการสะสมโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่สูงกว่าและเกิด H_2O_2 และ ROS ขึ้นมากกว่าใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด จึงมีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT APX และ SOD สูงกว่า เพื่อควบคุมปริมาณ H_2O_2 และ ROS ไม่ให้สร้างความเสียหายแก่เซลล์ ซึ่ง CAT ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน H_2O_2 ให้เป็นน้ำและออกซิเจน ส่วน APX ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน H_2O_2 ร่วมกับ ascorbate ให้เป็นน้ำและ MDA และ SOD เป็นเอนไซม์ตัวแรกที่กำจัดพวก ROS ภายใต้สภาวะเครียด (Yordanova, 2004)

ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Qun et al. (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระและการดูดซึมของเซลล์ในมะเขือเทศ ภายใต้สภาวะเติมโซเดียมคลอไรด์ โดยได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน (0, 0.5 และ 1%) เป็นเวลา 40 วัน พบว่าความเครียดจากภาวะได้รับความเค็มทำให้เกิด ROS ส่งผลให้กิจกรรม CAT, APX และ SOD สูงขึ้นกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเอนไซม์ข้างต้นมีบทบาทเป็นเอนไซม์ขับ ROS เพื่อให้เกิดออกซิเจนมากขึ้นและช่วยบรรเทาความเสียหายเพื่อให้เซลล์ภายใต้ความเครียดเกลือ

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 แสดงว่าโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้เกิด H_2O_2 และ ROS ในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ดังนั้น ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีความสามารถทนต่อโซเดียมคลอไรด์ได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับกับรายงานของ Fikret et al. (2013) ที่ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX และ SOD ใน

มะเขือเทศ ภายใต้การรับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 150 mM เป็นเวลา 8 วัน พบว่า กิจกรรมของ CAT, APX และ SOD มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยที่ โซเดียมคลอไรด์ที่ความระดับเข้มข้น 150 mM กิจกรรมของ CAT, APX และ SOD ในมะเขือเทศมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม และการทดลองของ Cavalcanti, Lima, Ferreira-Silva., Viegas and Silveira (2007) ศึกษาการตอบสนองของรากและใบภายใต้สภาวะเกลือและการฟื้นฟูในถั่วพุ่ม (*Vigna unguiculata*) ในการศึกษานี้เปรียบเทียบการตอบสนองของใบและราก ระหว่างถั่วพุ่มที่ไม่ได้รับความเค็มกับถั่วพุ่มที่ได้รับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 200 mM NaCl เป็นเวลา 6 วัน ติดต่อกันและฟื้นฟูในเวลา 3 วัน พบว่า หลังได้รับโซเดียมคลอไรด์ในใบถั่วพุ่มมีกิจกรรมของ CAT และ SOD เพิ่มขึ้น ในขณะที่กิจกรรม CATและ SOD ในรากที่ไม่มีความแตกต่างกับชุดควบคุม การเพิ่มขึ้นของกิจกรรม CAT และ SOD หลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์เกิดจากใบถั่วพุ่มมีการสะสมของ H_2O_2 และ ROS ที่เป็นอันตรายในเซลล์ จึงต้องเพิ่มกิจกรรมของ CAT และ SOD เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับเซลล์

5.5 สรุปผลการวิจัย

5.5.1 โซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเจริญเติบโต

โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 40, 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้ความสูงของลำต้น น้ำหนักแห้งของราก น้ำหนักแห้งของลำต้น น้ำหนักแห้งของใบ พื้นที่ใบ และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ลดลง ส่วน SLW ของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในแต่ละระดับความเข้มข้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่เจริญเติบโตภายใต้โซเดียมคลอไรด์มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35

5.5.2 โซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อปริมาณรงควัตถุ

โซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มลดลงและน้อยกว่าชุดควบคุม ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์ในใบประกอบที่ 1 จากโคนสูงกว่าในใบประกอบที่ 2 จากยอด เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบของถั่วเหลืองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและปริมาณแคโรทีนอยด์ของถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 มากกว่าพันธุ์ สจ. 5

5.5.3 โซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อปริมาณโพรลีน

โซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ปริมาณโพรลีนในใบของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์เพิ่มขึ้น โดยปริมาณโพรลีนในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และพบว่า ในใบตำแหน่งที่ 5 นับจากยอด มีปริมาณโพรลีนสูงกว่าใบตำแหน่งที่ 3 นับจากยอด ซึ่งในใบตำแหน่งข้อที่ 3 นับจากยอด ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ มีปริมาณโพรลีนใบเมื่อได้รับความเค็มที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 40 และ 120 มิลลิโมลาร์ มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 80 มิลลิโมลาร์ ปริมาณโพรลีนในใบมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในใบตำแหน่งข้อที่ 5 นับจากยอด เมื่อได้รับความเค็มที่ทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณโพรลีนในใบของถั่วเหลืองมีค่าแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีปริมาณโพรลีนน้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35

5.5.4 โซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อกิจกรรมของ CAT, APX และ SOD

โซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX และ SOD ในถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์เพิ่มสูงขึ้น และถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีความสามารถทนต่อโซเดียมคลอไรด์ได้ดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองถั่วเหลืองได้รับโซเดียมคลอไรด์ พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 มีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX และ SOD น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35 ในทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์

5.5.5 โซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์พบว่า การตอบสนองด้านการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงของลำต้น น้ำหนักแห้งของราก น้ำหนักแห้งของลำต้น น้ำหนักแห้งของใบ พื้นที่ใบรวมต่อต้นและอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบ สูงกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ มข. 35

ถั่วเหลืองพันธุ์พันธุ์ มข. 35 เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์พบว่า มีค่า SLW ปริมาณโพรลีน กิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX และ SOD สูงกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ พันธุ์ สจ. 5

5.6 ข้อเสนอแนะ

5.6.1 ในการศึกษาด้านการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ การควบคุมระบบปลูก แสง อุณหภูมิ และสภาวะในเรือนเพาะปลูก เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่จะมีผลอย่างมากต่อการเจริญเติบโต จึงต้องมีการเลือกสถานที่ทดลองที่เหมาะสม และการควบคุมดูแลที่มีคุณภาพ

5.6.2 การศึกษาการสะสมโพรลีนควรเพิ่มเติมการศึกษาการสะสมโพรลีนในราก และลำต้น เนื่องจากบริเวณรากและลำต้นมีการสะสมโพรลีนที่สูง ซึ่งสามารถอธิบายผลการทดลองได้อย่างชัดเจนมากขึ้น

5.6.3 ควรเพิ่มเติมการวิเคราะห์ไอออนของธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียม และคลอไรด์และไอออน ที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ลำต้น ราก และใบ เปรียบเทียบกัน

5.6.3 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการตอบสนองทางสรีรวิทยาในด้านอื่นๆ เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง การคายน้ำ และความต้านทานในการเปิดปากใบ เพื่อนำมาใช้ประกอบในการศึกษาการปรับตัวทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองเมื่อได้รับความเครียดจากโซเดียมคลอไรด์

5.6.4 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการตอบสนองของถั่วเหลืองเมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ด้านอื่น ๆ เช่น กายวิภาค (plant anatomy) หรือการศึกษาในระดับเนื้อเยื่อ (plant histology)

บรรณานุกรม

กัมปนาท สุขนิตย์. (2552). *กิจกรรมต้านออกซิเดชันและปริมาณสารต้านออกซิเดชันบางชนิดในเมล็ดถั่วเหลือง* (*Glycine max* L.) *ที่กำลังงอก.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กรมทรัพยากรธรณี. (2550). *ปัจจัยร่วมที่ทำให้เกิดดินเค็ม*. วันที่ค้นข้อมูล 21 มีนาคม 2557. เข้าถึงได้จาก http://www.dmr.go.th /ewt_news.php?nid=1092&filename=saline_soil

กรมพัฒนาที่ดิน. (2556). *พืชทนเค็มและพืชชอบเกลือ.* วันที่ค้นข้อมูล 21 มีนาคม 2557. เข้าถึงได้จาก http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_ Technical03001_3.pdf.

กรมวิชาการเกษตร. (2552). *พฤกษศาสตร์ของถั่วหลือง.* วันที่ค้นข้อมูล 21 มีนาคม 2557. เข้าถึงได้จาก http://www.doa.go.th/fcri/images/files/soybean/chapter2.pdf

ชุติมา โฮมวงศ์ และกัลยา กองเงิน. (2556). *การเปลี่ยนแปลงชีวเคมีบางประการของข้าวภายใต้สภาวะเครียดเกลือ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ทวิพร แก้วเนรมิตร และนุชนาถ วุฒิประดิษฐกุล. (2557). ผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตและรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้าวทรานสเจนิกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีการแสดงออกของยีน OsCaM1-1 เกินปกติ. *Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University*. *1*, 11-18.

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. (2555). *การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless Culture).* วันที่ค้นข้อมูล 21 มีนาคม 2557. เข้าถึงได้จาก http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/other/soliess%20plants.pdf

นันทนา อิงกินันท์. (2526). *คู่มือปฏิบัติการสีรีวิทยาของพืช.* ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 164 หน้า.

บุญแสน เตียวนุกูลธรรม. (2548). *เอกสารประกอบการสอนปฐพีวิทยาระดับปริญญาตรี. สาขาพืชศาสตร์ (Soil Science),* มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, นครสวรรค์

บุญแสน เตียวนุกลธรรม. (2559). *สมบัติทางเคมี 2*. วันที่ค้นข้อมูล 21 มีนาคม 2557. เข้าถึงได้จาก http://elearning.nsru.ac.th/web_elearning/soil/lesson_8.php

พนิตา ชุติมานุกูล, อัญชลี ใจดี, ธีรพงษ์ บัวบูชา, มีชัย เซี่ยงหลิว, ธีรยุทธ ตู้จินดา, ศุภจิตรา ชัชวาล และบุญธิดา โฆษิตทรัพย์. (2556). ผลของภาวะเค็มต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตในข้าวสายพันธุ์ทนเค็มที่ได้จากประชากร CSSL. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. *44* (2), 178-180.

