ผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโพรลีน โซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในถั่วเหลือง *Glycine max* (L.) Merrill

นายพรศักดิ์ ภักดีวราภรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

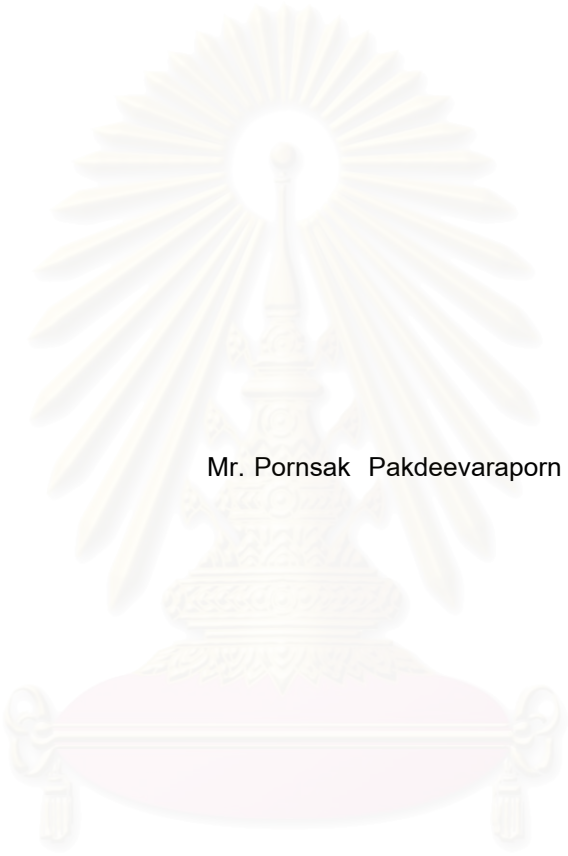
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-1257-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF SODIUM CHLORIDE ON GROWTH AND ACCUMULATION OF PROLINE, SODIUM ION AND CHLORIDE ION IN SOYBEANS *Glycine max* (L.) Merrill

Mr. Pornsak Pakdeevaraporn



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Botany
Department of Botany
Faculty of Science Chulalongkorn University
Academic year 2000

ISBN 974-13-1257-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโพรลีน โซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนของถั่วเหลือง *Glycine max* (L.) Merrill

โดย นายพรศักดิ์ ภักดีวราภรณ์

สาขาวิชา พฤกษศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ นันทนา อังกินันทน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุมิตรา คงชื่นสิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ นันทนา อังกินันทน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พรศักดิ์ ภักดีวราภรณ์ : ผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโพรลีน โซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในถั่วเหลือง *Glycine max* (L.) Merrill (EFFECTS OF SODIUM CHLORIDE ON GROWTH AND ACCUMULATION OF PROLINE, SODIUM ION AND CHLORIDE ION IN SOYBEANS *Glycine max* (L.) Merrill อ. ที่ปรึกษา : รศ.นันทนา อังกินันทน์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์, 176 หน้า . ISBN 974-13-1257-1

การศึกษาอิทธิพลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การสะสมโพรลีน โซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) สามพันธุ์คือพันธุ์ สจ.5 ชม.60 และ สท.2 ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Hoagland โดยเติมโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ และใช้ต้นถั่วเหลืองที่เจริญในสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Hoagland ที่ไม่ได้เติมโซเดียมคลอไรด์เป็นชุดควบคุมในทุกการทดลอง โดยเก็บผลการทดลองทุกๆ 15 วัน เป็นระยะเวลา 2 เดือน ในระหว่างที่พืชได้รับภาวะเค็มพบว่าทุกระดับโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้การเจริญเติบโตของราก ลำต้น ใบและในส่วนของการให้ผลผลิตของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีความไวต่อภาวะเค็มมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ซึ่งสอดคล้องกับการที่อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ไม่แตกต่างทางสถิติกับพืชในชุดควบคุม ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมโพรลีนในใบเพิ่มขึ้นสูงกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ซึ่งชี้ให้เห็นถึงผลที่มาจากการที่โปรตีนถูกทำลาย ภาวะเค็มมีผลทำให้ถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีรูปแบบการสะสมโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนคล้ายคลึงกัน คือมีปริมาณโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนสูงสุดที่รากและมีปริมาณต่ำสุดในฝักถั่วเหลือง และใบล่างมีปริมาณโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนสูงกว่าใบบริเวณยอด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4072328923 : MAJOR BOTANY

KEY WORDS : SALT STREES / SOYBEAN / PROLINE / SODIUM ION / CHLORIDE ION

PORNSAK PAKDEEVAROPORN : EFFECTS OF SODIUM CHLORIDE ON GROWTH AND ACCUMULATION OF PROLINE, SODIUM ION AND CHLORIDE ION IN SOYBEANS *Glycine max* (L.) Merrill. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. NANTANA ANGKINAND, THESIS CO-ADISOR, SUPACHITRA CHADCHAWAN, Ph.D. 176 pp. ISBN 974-13-1257-1

The effects of sodium chloride on growth and proline, sodium ion and chloride ion accumulation were determined in three soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars ; SJ.5, CM.60 and ST.2. Sodium chloride was added to the Hoagland nutrient solution at the concentration of 20, 40 and 80 mM. The plants grown in the Hoagland nutrient solution was used as a control for all experiments. The soybean plants were harvested every fifteen days for two months to determine growth and proline, sodium ion and chloride ion accumulation during salt-stress treatments. Every sodium chloride treatment resulted in the significant reduction of vegetative and reproductive growth in all three soybean cultivars. Growth response suggested that ST.2 was the most salt-sensitive among these three cultivars. This conclusion was also supported with the reduction of leaf area ratio of ST.2, while salt-stress showed no significant effects on leaf area ratio in SJ.5 and CM.60. The highest level of proline accumulation was detected in ST.2 leaves, which suggested the consequence of protein damage. All three cultivars showed the similar results for sodium and chloride ion accumulation. The highest level of both ion species was detected in roots and the lowest level was detected in pods, and the older leaves showed the higher level of ion accumulation.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Botany Student's signature……..

Field of study Botany Advisor's signature……...

Academic year 2000 Co-advisor' signature……..

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์นันทนา อังกินันทน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษา ให้กำลังใจ และคำแนะนำต่างๆ ตลอดการทำวิจัย ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ตลอดการทำวิจัยและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุมิตรา คงชื่นสิน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย และคำแนะนำวิธีการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 และสถานีทดลองพืชไร่ศรีสำโรง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2

ขอขอบคุณคุณอัญชลี ใจดี คุณฐปนา อัครเอกปัญญา สำหรับความช่วยเหลือในการทำวิจัย คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ กำลังใจ และความห่วงใยที่มีให้กันตลอดมา

ขอขอบคุณคุณสมศักดิ์ ภักดีวราภรณ์ คุณยุพา เลาศรีรัตนชัย คุณศศิชล ศิริรัตนปัญญากร คุณสุรเชษฐ์ วงษ์รัก และคุณนันทนา ปรีประดิษฐ์ สำหรับความช่วยเหลือในด้านการพิมพ์ และกำลังใจ ความห่วงใยที่มีให้กันตลอดมา

ขอขอบคุณคุณอัญชลี ร่มพา คุณจุฑามาศ คุ้มครอง คุณศิริพรรณ บรรหาร คุณรักชนก โคโต คุณชนิตา ปาลิยะวุฒิ คุณสหัช จันทนาอรพินท์ คุณฉลอง นามทิพย์ คุณมยุรา จินดารัตน์ และทุกท่านในภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความช่วยเหลือในการทำวิจัย และกำลังใจที่มีให้กันเสมอมา

กราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้กำลังใจและความห่วงใย รวมทั้งครอบครัวของผู้เขียน ที่ให้กำลังใจตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ฑ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. การตรวจเอกสาร..... 4

ความหมายของดินเค็ม..... 4

ความสามารถในการทนเค็มของพืช..... 5

ผลของภาวะเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช..... 7

ภาวะเค็มที่มีต่อชลศักย์ของน้ำในพืช..... 10

ภาวะเค็มที่มีต่อการดูดซึมธาตุอาหาร..... 12

ภาวะเค็มที่มีต่อการสะสมโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในพืช..... 13

ภาวะเค็มที่มีต่อการสะสมโพรลีน..... 16

3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง..... 24

อุปกรณ์การศึกษา..... 24

วิธีการทดลอง..... 26

4. ผลการทดลอง..... 30

1. ผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง..... 30

1.1 ผลของภาวะเค็มต่อน้ำหนักแห้งต้น..... 30

1.2 ผลของภาวะเค็มต่อน้ำหนักแห้งราก..... 36

1.3 ผลของภาวะเค็มต่อพื้นที่ใบ..... 42

1.4 ผลของภาวะเค็มต่ออัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น..... 48

2. ผลของภาวะเค็มต่อองค์ประกอบผลผลิต..... 54

2.1 ผลของภาวะเค็มต่อจำนวนฝักต่อต้น..... 54

2.2 ผลของภาวะเค็มต่อจำนวนเมล็ดต่อต้น..... 59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 ผลของภาวะเค็มต่อน้ำหนักแห้งฝักต่อต้น..... 59

3. ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรลีน..... 68

3.1 ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรลีนในใบบริเวณยอด..... 68

3.2 ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรลีนในใบล่าง..... 74

3.3 ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพนลีนในราก..... 80

4. ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณโซเดียมไอออน..... 85

4.1 ปริมาณโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอด..... 85

4.2 ปริมาณโซเดียมไอออนในใบล่าง..... 91

4.3 ปริมาณโซเดียมไอออนในราก..... 97

4.4 ปริมาณโซเดียมไอออนในฝักถั่วเหลือง..... 103

5. ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณคลอไรด์ไอออน..... 109

5.1 ปริมาณคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอด..... 109

5.2 ปริมาณคลอไรด์ไอออนในใบล่าง..... 110

5.3 ปริมาณคลอไรด์ไอออนในราก..... 120

5.4 ปริมาณคลอไรด์ไอออนในฝักถั่วเหลือง..... 126

5. อภิปรายผลการทดลอง..... 131

1. ผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง..... 131

2. ผลของภาวะเค็มต่อองค์ประกอบผลผลิต..... 136

3. ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรลีน..... 138

4. ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณโซเดียมไอออน..... 140

5. ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณคลอไรด์ไอออน..... 143

6. สรุปผลการทดลอง..... 145

เอกสารอ้างอิง..... 148

ภาคผนวก..... 160

ภาคผนวก ก..... 161

ภาคผนวก ข..... 171

ประวัติผู้วิจัย. 176

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……..	32
2	น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	32
3	น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	33
4	น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	38
5	น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	38
6	น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	39
7	พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	44
8	พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	44
9	พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	45
10	อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	50
11	อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	50
12	อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	51
13	จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……...	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	55
15	จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	56
16	จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	60
17	จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	60
18	จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	61
19	น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	64
20	น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	64
21	น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	65
22	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	70
23	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	70
24	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	71
25	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	76
26	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
27	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	77
28	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	81
29	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	81
30	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	82
31	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	87
32	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	87
33	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	88
34	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	93
35	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	93
36	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	94
37	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	99
38	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	99
39	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
40	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	105
41	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	105
42	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……...	106
43	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	112
44	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	112
45	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	113
46	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……..	116
47	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	116
48	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……..	117
49	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	122
50	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	122
51	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	123
52	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	127

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
53	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……..	127
54	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	128

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1	น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	34
2	น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	34
3	น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	35
4	น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	40
5	น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	40
6	น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	41
7	พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	46
8	พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	46
9	พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	47
10	อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	52
11	อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	52
12	อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	53
13	จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	57

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
14	จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	57
15	จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	58
16	จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	62
17	จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	62
18	จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	63
19	น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……..	66
20	น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……..	66
21	น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน…….	67
22	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……..	72
23	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	72
24	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……..	73
25	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	78
26	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	78

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
27	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	79
28	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	83
29	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	83
30	ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	84
31	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	89
32	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	89
33	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	90
34	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	95
35	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	95
36	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	96
37	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	101
38	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	101
39	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	102

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
40	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	107
41	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	107
42	ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	108
43	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	114
44	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	114
45	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	115
46	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	118
47	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	118
48	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	119
49	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	124
50	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	124
51	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	125
52	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน.....	129

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
53	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……..	129
54	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน……	130

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูล Leguminosae และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และของโลก เนื่องจากเมล็ดมีโปรตีนและน้ำมันสูง ประมาณ 40 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นถั่วเหลืองจึงเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนแทนเนื้อสัตว์ได้ นอกจากนี้กากถั่วเหลืองยังมีโปรตีนสูง สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี ส่วนของลำต้นและรากสามารถใช้ทำปุ๋ยบำรุงดิน หรือปุ๋ยพืชสดได้ โดยในปี 2540/41 คาดว่าประเทศไทยจะมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองประมาณ 1,073 ล้านไร่ ผลผลิต 3.79 แสนตัน เมื่อเทียบกับการผลิตถั่วเหลืองของโลกถั่วเหลืองของไทยมีปริมาณเพียงเล็กน้อย เพียงร้อยละ 0.25 ของผลผลิตโลก (สมศักดิ์ สุริโย, 2541) ซึ่งการผลิตถั่วเหลืองของไทยเป็นการผลิตเพื่อใช้ภายในประเทศเกือบทั้งหมด ผลผลิตที่ผลิตได้ยังไม่เพียงพอกับการต้องการใช้ภายในประเทศ เนื่องจากมีความต้องการทั้งการบริโภคและอุตสาหกรรมต่าง ๆ ส่วนที่นำไปใช้บริโภคคือ นำเมล็ดไปทำเต้าหู้ เต้าเจี้ยว ซีอิ้ว น้ำนมถั่วเหลือง เป็นต้น ส่วนความต้องการในอุตสาหกรรมคือการสกัดน้ำมัน เพื่อผลิตน้ำมันสำหรับบริโภค และอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกมากมาย

การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง และการให้ผลผลิตขึ้นอยู่กับลักษณะพันธุกรรม และสิ่งแวดล้อมที่ได้รับตลอดจนระยะเวลาในการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง สภาพแวดล้อมดังกล่าวได้แก่ ช่วงแสง อุณหภูมิ ความชื้น ลักษณะทางดิน ธาตุอาหารพืช รวมทั้งโรค และแมลงศัตรูพืช ในประเทศไทยแม้จะปลูกถั่วเหลืองกันมานานแต่ผลผลิตที่ได้ยังไม่เพียงพอกับความต้องการบริโภคภายในประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองจำกัดอยู่เฉพาะในแหล่งที่เคยปลูกกันอยู่ในปัจจุบันได้แก่ ภาคเหนือ และภาคกลางบางจังหวัด วิธีเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองให้สูงขึ้นอาจทำได้โดยขยายพื้นที่เพาะปลูกไปยังแหล่งปลูกใหม่ที่มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูง พื้นที่ปลูกใหม่ที่น่าจะมีศักยภาพในการผลิตถั่วเหลืองได้ดีแหล่งหนึ่งคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือพื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นดินเค็มประมาณ 17.8 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 15 ของพื้นที่ทั้งหมดและเกลือที่พบส่วนใหญ่เป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ (สมศรี อรุณินท์, 2531) การสะสมของเกลือดังกล่าวอาจถึงระดับที่เป็นผลเสียต่อผลผลิตของพืช โดยปกติแล้วพืชที่ปลูกในสภาพดินเค็มจะมีการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของเกลือที่มีมากในดินมีผลทำให้รากพืชดูดน้ำได้น้อยลงพืชจึงประสบกับภาวะขาดน้ำและยังอาจเป็นผลมาจากความเป็นพิษจากการมีปริมาณไอออนของเกลือมากเกินไปในเซลล์ (Jacoby, 1994)

ความเค็มมีผลต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมของพืชหลายลักษณะ และยังทำให้พืชมีการเปลี่ยนแปลงทั้งลักษณะทางกายวิภาคและลักษณะทางสัณฐานวิทยา พืชชนิดต่างๆ จะมีความสามารถในการทนเค็มแตกต่างกันไปแม้แต่พืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์กันก็จะมีความทนเค็มได้ไม่เท่ากัน การที่ดินเค็มมีเกลือที่ละลายได้ในความเข้มข้นที่สูงทำให้ค่าชลศักย์ของน้ำ (water potential) ของสารละลายดินลดลงซึ่งพืชจะดูดน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง Flower และคณะ (1977) เสนอแนวความคิดว่าการที่น้ำในดินสามารถเคลื่อนเข้าสู่พืชและระเหยสู่บรรยากาศได้โดยวิธีการคายน้ำนั้นจำเป็นที่ค่า water potential ภายในพืชจะต้องลดลงตามลำดับตลอดสายทางการลำเลียงน้ำดังนั้นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ในดินเค็มจึงควรมีการปรับค่า water potential ภายในพืชให้ต่ำกว่าค่า water potential ของน้ำในดิน การปรับค่า water potential ภายในพืชอาจกระทำได้โดยการนำไอออนของเกลือไปสะสมไว้ในไซโตพลาสซึมของเซลล์ในส่วนที่ไม่เป็นอันตรายของพืช หรือมีการสะสมของสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ (Wyn Jones, 1981) เช่น proline, sucrose, fructose และ glucose เพื่อปรับค่า water potential ของน้ำในต้นให้ต่ำลงในกระบวนการ osmotic adjustment ซึ่งเป็นกลไกการปรับตัวของพืชอย่างหนึ่งให้อยู่รอดจากภาวะเค็มได้ (Rodriguez และคณะ, 1997) Mccue และ Hanson (1990) รายงานว่าการที่พืชสะสมปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นแหล่งของสารละลายสำหรับช่วยปรับสภาพ osmotic ภายในเซลล์ และการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นจะช่วยรักษาการทำงานของเอนไซม์ให้ดำเนินไปเป็นปกติ เนื่องจากโพรลีนช่วยทำให้โมเลกุลของน้ำรวมตัวกับโปรตีนได้ดีขึ้นเป็นการรักษาสภาพ hydration ของโปรตีน (Solomon และคณะ, 1994) ทั้งยังช่วยรักษาโครงสร้างของเซลล์ให้เป็นปกติ (Van Rensburg และคณะ, 1993) นอกจากนี้ Serrano และ Gaxiola (1994) รายงานว่าการสะสมโพรลีนเป็นการสะสมสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งพืชจะได้นำมาใช้ในการเจริญเติบโตหลังจากพืชพ้นสภาพความเครียด

เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชที่สามารถทนต่อความเค็มได้ในช่วงแคบ คือสามารถทนเค็มได้ระหว่าง 2-4 เดซิซีเมนต่อเมตร (dSm^{-1}) (สมศรี อรุณินท์, 2532) และมีการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมค่อนข้างจำกัด เมื่อสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปเช่น ย้ายที่ปลูก หรือฤดูกาลเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นการจะขยายพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ดินเค็มจำเป็นต้องหาพันธุ์ถั่วเหลืองที่สามารถปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อมให้มากที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการการเจริญช่วงที่ไม่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ และการเจริญช่วงที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ การสะสม โพรลีน ปริมาณโซเดียมไอออน และคลอไรด์ไอออน ในถั่วเหลือง 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ สจ. 5 (เป็นพันธุ์มาตรฐาน) พันธุ์ ชม. 60 (เป็นพันธุ์ที่ปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้กว้างขวาง) และพันธุ์ สท. 2 (เป็นพันธุ์ใหม่สุดรับรองพันธุ์ปี 2538 เหมาะสำหรับปลูกในเขตภาคเหนือตอนล่างและภาคกลาง) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาของพืช และการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการเจริญเติบโตช่วงที่ไม่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตช่วงที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ การสะสมโพรลีน ปริมาณโซเดียมไอออน และคลอไรด์ไอออน ในถั่วเหลือง 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ สจ. 5 พันธุ์ ชม. 60 และพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับระดับโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ กัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการคัดเลือกพันธุ์ถั่วเหลืองเพื่อให้ได้พันธุ์ที่สามารถทนต่อภาวะเค็มได้
2. ทราบการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง เมื่อเจริญอยู่ในภาวะเค็ม โดยทราบการเจริญช่วงที่ไม่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ (Vegetative Growth) และการเจริญช่วงที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ (Reproductive Growth) การสะสมโพรลีน ปริมาณโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานด้านการปรับปรุงพันธุ์ของถั่วเหลืองทนเค็มได้อีกแนวทางหนึ่ง

แผนดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

1. ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตในระยะของการเจริญช่วงที่ไม่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ (Vegetative Growth) และการเจริญช่วงที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ (Reproductive Growth)
2. ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการสะสมโพรลีนในส่วนของใบบริเวณยอด ใบล่าง และราก
3. ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในส่วนของใบบริเวณยอด ใบล่าง ราก และฝักถั่วเหลือง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ความหมายของดินเค็ม

ดินเค็ม คือดินที่มีเกลือละลายน้ำได้และอยู่ในดินในปริมาณที่มากเกินไป มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและทำให้ผลผลิตพืชลดลงอย่างเด่นชัด เกลือที่ละลายได้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเกลือคลอไรด์ และซัลเฟตของโซเดียม แคลเซียมและแมกนีเซียม ธาตุและอนุมูลที่มักพบมากที่สุดในสารละลายดินเค็ม คือ โซเดียมและคลอไรด์ (Bernstein, 1964) ชนิดเกลือของดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2527)

ดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท โดยอาศัยความแตกต่างของค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) ของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation extract) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และค่าร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable sodium percentage, ESP) หรือค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio, SAR) ดังนี้

1. ดินเค็ม (saline soils) หมายถึง ดินที่มีเกลือละลายอยู่ในดินมากเกินพอที่จะลดผลผลิตพืชลงได้อย่างชัดเจน ซึ่งมักจะใช้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำสูงกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (decisiemens / meter, dS/m) ค่าอัตราการดูดซับโซเดียมต่ำกว่า 13 หรือค่าร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่า 15 และค่าปฏิกิริยาดินต่ำกว่า 8.5 (USSL, 1954) มักพบคราบเกลือสีขาวบนผิวดิน