มนูญ ศิรินุพงศ์. (2556). *การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย* (พิมพ์ครั้งที่ 2). นนทบุรี: สยามคัลเลอร์พริน.

วันชัย วงษา. (2559). *ดินเค็มและการปรับปรุงแก้ไข.* วันที่ค้นข้อมูล 21 มีนาคม 2557. เข้าถึงได้จาก http://bophloi.kanchanaburi.doae.go.th/content/new%2057/005.pdf.

ศริญญา กุลทรงคุณากร. (2550). *เมแทบอลิซึมของโพรลีนภายใต้สภาวะเค็มและการฟื้นจากความเครียดในยูคาลิปตัส.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาชีวเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่. (2557). *พันธุ์ถั่วเหลือง.* วันที่ค้นข้อมูล 21 มีนาคม 2557. เข้าถึงได้จาก http://www.doa.go.th/fcrc/chiangmai/index.php?option=com_content&view=article&id=71:sorjor-soybean5&catid=39:soybean-seed&Itemid=103.

สมจินตนา ทุนแสน, วรวุฒิ เอี่ยมกำแพง และสุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์. (2548). นวัตกรรมถั่วเหลืองพันธุ์ดี. วันที่ค้นข้อมูล 21 มีนาคม 2557. เข้าถึงได้จาก http://brainbank.nesdb.go.th/Portals/4/know_pdf

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร. (2555). *การปลูกพืชระบบรากแช่.*วันที่ค้นข้อมูล 31 มีนาคม 2557. เข้าถึงได้จาก http://agri.wu.ac.th/msomsak/Soilless/Chapter03/Hydroponics.htm

สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร. (2556). *ยุทธศาสตร์ถั่วเหลือง ปี 2553 – 2556.* วันที่ค้นข้อมูล 21 มีนาคม 2557. เข้าถึงได้จากhttp://www.agriman.doae.go.th/home/agri1/agri1.3/strategics_2554/02_Soybean.pdf.

อธิภัทร เงินหมื่น. (2556). *ผลของความเค็มต่อลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของพืชทนเค็มบางชนิดภายในพื้นที่นากุ้งทิ้งร้าง.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพฤษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อัญชลี ร่มพา. (2543). *ความสัมพันธ์ของแอกทิวิตีของซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตในถั่วเหลือง Glycine max* (L.) Merrill *ภายใต้สภาวะแล้ง.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาพฤษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

Allen, R. D. (2005). Dissection of oxidative stress stress torelance usingtransgenic plants. *Plant Physiol*, *107*, 1049-1054.

Amira, M. S. & Qados, A. (2011). Effect of salt stress on plant growth and metabolismof bean plant *Vicia faba* (L.)**.** *Agricultural Sciences, 10,* 7–15**.**

Aziz, A. & Larher, F. (1998). Osmotic stress induced changes in lipid composition and peroxidation in leaf discs of *Brassica napus* L. *Journal of Plant Physiology, 153*, 754-762.

Bates, L. S., Woldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline foe water stress studies. *Plant and Soil*, *39,* 31-37.

Beadle, C. L. (1993). Growth Analysis. *Photosynthesis and Production in a changing Environment : A Field and Laboratory Manu*al. In D. O., Hall, H. R., Bolhar Norden kampf, R. C., Leegood, & S. P., Long, (ed). *Chapman and Hall*. (pp 36-46).

Cavalcanti, F. R., Lima, J. P. M. S., Ferreira-Silva, S. L., Viegas R. A., & Silveira, J. A. G. (2007). Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. *Plant Physiology, 164*, 591-600.

Chartzoulakis, K. & Klapaki, G. (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae, 86,* 247-260.

Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, *103*, 551-560.

Colmer, D. T., Fan, M. W. T., Higashi, M. R., & Lauchli, A. (2006). Inter active effects of Ca^{2+} and NaCl salinity on the ionic relations and proline accumulation in the primary root tip of *Sorghum bicolor*. *Physiologia Plantarum*, *97,* 883-893.

Conceicao, V. S. (2004). Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Journal of Scientia Horticulturae, 103*, 93-99.

Demiral, T. & Turkan, I. (2006). Exogenous glycinebetaine affects growth and proline accumulation and retards senescence in two rice cultivars under NaCl stress. *Environmental and Experimental Botany, 56*, 72-79.

De, P. S., Maggio, A., Fogliano, V., Abrosino, P., & Ritieni, A. (2001). Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 76*, 447–453.

Dolatabadian, A., Modarressanavy, S. A., & Ghanati, F. (2011). Effect of Salinity on Growth, Xylem Structure and Anatomical Characteristics of Soybean. *Notulae Scientia Biologicae, 3*(1), 41-45.

El-Swaify, S. A. (2000). Soil salinization. In The Handbook (Ed). *Natural Systems Information for Planners*. (pp. 162-228). New York. The MacMillan.

Elstner, E. F. & Oswald, W. (2004) Air pollution: involvement of oxygen radicals (a mini review) *Free Radical Research Communications, 12*, 795–807.

Feierabend, J. (2005). Antioxtidants and reactive Oxygen Species in Plant. *Plant Science*, *12*, 119-134.

Fikret, Y., Manar, T., sebnem, E. G., sebnem, K. S., & Ozlem, U. (2013). SOD, CAT, GR and APX Enzyme Activities in Callus Tissues of Susceptible and Tolerant Eggplant Varieties under Salt Stress. *Research Journal of Biotechnology, 11*, 43-51.

Flowers, T. J. (2004). Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany, 55*, 307-319.

Foyer, C. H., Descourvieres, P., & Kurnert, K. J. (1994). Protection against oxygen radicals : an important defence mechanism studied in transgenic plants. *Plant Cell Environment, 17,* 507-523.

Gale, J. & Pojakoff-Mayber, A. (2007). Growth of *Atriplex halimus* (L.) in sodium chloride salinated culture solutions as affected by the relative humidity of the air. *Australian Jounal of Biological Science*, *23,* 947-952.

Greenway, H. & Munn, R. (1980). Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, *3,* 149-190.

Halliwell, B. & Gutteridge, J. M. C. (1999). Free Radicals in Biology and Medicine. *Oxford University Press Inc.* New York.

Hien, D. T., Jacobs, M., Angenon, G., Hermans, C., Thu, T. T., Son, L. V., & Roosens, N. H. (2003). Prolineaccumulation and pyrroline-5-carboxylate synthetase gene properties in three rice cultivars differing in salinity and drought tolerance. *Plant Science*, *165*, 1059-1068.

Henandez, J., Jimenez, A. Mullineaux, P., & Sevilla, F. (2000). Tolerance of pea plants (*Pisum sativum*) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. *Plant Cell Environ, 23,* 853-862.

Heuer, B. (2003). Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants. *Plant Science, 165,* 693-699.

Jacoby, B. (2008). Mechanism involved in salt tolerance by plant. In M. Pessaraki (ed) *Handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker. New York.

Khavari-Nejad, R. A. & Mostofi, Y. (1998). Effect of NaCl on photosynthetic pigments, saccharides and chloroplast ultrastucture in leaves of tomato cultivars. *Photosynthrtica*, *35*(01), 151-154.

Kyparissis, A., Petropoulou, Y., & Manetas, Y., (2005). Summer survival of leaves in a soft-leavesshrub (*Phlomis fruitcosa* L.) under Maditerranean field condition : avoidance of photoinhibitory damage through decrease chlorophyll contents. *Journal of Experimental Botany*, *293,* 1825-1831.

Lad, L., Martin, M., & Raven, E. L. (2002). Substrate binding and catalytic mechanism in ascorbateperoxidase: Evident for two ascorbate binding site. *Biochemistry, 41*, 13774-13781.

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.

Lin, C. C., Hsu, Y. T. & Kao, C. H. (2002). The effect of NaCl on proline accumulation in rice leaves. *Plant Growth Regulation, 36,* 275-285.

Misra, N. & Gupta, A. K. (2005). Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. *Plant Science, 169,* 331-339.

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. *Journal of Plant Physiology*, *164*, 1144-1151.

Parida, A. K. & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental safety, 60*, 324-34.

Pinheiro, H. A., Silva, J. V., Endres, L., Ferreira, V. M., Câmara, C. A., Cabral, F. F., Oliveira, J. F., Carvalho, L. W. T., Santos, J. M., & Filho, B. G. S. (2008). Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean seedlings subjected to salt stress levels. *Industrial Crops and Products, 27*, 385–392.

Quartacci, L.V. & Navari-Izzo, F. (1994). Evaluation of components of oxidative stress metabolism for use in selection of drought tolerant cultivars of *Nicotiana tabaccum* L. *Journal of Plant Physiology*, *143,* 730-737.

Qun, H. Z., Xing, H. C., Bin, Z. Z. , Rong, Z. Z., & Song, W. H. (2007). Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 59*, 128–133.

Rodriguez, G. H., Robert, M. K. J., Jordan, R. W., & Drew, C. W. (2000). Growth water relations and accumulation of organic and inorganic solutes in root of maize seedling during salt stress. *Journal of Plant Physiology, 113,* 881-893.

Romero-Aranda, R., Soria, T., & Cuartero, J. (2001). Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science, 160,* 265–272

Salomon, A., Beer, R., Boggess, S. F., Aspinall, D., & Paleg, L. G. (2004). Effects of NaCl on the carboxylating activity of Rubisco from *Tamarix jorlanis* in the presence and absence of proline-related compatible solutes. *Physiologia Plantarum*, *90,* 198-204.

Scandalios, J. G. (1993). Oxygen stress and superoxide dismutase. *Journal of Plant Physiology, 101*, 7-12.

Sgherri, C. L. M., Pinzino, C., & Navari-Izzo, F. (1993). Chemical changes and O_2 production in thylakoid membranes under water stress. *Plant Physiology*, *87*, 211-216.

Shalhevet, J., Huck, G. M., & Schroeder, P. B. (2005). Root and shoot growth response to salinity in maize and soybean. *Agronomy Journal*, *87*, 512-516.