2. ดินโซดิก (sodic soils) หมายถึง ดินที่มีโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มากพอที่จะเป็นอันตรายต่อผลผลิตพืชและทำลายโครงสร้างของดิน ดินมีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมมากกว่า 13 หรือมีค่าร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 15 และค่าปฏิกิริยาดินสูงกว่า 8.5 (USSL, 1954) ปริมาณโซเดียมที่เปลี่ยนได้ในดินมากนี้ทำให้บางส่วนของอินทรีย์วัตถุในดินละลายออกมาอยู่ในส่วนของสารละลายดินและขึ้นมากับน้ำใต้ดิน แล้วตกตะกอนเคลือบผิวดินทำให้ผิวหน้าดินมีสีดำ (จงรักษ์, 2530 ; Sharma, 1980)

3. ดินเค็มโซดิก (saline – sodic soils) หมายถึง ดินที่มีเกลือที่ละลายได้ง่ายและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่มากจนเป็นอันตรายต่อผลผลิตพืช ค่าการนำไฟฟ้าซึ่งวัดจากสารละลายที่สกัดจากดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าสูงกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมไม่ต่ำกว่า 13 หรือมีค่าร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ไม่ต่ำกว่า 15 ค่าปฏิกิริยาดินอาจสูงกว่า 8.5 (USSL, 1954)

การตอบสนองของพืชต่อความเค็มนั้น ถ้าจะเทียบระดับความเค็มเป็นค่าการนำไฟฟ้า ที่มีหน่วยเป็น dS/m หรือ mmhos/cm ที่ 25 องศาเซลเซียส จะได้ดังนี้

0 – 2	dS/m	ความเค็มไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทุกชนิด
2 – 4	dS/m	ความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชที่อ่อนแอต่อความเค็มบางชนิด เช่น ถั่วต่างๆ
4 – 8	dS/m	ความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชหลายชนิด เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่างและหม่อน เป็นต้น
8 – 16	dS/m	พืชทนเค็มเท่านั้นจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ เช่น ดอกคำฝอย มะม่วงหิมพานต์ พุทราและหน่อไม้ฝรั่ง เป็นต้น
> 16	dS/m	พืชทนเค็มจัดหรือชอบเกลือเท่านั้น ที่จะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ ส่วนมากจะเป็นวัชพืช ได้แก่ หนามแดง โกงกาง จากและชะคราม เป็นต้น

ความสามารถในการทนเค็มของพืช

จากการศึกษาที่ผ่านมาเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า ความเค็มมีผลต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมของพืชในหลายๆลักษณะและยังผลให้พืชมีการเปลี่ยนแปลงทั้งลักษณะทางกายวิภาคและลักษณะทางสัณฐานวิทยา อย่างไรก็ตามพืชชนิดต่างๆ จะมีความสามารถในการทนเค็มแตกต่างกันไป แม้แต่พืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์กันก็จะมีความทนเกลือได้ไม่เท่ากัน เหตุนี้ทำให้พืชชนิดหนึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าอีกชนิดหนึ่ง หากจำแนกพืชตามลักษณะการตอบสนองต่อดินเค็มแล้ว อาจแบ่งพืชเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ (Flowers และคณะ, 1977) ดังนี้

1. พืชทนเค็ม (halophyte) หมายถึง พืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดี ในที่ที่มีเกลือในปริมาณสูง พืชเช่นนี้สามารถปรับตัวได้อย่างรวดเร็วตลอดช่วงการเจริญเติบโต

2. พืชไม่ทนเค็ม (glycophyte หรือ nonhalophyte) หมายถึง พืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในแหล่งที่อยู่ที่ไม่มีเกลือ (nonsaline habitat) แต่สามารถปรับตัวได้บ้างในสภาพดินเค็ม

เท่าที่มีรายงานในการตรวจเอกสารต่างๆ มักกล่าวถึงผลเสียหายที่เกิดจากความเค็มไปมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช ในแง่การขาดน้ำ (water deficit) และความเป็นพิษของไอออน (ion toxicity) (Flowers และคณะ, 1977 ; Greenway และ Munns, 1980)

สำหรับผลเนื่องจากความเป็นพิษของไอออนนั้น Poljakoff–Mayber (1975) เสนอว่าเมื่อสารละลายในดินมีความเข้มข้นของไอออนสูง พืชจะดูดและสะสมไอออนเหล่านั้นไว้ในราก ลำต้น หรือใบจนถึงระดับที่เป็นพิษ ยิ่งไปกว่านั้นความเป็นพิษของไอออนจะมีผลโดยตรงต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ของพืช (Greenway และ Osmond, 1972)

อย่างไรก็ตามความเป็นพิษของไอออนดังกล่าวมักได้แก่ ความเป็นพิษของโซเดียม ซึ่งปกติในดินเค็มจะมีปริมาณโซเดียมมากพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชและในบางครั้งก็มีมากเกินไปจนทำให้พืชตายได้ ส่วนคลอไรด์เป็นธาตุที่สำคัญทางสรีระของพืชธาตุหนึ่ง ซึ่งพืชสามารถทนทานต่อคลอไรด์ได้ในช่วง (range) ที่กว้าง (Clarkson และ Hanson, 1980) นอกจากนี้มีความเชื่อทางเคมี และชีวเคมีที่มีโอกาสเป็นไปได้มากว่าโซเดียมไปทำลายโครงรูป (conformation) ของโครงสร้างระดับ macromolecule และแทรกแซงกับบทบาทของโปแตสเซียมในไซโตพลาสซึมก่อนที่คลอไรด์จะเป็นพิษ (Yeo และ Flowers, 1984) จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของ KCl LiCl และ CsCl กับพืช *Agrotis stolonifera* สามารถยืนยันได้ว่าการที่พืชชนิดนี้มีความสามารถในการทนเค็มได้ไม่เท่ากันเนื่องจากอิทธิพลของไอออนบวกที่แตกต่างกัน (Wainwright, 1980)

การที่พืชสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาพความเค็ม จนกระทั่งครบวงจรได้นั้น เชื่อว่าพืชมีกลไกในการบรรเทาความเป็นพิษของเกลือในลักษณะต่างๆ เช่น

1. กลไกการหลีกเลี่ยง (avoidance mechanism) โดยการหลีกเลี่ยงการสะสมเกลือในไซโตปลาสซึม ในระดับที่เป็นพิษ โดยพืชจะมีต่อมเกลือ (salt gland) หรือ vesiculated hair เป็นแหล่งสะสมเกลือ หรือโดยการที่พืชเคลื่อนย้ายเกลือไปสะสมในแวคคิวโอล (Thomson, 1975)

2. กลไกการทนทาน (tolerance mechanism) เป็นไปได้ว่าพืชที่ทนเค็มสามารถป้องกันระบบเอนไซม์ต่างๆจากความเข้มข้นของเกลือสูงโดยการที่เอนไซม์บางชนิดยังคงมีกิจกรรมได้ปกติ แม้จะได้รับอิทธิพลจากความเค็ม (Greenway และ Osmond, 1972)

3. การดูดซึมและการเคลื่อนย้าย (absorption and translocation) โดยป้องกันไม่ให้เกลือไปสะสมที่ใบหรือยอด แต่จะดูดเข้ามาสะสมในรากหรือลำต้น (Nassery และ Baker, 1974) หรือพืชมีกระบวนการดูดกลับ (reabsorption) โซเดียมออกจากท่อน้ำ แล้วเคลื่อนย้ายออก (retranslocation) จากพืชสู่สารละลายที่ใช้ปลูก (Yeo และ Flowers, 1984)

4. กลไกการอวบน้ำ (succulence) โดยการเพิ่มปริมาณน้ำภายในเซลล์ ทำให้ความเข้มข้นของเกลือภายในเซลล์ลดลง (Jennings, 1968)

5. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ โดยการที่พืชลดความต้านทานของ mesophyll ต่อคาร์บอนไดออกไซด์หรือเพิ่มความต้านทานของปากใบ (Longstrenth และ Strain, 1977) อย่างไรก็ตามในพืชทนเค็มบางชนิด เช่น *Atriplex halimus* ไม่ปรากฏว่ามีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในตัวเอง (Gale และ Poljakoff – Mayber, 1970)

6.มีการเปลี่ยนแปลงเซลล์ชนิดต่างๆ ภายในพืช เพื่อปรับตัวให้เหมาะสมกับแหล่งที่อยู่ที่มีเกลือ (Munns และคณะ, 1983)

ผลของภาวะเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

เกลือต่างๆ ที่ละลายน้ำจะเกิดแรงอย่างหนึ่งขึ้นเรียกว่าแรงออสโมติก ในน้ำที่มีเกลืออยู่นั้นจะต้องใช้แรงหรือความดันจำนวนหนึ่งเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลออกจากน้ำบริสุทธิ์ผ่านเยื่อเข้าไปยังน้ำที่มีเกลือละลายอยู่ หรือหากจะต้องนำน้ำจากน้ำที่มีเกลือละลายออกไปก็จะต้องใช้แรงหรือพลังงานอย่างน้อยเท่ากับแรงดันนั้นๆ ด้วยเหตุนี้เองพืชจึงต้องใช้พลังงานมากขึ้นหรือดูดน้ำไปใช้ได้น้อยลงกว่าปกติเมื่อปลูกในดินเกลือ ดังนั้นการเจริญเติบโตของพืชในดินเกลือจึงลดลง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการดูดน้ำได้น้อยลง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2527)

ผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะการเจริญเติบโตของพืช ความเข้มข้น และชนิดของไอออนเกลือตลอดจนช่วงเวลาที่พืชได้รับเกลือ (Akbar และ Ponnamperuma, 1982) พืชที่ปลูกในดินหรือสารละลายที่มีเกลือมากกว่าปกติจะมีการเจริญเติบโตลดลงเนื่องจากสาเหตุ 3 ประการ คือหนึ่งความเครียดออสโมติก (osmotic stress) สองความเป็นพิษเนื่องจากไอออนบางชนิดที่พืชดูดเข้าไปสะสมมากเกินความต้องการ (specific-ion toxicity) และสามความไม่สมดุลของธาตุอาหารทำให้การเกิดการขาดธาตุอาหารบางธาตุ (deficiency stress) (Bhumble และ Abrol, 1978)

Ehlig และ Bernstein (1958) กล่าวว่าความเครียดออสโมติกจะเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่จำกัดการเจริญเติบโตของพืชที่ไม่ทนเค็ม (glycophyte) ในทางตรงกันข้าม Levitt (1972) เสนอว่าพืชทนเค็ม (halophyte) สามารถปรับแรงดันออสโมติกได้จากการสะสมเกลือและอินทรีย์สารที่ละลายน้ำได้ Waisel (1972) พบว่าพืช Atriplex บางสายพันธุ์สะสมคลอไรด์ และออกซาเลท (oxalate) ที่สังเคราะห์ขึ้นในใบช่วยให้ osmotic potential ลดลงและพืชสามารถดำรงชีพต่อไปได้

อย่างไรก็ตามเมื่อนำพืชหลายชนิดมาปลูกในดินเค็มหรือสารละลายที่มีเกลือมากกว่าปกติจะพบว่าความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์ราก ใบและต้นสูงขึ้นกว่าเดิม ทั้งนี้เป็นความพยายามของพืชที่จะรักษาความแตกต่างระหว่าง osmotic potential ของสารละลายในเซลล์กับสารละลายภายนอกเซลล์ให้คงที่ หรืออาจสูงกว่าเดิม ลักษณะดังกล่าวนี้เป็นการปรับแรงดันออสโมติกของพืชทั้งที่ทนเค็มและไม่ทนเค็ม ความสามารถในการปรับแรงดันออสโมติกขึ้นอยู่กับชนิดพืช เช่น ฝ้ายสามารถปรับแรงดันออสโมติกได้ แม้ว่า osmotic potential ของสารละลายปลูกพืชมีโซเดียมคลอไรด์ถึง –12 บรรยากาศ แต่พริกมีขีดจำกัดเพียง –5 บรรยากาศเท่านั้น (Berstein, 1961)

ผลเสียหายที่เกิดจากอิทธิพลของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชในแง่การขาดน้ำ (water deficit) โดยการที่ดินเค็มมีเกลือที่ละลายได้ในความเข้มข้นสูงทำให้ water potential ของสารละลายในดินเพิ่มขึ้นทำให้พืชนำน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง และในแง่ความเป็นพิษของไอออน ซึ่งมักได้แก่ความเป็นพิษของโซเดียม (Yeo และ Flowers, 1983) Levitt (1980) กล่าวว่าพืชจะพยายามปรับตัวเองให้ทนต่อภาวะความเครียด พืชทนเค็มบางชนิดจะมีต่อมเกลือเพื่อไว้ใช้ในการสะสมเกลือและพืชทนเค็มเช่น หนามแดง มะขามป้อม โดยทั่วไปสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพความเครียดออสโมติก ปริมาณธาตุประจุบวกและความเป็นพิษของเกลือได้ (Greenway และ Munns, 1980) พืชมีกลไกในการที่จะปรับตัวกับสารละลายที่รากสัมผัสอยู่การปรับตัวนี้เรียกว่า osmotic adjustment เป็นกลไกที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการเคลื่อนย้ายเกลือไปเก็บไว้ใน vacuoles หลังจากนั้นก็มีการผลิตหรือเพิ่มสารละลายอินทรีย์ใน cytoplasm สารละลายอินทรีย์จะถูกใช้ในการปรับ osmotic potential ของ vacuoles (Yeo, 1983)

Ungar (1974) ศึกษาถึงประชากรพืช *Hordeum jabatum* 2 กลุ่ม คือกลุ่มพืชที่ปรับตัวต่อความเค็มได้กับกลุ่มปกติภายใต้ระดับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูง พบว่ากลุ่มพืชที่ปรับตัวได้จะมีจำนวนใบเพิ่มขึ้น และความเค็มจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของรากเล็กน้อย ขณะที่กลุ่มปกติจะแสดงอาการใบเหลือง และการเจริญเติบโตของรากลดลงมาก นอกจากนี้ความสูงและจำนวนใบจะลดลงด้วย ในข้าวสาลีแมกซิกัน (mexican wheat) พิษของเกลือจะไปลดความยาวของใบ จำนวนกอ การก่อตัวของช่อดอก น้ำหนักเมล็ดและตอซัง (Torres และ Bingham, 1973) และในถั่วเหลืองจะมีผลผลิตลดลง เนื่องจากความเค็มมีผลทำให้การสร้างเมล็ดให้เต็มฝัก (pod filling) น้อยลง (Sepaskhan, 1977) ส่วนในข้าวฟ่างพบว่าความเค็มจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์น้อยกว่าการเจริญเติบโตในระยะสืบพันธุ์ คือจะไปมีผลต่อน้ำหนักช่อ และปริมาณช่อ (Francois และคณะ, 1984)

ความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชผันแปรไปตามระยะการเจริญเติบโต ตั้งแต่งอกจนกระทั่งสุกแก่ และอาจผันแปรตามระยะของการพัฒนา (Castro และ Sabado, 1977) จากงานทดลองจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าข้าวทนทานต่อระดับความเค็มในระหว่างการงอก แต่จะไวต่อความเค็มมากในระยะที่เป็นกล้าอ่อน จากนั้นความสามารถในการทนเค็มของข้าวจะเพิ่มขึ้นตามอายุและกลับมาไวต่อความเค็มอีกในระหว่างการถ่ายละอองเกสรและผสมพันธุ์ (Person และคณะ, 1966) และจะมีความสามารถทนเค็มต่อไปได้จนถึงเก็บเกี่ยว สมศรี อรุณินท์ (2531) สรุปการตอบสนองของพืชต่อความเค็มในระยะต่างๆ ของการเจริญเติบโตโดยแบ่งออกเป็นระยะดังนี้คือ ระยะงอก ความเค็มทำให้เมล็ดงอกช้า เปอร์เซ็นต์ความงอกลดลง แต่พืชบางชนิดอาจไม่แสดงอาการ เนื่องจากยังใช้อาหารสะสมอยู่ในเมล็ด ระยะกล้าอ่อน เป็นระยะที่พืชอ่อนแอต่อความเค็มมากส่งผลให้พืชมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง ระยะก่อนออกดอกพืชทนเค็มได้สูง ระยะออกดอกพืชกลับมาอ่อนแอต่อความเค็มอีกครั้ง และความเค็มทำให้การผสมเกสรติดน้อยลง ระยะเก็บเกี่ยวระยะนี้ไม่ได้รับผลกระทบมากนักแต่องค์ประกอบผลผลิตต่างๆ ลดลงสืบเนื่องจากได้รับผลกระทบจากระยะก่อนๆ

Balasubramanian และ Sinha (1976) ได้ศึกษาอิทธิพลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตการเกิดปมและการตรึงไนโตรเจนในพืชตระกูลถั่ว 2 ชนิด คือ ถั่วเขียวกับถั่วพุ่ม พบว่าเกลือมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ รวมทั้งน้ำหนักปมต่อต้น จำนวนปมต่อต้น และประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจนลดลง นอกจากนั้นปริมาณไนโตรเจนในพืชทั้งสองก็ต่ำกว่าปกติ การเจริญเติบโตของถั่วเขียวจะได้รับความกระทบกระเทือนมากกว่าถั่วพุ่มที่ระดับความเค็มสูง (15 mmhos/cm) โดยเฉพาะการเจริญเติบโต และการพัฒนาของรากถั่วเขียวจะได้รับความกระทบกระเทือนอย่างรุนแรง ผลกระทบของเกลือต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งสอง จะเห็นได้ชัดเจนในช่วงสัปดาห์แรกหลังจากการเติมเกลือ แต่สามารถฟื้นตัวได้ในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 เกลือทำให้ ประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนในถั่วเขียวลดลงถึง 17% ในขณะที่ถั่วพุ่มลดลงเพียง 3.8 % เท่านั้น สำหรับในอัลฟัลฟ่าและถั่วเหลืองนั้น Bernstein และ Ogata (1966) พบว่าความเค็มมีอิทธิพลต่อการเกิดปมและการตรึงไนโตรเจนในอัลฟัลฟ่าเพียงเล็กน้อย แต่มีผลกระทบต่อถั่วเหลืองอย่างมาก กล่าวคือน้ำหนักปมของถั่วเหลืองจะลดลงเด่นชัดในระดับความเค็ม 3.6-5.4 mmhos/cm

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์ (2525) กล่าวว่าพืชที่ได้รับอิทธิพลจากความเค็มมักจะมีขนาดเล็กกว่าพืชที่ขึ้นบนดินที่ปกติ และในบางสภาพพืชอาจมีสีเขียวเข้ม และสีเขียวแกมน้ำเงิน การที่สีของใบพืชนั้นเปลี่ยนแปลงไปเกิดจากใบมีคลอโรฟิลล์มากและมีสารคิวติเคิลเคลือบอยู่หนา บางครั้งอาจจะพบอาการที่บริเวณปลายใบหรือแผ่นใบแห้งเป็นสีน้ำตาล เกิดจุดประ ใบม้วนและเหลือง เนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์ นอกจากนี้ยังทำให้ลักษณะภายในของพืชเปลี่ยนไป เช่น ผนังเซลล์ใน

ส่วนท่อน้ำ ท่ออาหารหนาผิดปกติ และพบบ่อยๆ ว่าใบหนาผิดปกติ Tal (1971) ได้ทำการศึกษาในมะเขือเทศพบว่า ความเค็มของเกลือโซเดียมคลอไรด์ จะทำให้น้ำหนักแห้งและอัตราส่วนของยอดต่อรากลดลงทั้งในระยะที่โตเต็มที่ และระยะที่เป็นต้นกล้า และความอวบน้ำของใบในระยะที่โตเต็มที่ก็จะลดลงด้วยเมื่อเพิ่มระดับความเค็ม นอกจากนี้พบว่าการเจริญเติบโตของรากจะถูกยับยั้งน้อยกว่ายอด สมศรี อรุณินท์ และคณะ (2533) ศึกษาข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ IR 28 ขาวดอกมะลิ 105 และ Pokkali พบว่าความสูงของลำต้น ความยาวของราก น้ำหนักแห้งของส่วนรากและต้นของข้าวทุกพันธุ์ลดลง เมื่อเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายปลูกเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 100 มิลลิโมลาร์ Robinson (1977) ได้คาดคะเนผลผลิตของพืชที่ปลูกในดินเค็ม เมื่อความเค็มของดินเพิ่มขึ้น 1 dS/cm จะทำให้ผลผลิตลดลง 10% หรือมากกว่า มะลิวัลย์ เทพพูลผล และ สุรทิน แก้วโรจน์ (2531) ได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของถั่วเขียวในดินชุดกุลาร้องไห้ พบว่าเมื่อดินมีค่า EC 4.7-5.2 mmhos/cm ถั่วเขียวอายุ 30 วัน มีการเจริญเติบโตช้าลงและเปอร์เซ็นต์การติดฝักต่ำ คือให้น้ำหนักเมล็ดเพียง 1.6-2.0 กรัมต่อกระถาง

ภาวะเค็มที่มีต่อชลศักย์ของน้ำในพืช

เนื่องจากภาวะเค็มจะมีผลต่อพืชคล้ายผลจากการขาดน้ำ มีบทบาทต่อการจำกัดการเจริญเติบโตของพืชได้เช่นเดียวกันกับความเป็นพิษเนื่องจากเกลือ โดยเฉพาะส่วนของใบอ่อนจะเป็นส่วนที่ได้รับอันตรายจากการเปลี่ยนแปลงชลศักย์ของน้ำมากที่สุด ทั้งนี้เพราะเกลือมีผลต่อความเต่งของพืช (Greenway, 1973) การลดศักย์ของออสโมติกเป็นการเพิ่มความเต่งของเซลล์หรือช่วยให้พืชรักษาความเต่งของเซลล์ที่ใบพืชช่วยให้พืชมีการเปิดของปากใบ และดำเนินขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อไปได้ซึ่งช่วยให้พืชสร้างอาหารไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ รวมทั้งราก เป็นการช่วยให้พืชมีการเจริญของรากหยั่งลึกเพื่อดูดน้ำที่สะสมในดินชั้นล่างได้ (สายัณห์ สดุดี, 2537)

การปรับ osmotic potential ภายในเซลล์ของพืชภายใต้ภาวะความเครียด เกิดจากการสะสมของตัวถูกละลาย Munns และคณะ (1979) รายงานว่าข้าวสาลีเมื่อได้รับภาวะความเครียดจากการขาดน้ำจะมีการสะสมของโปแตสเซียม น้ำตาลและกรดอะมิโนประมาณ 60-100 เปอร์เซ็นต์ ของการปรับออสโมติกที่เกิดขึ้นที่ใบบริเวณปลายยอด และใบที่กำลังขยายตัว ในข้าวฟ่างที่ได้รับภาวะขาดน้ำ พบว่าใบที่กำลังขยายตัวเต็มมีการสะสมของคลอไรด์และกรดคาร์บอกซิลิครวมทั้งโปแตสเซียม น้ำตาลและกรดอะมิโนในการปรับออสโมติก (Jones และคณะ, 1981) และภาวะขาดน้ำที่เกิดขึ้นช้าถึงปานกลางคือ 0.15-0.7 MPa ต่อวัน จะทำให้มีการปรับออสโมติกอย่างต่อเนื่อง แต่ในภาวะที่การขาดน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 1.2 Mpa ต่อวัน กลับทำให้การปรับออสโมติกอย่างต่อเนื่องเกิดขึ้นน้อย (Jones และ Rawson, 1979) Steponkus และคณะ

(1982) รายงานว่าข้าวบางพันธุ์ที่ทนต่อภาวะการขาดน้ำ สามารถทำให้มีการปรับออสโมติกเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องนานถึง 14 วัน ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับภาวะการขาดน้ำ เช่นการเกิดภาวะขาดน้ำเป็นช่วงๆ

จากการศึกษาในพืชทนเค็ม *Atriplex spongiosa* และ *Suaeda monoica* โดย Storey และ Wyn Jones (1979) พบว่าที่ระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ 200-500 มิลลิโมลาร์ พืชทั้ง 2 มีการปรับความดันออสโมติก โดยการสะสมโซเดียมคลอไรด์ไว้ภายในต้นโดยไม่กระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของพืช ที่เป็นเช่นนั้นอาจเนื่องมาจากพืชมีการควบคุมการสะสมเกลือไว้ในส่วนต่างๆ (compartmentation) เช่น สะสมในแวคคิวโอล เพื่อไม่ให้กระทบกระเทือนต่อเซลล์และออร์กาเนลใน cytoplasm หรือพืชมีกลไกการขจัดเกลือโดยขับออกทางต่อมเกลือ (Greenway และ Munns, 1980 ; Jacoby, 1997)

สำหรับในพืชไม่ทนเค็ม พืชมีการปรับความดันออสโมติกโดยการสร้างสารประกอบอินทรีย์ไว้ในต้นพืช (Greenway และ Munns, 1980) Greenway (1973) รายงานว่าที่ระดับความเข้มข้นของเกลือในสารละลายตั้งแต่ 50 มิลลิโมลาร์ขึ้นไป พืชมีการปรับความดัน ออสโมติกโดยการสะสมน้ำตาล hexose ปริมาณ 30 g/l หรือน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) ปริมาณ 60 g/l ไว้ใน cell sap ซึ่งถือว่าเป็น metabolic product จำนวนมากที่พืชต้องสังเคราะห์ขึ้นมาเช่นเดียวกับรายงานการวิจัยของ Rodriguez และ คณะ (1997) ที่ศึกษาในข้าวโพดพบว่าที่ระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลาย 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาณของน้ำตาลซูโครส และปริมาณโพรลีน เพิ่มสูงขึ้นในบริเวณ apical zone ของรากข้าวโพดที่ระยะ 0-3 มิลลิเมตรจากปลายราก ในขณะที่ปริมาณของน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสเพิ่มสูงขึ้นในรากที่ระยะ 3-10 มิลลิเมตร จากปลายราก นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยของ Colmer และคณะ (1996) ที่ศึกษาในข้าวฟ่าง *Sorghum bicolor* พบว่าหลังจากที่พืชได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับเกลือ 150 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 2 วัน ปริมาณของโพรลีนเพิ่มสูงขึ้นเกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ ในบริเวณปลายรากที่ระยะ 0-10 มิลลิเมตร จากปลายราก

จากการเปรียบเทียบการสะสมเกลือโซเดียมคลอไรด์และน้ำตาลซูโครสในท่ออาหารของพืชทนเค็มและพืชไม่ทนเค็ม Dowing อ้างถึงใน Munns และคณะ (1986) รายงานว่าในพืชทนเค็ม *Aster tripolium* ที่ได้รับเกลือ ความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ จะมีการสะสมเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ (30 มิลลิโมลาร์ โซเดียมคลอไรด์) ดังนั้น osmolality ที่เพิ่มขึ้นในท่ออาหารนี้ส่วนใหญ่อาจเกิดจากการเพิ่มปริมาณซูโครส ส่วนในพืชไม่ทนเค็มพวก lupin ที่ได้รับเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ ส่วนใหญ่จะพบการเพิ่มปริมาณเกลือโซเดียมและคลอไรด์ในท่ออาหาร แต่ไม่มีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส (Munns และคณะ, 1986)

ภาวะเค็มที่มีต่อการดูดซึมธาตุอาหาร

นอกจากอิทธิพลของเกลือที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชแล้ว ผลกระทบทางอ้อมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการที่ดินมีไอออนบางชนิดในปริมาณที่สูงเกินไปจะทำให้สมบัติทางกายภาพของดินเลวลง และไม่เหมาะสมกับการปลูกพืช ไอออนต่างๆ ที่มีอยู่มากในสารละลายดินทำให้สมดุลของธาตุอาหารพืชเสียไปเนื่องจากสภาวะปฏิปักษ์ (antagonism) ระหว่างไอออนซึ่งเป็นสาเหตุของดินเค็มกับไอออนที่เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นของพืช มีรายงานว่าข้าวที่ปลูกในสารละลายที่มีโซเดียมละลายอยู่มากจะสะสมโซเดียมในตอซังไว้สูงแต่ปริมาณโปแตสเซียมลดลง ในพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินเค็มอาจจะมีลักษณะทางสรีรวิทยาที่สำคัญที่สามารถปรับออสโมติกได้สำเร็จโดยการสะสมไอออนที่ดูดได้จากดินและสะสมอินทรีย์สารที่ละลายน้ำได้ภายในเซลล์ มีกลไกที่คอยควบคุมการดูดธาตุอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งโปแตสเซียมและคลอไรด์ให้ได้รับอย่างเพียงพอ ตลอดจนการจำกัดการดูดโซเดียมกับคลอไรด์ไม่ให้สะสมในพืชจนเกินขีดความทนทาน (ยงยุทธ โอสถสภา, 2524)

การเพิ่มระดับโซเดียมคลอไรด์ในดินมีผลต่อการสะสมคลอไรด์ โซเดียม โปแตสเซียม และแมกนีเซียม ในตอซัง เมื่อข้าวอายุ 62 และ 102 วัน หลังปักดำ โดยพบว่าการเพิ่มระดับเกลือทำให้พืชสะสมโซเดียมและคลอไรด์สูงขึ้นโดยข้าวจะสะสมคลอไรด์ไว้สูงกว่าโซเดียม การสะสมโปแตสเซียมลดลงมาก ส่วนการสะสมแคลเซียมและแมกนีเซียมมีแนวโน้มลดลง (อัญชลี แพทย์อุดม, 2522) จากการศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารในพืชทนเค็มพวก *Atriplex confertifolia* โดย Kleinkopf และคณะ (1975) พบว่าที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ 50 meq l^{-1} เกลือโซเดียมทำให้ปริมาณฟอสฟอรัส โปแตสเซียม และแคลเซียมในใบลดลง 30–50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้รับเกลือ ส่วนการสะสมเกลือโซเดียมและแคลเซียมยังคงเพิ่มขึ้น Robinson และ Downton (1985) พบว่าการสะสมโปแตสเซียมในใบ และในคลอโรพลาสต์ของพืชทนเค็มพวก *Suaeda australis* มีปริมาณลดลงเมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ซึ่งการสะสมเกลือในคลอโรพลาสต์ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามแต่ส่วนใหญ่มีการสะสมในแวคิวโอล (vacuole)

Chavan และ Karadge (1980) ศึกษาผลกระทบของภาวะเค็มต่อธาตุอาหารในถั่วลิสง (*Arachis hypogea* (L.)) ที่โซเดียมคลอไรด์ระดับ 50 100 และ 200 มิลลิโมลาร์ รายงานว่าปริมาณโซเดียมไอออน คลอไรด์ไอออนและฟอสฟอรัสในราก ลำต้นและใบ เพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น แต่ถ้าเพิ่มระดับความเค็มสูงถึง 200 มิลลิโมลาร์ คลอไรด์ไอออนในรากและใบของถั่วลิสงมีแนวโน้มลดลง Samini และคณะ (1980) พบว่าถั่ว *Phaseolus vulgaris* (L.) ที่ได้รับ

ไนโตรเจนแต่ละระดับจะดูดไนโตรเจนได้น้อยลง เมื่อความเค็มของเครื่องปลูกเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lashin และ Atanasiu (1972) ที่ได้ศึกษาการสะสมธาตุอาหารในฝ้าย

ดังนั้นจะเห็นว่าโซเดียมคลอไรด์อาจเป็นสาเหตุต่อการลดการลำเลียงธาตุอาหารที่ จำเป็นต่อพืช Greenway และ Munns (1980) กล่าวว่าระดับแคลเซียมที่มีอยู่ต่ำอาจทำให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ซึมผ่านเมมเบรนได้เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในสภาพพื้นที่ที่เป็นดินกรด นอกจากนี้ Wallace และคณะ (1973) ได้ทดลองในยาสูบพบว่า ระดับแคลเซียมในสารละลายที่มีมากเพียงพอจะไปลดการลำเลียงเกลือโซเดียมจากภายนอกเข้าสู่ท่อน้ำขณะเดียวกันจะกระตุ้นการลำเลียงโปแตสเซียม ทั้งนี้เพราะแคลเซียมมีบทบาทต่อเมมเบรน โดยจำกัดไอออนที่ผ่านเมมเบรนตลอดจนรักษา selectivity ของกลไกการดูดไอออนของเมมเบรน (ยงยุทธ โอสถสภา, 2521)

สาเหตุที่โซเดียมคลอไรด์มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช อาจเป็นเพราะโซเดียมคลอไรด์ยับยั้งการดูดโปแตสเซียมและแมกนีเซียม เมื่อพืชได้รับธาตุเหล่านี้ไม่เพียงพอจะมีผลต่อการลดการสังเคราะห์ด้วยแสง เนื่องจากธาตุดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อการเปิดปากใบ (Beadle และคณะ,1985) แต่ Munns (1985) พบว่าความเข้มข้นของโปแตสเซียมใน xylem sap ของข้าวบาร์เลย์ที่ได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์มีปริมาณลดลงเมื่อความเข้มข้นของเกลือในสารละลายเพิ่มขึ้น 100 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่อัตราการเจริญเติบโตของพืชลดลงเมื่อได้รับเกลือ 25 มิลลิโมลาร์

ภาวะเค็มที่มีต่อการสะสมโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในพืช

อิทธิพลของความเค็มเนื่องจากการสะสมไอออนที่เป็นพิษส่วนใหญ่จะเกิดจากความเป็นพิษของโซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ในถั่วเหลืองที่ปลูกในดินเค็มจะเกิดอาการไหม้ที่ใบ เนื่องจากมีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบมาก (Able และ Mackenzie, 1964) และจากการศึกษาผลของความเค็มในพืช lucerne อาการเริ่มแรกเมื่อได้รับความเค็มคือ ใบเริ่มมีสีเขียวเข้ม หลังจากนั้นใบจะค่อยๆ เหลืองและในที่สุดจะแห้งตาย ซึ่งใบที่เกิดอาการแบบนี้เป็นพิษจากคลอไรด์ไอออน (Noble และคณะ, 1984) Grattan และ Maas (1984) ได้ศึกษาปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเค็มกับอนินทรีย์ฟอสเฟตในถั่วเหลืองพบว่าการเพิ่มปริมาณของอนินทรีย์ฟอสเฟตในดินเค็มจะทำให้ถั่วเหลืองได้รับความเสียหายมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับในดินเค็มที่ไม่มีการใส่อนินทรีย์ฟอสเฟตและสรุปว่าความเค็มไปชักนำให้อนินทรีย์ฟอสเฟตเป็นพิษ โดยใบจะเกิดอาการไหม้มากขึ้น ดังนั้นถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลงดินเค็มและมีอนินทรีย์ฟอสเฟตมาก จะได้รับความเสียหายทั้งความเป็นพิษจากความเค็ม และจากฟอสเฟต

ลักษณะการดูดไอออนเข้ามาสะสมในส่วนต่างๆ ของพืชนั้น Flowers และคณะ, 1985 รายงานว่าการสะสมเกลือโซเดียมในพืชทนเค็ม เกิดขึ้นในส่วนต้น (shoot) มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ในจำนวนนี้จะมีการสะสมที่ใบอย่างน้อย 80 เปอร์เซ็นต์ ในการดูดไอออนเข้าไปสะสมในต้นของพืชทนเค็มเช่น *Suaeda maritima* พบว่าพืชชอบดูดโซเดียมมากกว่าโปแตสเซียม นอกจากนี้ความเข้มข้นของไอออนที่สะสมในใบแก่และใบอ่อนของพืชพวก *S.maritima* และ *Atriplex hastata* จะพบในปริมาณใกล้เคียงกัน ซึ่งการกระจายตัวของไอออนในลักษณะดังกล่าวอาจช่วยลดปัญหาการขาดน้ำในใบอ่อน และช่วยลดการสะสมไอออนในใบแก่ (Greenway และ Manns, 1980) สำหรับในพืชไม่ทนเค็ม จะพบลักษณะที่แตกต่างจากพืชทนเค็ม Greenway และคณะ อ้างถึงใน Greenway และ Manns (1980) ได้ทดลองปลูกถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิโมลาร์ นาน 16 วัน พบว่าการสะสมคลอไรด์เกิดขึ้นในใบแก่มากกว่าในใบอ่อนในปริมาณ 139 และ 68 meq l^{-1} ตามลำดับ ในการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างใบอายุต่าง ๆ กัน ในต้นข้าวพันธุ์ IR 2153 Yeo และคณะ (1985) พบว่าใบแก่ (ใบที่ 3) จะมีการสะสมเกลือในอัตรา 0.513 mmolq^{-1} DW มากกว่าใบอ่อน (ใบที่ 5) โดยใบอ่อนมีการสะสมเกลือในอัตรา 0.070 mmolq^{-1} DW และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบแก่จะต่ำกว่าใบแก่ที่ไม่ได้รับเกลือ 54 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การสังเคราะห์ด้วยแสงของใบอ่อนจะไม่ได้รับอิทธิพลของเกลือแต่ประการใด อย่างไรก็ตาม รายงานทดลองดังกล่าวไม่สามารถแยกประเด็นระหว่างการขาดน้ำในระดับเซลล์กับความเป็นพิษได้

สำหรับในพืชไม่ทนเค็มเช่น ข้าว ข้าวโพด และถั่วเหลือง ซึ่งไม่มีกลไกควบคุมการดูดเกลือ การเคลื่อนที่ของเกลือโซเดียมคลอไรด์ส่วนใหญ่จะเป็น passive leakage โดยอาศัย electrochemical potential gradient, diffusive concentration gradient และ transpiration flow ดังนั้นการสะสมเกลือจึงขึ้นอยู่กับอายุของใบซึ่งส่วนใหญ่จะสะสมไว้ที่ใบแก่ และตำแหน่งภายในเซลล์ใบ โดยสะสมในส่วน protoplast และ apoplast ซึ่งปริมาณเกลือที่สะสมในเนื้อเยื่อจะมีความสัมพันธ์กับการลดอัตราการเจริญเติบโตและการเกิดความเป็นพิษต่อพืช (Munns และ Termatt, 1986) กรณีที่ความเป็นพิษต่อพืชเกิดจากการได้รับเกลือมากเกินพอ ทำให้เกิดการขาดน้ำที่ระดับเซลล์นั้น Yeo และ Flowers (1986) รายงานว่าความทนเกลือระหว่างข้าวพันธุ์ต้านทาน (IR 2513) กับพันธุ์อ่อนแอ (Amber) เมื่อพิจารณาถึงกลวิธีการจัดเก็บไอออนในระดับเซลล์ของใบ พบว่าข้าวพันธุ์อ่อนแอ มีการสะสมเกลือโซเดียมคลอไรด์ไว้ที่ cytoplasm ขณะที่ข้าวพันธุ์ต้านทานมีการสะสมเกลือไว้ที่ vacuole

Delane และคณะ (1982) รายงานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายปลูกข้าวบาร์เลย์จะทำให้ใบอ่อน (sink) มีการสะสมเกลือมากกว่าใบแก่ (source)

2-4 เท่า หากอัตราการสะสมเกลือดังกล่าวสูงกว่าอัตราการเคลื่อนย้ายผ่านเมมเบรน (flux) ของ sink cell จะทำให้เกลือสะสมอยู่ในภายนอกของเซลล์และเกิดการขาดน้ำในระดับเซลล์ของ sink ได้แต่ Munns และคณะ (1986) ได้เปรียบเทียบ flux ของเกลือโซเดียมคลอไรด์ใน xylem และ phloemของข้าวบาร์เลย์ที่ได้รับเกลือ 100 มิลลิโมลาร์ โดยวิธีคำนวณพบว่า ปริมาณเกลือโซเดียมและ คลอไรด์ใน phloem มีเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ ของสารละลายใน xylem

Velagaleti และ Schweitzer (1995) ศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการสะสมไอออนของเกลือ ระหว่างถั่วเหลืองพันธุ์ทนเค็มได้แก่พันธุ์แมนจู (Manchu) และ เซนเทนเนียล (Centennial) กับพันธุ์ไม่ทนเค็ม คือ พันธุ์วิลเลี่ยมส์ (Williams) และแจ็คสัน (Jackson) พบว่าทุกพันธุ์ไม่สามารถอยู่รอดได้ในระดับเกลือ 120 มิลลิโมลาร์ และจากการปลูกถั่วเหลืองในภาวะเค็มระดับ 80 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ไม่ทนเค็มมีน้ำหนักแห้งต้นและรากลดลงมากกว่า 60 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในถั่วเหลืองพันธุ์ทนเค็มการลดลงของการเจริญเติบโตของส่วนต้นเกิดน้อยกว่า และพบว่าภาวะเค็มระดับนี้ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของราก จากการวัดปริมาณโซเดียมพบว่าทั้งถั่วเหลืองพันธุ์ทนเค็มและพันธุ์ไม่ทนเค็มมีปริมาณโซเดียมในใบน้อยกว่าในส่วนลำต้นและราก ส่วนการสะสมคลอไรด์พบว่ามีความแตกต่างกันกล่าวคือพันธุ์ไม่ทนเค็มมีการสะสมคลอไรด์ในใบสูงส่วนพันธุ์ทนเค็ม พบว่ามีการสะสมคลอไรด์ในใบต่ำกว่าพันธุ์ไม่ทนเค็มโดยมีการสะสมคลอไรด์กระจายอยู่ในส่วนของลำต้นและรากด้วยในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงบทบาทของเนื้อเยื่อลำต้นในการลดปริมาณโซเดียมในใบด้วย Durand และ Lacan (1994) ศึกษาการดูดและการสะสมโซเดียมและคลอไรด์ไอออนในถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill cv. Hodgson) อายุ 19 วัน ได้รับภาวะเค็มระดับปานกลางคือ 12.5 และ 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 8 วัน พบว่าการลำเลียงและการสะสมไอออนทั้ง 2 ชนิด ในพืชมีลักษณะต่างกันกล่าวคือโซเดียมไอออนถูกสะสมอยู่มากในลำต้นและมีปริมาณน้อยในแผ่นใบโดยเฉพาะใบอ่อน ในขณะที่คลอไรด์ถูกสะสมอยู่มากที่สุดในแผ่นใบ นอกจากนี้ยังได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับความสามารถในการทนต่อภาวะเค็มของถั่วเหลืองอาจจะขึ้นอยู่กับความสามารถหลักคือการป้องกันใบอ่อน โดยการลดปริมาณโซเดียมไอออนในไซเลมที่จะถูกลำเลียงต่อไปยังแผ่นใบร่วมกับการลำเลียงโซเดียมออกจากใบทางโฟลเอม อย่างไรก็ตามความสามารถในการลดการลำเลียงโซเดียมไปยังส่วนยอดดังกล่าวนี้ พบว่ามีข้อจำกัดคือขบวนการนี้มีประสิทธิภาพเฉพาะที่ระดับความเค็มปานกลางซึ่งในถั่วเหลืองพันธุ์ Hodgson นี้สามารถทนได้เฉพาะที่ระดับเกลือไม่เกิน 50 มิลลิโมลาร์

ผลของภาวะเค็มที่มีต่อการสะสมโพรลีน

Stewart และ Lee (1974) รายงานว่าพืชพวกทนเค็ม ที่ปลูกอยู่ในดินเค็ม จะมีการสะสมปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นประมาณ 10 – 20 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพรลีนมีความสัมพันธ์กับความทนต่อภาวะเค็ม เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตภายใต้สภาพดินเค็ม โดยปกติแล้วจะมีการสะสมโพรลีนโดยเฉพาะที่ลำต้นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพืชอื่นๆ (Stewart และ Lee, 1974) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Singh และคณะ (1973) โดยจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะความเค็มต่อการสะสม โพรลีนในพืช *Armeria martima* โดยเปรียบเทียบ 2 กลุ่ม คือกลุ่ม inland populations กับกลุ่ม coastal populations พบว่าในสภาพที่มีความเค็มต่ำ พืชทั้ง 2 กลุ่ม มีการตอบสนองต่อความเค็มโดยการสะสมโพรลีนที่คล้ายกัน แต่เมื่อให้พืชได้รับความเค็มสูง พบว่าพืชในกลุ่ม coastal populations มีการสะสมโพรลีนในระดับที่สูงกว่าในพืชกลุ่มของ inland populations ความแตกต่างของปริมาณโพรลีนต่อภาวะที่ได้รับความเค็มสูงนี้มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 2 ชนิด ถึงแม้ว่าการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 2 กลุ่ม จะถูกจำกัดในภาวะเค็ม แต่พบว่าในพืชกลุ่มของ coastal populations นั้นสามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ ในขณะที่พืชในกลุ่ม inland populations ตายหลังจากได้รับภาวะเค็ม 3 สัปดาห์ จากผลการทดลองนี้ จึงเป็นไปได้ว่าการสะสมโพรลีนที่เพิ่มมากขึ้นต่อสภาพที่พืชได้รับภาวะเค็มนั้นสัมพันธ์กับความทนเค็ม (Salt tolerance) ของพืชบางชนิด Barnett และ Naylor (1966) แสดงความคิดเห็นว่า ปริมาณความ เข้มข้นของ โพรลีนที่มีการสะสมมากในลำต้นของพืชประเภททนเค็มบางชนิด แสดงบทบาทเป็น storage compound สำหรับการนำ carbon และ nitrogen ไปใช้ในช่วงระหว่างที่พืชได้รับภาวะความเครียด