Silva, E. N., Ferreira-Silva, S. L., Fontenele, A. V., Ribeiro, R. V., Viegas, R. A. ,& Silveira, J. A. G. (2010). Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. *Plant Physiology*, *167*, 1157–1164

Smirnoff, N. (1993). The role of active oxygen species in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*, *125,* 27-58.

Smirnoff, N. (1995). *Environment and Plant Metabolism*. BIOS Scientific, Oxford.

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

Sudhir, P. & Murthy, S. D. S. (2004). Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Photosynthetica , 42(4)*, 481-486.

Sunohara, Y. & Matsumoto, H. (2004). Oxidative injury induced by the herbicide quinclorac on *Echinochloa oryzicola* Vasing. and the involvement of antioxidative ability in its highly selective action in grass species. *Plant Science, 167*, 597-606.

Takemura, T., Hanagata, N., Sugihara, K., Baba, S., Karube, I., & Dubinsky, Z. (2000). Physiological and biochemical responses to salt stress in the mangrove, *Bruguiera gymnorrhiza. Aquatic Botany, 68*, 15-28.

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. *Journal of Plant Physiology, 161*, 1211-1224.

Vanloo, E. N. (1992). Tillering, leaf expansion and growth of plant of two cultivars of Perennial ryegrass grown using hydroponics at two water potentials. *Annals of Botany*, *70*, 511-518.

Whiting, D., Card, A., & Wilson, C. (2010). Saline Soils. USA: Colorado State University Extension.

Yadav, A., Phillips, M. M., Lundeberg, M. A., Koehler, M. J., Hilden, K. H., & Dirkin, K. H. (2011). If a picture is worth a thousand words is video worth a million differences in affective and cognitive processing of video and text cases. *Journal of Computing in Higher Education*, *23*(1), 15-37.

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. *Journal of Experimental Botany, 36,* 1240-1248.

Yordanova, R. Y. (2004). Antioxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany, 51*, 93-101.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สารละลายธาตุอาหาร Hoagland

สารละลายธาตุอาหาร Hoagland (นันทนา อิงกินันท์ , 2526)

วิธีการเตรียม stock solution

1. $Ca(NO_3)_2$. $4H_2O$ 1 โมลาร์

   ชั่ง $Ca(NO_3)_2$. $4H_2O$ 236.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

2. KNO_3 3 โมลาร์

   ชั่ง KNO_3 101.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

3. $MgSO_4$ 1 โมลาร์

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

4. KH_2PO_4 1 โมลาร์

   ชั่ง KH_2PO_4 136.09 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

5. Fe-EDTA (มี Fe 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

   ชั่ง EDTA disodium salt ($C_{10}H_{14}0_8Na_2$. $2H_2O$) 22.4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนเป็น 372 มิลลิลิตร

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

6. micronutrients

   ชั่ง H_3BO_3 2.86 กรัม $CuCl_2.2H_20$ 0.05กรัม $MnCl_2.4H_2O$ 1.81 กรัม $ZnCl_2$ 0.11 กรัม $Na_2MoO_4.2H_2O$ 0.025 กรัม แยกละลายในน้ำกลั่นทีละตัว แล้วเทสารละลายรวมกันและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

เตรียมสารละลายธาตุอาหาร Hoagland' s (half strength) ปริมาตร 2 ลิตร

1. $Ca(NO_3)_2$. $4H_2O$ 1 โมลาร์	5 มิลลิลิตร
2. KNO_3 3 โมลาร์	5 มิลลิลิตร
3. $MgSO_4$ 1 โมลาร์	2 มิลลิลิตร

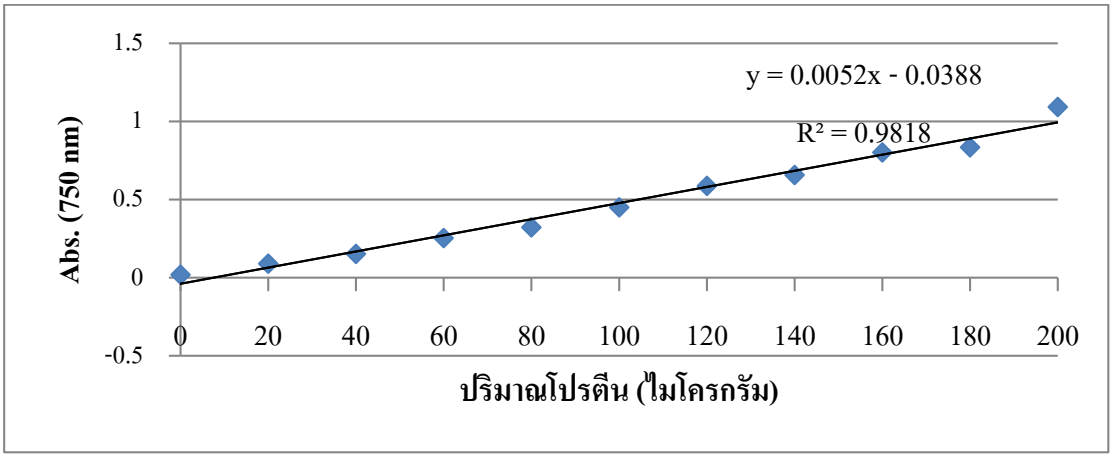
4. KH_2PO_4 1 โมลาร์	1 มิลลิลิตร
5. Fe-EDTA (มี Fe 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	4 มิลลิลิตร
6. Micronutrients	1 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข

การสร้างกราฟมาตรฐาน

ตัวอย่างการสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายโปรตีน

ปริมาณโปรตีน	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

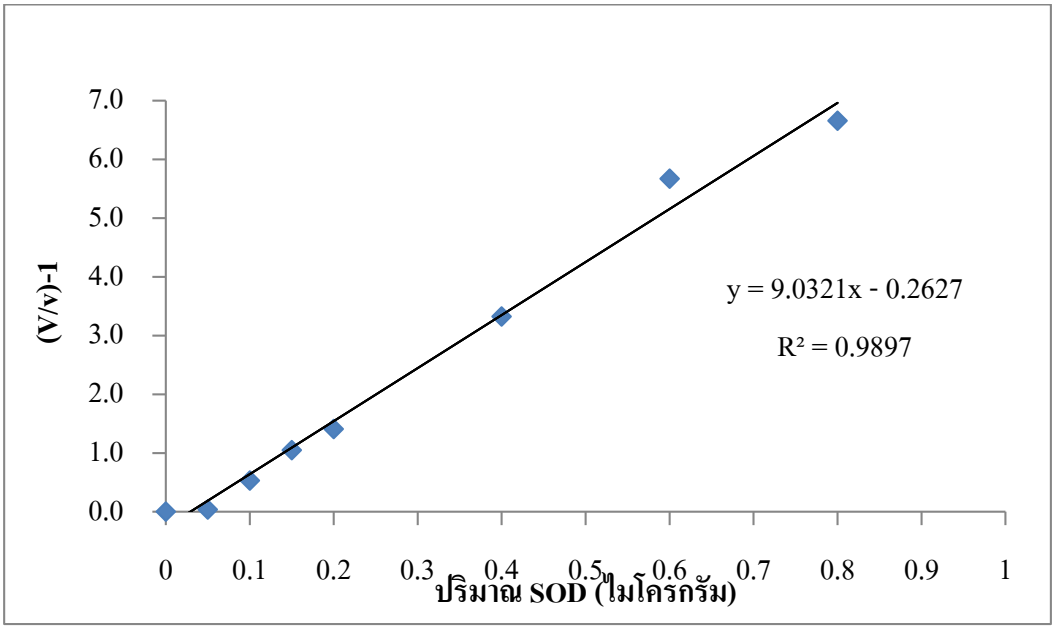


ภาพภาคผนวกที่ ข-1 กราฟเส้นตรงมาตรฐานสารละลายโปรตีน

ตัวอย่างการสร้างกราฟมาตรฐานเอนไซม์ SOD

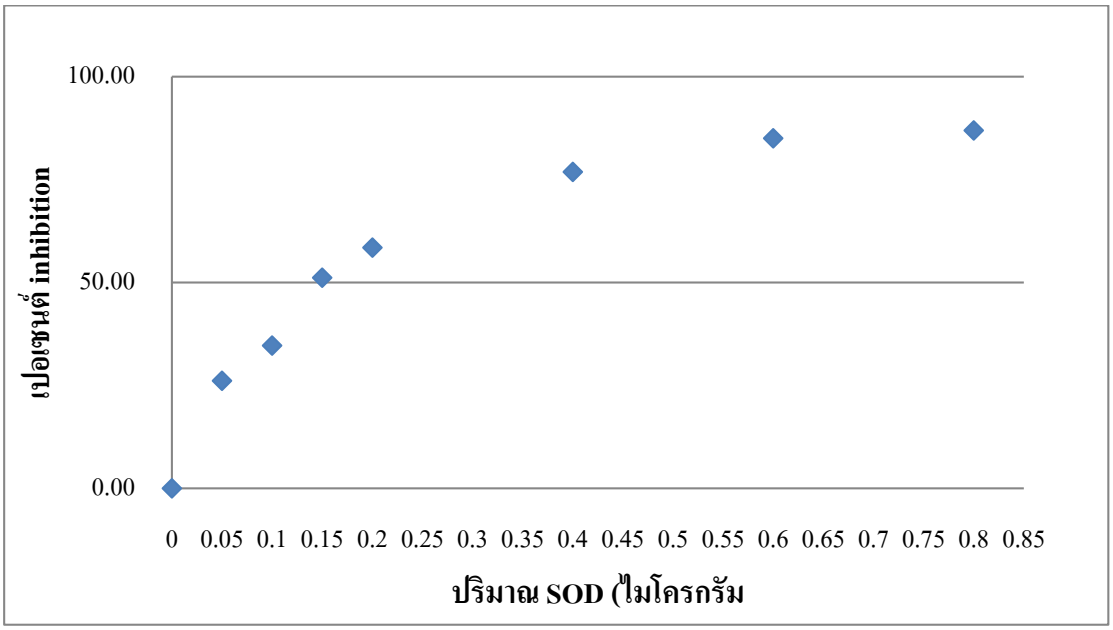
ปริมาณ SOD	Abs. (750 นาโนเมตร)	(V/v)-1
1. 0	0.467	0.000
2. 0.05	0.345	0.035
3. 0.1	0.305	0.531
4. 0.15	0.228	1.048
5. 0.2	0.194	1.407
6. 0.4	0.108	3.324
7. 0.6	0.070	5.671
8. 0.8	0.061	6.656