นอกจากพืชทนเค็มที่มีการสะสมโพรลีนจากภาวะเค็มที่บริเวณลำต้นแล้ว ในพืชไม่ทนเค็ม เช่น alfalfa (*Medicago sativa* (L.) พบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้พืชมีการสะสมโพรลีนใน ราก bacteroids และ cytosol ของปมราก เพิ่มมากขึ้นด้วย โดยเมื่อพืชได้รับโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ มีผลทำให้ความเข้มข้นของ total amino acid เพิ่มขึ้นในปมรากและรากของ alfalfa โดยพบว่ามีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นประมาณ 3.2 2.1 และ 1.6 เท่า ใน cytosol ของปมราก bacteroids และราก ตามลำดับ โพรลีนแสดงสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นอย่างมากตามด้วย asparagine เมื่อพืชได้รับโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น 0.15 โมลาร์ เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ พบว่ามีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นอย่างมากคือ 11.3 12.8 และ 8.0 เท่า ในราก cytosol ของปมรากและ bacteroids ตามลำดับ และพบว่าการสะสมโพรลีนที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลช่วยปรับค่า osmotic ภายในเซลล์ เป็นแหล่งพลังงานสำหรับ bacteroids และการสะสมโพรลีนที่มากขึ้นใน cytosol

ของปมรากและ bacteroids แสดงให้เห็นว่ากลไกการปรับ osmotic ไม่เพียงมีในรากของพืชแต่ในปมรากก็มีด้วยเช่นกัน (Fougere และคณะ, 1991)

ในพืชชั้นสูงพบว่า glutamate และ ornithine pathway มีความสำคัญต่อขบวนการสังเคราะห์โพรลีน (proline biosynthesis) (Adams และ Frank, 1980 ; Delauney และ Verma, 1993) แต่ในภาวะ osmotic stress นั้นโพรลีนมีการสะสมมากเป็นผลจากการสังเคราะห์ glutamate (Delauney และ Verma, 1993) จากการศึกษาพบว่า *P5CS* gene มีผลต่อ proline biosynthesis ในขั้นตอนการสร้าง enzyme เพื่อ catalyzed glutamate ให้เป็นโพรลีน การแสดงออกของ *P5CS* gene นั้นเกิดขึ้นได้จากการชักนำโดยภาวะเค็ม ภาวะการขาดน้ำ และ ABA (Hu และคณะ, 1992 ; Yoshiba และคณะ, 1995) ใน bacteria พวก gram-negative เช่น *Escherichia coli* และ *Salmonella typhimurium* มีการตอบสนองต่อ osmotic stress โดยการสะสมสาร osmolytes เช่นเดียวกันคือ proline และ betaine โดยการแสดงออกของ *proμ* gene (Csonka and Hanson, 1991)

Kishor และคณะ (1995) ได้ทดลองสร้าง *P5CS* transgenic plant ในต้นพืชยาสูบ พบว่าเมื่อ *P5CS* transgenic plant ได้รับภาวะเค็มมีการสะสมของโพรลีนในใบเพิ่มมากขึ้น และ glutamate มีปริมาณที่ลดลง ซึ่งแสดงว่า glutamate เป็น precursor สำหรับการสร้างโพรลีนใน *P5CS* transgenic plant เมื่อได้รับภาวะเค็ม และจากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมพบว่า *P5CS* transgenic plant มีการเจริญเติบโตของรากได้ดีกว่าโดยพบว่ามีความยาวรากมากกว่าชุดควบคุมถึง 40 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำหนักแห้งรากมากกว่าชุดควบคุมถึง 2 เท่า และยังพบว่าจำนวน capsule และจำนวนของเมล็ดต่อ capsule มีการพัฒนามากกว่าชุดควบคุม จากผลการทดลองแสดงได้ว่าการสะสมของโพรลีนโดยการแสดงออกของ *P5CS* gene เมื่อพืชได้รับภาวะเค็ม มีความสัมพันธ์กับการปรับตัวของพืชให้มีความทนเค็มขึ้น เนื่องจาก *P5CS* transgenic plant ที่มีการสร้างโพรลีนปริมาณเพิ่มขึ้น มีการเจริญเติบโตของรากได้ดีและมีน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้น มีการพัฒนาของต้น และดอกได้ดีในการตอบสนองต่อภาวะเค็ม

แต่ก็มีบางแนวคิด ซึ่งให้ความคิดเห็นว่าการสะสมโพรลีนที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพียงลักษณะอาการของพืชเมื่อได้รับภาวะเครียดมากกว่าที่จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าพืชมีความทนทานต่อภาวะเครียดมากขึ้น (Liu และ Zhu, 1997)

ในพืช Arabidopsis เมื่อได้รับภาวะเค็ม และมีการการชักนำให้เกิดการแสดงออกของ *P5CS* gene มีผลทำให้พืชมีการสร้างและสะสมโพรลีนมากขึ้นโดย Liu และ Zhu (1997) ได้ทำการศึกษาโดยชักนำให้มีการแสดงออกของ P5CS gene ใน *sos1* mutant ของพืช *Arabidopsis*

thaliana ซึ่งไวต่อภาวะเค็มมากกว่าชนิด wild type เมื่อนำพืช *sos1* mutant และ wild type ให้ได้โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นที่ระดับต่างๆ แล้วนำมาสกัดและวัดปริมาณของโพรลีน พบว่าโพรลีนมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทั้ง ใน *sos1* mutant และ wild type ในการตอบสนองต่อเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ระดับเกลือ 50 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 2 วัน อย่างไรก็ตามปริมาณของโพรลีนใน *sos1* mutant มีค่ามากเกือบเป็น 2 เท่า ของ wild type ส่วนในการทดลองที่ไม่มีการให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่าปริมาณของโพรลีนใน *sos1* mutant มีค่ามากกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ wild type ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับเมื่อมีการให้โซเดียมคลอไรด์ เป็นระยะเวลา 7 วัน การสะสมโพรลีนที่เพิ่มมากขึ้นใน *sos1* mutant เมื่อได้รับภาวะเค็มนั้น พบว่าไม่มีผลต่อการทนเค็มในพืช แต่เป็นลักษณะของอาการได้รับความเสียหายจากภาวะเค็มมากกว่า เช่นเดียวกับในข้าว (*Oryza sativa* (L.)) ซึ่งมีรายงานว่าภาวะเค็มมีผลทำ ให้ข้าวมีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากเป็นลักษณะอาการที่พืชได้รับความเสียหายจากภาวะเค็มมากกว่าที่จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าพืชนั้นต้านทานต่อภาวะเค็ม และโดยส่วนใหญ่แล้วพบว่าข้าวพันธุ์ที่ต้านทานต่อภาวะเค็มมีการสะสมปริมาณโพรลีนที่ต่ำกว่าข้าวพันธุ์ที่ไวต่อภาวะเค็ม (Lutts และคณะ, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Lutts และคณะ (1999) ได้แสดงให้เห็นว่าในข้าวพันธุ์ไวต่อภาวะเค็มคือ พันธุ์ IKP เปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ต้านทานภาวะเค็มคือ พันธุ์ NB พบว่าเมื่อข้าวทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 และ 10 วัน ที่ระดับเกลือ 50 และ 100 มิลลลิโมลาร์ มีผลทำให้ข้าวทั้งสองพันธุ์มีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้น โดยมีการสะสมในพันธุ์ที่ไวต่อภาวะเค็มคือ IKP มากกว่าพันธุ์ต้านทานคือพันธุ์ NB และการสะสมเพิ่มขึ้นของโพรลีนนั้นพบว่ามีการสะสมในใบสูงกว่าในราก โดยพันธุ์ข้าว IKP ซึ่งไวต่อภาวะเค็มมีการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นทั้งในรากและใบ และมีปริมาณโปแตสเซียมต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ต้านทาน NB เมื่อพืชได้รับภาวะเค็มมีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นในใบมากกว่ารากนั้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากโพรลีนที่สังเคราะห์ขึ้นในรากนั้นสามารถเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่นๆ ของพืชได้ โดยการเคลื่อนย้ายอันเนื่องมาจากขบวนการคายน้ำ (transpiration stream) (Hua และคณะ, 1997)

กระบวนการสร้างโพรลีน

กระบวนการสร้างโพรลีนเริ่มต้นจากสาร glutamate โดยมีเอนไซม์ γ – glutamyl kinase และ γ – glutamyl semialdehyde dehydrogenase ซึ่งเป็นเอนไซม์คู่แรกของกระบวนการ จากปฏิกิริยาในช่วงนี้จะได้สาร glutamyl – γ – semialdehyde ต่อจากนั้นจะเกิดกระบวนการ dehydration โดยไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง ผลของปฏิกิริยาจะได้ Δ^1 – pyrroline – 5 – carboxylate จากนั้นก็เกิดกระบวนการ reduction โดยมี enzyme pyrroline – 5 – carboxylate

reductase จากปฏิกิริยานี้ จะได้สารโพรลีน แล้วโพรลีนจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้างโปรตีน โพรลีนบางส่วนเคลื่อนย้ายเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหาร (Hanson และ Hitz, 1982)

การสลายตัวของโพรลีน

การสลายตัวของโพรลีนเกิดจากกระบวนการ proline oxidation โดยมี enzyme proline oxidase ผลจากปฏิกิริยานี้จะได้ Δ^1 – pyrroline – 5 – carboxylate และจาก Δ^1 – pyrroline – 5 – carboxylate จะเกิดปฏิกิริยาอีกขั้นตอนหนึ่งโดยมี enzyme Δ^1 – pyrroline – 5 – carboxylate dehydrogenase จากปฏิกิริยานี้จะได้ glutamate (Hanson และ Hitz, 1982) กระบวนการสลายตัวของโพรลีนจะเกิดขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาพปกติ แต่ถ้าพืชได้รับภาวะเครียด กระบวนการ proline oxidation จะถูกยับยั้ง (Jones และ Rawson, 1979)

สาเหตุของการสะสมโพรลีนเมื่อพืชอยู่ในสภาพความเครียด

เมื่อพืชอยู่ภายใต้สภาพความเครียด พืชเกิดการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นเนื่องมาจาก 3 สาเหตุหลักคือ

1. ถ้าพืชได้รับความเครียดทำให้กระบวนการสร้าง glutamyl –γ– semialdehyde เกิดขึ้นได้ดี แต่ยับยั้งกระบวนการที่เปลี่ยน glutamate ไปเป็น 2 – oxoglutarate จึงเป็นการส่งเสริมกระบวนการสร้าง Δ^1 – pyrroline – 5 – carboxylate (P5C) เพิ่มขึ้น (Boggess และคณะ, 1976) เมื่อพืชมีปริมาณ P5C สูงจึงทำให้พืชสร้างโพรลีนเพิ่มขึ้น

2. เมื่อพืชอยู่ภายใต้สภาพความเครียด กระบวนการ proline oxidation ถูกยับยั้ง (โพรลีนถูกเปลี่ยนไปเป็น glutamate ช้าลง) (Boggess และ Stewart, 1976)

3. สภาพความเครียด ทำให้กระบวนการสร้างโปรตีนช้าลง จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้น (Hanson และ Tully, 1979 ; Stewart, 1972 ; Stewart และคณะ, 1977) การสะสมโพรลีนจะเกิดขึ้นก่อนที่พืชจะชะงักการเจริญเติบโต (Hanson และ Tully, 1979)

ประโยชน์ของการสะสมโพรลีน

เมื่อพืชได้รับภาวะเค็มพบว่ามีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นนั้น มีสมมุติฐานว่าพืชมีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นเพื่อปรับค่า water potential ของน้ำในพืชให้ต่ำลงในกระบวนการ osmotic adjustment ซึ่งเป็นกลไกการปรับตัวของพืชอย่างหนึ่งให้อยู่รอดจากภาวะเค็มได้ (Rodriguez และคณะ, 1997) Mccue และ Hanson (1990) รายงานว่าการที่พืชสะสมปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นนั้นเพื่อเป็นแหล่งของสารละลายสำหรับช่วยปรับสภาพ osmotic ภายในเซลล์ สอดคล้องกับรายงานการทดลองของ Matsumura และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาในพืชไม่ทนเค็มคือ safflower (*Carthamus tinctorius* (L.)) พืชทนเค็มปานกลางคือ Chrysanthemum (*Chrysanthemum paludosum*) และพืชทนเค็มคือ sea aster (*Aster tripolium* (L.)) ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืช เริ่มให้ภาวะเค็มเมื่อพืชมีอายุ 16 วัน โดยพืช safflower และ Chrysanthemum ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับ 12.5 25 และ 50 มิลลิโมลาร์ สำหรับ sea aster ได้รับโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับ 75 150 และ 300 มิลลิโมลาร์ พบว่าพืชทั้งสามชนิดมีการสะสม proline sucrose และ glycinebetaine ในใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและการสะสมสารละลายนี้มีผลอย่างมากต่อการลด osmotic potential ในใบพืชทั้งสามชนิด ซึ่งเป็นกลไกการปรับตัวของพืชเพื่อให้พืชสามารถรักษาความเต่งของเซลล์ได้ โดยสามารถดึงน้ำเข้าสู่เซลล์และมีผลทำให้พืชในระยะต้นกล้าสามารถเจริญเติบโตได้เมื่อได้รับภาวะเค็ม เช่นเดียวกับในปมรากถั่วเมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีการสะสม amino acid เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะโพรลีน โดยมีผลช่วยปรับ osmotic ภายในปมราก (Fougere และคณะ. 1991) และมีข้อสมมุติฐานว่า การสะสมโพรลีนในปมรากถั่วนั้นเป็นแหล่งพลังงานสำหรับ bacteroids จากรายงานของ Pedersen และคณะ (1996) รายงานว่าการให้โพรลีนกับ bacteroids ในภาวะขาดน้ำมีผลทำให้ bacteroids มีกิจกรรมของ N_2 reduction เพิ่มขึ้นประมาณ 8 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับ bacteroids ที่ไม่ได้รับภาวะขาดน้ำ

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการสะสมโพรลีนที่เพิ่มขึ้นเมื่อพืชได้รับภาวะเค็ม มีผลช่วยรักษาการทำงานของเอนไซม์ให้ดำเนินไปเป็นปกติ เนื่องจากโพรลีนช่วยทำให้โมเลกุลของน้ำรวมตัวกับโปรตีนได้ดีขึ้นเป็นการรักษาสภาพ hydration ของโปรตีน (Solomon และคณะ, 1994) ทั้งยังช่วยรักษาโครงสร้างของเซลล์ให้เป็นปกติ (Van Rensburg และคณะ, 1993) และแสดงบทบาทสำคัญในการกำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) (Alia และคณะ, 1995) ในขบวนการสังเคราะห์โพรลีนนั้นยังมีผลต่อการลดกรดและปรับ cytolic pH (Venekamp, 1989) และมีการผลิต $NADP^+$ ซึ่งช่วยส่งเสริมขบวนการ pentose phosphate pathway (Hagedorn และ Phang, 1986) นอกจากนี้ Serrano และ Gaxiola (1994) รายงานว่าการสะสมโพรลีน เป็นการสะสมสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งพืชจะได้นำมาใช้ในการเจริญเติบโตหลังจากพืชพ้นสภาพความเครียด

ประวัติพันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้เป็นพืชทดลอง

ถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลองใช้ถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ได้แก่พันธุ์ สจ.5 ชม.60 และ สท.2 โดยได้รับความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรและสถานีพืชไร่ศรีสำโรง มีคุณลักษณะดังนี้(ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537)

1. **ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5** (SJ.5)

ประวัติพันธุ์ : เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมพันธุ์และคัดพันธุ์ระหว่างพันธุ์ Tainung 4 ที่มีลักษณะต้านทานต่อโรคราสนิม เมล็ดใหญ่แต่มีลักษณะด้อยคือเปลือกหุ้มเมล็ดแตกง่ายผสมกับพันธุ์ สจ.2 ซึ่งปรับตัวดีต่อสภาพแวดล้อมของประเทศไทย เจริญเติบโตดี แต่อ่อนแอต่อโรคราสนิมและเมล็ดเล็ก ทำการผสมพันธุ์ที่สถานีกสิกรรมแม่โจ้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างพันธุ์ถั่วเหลืองที่นอกจากจะให้ผลผลิตสูงแล้วต้องมีความต้านทานต่อโรคราสนิมด้วย รับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรเมื่อปี 2523

ลักษณะประจำพันธุ์ : ลักษณะต้นอ่อน (hypocotyle) มีสีม่วง ส่วนใบเลี้ยง (cotyledon) มีสีเขียวและค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองแล้วหลุดร่วงในที่สุด ลำต้นเป็นแบบไม่ทอดยอด (determinate type) มีความสูงเฉลี่ย 68 เซนติเมตร จำนวนใบย่อยมี 3 ใบ ใบจริงเป็นชนิด ใบกว้าง (broad shape) คือฐานใบกว้างปลายใบแหลม ในหนามีสีเขียวเข้ม ขนาดของใบ (leaflet size) จัดได้ว่ามีขนาดกลาง (medium size) คือพื้นที่ใบมากกว่า 70 ตารางเซนติเมตร ขนาดของดอกปานกลาง มีสีม่วง อายุวันออกดอกประมาณ 35 วัน ฝักติดเป็นกระจุกตรงข้อบนลำต้นและกิ่ง ฝักจะดกตรงประมาณส่วนกลางของลำต้น ถั่วเหลืองจะเปลี่ยนสีของฝักจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและเมื่อถึงระยะแก่เต็มที่ฝักจะเป็นสีน้ำตาล (brown colour) จำนวนเมล็ดต่อฝักโดยทั่วๆ ไปมี 2 เมล็ดต่อฝักหรือ 1 เมล็ด ส่วน 3 เมล็ดต่อฝักมีน้อย จำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ย 60 ฝัก อายุถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 98 วัน

ลักษณะดีเด่น : ให้ผลผลิตสูงตั้งแต่ 240-336 กิโลกรัม/ไร่ ทนทานต่อโรคราสนิมและโรคใบด่าง ทนทานต่อสภาพดินที่มีความชื้นสูงกว่าพันธุ์ ชม.60 เมล็ดมีความงอกดี การเจริญเติบโตและลำต้นแข็งแรง สามารถปลูกให้ผลผลิตสูงทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน

ลักษณะด้อย : อ่อนแอต่อโรคใบจุดนูน และ โรคราน้ำค้าง เสื่อมความทนทานต่อโรคราสนิมอย่างรวดเร็วในพื้นที่ที่โรคนี้ระบาดอย่างรวดเร็ว

2. ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (Chiangmai 60 : CM.60)

ประวัติพันธุ์ : ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ที่สร้างขึ้นโดยนักวิชาการของศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองเพื่อต้านทานต่อโรคราสนิม ทำการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ Williams ซึ่งเป็นพันธุ์แม่ที่มีลักษณะดีคือ เจริญเติบโตดี ติดฝักดก ลำต้นแข็งแรง เมล็ดมีขนาดใหญ่ กับพันธุ์ สจ.4 เป็นพันธุ์พ่อที่มีลักษณะต้านทานต่อโรคราสนิม ผลผลิตสูงและคุณภาพเมล็ดดี รับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรเมื่อปี 2530

ลักษณะประจำพันธุ์ : ต้นอ่อนมีลักษณะแตกต่างกับพันธุ์มาตรฐานอื่นๆ คือต้นอ่อนมีสีเขียว (green colour) ส่วนพันธุ์อื่นๆ มีสีม่วง ลำต้นแข็งแรงไม่ล้ม ลักษณะไม่ทอดยอด (determinate type) มีความสูงเฉลี่ย 61 เซนติเมตร จำนวนใบย่อย (number of leaflets) มี 3 ใบ รูปใบเป็นชนิดใบกว้าง (broad leaflet shape) ขนาดของใบจัดได้ว่ามีใบขนาดเล็ก (small leaflet size) คือขนาดของใบเล็กกว่า 70 ตารางเซนติเมตร สีของดอกแตกต่างจากพันธุ์มาตรฐานอื่นๆ คือ ดอกมีสีขาว อายุถึงวันออกดอกประมาณ 35 วัน ติดฝักเป็นกระจุกตามข้อที่ลำต้นตั้งแต่ข้อแรกจนถึงข้อสุดท้าย สีฝักเมื่อแก่ (mature pod colour) มีสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม จำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ย 2-3 เมล็ด แต่จะพบ 2 เมล็ดต่อฝักมากกว่า 3 เมล็ด ส่วนจำนวนฝักต่อต้นขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตโดยมีจำนวนฝักตั้งแต่ 50-70 ฝักต่อต้น อายุถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 97 วัน

ลักษณะดีเด่น : มีความต้านทานต่อโรคราสนิม (Soybean rust) ในกรณีที่โรคนี้ระบาดอย่างรุนแรงผลผลิตของพันธุ์ ชม.60 ลดลงเพียง 16 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พันธุ์ สจ.4 และ สจ.5 จะลดลงประมาณ 29 และ 30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ทนทานต่อโรคราน้ำค้าง โรคแอนแทรคโนส และโรคแบคทีเรียพัสตูล สามารถปลูกได้ดีให้ผลผลิตสูงทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง ปรับตัวตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมได้กว้างขวางโดยเฉพาะภาคอีสานสามารถเป็นใช้เป็นพันธุ์ปลูกได้ในทุกฤดูปลูก เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงประมาณ 280–360 กิโลกรัม/ไร่

ลักษณะด้อย : อ่อนแอต่อสภาพดินที่มีความชื้นสูงหรือน้ำขัง การปลูกในฤดูแล้งโดยการให้น้ำชลประทานไม่ควรให้มีน้ำขังหรือในฤดูฝนควรระบายน้ำออกจากแปลง และเป็นพันธุ์ที่เสื่อมความงอกถ้าเก็บไว้ในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน เปอร์เซ็นต์ความงอกจะลดลงเหลือเพียง 40 เปอร์เซ็นต์

3. **ถั่วเหลืองพันธุ์สุโขทัย** 2 (Sukhothai 2 : ST.2)

ประวัติพันธุ์ : เป็นพันธุ์ที่ได้จากการคัดเลือกจากคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์ 7016 กับ พันธุ์สุโขทัย 1 เมื่อ พ.ศ. 2526 ที่สถานีทดลองพืชไร่ศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ได้รับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรเมื่อปี 2538 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเหมาะสำหรับปลูกในเขตภาคเหนือตอนล่างและภาคกลาง