ได้ค่า V = 0.467/10 และ v = 0.345 0.305 0.228 0.194 0.108 0.070 และ 0.061 ในหลอดที่ 2 ถึงหลอดที่ 8 ตามลำดับ ซึ่งสามรถนำมาคำนวณ (V/v)-1 และนำไปใช้ในการสร้างกราฟได้ ดังนี้



ภาพภาคผนวกที่ ข-2 กราฟเส้นตรงมาตรฐานของ SOD ปริมาณต่างๆ

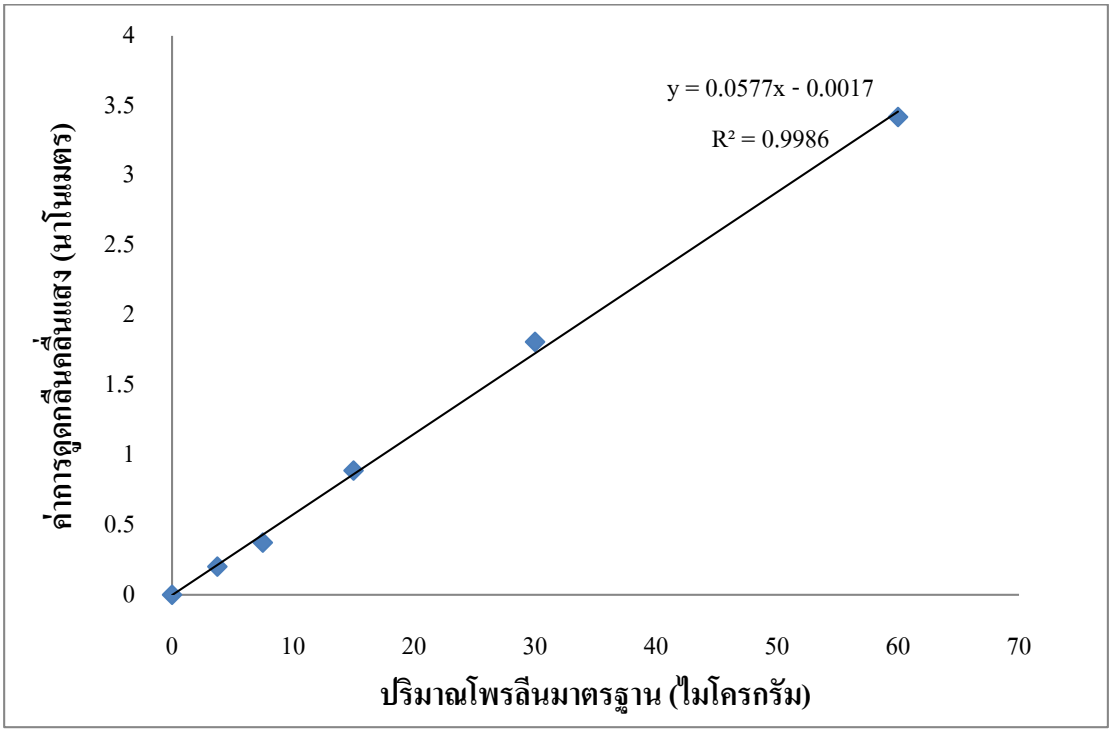
ในแต่ละหลอดทดลองสามารถหาเปอร์เซ็นต์ inhibition ได้จากสูตร (V/v)-1*100/V และเขียนกราฟความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ inhibition ปริมาณ SOD ได้ดังนี้



ภาพภาคผนวกที่ ข-3 เปอร์เซ็นต์ inhibition ของ SOD ปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างการสร้างกราฟมาตรฐานโพรลีน

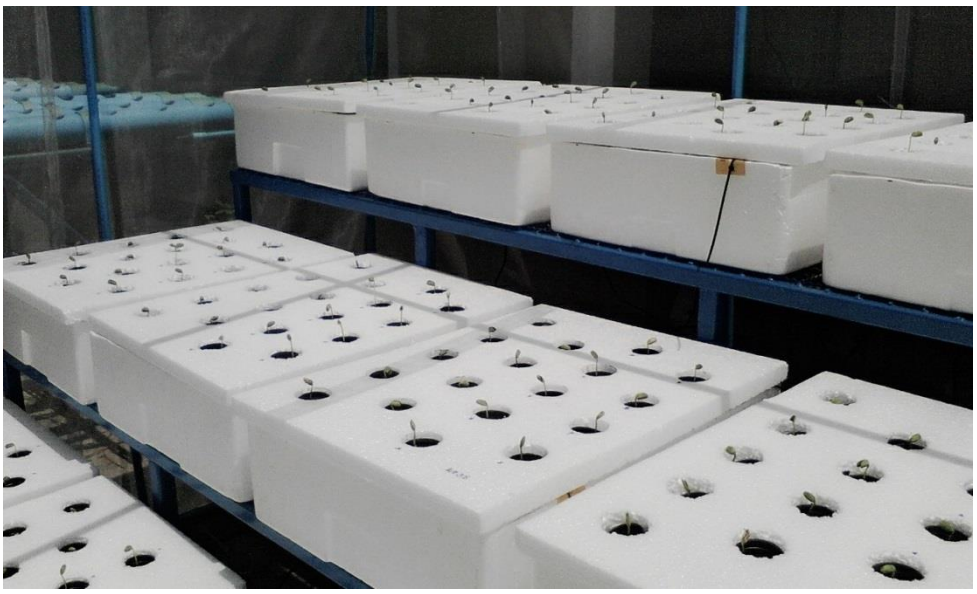
ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัม)	Abs. (750 นาโนเมตร)
1. 0	0.000
2. 3.75	0.202
3. 7.5	0.374
4. 15	0.889
5. 30	1.810
6. 60	3.420



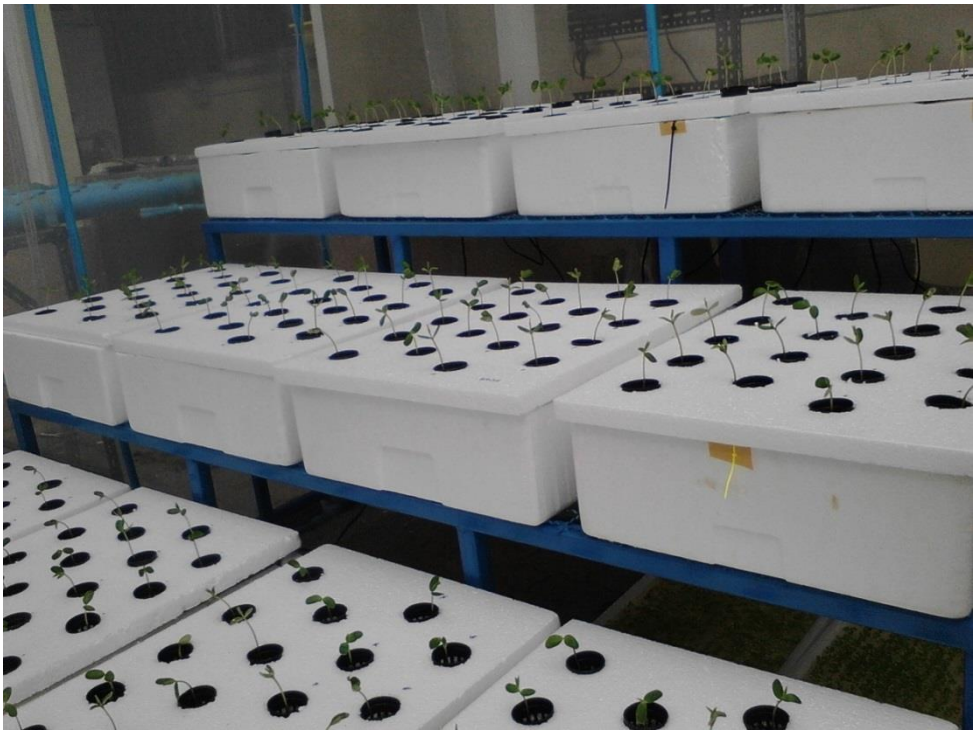
ภาพภาคผนวกที่ ข-4 กราฟเส้นตรงมาตรฐานโพรลีนในการวิเคราะห์ปริมาณโพรลีนใน ใบถั่วเหลือง

ภาคผนวก ค

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับภาวะเค็มในระดับความเข้มข้น
ของโซเดียมคลอไรด์ 0 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์



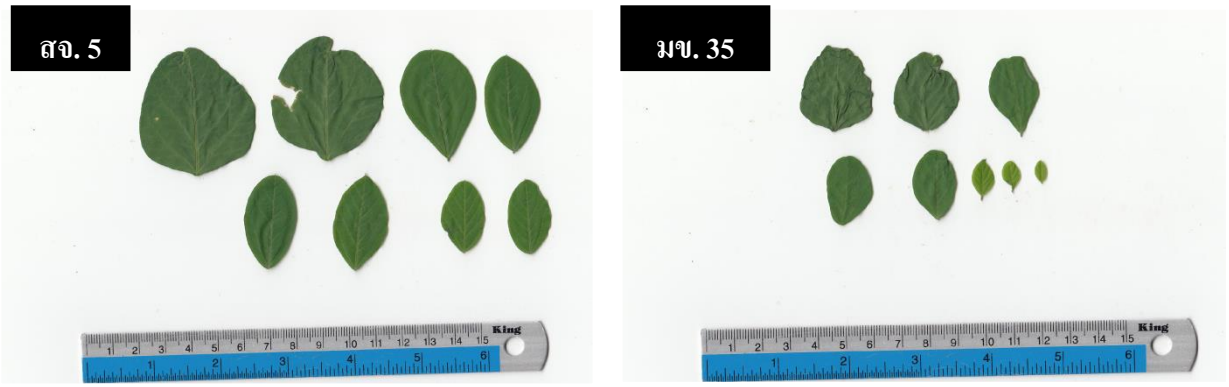
ภาพผนวกที่ ค-1 การวางกล่องโฟมที่ดัดแปลงเป็นกระบะปลูกบนชั้นเหล็กที่มีการติดตั้งระบบน้ำแบบ DFT