ลักษณะประจำพันธุ์ : โคนต้นอ่อนสีม่วง ลำต้นมีลักษณะกึ่งทอดยอด สูงประมาณ 67 เซนติเมตร จำนวนใบย่อยมี 3 ใบ ใบมีสีเขียวเข้มมาก ขนาดของใบย่อยเล็กรูปร่างของใบแคบ ดอกสีม่วง อายุถึงวันออกดอกประมาณ 36 วัน ติดฝักเป็นกระจุกตามข้อที่ลำต้น สีฝักเมื่อแก่มีสีน้ำตาลดำเปลือกเมล็ดแห้งสีเหลือง เมล็ดมีลักษณะกลม จำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ย 2-5 เมล็ดต่อฝัก ส่วนจำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ย 31 ฝัก อายุถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 96 วัน

ลักษณะดีเด่น : ให้ผลผลิตสูงในเขตภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางประมาณ 290–310 กิโลกรัม/ไร่ สูงกว่าพันธุ์สุโขทัย 1 และเชียงใหม่ 60 ประมาณ 9 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เป็นถั่วเหลืองพันธุ์รับรองพันธุ์แรกของประเทศไทยที่มีความต้านทานโรค 3 ชนิดคือ ต้านทานโรคราน้ำค้าง ต้านทานโรคไวรัสใบด่างและต้านทานปานกลางต่อโรคใบจุดนูน มีคุณภาพเมล็ดพันธุ์ (ความงอก ความแข็งแรง) ดีกว่าพันธุ์เชียงใหม่ 60

ลักษณะด้อย : ในเขตภาคเหนือตอนบนไม่ควรปลูกช่วงกลางและปลายฤดูฝน เนื่องจากถั่วเหลืองพันธุ์นี้อ่อนแอต่อโรคราสนิม ซึ่งทำให้ผลผลิตลดลง 26-45 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์นี้ไม่เหมาะสมสำหรับปลูกในแหล่งที่ดินมีความเป็นกรดจัด (pH < 5.5) และดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

1. อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการปลูกถั่วเหลือง

1.1 เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merril) 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ สจ.5 พันธุ์ ชม.60 และ พันธุ์ สท.2

1.2 กระถางพลาสติกขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ 25 x 10 เซนติเมตร^2

1.3 สารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชตามสูตรของ Hoagland และ Arnon นำมาดัดแปลงตามวิธีการเตรียมของ นันทนา อังกินันทน์ และ ศุภจิตรา ชัชวาลย์ (2542)

1.4 เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Digital Conductivity meter)

1.5 เครื่องวัด pH (pH meter)

1.6 สายยางและตัวต่อเข้ากับปั๊มลม

1.7 โฟม ฟองน้ำ และ ก้านลูกโป่ง

2. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาทางสรีรวิทยาของพืช

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของพืช

2.1.1 เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Portable leaf area meter รุ่น LI 3000 A)

2.1.2 ตู้อบตัวอย่างพืช (Hot air oven)

2.1.3 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่งของกรัม

2.1.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งของกรัม

2.1.5 ตู้ดูดความชื้น (Desiccator cabinet)

2.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวัดปริมาณโพรลีน

2.2.1 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

2.2.2 หลอดทดลองขนาดต่างๆ พร้อมตะแกรงวางหลอด

2.2.3 ไมโครปิเปต (Micropipette)

2.2.4 กระดาษกรองเบอร์ 1

2.2.5 ตู้แช่แข็ง (Deep freezer อุณหภูมิ –70 องศาเซลเซียส)

2.2.6 โกร่งบด

2.2.7 water bath

2.2.8 3% sulfosalicylic acid

2.2.9 acid ninhydrin

2.2.10 glacial acetic acid

2.2.11 6M phosphoric acid

2.2.12 toluene

2.3 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวัดปริมาณไอออนของเกลือ

2.3.1 ปริมาณไอออนโซเดียม

2.3.1.1 เครื่องย่อยตัวอย่างพืช (Digestion block)

2.3.1.2 หลอดแก้วที่ใช้สำหรับเครื่องย่อยตัวอย่างพืช

2.3.1.3 ปิเปตแก้วขนาด 5 มิลลิลิตร และขนาด 10 มิลลิลิตร พร้อมลูกยาง

2.3.1.4 Erlenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.3.1.5 กรวยกรองและกระดาษกรอง

2.3.1.6 กรดไนตริกเข้มข้น (conc.HNO_3)

2.3.1.7 กรดเปอร์คลอริก (70% $HCLO_4$)

2.3.1.8 เครื่องวัดไอออน (Atomic absorption spectrophotometer)

2.3.2 ปริมาณไอออนคลอไรด์

2.3.2.1 ถ้วยเผา (Crucible)

2.3.2.2 เตาเผา (Muffle furnace) ควบคุมอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

2.3.2.3 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

2.3.2.3 water bath

2.3.2.4 Vortex mixture (IKA MS1)

2.3.2.5 Erlenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.3.2.5 กรวยกรองและกระดาษกรอง

2.3.2.6 หลอดทดลองพร้อมตะแกรงวางหลอด

2.3.2.7 ไมโครปิเปต (Micropipette)

2.3.2.8 แคลเซียมออกไซด์ (CaO)

2.3.2.9 Mercuric thiocyanate ($Hg(SCN_2)$)

2.3.2.10 Ferric ion (Fe^{3+})

3. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยา เรือนต้นไม้ภาควิชาพฤกษศาสตร์และหน่วยปฏิบัติการวิจัยนิเวศน์วิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. วิธีดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยใช้ถั่วเหลือง 3 พันธุ์คือ สจ.5 ชม.60 และ สท.2 และให้โซเดียมคลอไรด์ในสารละลายปลูกพืช 4 ระดับคือ 0 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ โดยทำ 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 ศึกษาการเจริญเติบโตในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ และวิเคราะห์ปริมาณไอออนของโซเดียมกับไอออนของคลอไรด์ สำหรับชุดการทดลองที่ 2 ศึกษาการสะสมปริมาณโพรลีน โดยทั้งสองชุดการทดลองวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ของข้อมูลตามแผนการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง (treatment) โดยใช้ค่า Duncan ‘s multiple range test (DMRT)

5. การปลูกพืชทดลองและการให้เกลือโซเดียมคลอไรด์

เตรียมต้นกล้าโดยเพาะเมล็ดถั่วเหลืองในกระดาษกรองที่มีความชื้นเป็นเวลา 4 วัน ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากเมล็ดงอกยึดต้นกล้าด้วยแผ่นฟองน้ำ และย้ายปลูกในแผ่นโฟมเจาะรูวางแผ่นโฟมให้ลอยบนผิวน้ำเพื่อให้ส่วนต้นและรากเจริญตั้งตรงเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นคัดเลือกต้นกล้าที่มีขนาดเท่ากันย้ายไปปลูกในภาชนะพลาสติกบรรจุสารละลาย 0.5x Hoagland ‘s solution (การเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ‘s ดังภาคผนวก ก) ปริมาตร 3 ลิตร จำนวน 4 ต้นต่อภาชนะ ควบคุม pH ของสารละลายธาตุอาหารตลอดระยะเวลาของการทดลองที่ pH ประมาณ 5.8 โดยใช้ 1N HCL ให้อากาศในสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาเพื่อให้รากได้รับออกซิเจนตลอดการทดลอง และทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารใหม่ทุกสัปดาห์ ระหว่างการทดลองควบคุมระดับความเค็มให้สม่ำเสมอ โดยการตรวจสอบจากค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ให้ต้นกล้าถั่วเหลืองได้รับสภาพแสงธรรมชาติโดยวางภาชนะปลูกในเรือนต้นไม้ของภาควิชาพฤกษศาสตร์

เมื่อถั่วเหลืองอายุ 14 วัน ย้ายปลูกในสารละลายธาตุอาหาร 0.5x Hoagland 's solution ที่มีโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ เริ่มเก็บข้อมูลหลังจากที่ถั่วเหลืองได้รับเกลือที่ระยะเวลา 0 15 30 45 และ 60 วัน

6. การศึกษาผลของภาวะเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

6.1 การวิเคราะห์น้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งราก โดยเก็บตัวอย่างพืชทั้งต้น ที่ระยะเวลาการได้รับภาวะเค็มวันที่ 0 15 30 45 และ 60 วัน แล้วนำมาแยกออกเป็นส่วนใบ ลำต้น และ ราก นำตัวอย่างพืชทั้งหมดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างพืชมาชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

6.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบผลผลิตโดยทำการบันทึก จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้น และ น้ำหนักแห้งฝักต่อต้น ในระยะเวลาที่พืชสามารถให้ผลผลิตได้ นำตัวอย่างเมล็ดทั้งหมดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงจากนั้นนำตัวอย่างพืชมาชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

6.3 วัดพื้นที่ใบรวมทั้งต้นโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Portable leaf area meter รุ่น LI 3000A) ในวันที่ 0 15 30 45 และ 60 ของการได้รับภาวะเค็ม

6.4 การวิเคราะห์อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น โดยนำข้อมูลพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งต้นมาคำนวนอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (leaf area ratio) ตามสมการ

อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น = พื้นที่ใบ / น้ำหนักแห้งต้น (Beadle, 1993)

7. การศึกษาผลของภาวะเค็มที่มีต่อการสะสมปริมาณโพรลีน

เตรียมต้นกล้าและให้ได้รับภาวะเค็มของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับ 0 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ เก็บตัวอย่างพืชที่ระยะเวลาการได้รับภาวะเค็มวันที่ 0 15 30 45 และ 60 วัน โดยแยกออกเป็นส่วนใบบริเวณยอด (ตำแหน่งใบที่สามนับจากยอด) ใบล่าง (ตำแหน่งใบที่เจ็ดนับจากยอด) และราก ในวันที่ 0 ตัวอย่างใบใช้แทนเป็นใบล่างเนื่องจากไม่สามารถแยกตำแหน่งใบได้ เก็บตัวอย่างพืชโดยการนำเนื้อเยื่อพืชแต่ละส่วนชั่งน้ำหนักสดประมาณ 0.25 กรัม ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วแช่ในไนโตรเจนเหลวทันที หลังจากนั้นรวบรวมตัวอย่างทั้งหมดเก็บใน

ตู้แช่แข็ง (อุณหภูมิ –70 องศาเซลเซียส) แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ตามวิธีของ Bates และคณะ (1973) (แสดงดังภาคผนวก ก)

8. การศึกษาผลของภาวะเค็มที่มีต่อปริมาณของไอออน

การวิเคราะห์ปริมาณไอออนของเกลือได้แก่ ไอออนของโซเดียม (Na^+) และไอออนของคลอไรด์ (Cl^-) ในเนื้อเยื่อตัวอย่างใบ (โดยแยกออกเป็นสองตำแหน่งใบ คือใบบริเวณยอดได้แก่ใบที่สองและสามนับจากยอดและใบล่างได้แก่ใบที่หกและเจ็ดนับจากยอด เพื่อให้มีปริมาณเนื้อเยื่อพืชเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ไอออนของเกลือทั้งสองชนิด) ราก และ ฝักถั่วเหลือง ของตัวอย่างพืชที่เก็บในวันที่ 0 15 30 45 และ 60 วัน ซึ่งเป็นตัวอย่างพืชที่ได้รับการวิเคราะห์การเจริญเติบโตแล้ว ในวันที่ 0 ตัวอย่างใบใช้แทนเป็นใบล่างเนื่องจากไม่สามารถแยกตำแหน่งใบได้ สำหรับฝักถั่วเหลืองนำตัวอย่างพืชที่เก็บในวันที่ 45 และ 60 วัน มาบดให้ละเอียดด้วยโกร่ง เมื่อจะวิเคราะห์ปริมาณไอออนของเกลือนำตัวอย่างพืชที่บดแล้วมาอบอีกครั้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งตัวอย่างพืชเป็นสองชุดสำหรับใช้วิเคราะห์โซเดียม และ คลอไรด์ ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง เก็บตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ในตู้ดูดความชื้น (Desiccator cabinet)

8.1 การวิเคราะห์ปริมาณไอออนของโซเดียม (Na^+)

สำหรับการวิเคราะห์ไอออนของโซเดียม ใช้ตัวอย่างแห้งน้ำหนักประมาณ 100 มิลลิกรัม มาย่อยด้วยกรดไนตริก และ กรดเปอร์คลอริก ด้วยเครื่องย่อยตัวอย่างพืช (Digestion block) ตามวิธีของ Oweczkin และ Kerven (1980) นำสารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยกรดมาวิเคราะห์ปริมาณไอออนของโซเดียม ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร (ขั้นตอนการย่อยตัวอย่างพืชและการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม แสดงดังภาคผนวก ก)

8.2 การวิเคราะห์ปริมาณไอออนของคลอไรด์ (Cl^-)

สำหรับการวิเคราะห์ไอออนของคลอไรด์ ใช้ตัวอย่างแห้งน้ำหนักประมาณ 100 มิลลิกรัม ใส่ในถ้วยเผา (Crucible) เติมสารละลายแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ความเข้มข้น 30 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการระเหิดของคลอไรด์ เผาตัวอย่างพืชในเตาเผา (Muffle

furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นนำเถ้าที่ได้มาละลายด้วยน้ำกลั่น (ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และคณะ, 2537)

การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์โดยวิธี Mercuric thiocyanate ทำปฏิกริยาโดยใช้ Chloride Reagent Set (HACH) วัดผลด้วยเครื่อง Spectrophotometer ตามวิธีใน Hach DR/2000 Spectrophotometer Proceduces Manual (1988) (ขั้นตอนการย่อยตัวอย่างพืชและวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ แสดงดังภาคผนวก ก)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลอง

1. ผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

1.1 ผลของภาวะเค็มต่อน้ำหนักแห้งต้น

เมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มที่ระดับเกลือ 20 ถึง 80 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์น้อยกว่าต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม และมีผลยับยั้งการสร้างน้ำหนักแห้งต้นเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มและระดับเกลือที่สูงขึ้น ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 เมื่อได้รับเกลือที่ระดับ 80 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 45 วันพบว่าต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตั้งแต่ได้รับภาวะเค็ม เป็นระยะเวลา 30 วัน

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 71.60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (3.24 และ 0.93 กรัม) ส่วนที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยลงเช่นเดียวกัน แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (3.24 2.13 และ 2.03 กรัม) (ตารางที่ 1 รูปที่ 1) และเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลามากขึ้นคือที่ระยะเวลา 30 และ 45 วัน มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยลงมากกว่าที่ระยะเวลา 15 วัน โดยที่ระดับเกลือสูงมีผลต่ออัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งต้นมากกว่าที่ระดับเกลือต่ำกว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 54 และ 77 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (11.52 5.25 และ 2.57 กรัม)

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีแนวโน้มต่ออัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งต้นคล้ายกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม เมื่อต้นถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยลงอย่างชัดเจนโดยเฉพาะที่ระดับเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ น้ำหนักแห้งต้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 14 42 และ 81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่

ได้รับภาวะเค็ม (3.22 2.77 1.86 และ 0.61 กรัม) (ตารางที่ 2 รูปที่ 2) เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 และ 45 วัน มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ (ที่ระยะเวลา 45 วัน ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 55 และ 77 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (14.15 6.27 และ 3.13 กรัม) ซึ่งใกล้เคียงกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่น้อยลงประมาณ 54 และ 77 เปอร์เซ็นต์ที่ระดับเกลือและระยะเวลาเดียวกัน

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยลงเช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 แต่พบว่ามีแนวโน้มต่ออัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งต้นในอัตราที่ลดลงมากกว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ โดยเฉพาะเมื่อได้รับระดับเกลือสูงขึ้น เมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่ามีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยลงอย่างชัดเจนและแตกต่างทางสถิติทุกระดับเกลือ คือน้อยลงประมาณ 29 50 และ 78 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (3.74 2.65 1.86 และ 0.83 กรัม) (ตารางที่ 3 รูปที่ 3) และเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้ซึ่งต่างจากถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ที่ยังเจริญเติบโตได้ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 55 และ 80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (19.02 8.51 และ 3.72 กรัม) สำหรับในต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็มพบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีแนวโน้มการเพิ่มน้ำหนักแห้งมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.51 ± 0.064 [a]	0.50 ± 0.034 [a]	0.58 ± 0.056 [a]	0.53 ± 0.074 [a]
15	3.24 ± 0.340 [a]	2.13 ± 0.175 [a]	2.03 ± 0.158 [a]	0.93 ± 0.100 [b]
30	5.47 ± 1.136 [a]	4.06 ± 0.695 [ab]	2.61 ± 0.930 [bc]	0.80 ± 0.150 [c]
45	9.50 ± 2.077 [a]	4.96 ± 0.372 [a]	2.64 ± 0.422 [b]	- (** ตาย)
60	11.52 ± 2.168 [a]	5.25 ± 0.622 [a]	2.57 ± 0.407 [b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 2 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.39 ± 0.039 [a]	0.41 ± 0.032 [a]	0.43 ± 0.032 [a]	0.44 ± 0.034 [a]
15	3.22 ± 0.626 [a]	2.77 ± 0.393 [ab]	1.86 ± 0.271 [b]	0.61 ± 0.033 [c]
30	5.48 ± 1.783 [a]	4.27 ± 0.986 [ab]	2.08 ± 0.487 [bc]	0.63 ± 0.093 [c]
45	7.64 ± 1.533 [a]	5.46 ± 1.196 [ab]	2.74 ± 0.614 [b]	- (** ตาย)
60	14.15 ± 0.566 [a]	6.27 ± 0.977 [b]	3.13 ± 0.377 [c]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

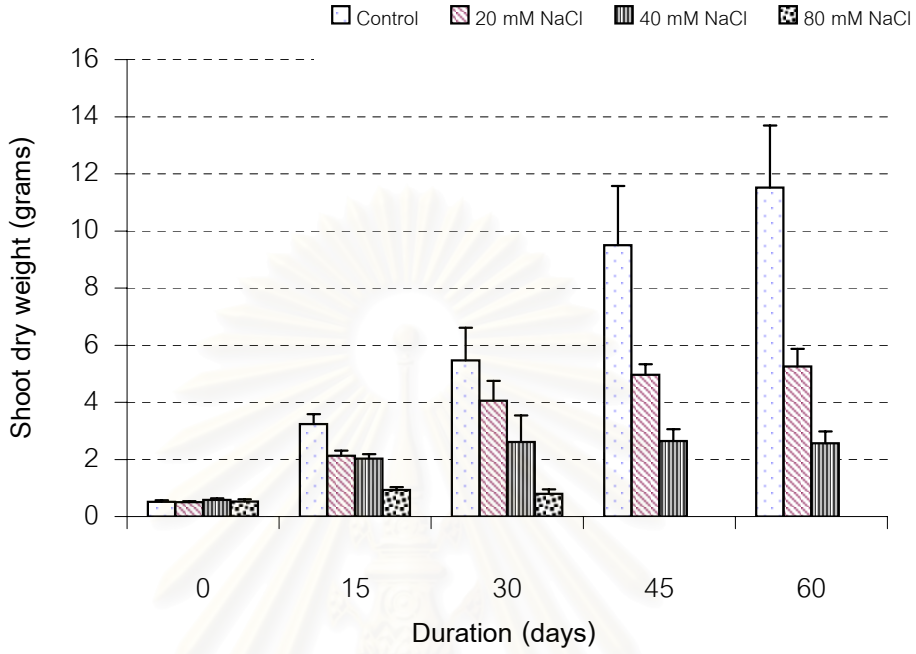
ตารางที่ 3 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.48 ± 0.060[a]	0.54 ± 0.059[a]	0.57 ± 0.051[a]	0.59 ± 0.023[a]
15	3.74 ± 0.242[a]	2.65 ± 0.361[b]	1.86 ± 0.170[c]	0.83 ± 0.189[d]
30	7.34 ± 1.17[a]	4.02 ± 0.317[b]	3.03 ± 0.565[b]	- (** ตาย)
45	12.02 ± 0.938[a]	5.08 ± 0.709[b]	4.40 ± 0.496[b]	- (** ตาย)
60	19.02 ± 2.895[a]	8.51 ± 1.822[b]	3.72 ± 0.601[b]	- (** ตาย)

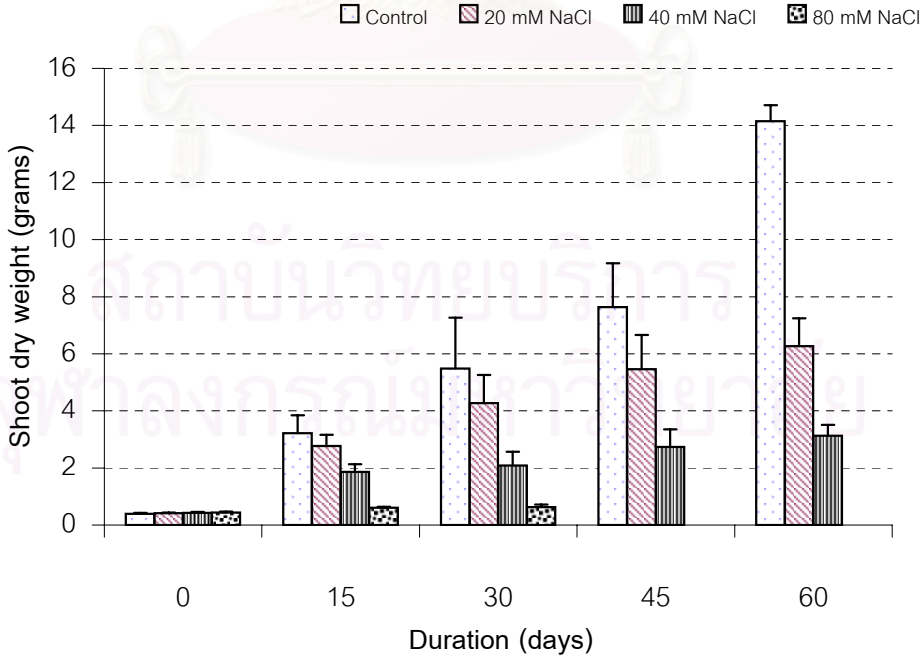
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