ภาพผนวกที่ ค-2 ต้นกล้าถั่วเหลืองอายุ 8 วัน ที่ปลูกในระบบ ไฮโดรโพนิกส์ แบบ DFT

ภาพผนวกที่ ค-3 การวัดพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข.35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน

ภาพผนวกที่ ค-4 การวัดพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข.35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน

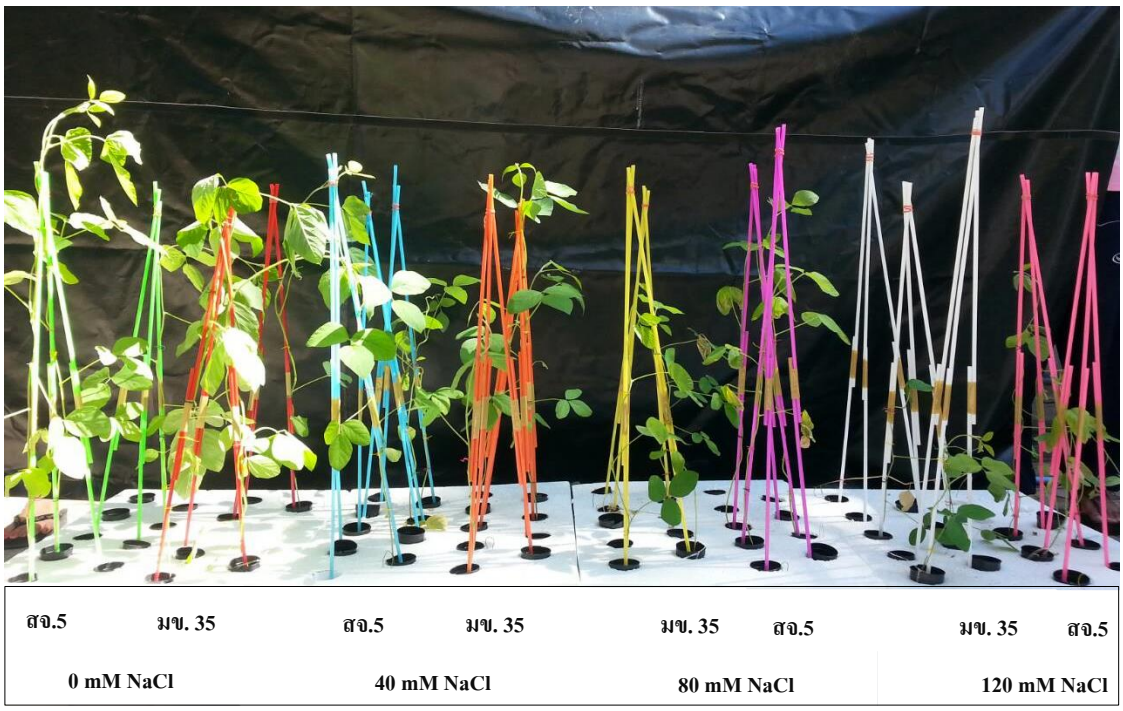


ภาพผนวกที่ ค-5 การวัดพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข.35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 80 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน

ภาพผนวกที่ ค-6 การวัดพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข.35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน

ภาพผนวกที่ ค-7 ลักษณะของใบถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน

ภาพผนวกที่ ค-8 ลักษณะของใบถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 16 วัน



ภาพผนวกที่ ค-9 ลักษณะของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข.35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นของที่แตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 24 วัน

ภาคผนวก ง

ผลการศึกษาในด้านการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโพรลีนและกิจกรรมของเอนไซม์ CAT, APX , SOD ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และพันธุ์ มข. 35

ตารางภาคผนวกที่ ง-1 ความสูงของลำต้นเหนือพื้นดิน (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)						
	(mM)	0 วัน	4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	21.70±0.00^{aB}	28.53±0.44^{bC}	30.70±1.15^{aC}	44.86±3.16^{bC}	53.46±6.53^{bB}	67.70±6.03^{bB}	81.36±6.35^{bC}
	40	21.36±0.33^{aB}	28.03±0.33^{bC}	30.46±0.95^{aC}	44.03±3.17^{bC}	55.33±4.09^{bB}	65.90±6.65^{bB}	75.00±8.50^{bBC}
	80	21.70±0.00^{aB}	27.93±0.76^{aC}	30.03±1.76^{aBC}	40.36±1.16^{abC}	48.03±3.34^{abB}	55.90±5.31^{abB}	62.33±7.12^{abB}
	120	21.36±0.33^{aB}	23.70±1.15^{aA}	29.86±0.44^{aBC}	32.03±2.60^{aAB}	35.86±3.76^{aA}	38.96±4.45^{aA}	43.56±4.28^{aA}
พันธุ์ มข. 35	**0**	19.16±0.29^{aA}	26.70±0.00^{cBC}	30.70±0.57^{bC}	44.53±2.16^{cC}	54.00±4.35^{bB}	68.06±4.56^{cB}	79.13±5.58^{cBC}
	40	19.13±0.33^{aA}	25.03±0.33^{bAB}	27.03±0.72^{aAB}	37.86±3.44^{bcBC}	47.63±1.98^{bB}	55.76±4.12^{bB}	64.83±3.91^{bBC}
	80	18.70±0.00^{aA}	24.46±0.23^{abA}	25.03±1.20^{aA}	31.20±0.76^{abA}	36.20±0.50^{aA}	40.96±2.13^{aA}	44.16±2.58^{aA}
	120	18.70±0.00^{aA}	23.36±0.66^{aA}	24.50±0.20^{aA}	30.10±0.23^{aA}	34.63±1.98^{aA}	37.86±2.37^{aA}	42.46±2.05^{aA}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง- 2 พื้นที่ใบรวมต่อต้น (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	พื้นที่ใบรวมต่อต้น (ตารางเซนติเมตร)						
	(mM)	0 วัน	4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	10.06±0.98^{aA}	31.67±1.07^{cC}	105.73±3.21^{cE}	165.73±5.08^{dE}	358.26±14.69^{dE}	467.48±10.59^{dE}	646.79±19.62^{dE}
	40	10.34±0.66^{aA}	29.18±1.03^{cBC}	68.26±5.26^{bD}	108.92±3.91^{cD}	237.19±16.96^{cC}	341.26±7.54^{cD}	459.61±8.64^{cD}
	80	9.12±0.59^{aA}	25.09±1.57^{bABC}	53.54±1.12^{aC}	89.31±4.85^{bC}	137.61±2.80^{bB}	187.34±6.02^{bC}	204.78±6.41^{bB}
	120	10.88±0.62^{aA}	20.55±0.28^{aAB}	44.31±1.48^{aB}	56.04±1.08^{aA}	86.08±2.92^{aA}	91.13±0.32$^{\mathbf{aA}}$	105.52±0.63^{aA}
พันธุ์ มข. 35	**0**	13.44±0.59^{bB}	29.44±1.62^{aBC}	68.95±2.64^{cD}	153.00±3.92^{cE}	272.20±11.47^{dD}	364.12±17.01^{dD}	462.24±16.45^{dD}
	40	10.92±0.81^{aA}	25.46±1.64^{aABC}	48.99±3.22^{bBC}	83.14±5.94^{bC}	149.41±3.58^{cB}	206.42±17.31^{cC}	366.98±23.70^{cC}
	80	10.55±0.49^{aA}	25.32±8.28^{aABC}	42.97±2.54^{bB}	69.45±2.69^{abB}	87.68±3.07^{bA}	135.21±1.71^{bB}	188.54±7.62^{bB}
	120	9.77±0.90^{aA}	16.81±1.42^{aA}	28.93±0.55^{aA}	54.83±5.19^{aA}	64.54±3.14^{aA}	73.28±1.13^{aA}	89.90±1.46^{aA}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ

ตารางภาคผนวกที่ ง-3 น้ำหนักแห้งราก (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และมข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นแตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)						
	(mM)	0 วัน	4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ.5	**0**	0.03 ± 0.00^{abAB}	0.06 ± 0.00^{cE}	0.26 ± 0.01^{cE}	0.36 ± 0.01^{cE}	0.45 ± 0.01^{dH}	0.53 ± 0.01^{cE}	0.63 ± 0.01^{bBC}
	40	0.03 ± 0.00^{bB}	0.05 ± 0.00^{bD}	0.23 ± 0.00^{bD}	0.27 ± 0.00^{bD}	0.28 ± 0.00^{cE}	0.33 ± 0.01^{bD}	0.43 ± 0.29^{abABC}
	80	0.03 ± 0.00^{aA}	0.05 ± 0.00^{abC}	0.07 ± 0.00^{aB}	0.08 ± 0.00^{aB}	0.09 ± 0.00^{bC}	0.09 ± 0.00^{aB}	$0.37\pm0.02^{ab\ ABC}$
	120	0.03 ± 0.00^{abAB}	0.04 ± 0.00^{aB}	0.05 ± 0.00^{aA}	0.05 ± 0.00^{aA}	0.05 ± 0.00^{aB}	0.07 ± 0.00^{aAB}	0.09 ± 0.00^{aA}
พันธุ์ มข.35	**0**	0.03 ± 0.00^{aA}	0.03 ± 0.00^{abA}	0.20 ± 0.00^{dC}	0.24 ± 0.00^{dC}	0.40 ± 0.00^{dF}	0.53 ± 0.01^{dE}	0.62 ± 0.03^{bC}
	40	0.03 ± 0.00^{aAB}	0.03 ± 0.00^{bA}	0.07 ± 0.00^{cB}	0.09 ± 0.00^{cB}	0.11 ± 0.00^{cD}	0.19 ± 0.00^{cC}	0.25 ± 0.01^{aAB}
	80	0.03 ± 0.00^{aAB}	0.03 ± 0.00^{abA}	0.04 ± 0.00^{bA}	0.05 ± 0.00^{bA}	0.06 ± 0.00^{bB}	0.08 ± 0.00^{bAB}	0.15 ± 0.00^{aA}
	120	0.03 ± 0.00^{aA}	0.03 ± 0.00^{aA}	0.03 ± 0.00^{aA}	0.03 ± 0.00^{aA}	0.04 ± 0.00^{aA}	0.05 ± 0.00^{aA}	0.05 ± 0.23^{aABC}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-4 น้ำหนักแห้งของลำต้น (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)						
	(mM)	0 วัน	4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	0.32 ± 0.00^{aA}	0.47 ± 0.01^{cE}	0.77 ± 0.04^{cE}	1.32 ± 0.04^{dE}	2.10 ± 0.07^{dF}	3.27 ± 0.11^{dF}	4.18 ± 0.03^{dF}
	40	0.34 ± 0.01^{abA}	0.43 ± 0.01^{bDE}	0.68 ± 0.05^{bcD}	1.03 ± 0.05^{cD}	1.68 ± 0.06^{cE}	2.72 ± 0.10^{cD}	3.12 ± 0.04^{cE}
	80	0.36 ± 0.01^{abAB}	0.38 ± 0.00^{aABC}	0.57 ± 0.00^{abC}	0.72 ± 0.01^{bC}	0.80 ± 0.04^{bD}	0.94 ± 0.02^{bC}	1.22 ± 0.04^{bC}
	120	0.39 ± 0.02^{bB}	0.35 ± 0.00^{aAB}	0.46 ± 0.01^{aB}	0.47 ± 0.01^{aB}	0.60 ± 0.02^{aB}	0.67 ± 0.03^{aB}	0.89 ± 0.04^{aB}
พันธุ์ มข.35	**0**	0.32 ± 0.00^{aA}	0.41 ± 0.03^{bCD}	0.68 ± 0.00^{dD}	1.35 ± 0.02^{dD}	1.92 ± 0.02^{dF}	3.12 ± 0.03^{dE}	4.23 ± 0.05^{dF}
	40	0.32 ± 0.00^{aA}	0.40 ± 0.00^{abBCD}	0.54 ± 0.00^{cB}	0.62 ± 0.00^{cC}	0.80 ± 0.00^{cC}	1.53 ± 0.03^{cC}	1.93 ± 0.02^{cD}
	80	0.33 ± 0.00^{aA}	0.36 ± 0.01^{abABC}	0.40 ± 0.00^{bA}	0.50 ± 0.00^{bAB}	0.56 ± 0.02^{bB}	0.72 ± 0.01^{bB}	0.83 ± 0.00^{bB}
	120	0.32 ± 0.00^{aA}	0.34 ± 0.00^{aA}	0.36 ± 0.00^{aA}	0.38 ± 0.00^{aA}	0.40 ± 0.00^{aA}	0.44 ± 0.00^{aA}	0.60 ± 0.00^{aA}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-5 น้ำหนักแห้งของใบ (กรัม) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	น้ำหนักใบ (กรัม)						
	(mM)	0 วัน	4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	0.23 ± 0.01^{aB}	0.44 ± 0.01^{cE}	0.94 ± 0.03^{dF}	1.55 ± 0.01^{dF}	2.60 ± 0.01^{dF}	4.20 ± 0.04^{dF}	4.81 ± 0.03^{dF}
	40	0.22 ± 0.01^{aB}	0.42 ± 0.00^{cDE}	0.86 ± 0.01^{cE}	1.36 ± 0.05^{cE}	2.16 ± 0.10^{cE}	2.67 ± 0.03^{cE}	3.73 ± 0.01^{cE}
	80	0.23 ± 0.02^{aB}	0.37 ± 0.01^{bBCD}	0.68 ± 0.01^{bD}	0.76 ± 0.01^{bC}	0.84 ± 0.02^{bC}	1.57 ± 0.03^{bC}	1.64 ± 0.00^{bC}
	120	0.25 ± 0.00^{aB}	0.31 ± 0.01^{aB}	0.51 ± 0.00^{aC}	0.53 ± 0.00^{aB}	0.64 ± 0.01^{aB}	0.86 ± 0.01^{aB}	0.99 ± 0.00^{aB}
พันธุ์ มข.35	**0**	0.15 ± 0.00^{aA}	0.40 ± 0.00^{bCDE}	0.98 ± 0.01^{dF}	1.54 ± 0.02^{dF}	2.77 ± 0.12^{dF}	4.13 ± 0.07^{dF}	4.95 ± 0.12^{cF}
	40	0.14 ± 0.00^{aA}	0.35 ± 0.01^{bBC}	0.64 ± 0.00^{cD}	0.85 ± 0.02^{cD}	1.18 ± 0.05^{cD}	1.93 ± 0.04^{cD}	2.22 ± 0.09^{bD}
	80	0.14 ± 0.00^{aA}	0.23 ± 0.01^{aA}	0.41 ± 0.00^{bB}	0.43 ± 0.00^{bA}	0.57 ± 0.01^{bAB}	0.77 ± 0.01^{bB}	0.86 ± 0.00^{aB}
	120	0.14 ± 0.00^{aA}	0.19 ± 0.04^{aA}	0.25 ± 0.01^{aA}	0.38 ± 0.00^{aA}	0.41 ± 0.00^{aB}	0.51 ± 0.00^{aA}	0.61 ± 0.00^{aA}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/วัน) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (กรัม/วัน)					
	(mM)	4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	0.05 ± 0.02^{bC}	0.12 ± 0.02^{cD}	0.17 ± 0.00^{dE}	0.08 ± 0.00^{dCD}	0.12 ± 0.00^{cC}	0.07 ± 0.00^{cB}
	40	0.05 ± 0.00^{abBC}	0.07 ± 0.00^{bBC}	0.06 ± 0.00^{bAB}	0.06 ± 0.00^{bBC}	0.10 ± 0.00^{bD}	0.05 ± 0.00^{dAB}
	80	0.02 ± 0.00^{abAB}	0.02 ± 0.00^{aA}	0.05 ± 0.00^{cB}	0.02 ± 0.01^{cAB}	0.06 ± 0.00^{aB}	0.03 ± 0.00^{bA}
	120	0.01 ± 0.00^{aA}	0.01 ± 0.00^{aA}	0.00 ± 0.00^{aA}	0.01 ± 0.00^{aA}	0.02 ± 0.00^{aA}	0.02 ± 0.00^{aB}
พันธุ์ มข. 35	**0**	0.09 ± 0.00^{cD}	0.12 ± 0.01^{bD}	0.13 ± 0.01^{cD}	0.11 ± 0.01^{bD}	0.11 ± 0.01^{bC}	0.06 ± 0.00^{cB}
	40	0.05 ± 0.00^{bC}	0.11 ± 0.01^{bD}	0.10 ± 0.02^{bcC}	0.11 ± 0.01^{bD}	0.10 ± 0.00^{bC}	0.04 ± 0.01^{bA}
	80	0.01 ± 0.00^{aA}	0.09 ± 0.00^{bCD}	0.05 ± 0.00^{abB}	0.02 ± 0.01^{aAB}	0.03 ± 0.00^{aAB}	0.03 ± 0.01^{aB}
	120	0.00 ± 0.00^{aA}	0.05 ± 0.00^{aAB}	0.01 ± 0.00^{aA}	0.05 ± 0.01^{aABC}	0.02 ± 0.01^{aA}	0.02 ± 0.00^{aB}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ

ตารางภาคผนวกที่ ง--7 น้ำหนักจำเพาะของใบ (SLW) (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	น้ำหนักจำเพาะของใบ (SLW) (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร)						
	(mM)	0 วัน	4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	23.40±1.55^{aB}	14.04±0.10^{aA}	8.95±0.17^{aA}	9.40±0.32^{aB}	7.29±0.28^{bBC}	9.00±0.26^{bDE}	7.45±0.23^{aCD}
	40	21.56±0.92^{aB}	14.61±0.27^{aA}	12.75±0.88^{bBC}	12.49±0.21^{bD}	9.15±0.37^{cD}	7.86±0.29^{aE}	8.13±0.15^{bE}
	80	26.00±4.47^{aB}	14.82±0.33^{aA}	12.76±0.18^{bBC}	8.59±0.56^{aAB}	6.18±0.30^{aA}	8.42±0.43^{aBCD}	8.22±0.25^{bDE}
	120	24.01±1.31^{aB}	15.23±1.04^{aA}	11.62±0.52^{bB}	9.51±0.16^{aB}	7.50±0.27^{bC}	9.52±0.16^{cE}	9.42±0.04^{cF}
พันธุ์ มข.35	**0**	11.81±0.07^{aA}	13.78±0.69^{aA}	14.25±0.47^{cC}	10.09±0.29^{bBC}	9.53±0.12^{bD}	8.08±0.18^{bBC}	6.07±0.32^{aA}
	40	13.62±0.93^{aA}	14.09±1.56^{aA}	13.27±0.91^{bcBC}	10.36±0.91^{bBC}	8.62±0.50^{bD}	8.52±0.10^{bCDB}	6.42±0.18^{abAB}
	80	14.21±0.94^{aA}	12.85±2.67^{aA}	11.99±0.46^{bB}	11.67±0.62^{bCD}	9.25±0.02^{bD}	8.70±0.17^{cCD}	7.29±0.21^{cC}
	120	14.90±1.56^{aA}	11.97±3.03^{aA}	8.83±0.48^{aA}	7.20±0.70^{aA}	6.41±0.22^{aAB}	7.00±0.12^{aA}	7.84±0.12^{cBC}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 9