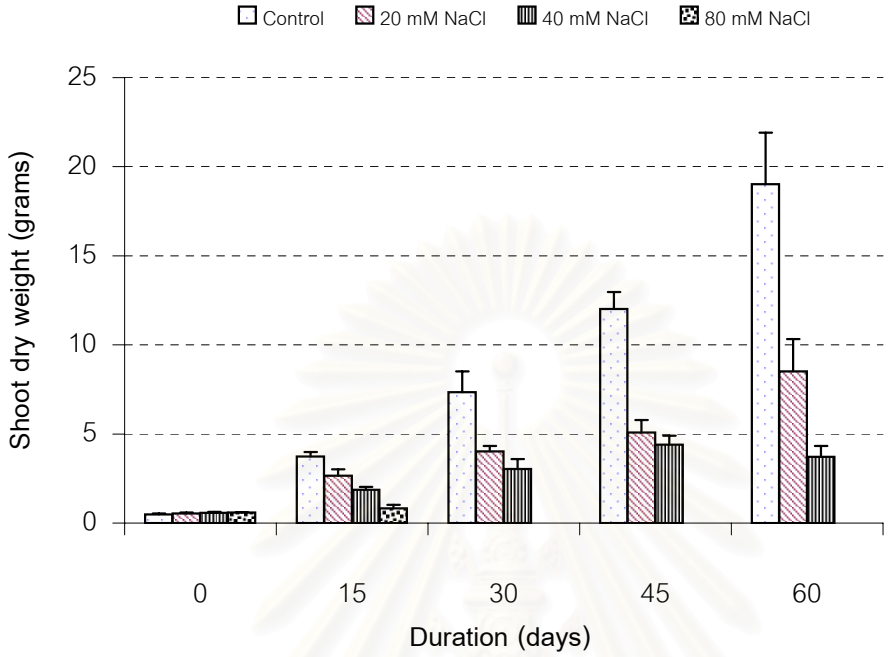
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 2 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 3 น้ำหนักแห้งต้น (Shoot dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 ผลของภาวะเค็มต่อน้ำหนักแห้งราก

เมื่อต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็มที่ระดับเกลือ 20 ถึง 80 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มเมื่อระดับเกลือเพิ่มขึ้น และมีรูปแบบเช่นเดียวกับน้ำหนักแห้งต้น ภาวะเค็มมีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ชม.60 และ สท.2 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการสร้างน้ำหนักแห้งรากมากกว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งต้น เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีแนวโน้มถูกยับยั้งการสร้างน้ำหนักแห้งรากมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 และภาวะเค็มที่สูงขึ้นมีผลทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งรากน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มอย่างมีนัยสำคัญ

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีแนวโน้มต่อการยับยั้งการสร้างน้ำหนักแห้งรากน้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ สท.2 โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากน้อยลงอย่างชัดเจนและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 28 32 และ 64 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.25 0.18 0.17 และ 0.09 กรัม) (ตารางที่ 4 รูปที่ 4) และมีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มมากที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 60 และ 71 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.75 0.30 และ 0.20 กรัม)

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากน้อยลงอย่าง ชัดเจน เมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วันเช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 แต่มีเปอร์เซ็นต์การน้อยลงของน้ำหนักแห้งรากมากกว่า โดยที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 42 58 และ 79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.38 0.22 0.16 และ 0.08 กรัม) (ตารางที่ 5 รูปที่ 5) เมื่อต้นถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ได้รับภาวะเค็ม เป็นระยะเวลา 30 และ 45 วัน มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับที่ระยะเวลา 15 วัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 69 และ 85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้น

ที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (1.17 0.36 และ 0.18 กรัม) โดยน้ำหนักแห้งรากน้อยลงมากกว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ระดับเกลือและระยะเวลาเดียวกัน

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 พบว่าเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มมีผลให้น้ำหนักแห้งรากน้อยลงมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 อย่างชัดเจน โดยเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 (ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้) มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 55 และ 70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.60 0.27 และ 0.18 กรัม) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 79 และ 89 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (1.88 0.39 และ 0.21 กรัม) (ตารางที่ 6 รูปที่ 6) ซึ่งน้อยลงมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ที่ระดับเกลือและระยะเวลาเดียวกัน

ต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ ที่ไม่ได้รับภาวะเค็มพบว่ามีน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการเจริญเติบโตนานขึ้น โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีน้ำหนักแห้งรากมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ที่ระยะเวลา 60 วัน แต่เมื่อต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็ม พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ได้รับผลกระทบต่อน้ำหนักแห้งรากมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม) (±standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.06 ± 0.007[a]	0.06 ± 0.009[a]	0.06 ± 0.008[a]	0.70 ± 0.010[a]
15	0.25 ± 0.012	0.18 ± 0.021	0.17 ± 0.023	0.09 ± 0.011
30	0.40 ± 0.087[a]	0.24 ± 0.029[ab]	0.24 ± 0.052[ab]	0.07 ± 0.014[c]
45	0.70 ± 0.164[a]	0.26 ± 0.017[b]	0.21 ± 0.004[b]	- (** ตาย)
60	0.75 ± 0.073[a]	0.30 ± 0.031[b]	0.20 ± 0.015[b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 5 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา(วัน)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม) (±standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.05 ± 0.006[a]	0.05 ± 0.008[a]	0.04 ± 0.002[a]	0.05 ± 0.007[a]
15	0.38 ± 0.061[a]	0.22 ± 0.049[b]	0.16 ± 0.020[bc]	0.08 ± 0.007[c]
30	0.41 ± 0.104[a]	0.31 ± 0.068[ab]	0.18 ± 0.022[bc]	0.10 ± 0.020[c]
45	0.61 ± 0.112[a]	0.31 ± 0.093[b]	0.21 ± 0.034[b]	- (** ตาย)
60	1.17 ± 0.112[a]	0.36 ± 0.081[b]	0.18 ± 0.023[b]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

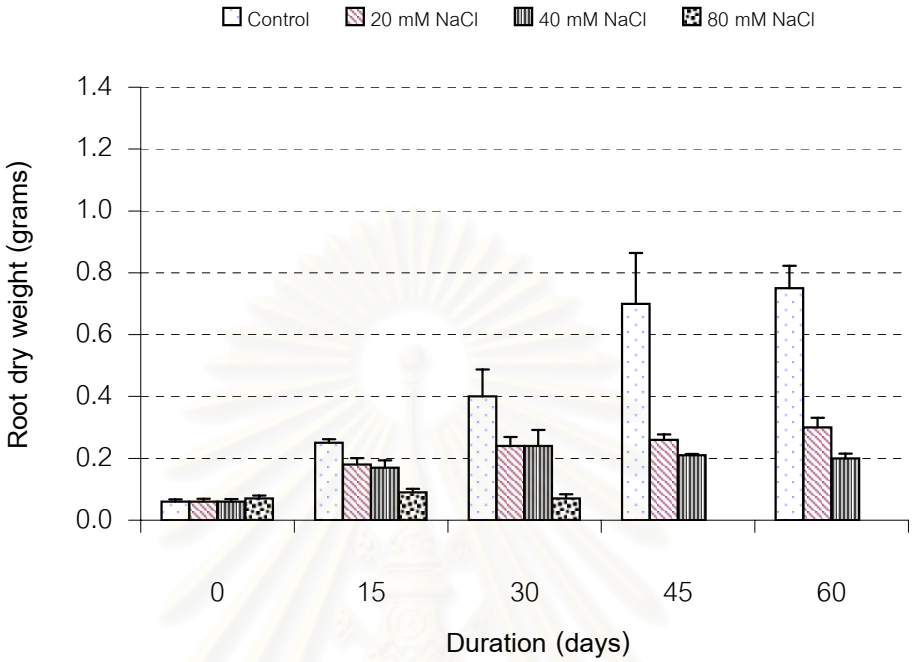
ตารางที่ 6 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม) (±standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.08 ± 0.010 [a]	0.08 ± 0.007 [a]	0.08 ± 0.011 [a]	0.08 ± 0.014 [a]
15	0.28 ± 0.03 [a]	0.21 ± 0.03 [ab]	0.18 ± 0.017 [b]	0.13 ± 0.021 [b]
30	0.60 ± 0.120 [a]	0.27 ± 0.028 [b]	0.18 ± 0.012 [b]	- (** ตาย)
45	1.01 ± 0.138 [a]	0.22 ± 0.041 [b]	0.30 ± 0.055 [b]	- (** ตาย)
60	1.88 ± 0.317 [a]	0.39 ± 0.08 [b]	0.21 ± 0.052 [b]	- (** ตาย)

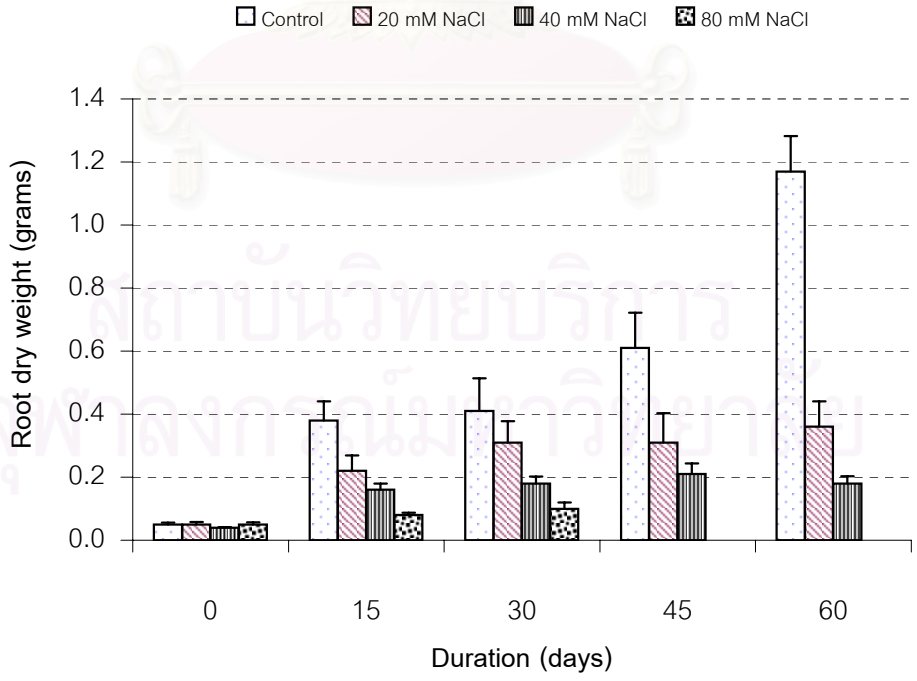
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

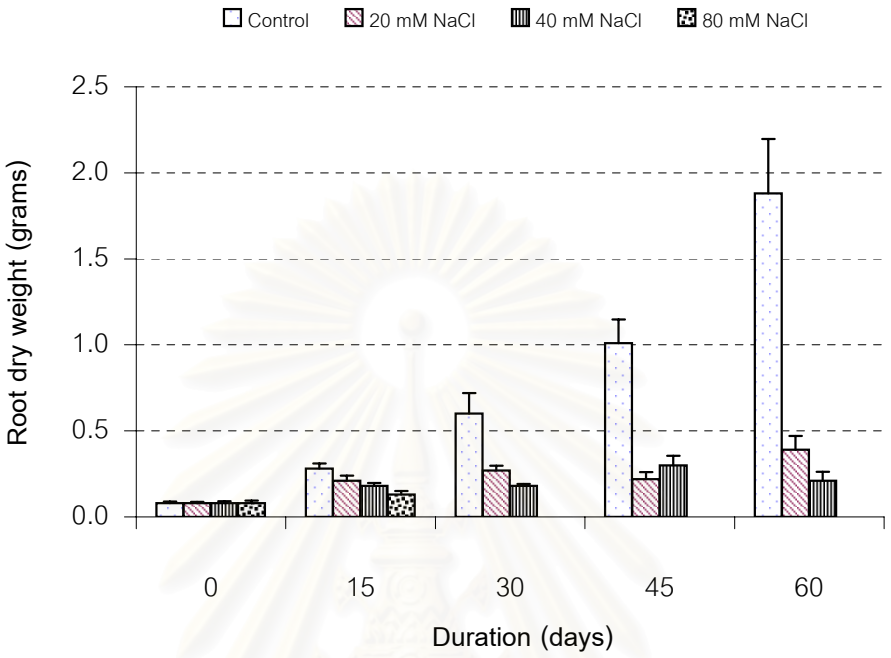
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 5 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 6 น้ำหนักแห้งราก (Root dry weight, grams) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ผลของภาวะเค็มต่อพื้นที่ใบ

ผลของภาวะเค็มต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบ พบว่าเมื่อต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็มมีผลทำให้พื้นที่ใบลดลงในทุกระดับเกลือ และทุกระยะเวลาที่ถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็ม ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีแนวโน้มของพื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงใกล้เคียงกัน และถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 พบว่าพื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงมากกว่าทั้งสองพันธุ์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่าพื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงตั้งแต่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน โดยที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้พื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือลดลงประมาณ 36 37 และ 84 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (1619.5 1032.44 1029.61 และ 256.78 ตารางเซนติเมตร) (ตารางที่ 7 รูปที่ 7) ระดับเกลือที่สูงขึ้นมีผลทำให้พื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงมากกว่าที่ระดับเกลือต่ำกว่าในทุกระยะเวลาที่ถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็ม พื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับเกลือเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วันขึ้นไป เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าพื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือลดลงประมาณ 58 และ 77 เปอร์เซ็นต์ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (1729.42 695.67 และ 402.37 ตารางเซนติเมตร)

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีแนวโน้มของพื้นที่ใบรวมต่อต้นใกล้เคียงกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 โดยที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ระยะเวลา 15 วัน เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มมีผลทำให้พื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือลดลงประมาณ 81 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม และเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็ม เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าพื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงอย่างชัดเจนทุกระดับเกลือและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ คือลดลงประมาณ 33 40 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (1527.79 1021.48 615.60 และ 159.18 ตารางเซนติเมตร) (ตารางที่ 8 รูปที่ 8) เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้พื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือลดลงประมาณ 58 และ 79 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (1734.99

726.10 และ 348.50 ตารางเซนติเมตร) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงใกล้เคียงกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 คือ 59 และ 77 มีเปอร์เซ็นต์ ที่ระดับเกลือและระยะเวลาเดียวกัน

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มพบว่าพื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน จนถึง 60 วัน และมีแนวโน้มลดลงมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้พื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือลดลงประมาณ 36 58 และ 88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (1683.58 1018.33 708.93 และ 209.93 ตารางเซนติเมตร) (ตารางที่ 9 รูปที่ 9) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือลดลงประมาณ 74 และ 86 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (2310.67 603.54 และ 329.31 ตารางเซนติเมตร) ซึ่งพื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ที่ระดับเกลือและระยะเวลาเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีแนวโน้มการเพิ่มพื้นที่ใบมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีแนวโน้มการเพิ่มพื้นที่ใบใกล้เคียงกัน แต่เมื่อได้รับภาวะเค็มมีผลทำให้ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	พื้นที่ใบต่อต้น (ตารางเซนติเมตร) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	167.87 ± 15.42[a]	161.02 ± 8.91[a]	166.83 ± 3.71[a]	163.01 ± 23.57[a]
15	1619.5 ± 130.34[a]	1032.44 ± 108.84[b]	1029.61 ± 43.45[b]	256.78 ± 22.77[c]
30	1656.14 ± 90.48[a]	1039.38 ± 92.34[b]	762.79 ± 108.34[b]	157.89 ± 35.99[c]
45	1714.27 ± 99.75[a]	995.71 ± 107.01[b]	472.04 ± 111.39[c]	- (** ตาย)
60	1729.42 ± 101.31[a]	695.67 ± 81.22[b]	402.37 ± 60.71[b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 8 พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	พื้นที่ใบต่อต้น (ตารางเซนติเมตร) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	126.05 ± 6.62[a]	131.73 ± 12.16[a]	128.70 ± 10.34[a]	149.63 ± 16.10[a]
15	1472.96 ± 158.80[a]	1288.23 ± 117.22[a]	1173.46 ± 201.63[a]	256.78 ± 10.29[b]
30	1527.79 ± 268.92[a]	1021.48 ± 132.21[b]	615.60 ± 106.46[bc]	159.18 ± 50.97[c]
45	1668.49 ± 230.38[a]	940.39 ± 251.52[b]	453.14 ± 98.17[b]	- (** ตาย)
60	1734.99 ± 80.88[a]	726.10 ± 91.24[b]	348.50 ± 54.52[c]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

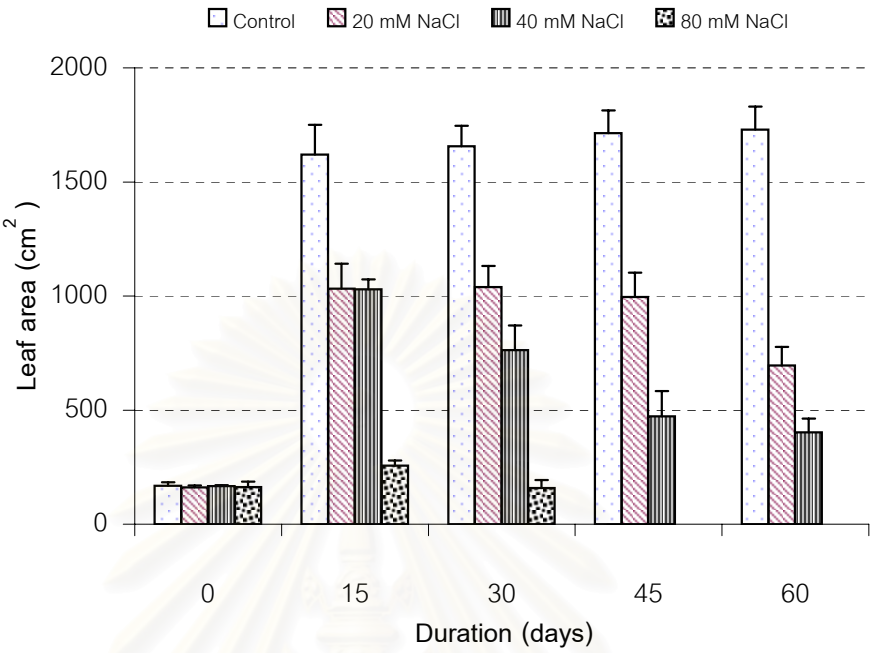
ตารางที่ 9 พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	พื้นที่ใบต่อต้น (ตารางเซนติเมตร) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	198.58 ± 3.92[a]	184.57 ± 11.75[a]	185.54 ± 3.19[a]	198.58 ± 3.40[a]
15	1683.58 ± 108.34[a]	1018.33 ± 134.61[b]	708.93 ± 135.06[b]	209.93 ± 57.34[c]
30	1882.04 ± 148.95[a]	951.57 ± 71.08[b]	577.41 ± 103.18[b]	- (** ตาย)
45	2241.52 ± 106.00[a]	867.10 ± 88.20[b]	383.18 ± 74.83[c]	- (** ตาย)
60	2310.67 ± 152.04[a]	603.54 ± 86.66[b]	329.31 ± 66.06[b]	- (** ตาย)

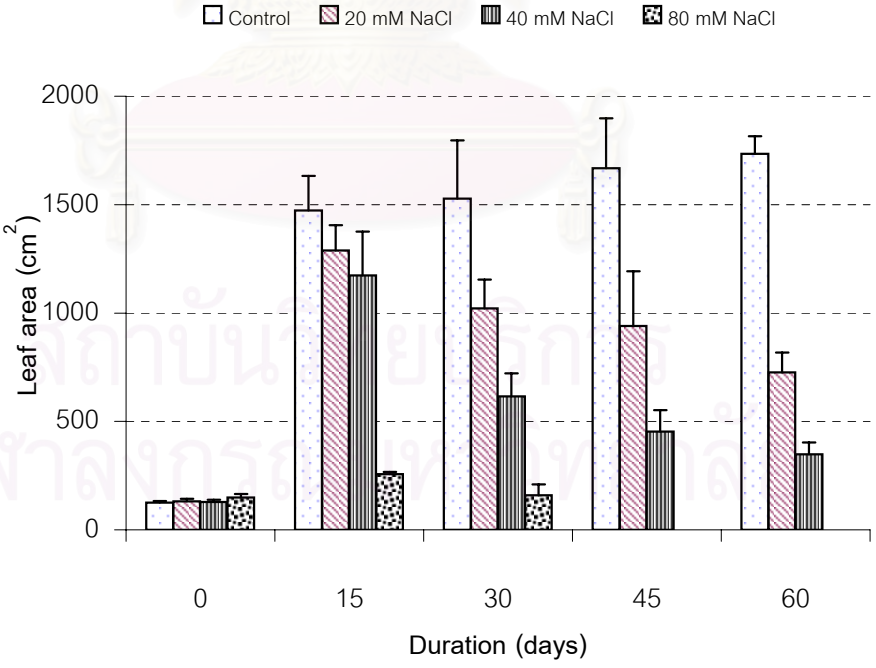
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

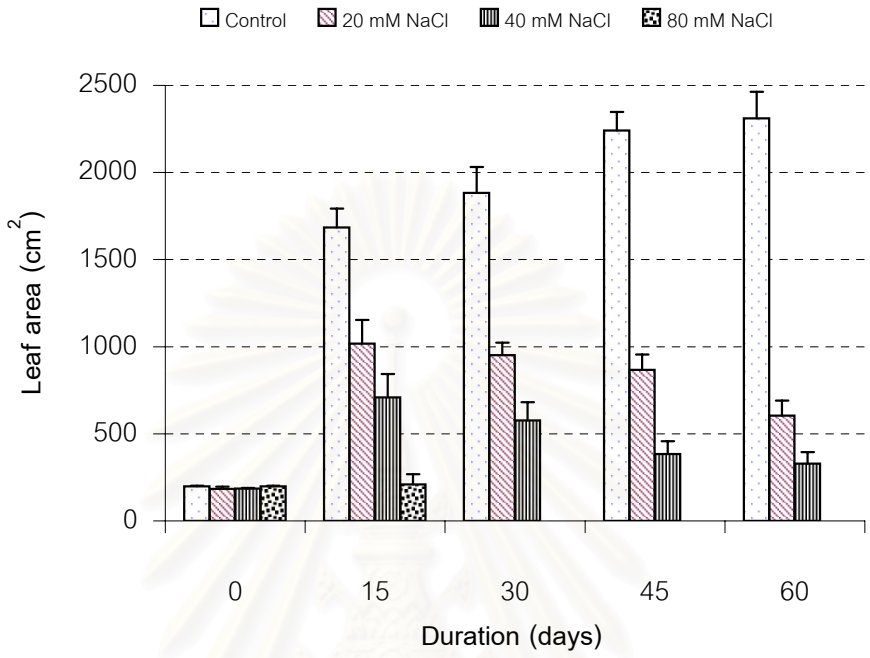
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7 พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 8 พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 9 พื้นที่ใบต่อต้น (Leaf area, cm^2) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ผลของภาวะเค็มต่ออัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น

จากการหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น พบว่าในต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ที่ไม่ได้รับภาวะเค็มมีอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นเพิ่มขึ้นเมื่อถั่วเหลืองมีอายุ 15 วัน และเริ่มลดลงตั้งแต่ถั่วเหลืองมีอายุ 30 วัน ถึง 60 วัน โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองต้นถั่วเหลืองมีอายุ 60 วัน พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ชม.60 และ สท.2 มีอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น 150.2 122.45 และ 124.60 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ที่ไม่ได้รับภาวะเค็มมีพื้นที่ใบเพิ่มมากขึ้นในช่วง 15 วันแรกของการเจริญเติบโต และหลังจากนั้นต้นถั่วเหลืองมีการเจริญทางด้านลำต้นเพิ่มขึ้นมากกว่าการเพิ่มพื้นที่ใบ และเมื่อต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็ม พบว่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นมีแนวโน้มลดลงมากกว่าต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็มตามระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มมากขึ้น

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยกว่าประมาณ 39.48 เปอร์เซ็นต์ (497.2 และ 300.93 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม) (ตารางที่ 10 รูปที่ 10) และที่ระดับเกลือ 20 มิลลิโมลาร์ อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 2.35 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ระดับเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ มีอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นมากกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 5.92 เปอร์เซ็นต์ (497.2 485.53 และ 526.65 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติทั้งสองระดับเกลือเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 10.67 และ 1.90 เปอร์เซ็นต์ (150.12 134.10 และ 147.26 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม) โดยไม่แตกต่างทางสถิติทั้งสองระดับเกลือ

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 และ 30 วัน พบว่ามีรูปแบบอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นเช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 คือที่ระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ พบว่าอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 12.94 เปอร์เซ็นต์ (486.96 และ 423.93 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม) (ตารางที่ 11 รูปที่ 11) และที่ระดับเกลือ 20 มิลลิโมลาร์ อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 2.48 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ระดับเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อต้นมากกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มอย่างมีนัยสำคัญคือประมาณ 27.97 เปอร์เซ็นต์ (486.96 474.87 และ 623.14 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม) เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็น

ระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 2.87 และ 9.94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (122.45 118.94 และ 110.28 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม) โดยไม่แตกต่างทางสถิติทั้งสองระดับเกลือ

ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็ม พบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มตามระดับเกลือที่สูงขึ้นและระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็ม โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 14.60 14.83 และ 44.81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (450.56 384.79 383.75 และ 248.68 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม) (ตารางที่ 12 รูปที่ 12) โดยแตกต่างทางสถิติที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้ภาวะเค็มอย่างมีนัยสำคัญคือประมาณ 37.17 และ 29.51 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (124.60 78.34 และ 87.83 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม) โดยมีเปอร์เซ็นต์ที่มากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 อย่างชัดเจน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (ตารางเซ็นติเมตรต่อกรัม) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	332.50 ± 18.31 [a]	324.07 ± 25.66 [a]	297.13 ± 30.37 [a]	305.75 ± 9.62 [a]
15	497.21 ± 39.43 [a]	485.53 ± 28.90 [a]	526.65 ± 53.22 [a]	300.93 ± 50.28 [b]
30	309.30 ± 20.90 [a]	278.69 ± 41.18 [a]	330.95 ± 40.14 [a]	196.57 ± 43.46 [a]
45	193.39 ± 20.63 [a]	200.61 ± 15.72 [a]	178.78 ± 28.46 [a]	- (** ตาย)
60	150.12 ± 14.41 [a]	134.10 ± 10.91 [a]	147.26 ± 8.33 [a]	- (** ตาย)

ตารางที่ 11 อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (ตารางเซ็นติเมตรต่อกรัม) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	332.01 ± 20.48 [a]	323.50 ± 13.21 [a]	300.81 ± 8.86 [a]	338.49 ± 15.26 [a]
15	486.96 ± 55.62 [a]	474.87 ± 48.39 [a]	623.14 ± 36.44 [b]	423.93 ± 33.93 [a]
30	312.53 ± 40.28 [a]	253.59 ± 22.69 [a]	302.91 ± 48.64 [a]	236.00 ± 38.96 [a]
45	228.73 ± 17.40 [a]	165.94 ± 12.29 [a]	198.16 ± 58.87 [a]	- (** ตาย)
60	122.45 ± 12.39 [a]	118.94 ± 10.26 [a]	110.28 ± 11.71 [a]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

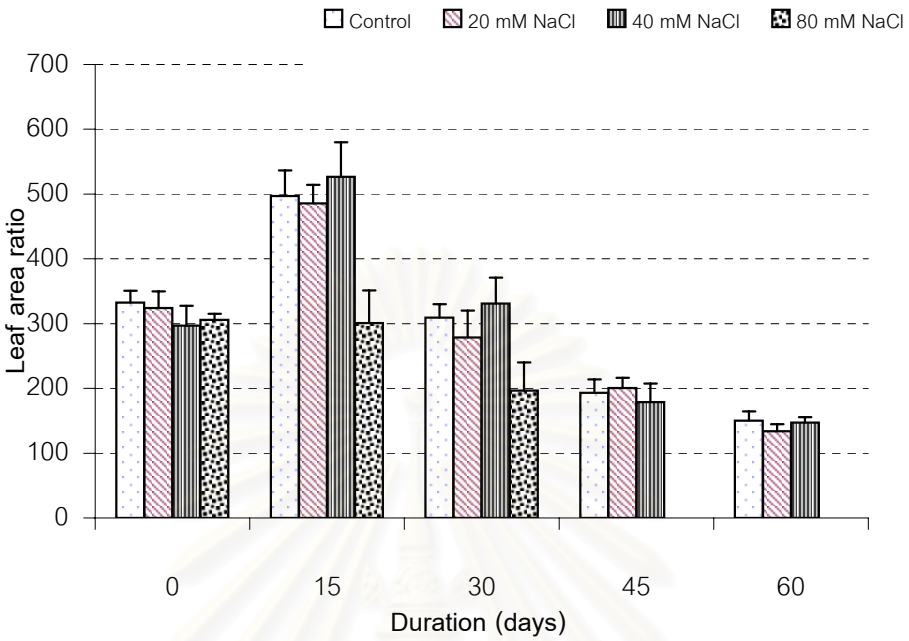
ตารางที่ 12 อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (ตารางเซ็นติเมตรต่อกรัม) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	427.20 ± 40.88 [a]	348.88 ± 23.89 [a]	332.14 ± 27.12 [a]	318.19 ± 15.84 [a]
15	450.56 ± 12.08 [a]	384.79 ± 22.76 [a]	383.75 ± 64.44 [a]	248.68 ± 34.68 [b]
30	253.83 ± 6.39 [a]	240.56 ± 23.06 [a]	204.84 ± 45.43 [a]	- (** ตาย)
45	186.35 ± 6.48 [a]	177.52 ± 20.02 [a]	87.90 ± 13.27 [b]	- (** ตาย)
60	124.60 ± 6.91 [a]	78.34 ± 17.93 [b]	87.83 ± 8.53 [b]	- (** ตาย)

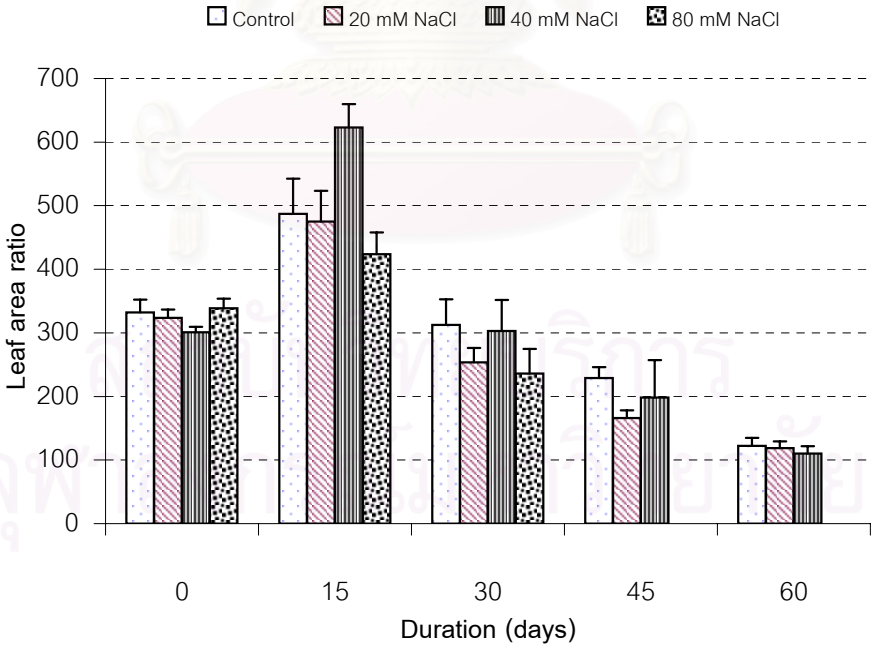
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

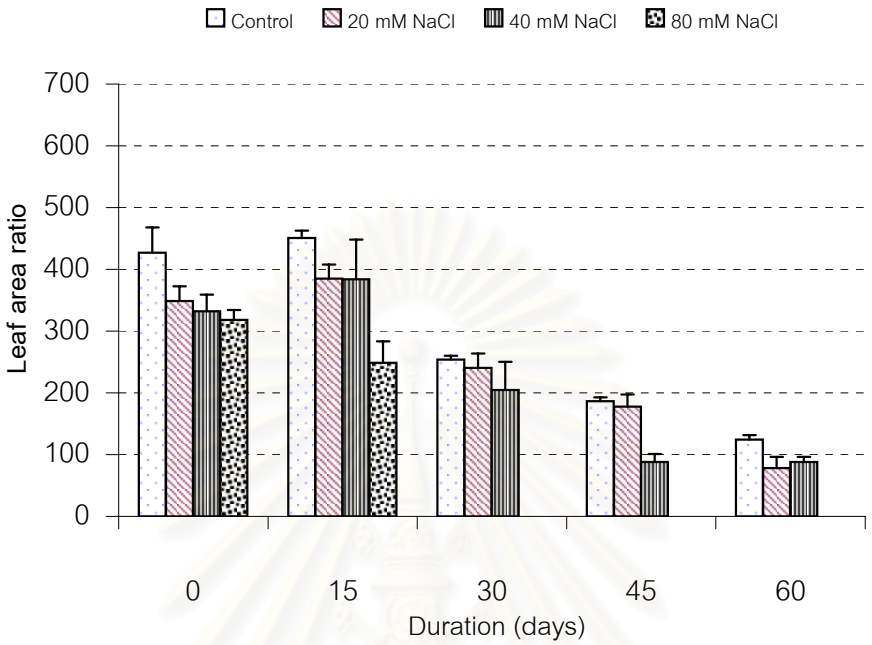
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10 อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 11 อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 12 อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น (Leaf area ratio) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ผลของภาวะเค็มต่อองค์ประกอบผลผลิต

ผลการศึกษาด้านองค์ประกอบของผลผลิตโดยทำการศึกษาจำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้น และน้ำหนักแห้งฝักต่อต้น ในถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ พบว่าเมื่อเพิ่มระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้น และน้ำหนักแห้งฝักต่อต้น น้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มน้อยลงตั้งแต่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน

2.1 ผลของภาวะเค็มต่อจำนวนฝักต่อต้น

เมื่อต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็ม มีผลทำให้จำนวนฝักต่อต้นน้อยกว่าต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็มอย่างชัดเจน โดยถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีจำนวนฝักต่อต้นน้อยลงใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ยังไม่มีฝัก ส่วนพันธุ์ สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่าจำนวนฝักต่อต้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือน้อยลงประมาณ 52 และ 71 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (41.5 20 และ 12 ฝักต่อต้น) (ตารางที่ 13 รูปที่ 13) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ พันธุ์ สท.2 มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน โดยถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีจำนวนฝักต่อต้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือน้อยลงประมาณ 56 และ 73 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (40.5 18 และ 11 ฝักต่อต้น) (ตารางที่ 14 รูปที่ 14) และจำนวนฝักต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 น้อยลงประมาณ 57 และ 69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (45.75 19.5 และ 14 ฝักต่อต้น) (ตารางที่ 15 รูปที่ 15)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	จำนวนฝักต่อต้น (ฝัก) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
30	16.00 ± 0.70 [a]	14.00 ± 3.18 [ab]	7.75 ± 2.62 [b]	0
45	30.00 ± 4.88 [a]	18.00 ± 1.65 [b]	10.75 ± 1.65 [b]	- (** ตาย)
60	41.50 ± 4.80 [a]	20.00 ± 2.17 [b]	12.00 ± 0.70 [b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 14 จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	จำนวนฝักต่อต้น (ฝัก) (± standard error) [1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
30	15.00 ± 3.53 [a]	13.25 ± 1.10 [a]	7.25 ± 2.62 [ab]	0
45	29.00 ± 1.00 [a]	17.75 ± 4.49 [b]	10.25 ± 1.88 [b]	- (** ตาย)
60	40.50 ± 3.68 [a]	18.00 ± 4.60 [b]	11.00 ± 1.65 [b]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระยะเวลา 0 และ 15 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่มีฝักในทุกระดับเกลือ เช่นเดียวกับที่ระยะเวลา 30 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ และที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

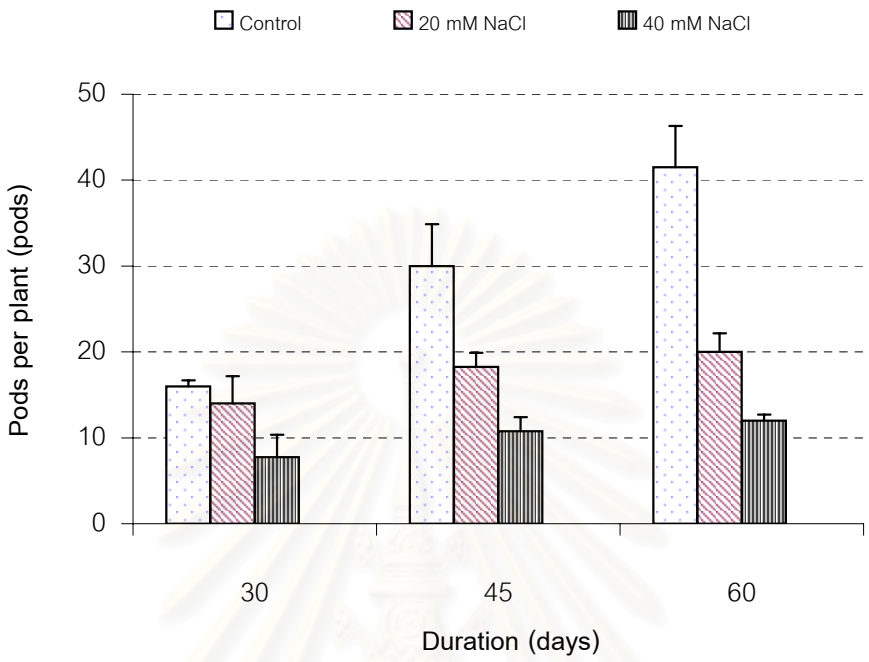
ตารางที่ 15 จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา(วัน)	จำนวนฝักต่อต้น (ฝัก) (±standard error) [1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
30	16.75 ± 0.75 [a]	12.00 ± 1.08 [b]	9.50 ± 0.86 [ab]	- (** ตาย)
45	32.00 ± 1.03 [a]	17.75 ± 2.56 [ab]	12.00 ± 1.95 [b]	- (** ตาย)
60	45.75 ± 3.27 [a]	19.50 ± 1.65 [b]	14.00 ± 0.81 [b]	- (** ตาย)

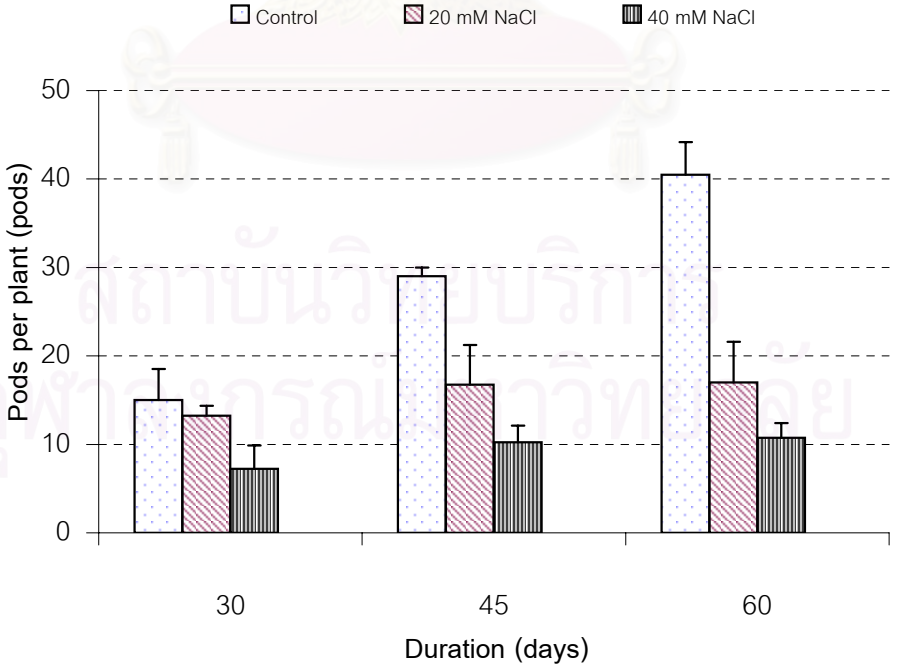
หมายเหตุ ที่ระยะเวลา 0 และ 15 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่มีฝักในทุกระดับเกลือ และที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรซนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

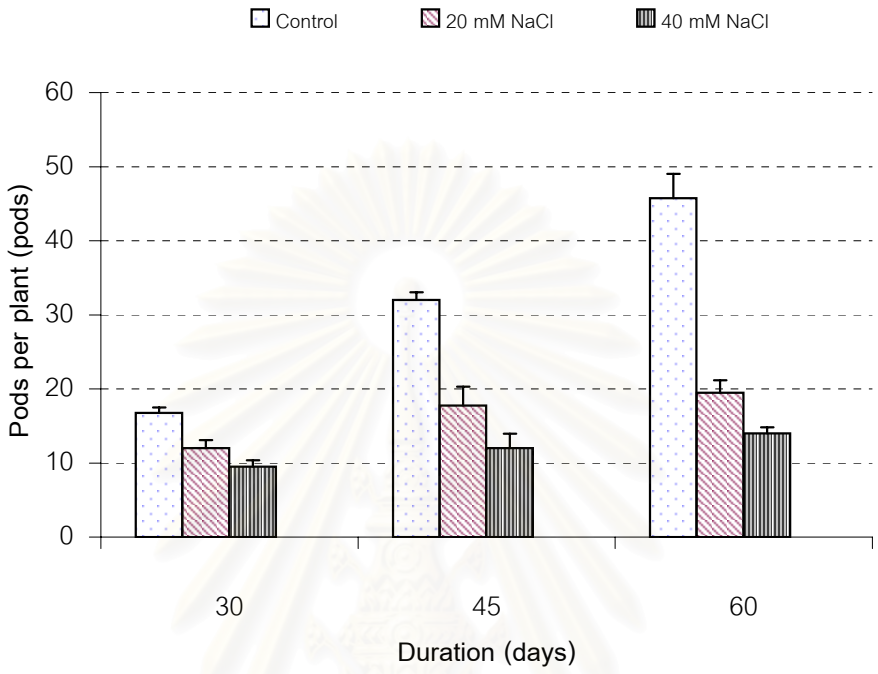
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 13 จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 14 จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 15 จำนวนฝักต่อต้น (Pods per plant, pods) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ผลของภาวะเค็มต่อจำนวนเมล็ดต่อต้น

ภาวะเค็มมีผลทำให้จำนวนเมล็ดต่อต้นของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ น้อยกว่าต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับจำนวนฝักต่อต้น ดังนี้คือเมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ซึ่งเป็นระยะสุดท้ายของการเก็บข้อมูล พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ จำนวนเมล็ดต่อต้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือน้อยลงประมาณ 51 และ 61 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (73.5 36 และ 24 เมล็ดต่อต้น) (ตารางที่ 16 รูปที่ 16) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่าจำนวนเมล็ดต่อต้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม คือจำนวนเมล็ดต่อต้นน้อยลงประมาณ 59 และ 77 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (84.25 35 และ 19.25 เมล็ดต่อต้น) (ตารางที่ 17 รูปที่ 17) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีแนวโน้มจำนวนเมล็ดต่อต้นน้อยลงเช่นเดียวกัน ตั้งแต่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วันที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้จำนวนเมล็ดต่อต้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 47 และ 66 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (87.25 46.25 และ 29.5 เมล็ดต่อต้น) (ตารางที่ 18 รูปที่ 18)

2.3 ผลของภาวะเค็มต่อน้ำหนักแห้งฝักต่อต้น

เมื่อต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็ม มีผลทำให้น้ำหนักแห้งฝักต่อต้นน้อยกว่าต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็มอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับ จำนวนฝักต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้น โดยน้ำหนักแห้งฝักน้อยลงตั้งแต่ถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน และน้อยลงมากตามระดับเกลือที่สูงขึ้น โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งเมล็ดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 52 และ 75 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (6.15 2.98 และ 1.52 กรัม) (ตารางที่ 19 รูปที่ 19) สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ สท.2 มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน โดยถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 น้ำหนักแห้งเมล็ดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 52 และ 75 เปอร์เซ็นต์ (5.48 2.63 และ 1.34 กรัม) (ตารางที่ 20 รูปที่ 20) และถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 น้ำหนักแห้งเมล็ดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ คือน้อยลงประมาณ 51 และ 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (7.19 3.5 และ 1.82 กรัม) (ตารางที่ 21 รูปที่ 21)