ตารางภาคผนวกที่ ง-8 ปริมาณโพรลีนในใบตำแหน่งข้อที่ 3 นับจากยอด (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	ปริมาณโพรลีนในใบที่ 3 นับจากยอด (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด)				
	(mM)	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	1.80±0.06^{aAB}	3.16±0.17^{aA}	4.11±0.26^{a}	7.00±0.06^{aA}	8.06±0.46^{aA}
	40	2.12±.006^{aB}	3.39±0.12^{aA}	6.65±0.14^{bBC}	9.36±0.28^{bB}	9.73±0.26^{aB}
	80	2.96±0.08^{bC}	4.48±0.21^{bB}	9.12±0.69^{cD}	20.56±0.21^{cC}	24.38±0.95^{bC}
	120	5.94±0.18^{cE}	7.02±0.12^{cD}	15.09±0.60^{dE}	22.87±0.68^{dE}	33.06±0.57^{cE}
พันธุ์ มข. 35	**0**	1.66±0.04^{aA}	3.07±0.23^{aA}	5.13±0.24^{aAB}	9.01±0.12^{aB}	10.26±0.26^{aB}
	40	2.75±0.12^{bC}	5.38±0.10^{bC}	7.32±0.30^{bC}	10.90±0.31^{bC}	11.30±0.14^{aB}
	80	3.72±0.14^{cD}	6.38±0.12^{bD}	17.61±0.92^{cF}	24.42±0.55^{cF}	28.74±0.48^{bD}
	120	7.39±0.12^{dF}	9.08±0.70^{cE}	21.49±0.40^{dG}	32.67±0.83^{dG}	33.50±0.52^{cE}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-9 ปริมาณโพรลีนในใบตำแหน่งข้อที่ 5 นับจากยอด (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	ปริมาณโพรลีนในใบที่ 5 นับจากยอด (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด)					
	(mM)	4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	1.36±0.04^{aA}	2.91±0.04^{aA}	4.39±0.10^{aA}	6.88±0.14^{aA}	7.62±0.36^{aA}	9.08±0.24^{aA}
	40	1.80±0.12^{aBC}	2.98±0.08^{aA}	5.66±0.14^{abAB}	8.29±0.10^{aAB}	12.22±0.45^{bC}	12.34±0.48^{bB}
	80	2.40±0.18^{bCD}	3.63±0.06^{bB}	6.56±0.16^{bCD}	11.32±0.69^{bC}	21.95±0.56^{cE}	29.85±086^{cD}
	120	3.93±0.16^{cF}	5.54±0.18^{cE}	9.66±0.91^{cD}	18.32±0.94^{cD}	28.26±0.45^{dF}	41.06±.046^{dE}
พันธุ์ มข.35	**0**	2.01±0.14^{aBC}	3.19±0.10^{aA}	7.74±0.38^{aC}	8.78±0.30^{aC}	9.33±0.16^{aB}	11.53±0.31^{aB}
	40	2.79±0.08^{bD}	4.00±0.10^{bC}	8.11±0.61^{bC}	10.93±0.42^{bC}	15.94±0.42^{bD}	18.44±0.41^{bC}
	80	3.42±0.16^{bE}	4.48±0.10^{cD}	10.49±0.22^{cD}	21.44±0.47^{cD}	32.16±0.40^{cG}	42.61±0.51^{cF}
	120	5.24±0.31^{cG}	10.26±0.12^{dF}	15.41±0.74^{dE}	24.45±0.99^{dE}	35.31±0.30^{dH}	51.02±0.47^{dG}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-10 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นแตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ 2 จากยอด (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)					
	(mM)	4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	8.78±0.12^{aA}	10.74±0.16^{bD}	11.23±0.07^{bC}	10.95±0.10^{bC}	11.88±0.11^{cE}	10.80±0.06^{cD}
	40	8.71±0.13^{aA}	8.68±0.16^{aBC}	8.43±0.50^{aAB}	8.42±0.36^{aB}	8.38±0.47^{bC}	8.14±0.35^{bBC}
	80	8.54±0.05^{aA}	8.40±0.08^{aAB}	8.35±0.19^{aAB}	8.29±0.38^{aB}	8.01±0.27^{abBC}	7.94±0.31^{bBC}
	120	8.50±0.04^{aA}	8.43±0.03^{aAB}	8.31±0.46^{aAB}	8.19±0.37^{aB}	7.14±0.17^{aAB}	6.04±0.20^{aA}
พันธุ์ มข.35	**0**	9.12±0.03^{aA}	9.20±0.07^{bC}	8.75±0.21^{bAB}	9.19±0.17^{bB}	9.69±0.10^{cD}	9.82±0.17^{bCD}
	40	9.03±0.09^{aA}	8.96±0.49^{bBC}	8.92±0.21^{bB}	8.89±0.42^{bB}	8.66±0.61^{bcC}	7.73±0.47^{abAB}
	80	9.01±0.03^{aA}	8.87±0.19^{bBC}	8.73±0.07^{bAB}	8.56±0.04^{bB}	7.63±0.09^{abABC}	6.93±0.18^{aAB}
	120	8.98±0.49^{aA}	7.87±0.07^{aBC}	7.73±0.38^{aA}	6.91±0.47^{aA}	6.65±0.29^{aA}	6.03±1.55^{aAB}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-11 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl (mM)	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบที่ 1 จากโคน (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) (Mean ±Standard error)					
		4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	11.57 ± 0.15^{bD}	12.41 ± 0.15^{dF}	11.67 ± 0.07^{dE}	12.79 ± 0.09^{cF}	11.57 ± 0.07^{cC}	11.20 ± 0.28^{cD}
	40	11.51 ± 0.16^{bD}	11.46 ± 0.09^{cEF}	11.37 ± 0.08^{cE}	10.94 ± 0.12^{bE}	10.55 ± 0.29^{bBC}	10.29 ± 0.58^{cCD}
	80	11.06 ± 0.21^{abCD}	10.97 ± 0.19^{bDE}	10.66 ± 0.09^{bD}	10.60 ± 0.38^{bE}	10.10 ± 0.12^{bBC}	8.38 ± 0.21^{bABC}
	120	10.55 ± 0.04^{aBC}	9.71 ± 0.07^{aABC}	9.55 ± 0.06^{aBC}	8.89 ± 0.20^{aAB}	7.84 ± 0.20^{aA}	6.81 ± 0.13^{aAB}
พันธุ์ มข.35	**0**	9.92 ± 0.19^{aAB}	10.74 ± 0.16^{bCDE}	10.08 ± 0.29^{bCD}	10.38 ± 0.24^{cDE}	11.27 ± 0.03^{bC}	10.88 ± 0.24^{bCD}
	40	9.54 ± 0.36^{aA}	10.18 ± 0.89^{abBCD}	9.87 ± 0.43^{bBC}	9.71 ± 0.06^{bcCD}	9.31 ± 0.15^{abAB}	9.10 ± 1.16^{abBCD}
	80	9.43 ± 0.33^{aA}	9.54 ± 0.30^{abAB}	9.33 ± 0.16^{abB}	9.27 ± 0.16^{bB}	8.05 ± 0.28^{aA}	7.12 ± 0.73^{aAB}
	120	9.36 ± 0.27^{aA}	8.98 ± 0.15^{aA}	8.49 ± 0.23^{aA}	8.29 ± 0.30^{aA}	7.94 ± 1.49^{aA}	6.53 ± 1.55^{aA}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-12 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 2 จากยอด (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)					
	(mM)	4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	0.77 ± 0.01^{aA}	0.94 ± 0.01^{bD}	0.98 ± 0.00^{bC}	0.96 ± 0.00^{bD}	1.04 ± 0.00^{cE}	0.95 ± 0.00^{cD}
	40	0.77 ± 0.01^{aA}	0.76 ± 0.01^{aBC}	0.74 ± 0.04^{aAB}	0.74 ± 0.03^{aBC}	0.74 ± 0.04^{bCD}	0.72 ± 0.03^{bBC}
	80	0.75 ± 0.00^{aA}	0.74 ± 0.00^{aAB}	0.74 ± 0.01^{aAB}	0.73 ± 0.03^{aB}	0.71 ± 0.02^{abBC}	0.70 ± 0.02^{bABC}
	120	0.75 ± 0.00^{aA}	0.74 ± 0.00^{aAB}	0.73 ± 0.03^{aAB}	0.72 ± 0.03^{aB}	0.63 ± 0.01^{aAB}	0.54 ± 0.01^{aA}
พันธุ์ มข.35	**0**	0.80 ± 0.00^{aA}	0.81 ± 0.00^{bC}	0.77 ± 0.01^{bAB}	0.83 ± 0.01^{bC}	0.81 ± 0.01^{cD}	0.86 ± 0.01^{bCD}
	40	0.79 ± 0.00^{aA}	0.79 ± 0.04^{bBC}	0.78 ± 0.01^{bB}	0.78 ± 0.03^{bBC}	0.76 ± 0.05^{bcCD}	0.68 ± 0.04^{abAB}
	80	0.79 ± 0.00^{aA}	0.78 ± 0.01^{bBC}	0.77 ± 0.00^{bAB}	0.75 ± 0.00^{bBC}	0.67 ± 0.00^{abABC}	0.61 ± 0.01^{aAB}
	120	0.79 ± 0.04^{aA}	0.69 ± 0.00^{aA}	0.68 ± 0.03^{aAB}	0.61 ± 0.04^{aA}	0.59 ± 0.02^{aA}	0.52 ± 0.13^{aAB}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-13 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคน (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl	ปริมาณแคโรทีนอยด์ในใบที่ 1 จากโคน (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)					
	(mM)	4 วัน	8 วัน	12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ.5	**0**	1.01 ± 0.01^{bD}	1.08 ± 0.01^{dF}	1.02 ± 0.00^{dE}	1.12 ± 0.00^{cF}	1.01 ± 0.00^{cC}	0.98 ± 0.02^{cD}
	40	1.01 ± 0.01^{bD}	1.00 ± 0.00^{cEF}	0.99 ± 0.00^{cE}	0.96 ± 0.01^{bE}	0.92 ± 0.02^{bBC}	0.90 ± 0.05^{cCD}
	80	0.97 ± 0.01^{abCD}	0.96 ± 0.01^{bDE}	0.93 ± 0.00^{bD}	0.93 ± 0.03^{bE}	0.89 ± 0.01^{bBC}	0.74 ± 0.01^{bABC}
	120	0.92 ± 0.00^{aBC}	0.85 ± 0.00^{aABC}	0.84 ± 0.00^{aBC}	0.78 ± 0.01^{aA}	0.69 ± 0.01^{aA}	0.60 ± 0.01^{aAB}
พันธุ์ มข.35	**0**	0.87 ± 0.01^{aA}	0.9455 ± 0.01^{bCDE}	0.88 ± 0.02^{bCD}	0.91 ± 0.02^{cDE}	0.99 ± 0.00^{bC}	0.95 ± 0.02^{bCD}
	40	0.84 ± 0.03^{aA}	0.8975 ± 0.07^{abBCD}	0.87 ± 0.03^{bBC}	0.85 ± 0.00^{bcCD}	0.82 ± 0.01^{abAB}	0.80 ± 0.10^{abBCD}
	80	0.83 ± 0.02^{aA}	0.8420 ± 0.02^{abB}	0.82 ± 0.01^{abB}	0.81 ± 0.01^{bB}	0.71 ± 0.02^{aA}	0.63 ± 0.06^{aAB}
	120	0.82 ± 0.02^{aA}	0.7940 ± 0.01^{aA}	0.75 ± 0.02^{aA}	0.73 ± 0.02^{aA}	0.70 ± 0.12^{aA}	0.58 ± 0.13^{aA}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-14 กิจกรรมของเอนไซม์ CAT (µmole/mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl (mM)	กิจกรรมของเอนไซม์ CAT (µmole/mg protein • min)			
		12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	44.20±0.01^{aA}	69.37±7.02^{aAB}	68.43±0.03^{a}	184.21±0.57^{aA}
	40	59.37±7.44^{abBC}	76.93±6.92^{abBC}	92.95±678^{b}	257.50±6.44^{bB}
	80	74.69±7.55^{bC}	90.63±0.03^{cCD}	141.31±9.20^{c}	418.45±8.95^{cC}
	120	112.52±0.06^{cE}	121.65±7.50^{dA}	204.08±9.48^{d}	509.66±8.42^{dD}
พันธุ์ มข. 35	**0**	41.55±5.74^{aA}	55.47±5.58^{aA}	115.30±7.02^{aB}	242.45±6.32^{aB}
	40	86.02±7.37^{bD}	100.62±5.55^{bD}	164.34±8.38^{bCD}	396.45±8.98^{bC}
	80	124.00±2.49^{cE}	129.72±9.02^{cE}	184.71±8.31^{bD}	484.40±8.13^{cD}
	120	160.48±5.70^{dF}	177.94±5.71^{dF}	319.11±8.85^{cF}	757.54±8.36^{dE}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-15 กิจกรรมของเอนไซม์ CAT (μmole/mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl (mM)	กิจกรรมของเอนไซม์ CAT (μmole/mg protein • min)			
		12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	72.78±7.33^{aAB}	76.86±0.38^{aA}	105.93±0.10^{aA}	227.50±8.51^{aA}
	40	88.00±0.10^{abBC}	96.67±6.86^{bB}	103.25±0.07^{aA}	311.59±7.41^{bC}
	80	96.55±7.40^{bC}	109.64±0.06^{bB}	153.51±7.95^{bB}	486.98±7.08^{cD}
	120	134.76±0.02^{cD}	139.45±7.19^{cC}	193.43±8.44^{cC}	570.51±7.38^{dE}
พันธุ์ มข. 35	**0**	58.41±4.97^{aA}	72.74±5.00^{aA}	102.85±0.08^{aA}	270.69±6.24^{aB}
	40	95.35±5.63^{bC}	107.27±0.90^{bB}	140.01±6.07^{bB}	464.58±1.95^{bD}
	80	128.09±6.06^{cD}	139.42±7.21^{cC}	189.78±7.40^{cC}	588.58±8.67^{cE}
	120	163.41±2.79^{dE}	168.30±3.96^{dE}	348.99±0.15^{dD}	814.32±4.96^{dF}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-16 กิจกรรมของเอนไซม์ APX (nmole/mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอด ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl (mM)	กิจกรรมของเอนไซม์ APX (nmole /mg protein • min) 12 วัน	16 วัน	20วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	59.34±8.20^{aA}	79.21±7.97^{aA}	164.65±10.02^{aB}	346.22±9.03^{aB}
	40	84.79±10.63^{bcBC}	109.86±9.88^{abBC}	132.74±9.68^{bB}	367.72±9.19^{bB}
	80	106.66±10.79^{cCD}	129.43±0.05^{cCD}	201.79±13.14^{cC}	597.55±12.79^{cC}
	120	160.68±0.09^{dE}	173.72±10.71^{dE}	291.42±13.55^{dD}	627.80±12.03^{D}
พันธุ์ มข. 35	**0**	63.12±0.02^{aAB}	99.06±10.02^{aAB}	97.72±0.05^{aA}	263.06±0.82^{aA}
	40	122.83±10.53^{bD}	143.69±7.92^{bD}	234.68±11.96^{bCD}	566.13±12.83^{bC}
	80	177.07±3.56^{cE}	185.24±12.88^{cD}	263.77±11.86^{cDE}	691.72±12.18^{cD}
	120	229.16±8.14^{dF}	254.10±8.15^{dF}	455.70±12.64^{dF}	781.77±13.37^{dE}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-17 กิจกรรมของเอนไซม์ APX (nmole/mg protein • min) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl (mM)	กิจกรรมของเอนไซม์ APX (nmole/mg protein • min)			
		12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	83.41±7.10^{aA}	103.87±7.14^{aA}	151.27±0.14^{aA}	324.87±16.44^{aA}
	40	136.16±8.04^{bC}	138.05±9.80^{bB}	147.44±0.10^{aA}	444.95±10.59^{bC}
	80	182.91±8.66^{cD}	156.56±0.08^{cB}	219.22±11.35^{bB}	695.42±18.69^{cD}
	120	192.43±0.03^{cD}	199.14±10.27^{dC}	276.23±12.06^{cC}	814.69±10.54^{dE}
พันธุ์ มข. 35	**0**	103.93±10.47^{aAB}	109.76±0.54^{aA}	146.87±0.11^{aA}	386.55±8.91^{aB}
	40	125.67±0.15^{abBC}	153.18±1.29^{bB}	199.94±8.67^{bB}	663.43±17.07^{bD}
	80	137.88±10.57^{bC}	199.10±10.30^{cC}	271.01±10.57^{cC}	840.50±12.39^{cE}
	120	233.35±3.99^{dE}	240.33±5.66^{dE}	498.36±0.22^{dD}	1162.86±35.64^{dF}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-18 กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg-1 protein) ในใบตำแหน่งข้อที่ 2 นับจากยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ทีได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นแตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl (mM)	แอกติวิตีของ SOD ในใบยอด (Unit mg^{-1} protein)			
		12	16	20	24
พันธุ์ สจ. 5	0	3.59 ± 0.09^{aA}	4.16 ± 0.65^{aA}	5.92 ± 0.71^{aA}	6.70 ± 0.16^{aA}
	40	4.56 ± 0.09^{aAB}	4.30 ± 0.62^{bA}	$6.63\pm0.59^{b\ AB}$	7.63 ± 0.31^{bcAB}
	80	4.83 ± 0.47^{aB}	6.20 ± 1.40^{aABC}	7.08 ± 0.01^{aA}	$9.47\pm0.28^{c\ DE}$
	120	5.22 ± 0.51^{aB}	8.04 ± 0.27^{abC}	8.31 ± 0.37^{cBC}	9.94 ± 0.57^{cCD}
พันธุ์ มข. 35	0	4.32 ± 0.18^{aAB}	5.50 ± 0.11^{aAB}	6.17 ± 0.13^{aA}	8.61 ± 0.18^{aB}
	40	4.65 ± 0.39^{bB}	5.49 ± 0.88^{abBC}	6.71 ± 0.15^{abA}	9.64 ± 0.61^{bDE}
	80	4.58 ± 0.38^{bAB}	5.91 ± 0.26^{bAB}	9.38 ± 0.37^{abC}	$10.54\pm0.26^{b\ CD}$
	120	$5.34\pm0.46^{ab\ AB}$	7.30 ± 0.17^{aABC}	10.90 ± 0.55^{bD}	11.08 ± 0.26^{bE}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางภาคผนวกที่ ง-19 กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Unit mg-1 protein) ในใบตำแหน่งข้อที่ 1 นับจากโคนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ มข. 35 ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Mean ± Standard error)

พันธุ์	NaCl (mM)	แอกติวิตีของ SOD (Unit mg^{-1} protein)			
		12 วัน	16 วัน	20 วัน	24 วัน
พันธุ์ สจ. 5	**0**	2.94 ± 0.11^{aA}	3.40 ± 0.46^{aA}	4.60 ± 0.09^{aA}	7.19 ± 0.11^{aB}
	40	3.57 ± 0.19^{aB}	4.94 ± 0.12^{bB}	5.02 ± 0.18^{aA}	7.23 ± 0.08^{bB}
	80	3.97 ± 0.11^{bBC}	5.84 ± 0.33^{bC}	5.38 ± 0.67^{aAB}	7.37 ± 0.34^{bB}
	120	4.56 ± 0.12^{cDE}	5.78 ± 0.12^{bC}	8.43 ± 0.93^{bC}	7.88 ± 0.21^{bB}
พันธุ์ มข. 35	**0**	4.25 ± 0.21^{aCD}	4.43 ± 0.21^{aB}	4.53 ± 0.27^{aA}	5.88 ± 0.23^{aA}
	40	4.50 ± 0.05^{aDE}	4.87 ± 0.25^{abB}	6.55 ± 0.21^{bB}	7.32 ± 0.32^{aB}
	80	4.65 ± 0.30^{aDE}	5.25 ± 0.25^{bBC}	8.27 ± 0.20^{cC}	$7.40\pm0.15^{a\ B}$
	120	4.87 ± 0.05^{aE}	4.63 ± 0.06^{abB}	9.42 ± 0.26^{dC}	9.50 ± 0.63^{bC}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกัน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง (ในถั่วเหลืองระหว่างพันธุ์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้