ตารางที่ 16 จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	จำนวนเมล็ดต่อต้น(เมล็ด) (± standard error) [1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
30	25.00 ± 1.00 [a]	22.25 ± 5.10 [a]	14.00 ± 4.54 [a]	0
45	57.25 ± 9.75 [a]	30.00 ± 2.67 [b]	18.00 ± 2.71 [b]	- (** ตาย)
60	73.50 ± 8.85 [a]	36.00 ± 5.69 [b]	24.00 ± 1.88 [b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 17 จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	จำนวนเมล็ดต่อต้น(เมล็ด) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
30	30.50 ± 7.58 [a]	24.00 ± 1.95 [a]	13.75 ± 4.97 [a]	0
45	47.25 ± 8.22 [a]	37.75 ± 8.95 [ab]	15.00 ± 3.53 [b]	- (** ตาย)
60	84.25 ± 7.99 [a]	35.00 ± 8.58 [b]	19.25 ± 3.19 [b]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระยะเวลา 0 และ 15 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่มีฝักในทุกระดับเกลือ เช่นเดียวกับที่ระยะเวลา 30 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ และที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

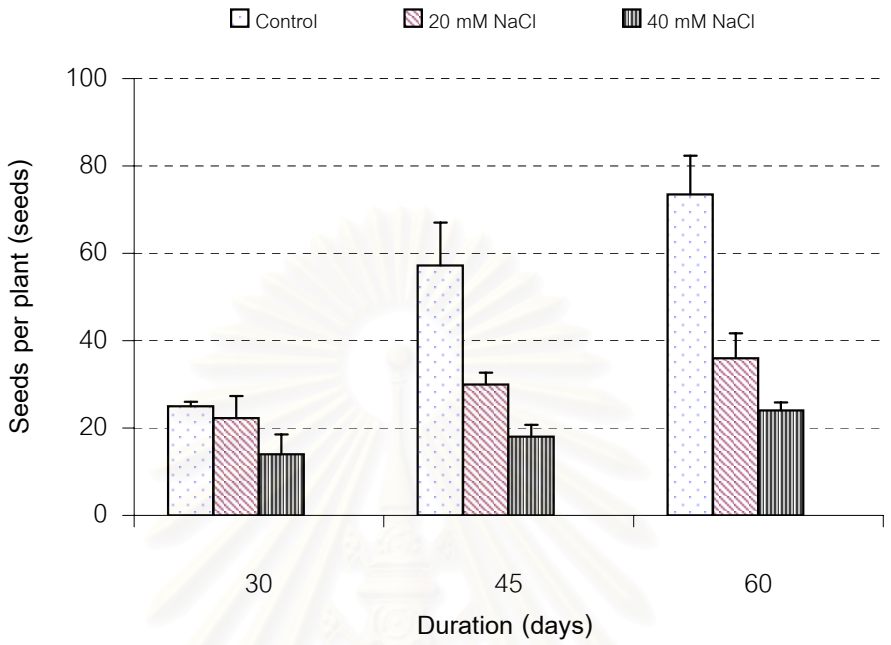
ตารางที่ 18 จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	จำนวนเมล็ดต่อต้น(เมล็ด) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
30	37.00 ± 1.29 [a]	26.50 ± 3.17 [b]	24.50 ± 3.30 [b]	- (** ตาย)
45	57.75 ± 4.13 [a]	39.00 ± 4.41 [b]	28.00 ± 3.89 [b]	- (** ตาย)
60	87.25 ± 11.07 [a]	46.25 ± 3.68 [b]	29.50 ± 2.90 [b]	- (** ตาย)

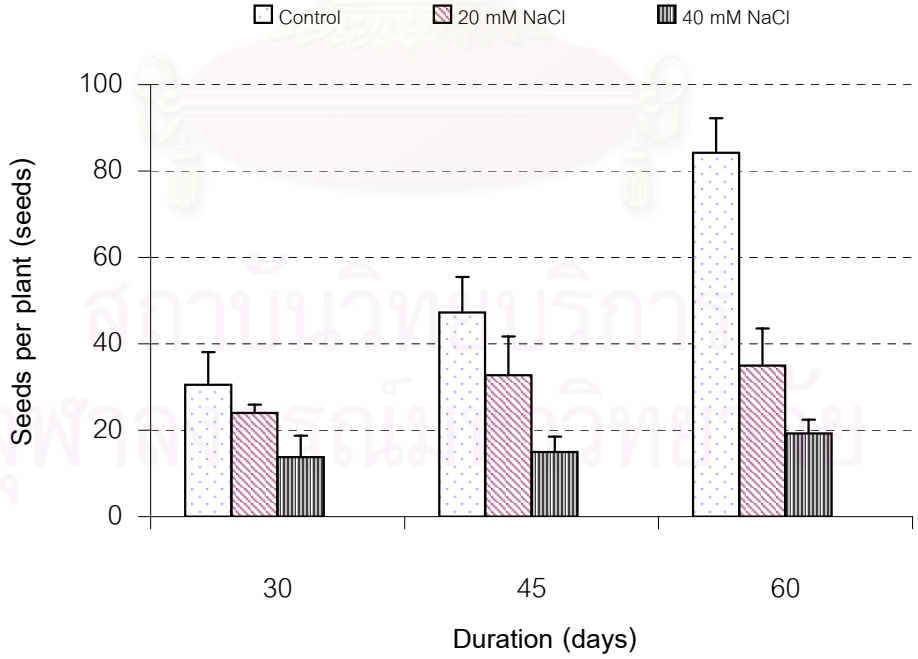
หมายเหตุ ที่ระยะเวลา 0 และ 15 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่มีฝักในทุกระดับเกลือ และที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วันต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

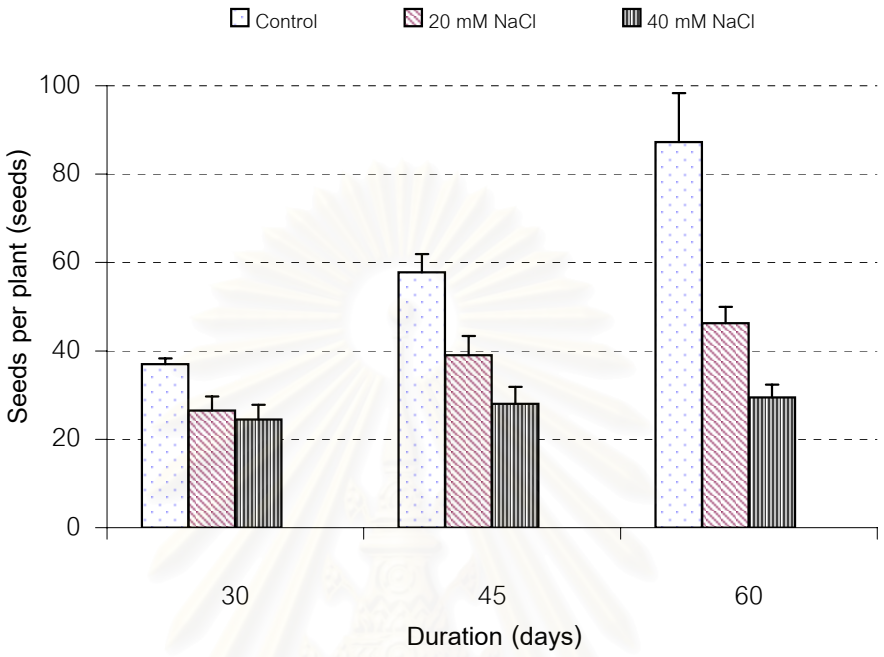
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 16 จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 17 จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 18 จำนวนเมล็ดต่อต้น (Seeds per plant, seeds) ของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19 น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งฝักต่อต้น(กรัม) (± standard error)[1]			
	control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
30	0.65 ± 0.12 [ab]	0.68 ± 0.28 [a]	0.31 ± 0.14 [ab]	0
45	3.03 ± 0.88 [a]	1.99 ± 0.15 [ab]	1.05 ± 0.15 [b]	- (** ตาย)
60	6.15 ± 0.84 [a]	2.98 ± 0.47 [b]	1.52 ± 0.26 [b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 20 น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งฝักต่อต้น(กรัม) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
30	0.75 ± 0.24 [a]	0.63 ± 0.14 [a]	0.38 ± 0.16 [a]	0
45	3.94 ± 0.34 [a]	1.95 ± 0.41 [b]	0.98 ± 0.30 [b]	- (** ตาย)
60	5.48 ± 0.46 [a]	2.63 ± 0.39 [b]	1.34 ± 0.17 [b]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระยะเวลา 0 และ 15 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่มีฝักในทุกระดับเกลือ เช่นเดียวกับที่ระยะเวลา 30 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ และที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วันต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

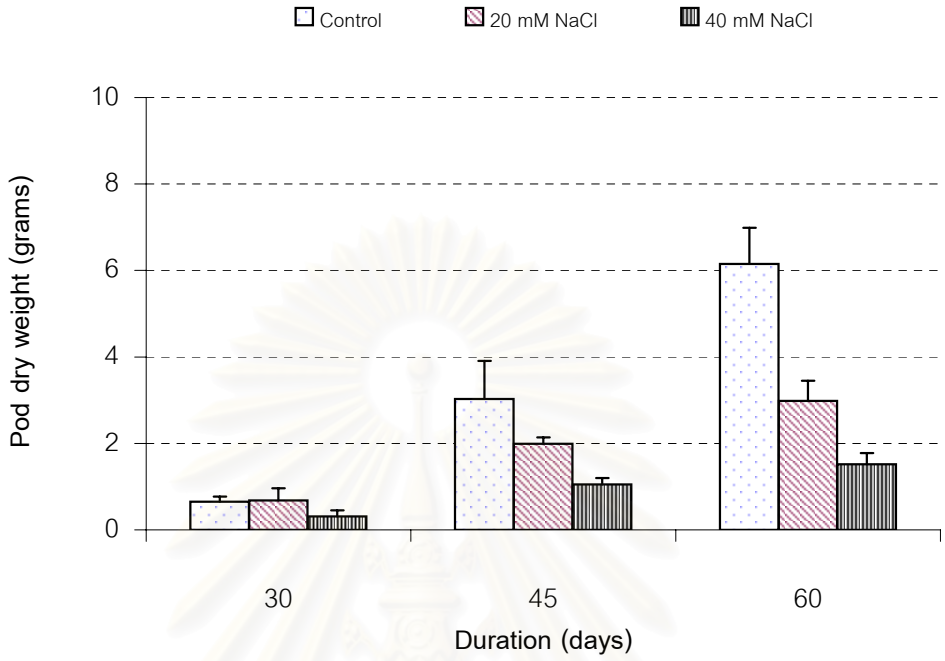
ตารางที่ 21 น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งฝักต่อต้น(กรัม) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
30	1.39 ± 0.19 [a]	1.40 ± 0.30 [a]	1.19 ± 0.36 [a]	- (** ตาย)
45	3.94 ± 0.70 [a]	2.51 ± 0.41 [ab]	1.74 ± 0.17 [b]	- (** ตาย)
60	7.19 ± 1.42 [a]	3.50 ± 0.82 [ab]	1.82 ± 0.27 [b]	- (** ตาย)

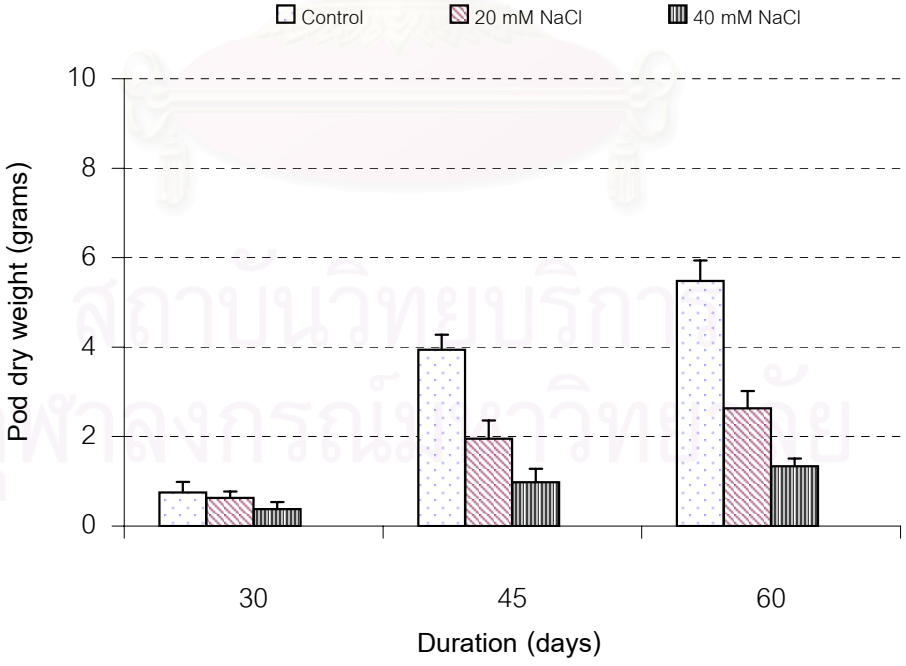
หมายเหตุ ที่ระยะเวลา 0 และ 15 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่มีฝักในทุกระดับเกลือ และที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วันต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

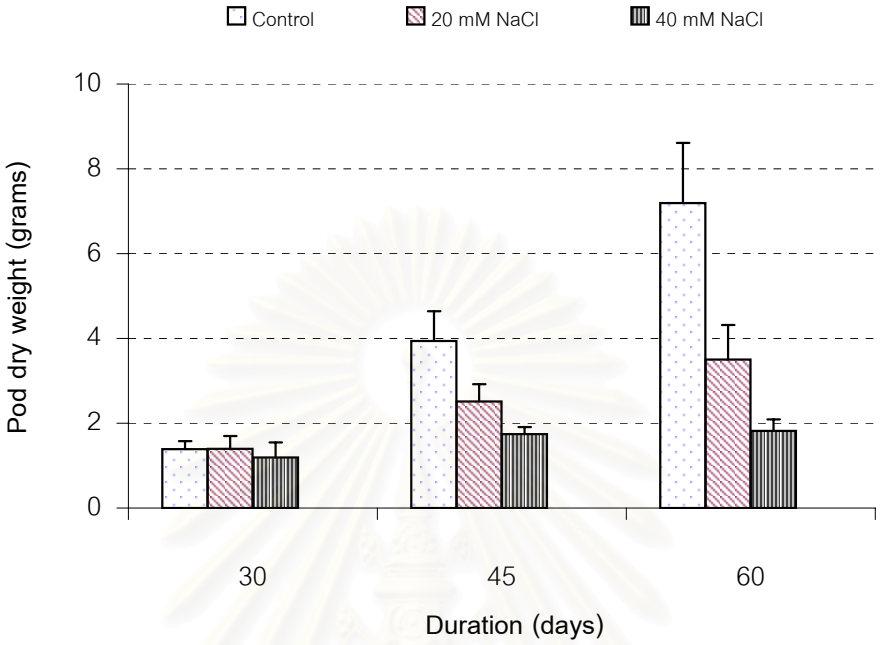
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 19 น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 20 น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 21 น้ำหนักแห้งฝัก (Pod dry weight, grams) ต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรลีน

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรลีนโดยแยกศึกษา ในใบบริเวณยอด ใบล่าง และ ราก ที่ระดับเกลือ และระยะเวลาได้รับภาวะเค็มแตกต่างกัน มีผลดังนี้คือ

3.1 ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรลีนในใบบริเวณยอด

จากการศึกษาพบว่า เมื่อต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์คือ สจ.5 ชม.60 และ สท.2 ได้รับภาวะเค็มมีผลทำให้ใบบริเวณยอดมีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้น โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองที่ได้รับระดับเกลือสูงขึ้นก็จะมีการสะสมโพรลีนเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับระยะเวลาที่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็ม การสะสมโพรลีนในใบบริเวณยอดในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 พบว่ามีแนวโน้มการสะสมใกล้เคียงกัน ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีแนวโน้มการสะสมโพรลีนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่ามีการสะสมโพรลีนในใบบริเวณยอด โดยที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมโพรลีนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7 1.8 และ 2.4 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (57.26 99.62 103.44 และ 139.80 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 22 รูปที่ 22) เมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และที่ระยะเวลา 60 วันที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่าต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโพรลีนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทุกระดับเกลือ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 2 และ 2.6 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (56.49 111.09 และ 147.87 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็มมีแนวโน้มการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 โดยมีการสะสมโพรลีนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้น เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับระดับเกลือสูงขึ้น และมีปริมาณการสะสมโพรลีนใกล้เคียงกัน โดยถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน คือที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้การสะสมโพรลีนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นประมาณ 1.3 2.0 และ 2.5 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (67.89 90.53 136.78 และ 169.97 ไมโครกรัมต่อกรัม

น้ำหนักสด) (ตารางที่ 23 รูปที่ 23) โดยแตกต่างทางสถิติที่ระดับเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่ามีการสะสมโพรลีนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.6 และ 2.7 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (62.81 99.77 และ 168.95 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็มมีแนวโน้มการสะสมโพรลีนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 แต่มีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นมากกว่า โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (69.06 และ 138.83 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) และเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 2.7 และ 2.9 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (60.68 164.52 และ 175.27 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 24 รูปที่ 24)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 22 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
15	57.26 ± 7.40 [a]	99.62 ± 15.12 [b]	103.44 ± 4.45 [b]	139.80 ±13.45 [c]
30	68.73 ± 3.05 [a]	96.10 ± 16.30 [b]	138.87 ± 3.97 [c]	142.21 ± 3.85 [c]
45	73.32 ± 7.97 [a]	100.49 ± 11.07 [a]	145.33 ± 6.30 [b]	- (** ตาย)
60	56.49 ± 8.82 [a]	111.09 ± 7.50 [b]	147.87 ± 7.22 [c]	- (** ตาย)

ตารางที่ 23 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
15	67.54 ± 12.69 [a]	83.17 ± 5.48 [a]	87.95 ± 4.09 [a]	124.23 ± 3.57 [b]
30	67.89 ± 4.21[a]	90.55 ± 2.75 [a]	136.78 ± 3.60 [b]	169.97 ± 20.29 [c]
45	53.57 ± 2.95 [a]	104.96 ± 18.30 [ab]	145.73 ± 22.07 [b]	- (** ตาย)
60	62.81 ± 4.15 [a]	99.77 ± 5.35 [b]	168.95 ± 5.80 [c]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

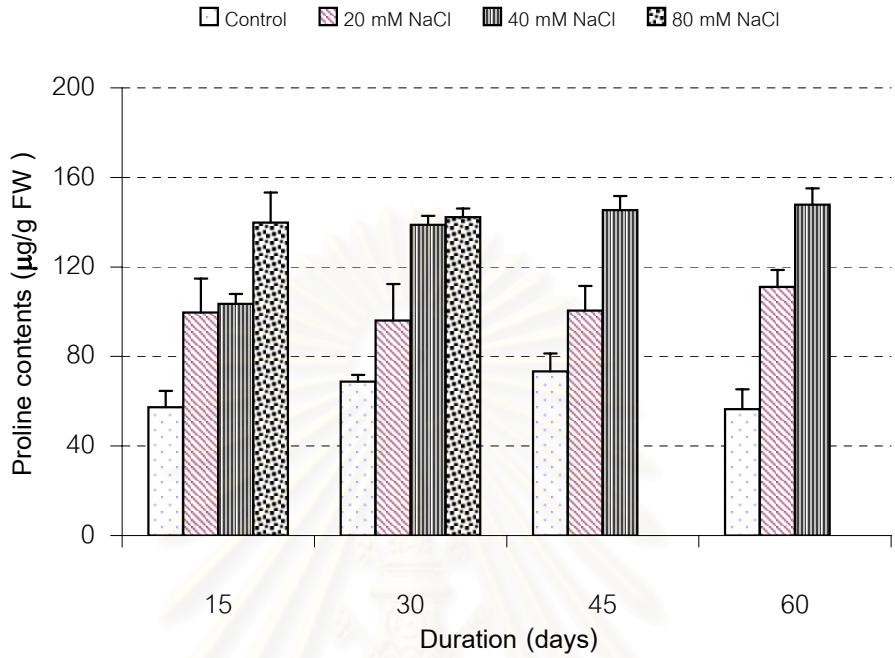
ตารางที่ 24 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
15	69.06 ± 7.80 [a]	81.35 ± 8.70 [a]	91.01 ± 9.27 [a]	138.83 ± 19.60 [b]
30	63.99 ± 2.90 [a]	103.43 ± 11.40 [b]	135.97 ± 17.7 [b]	- (** ตาย)
45	74.28 ± 5.75 [a]	110.98 ± 14.90 [a]	158.48 ± 12.10 [b]	- (** ตาย)
60	60.68 ± 7.22 [a]	164.52 ± 21.12 [b]	175.27 ± 23.75 [b]	- (** ตาย)

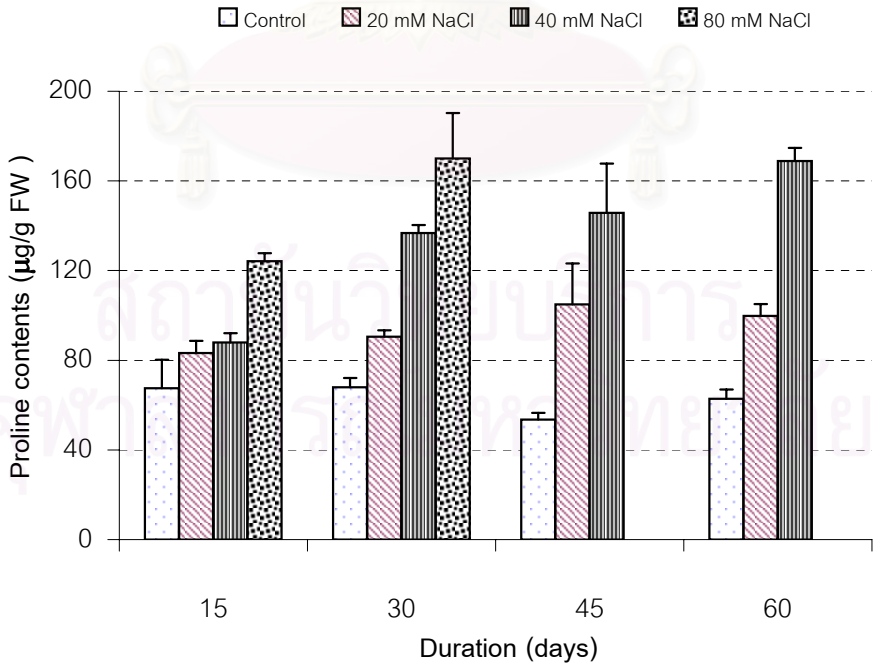
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

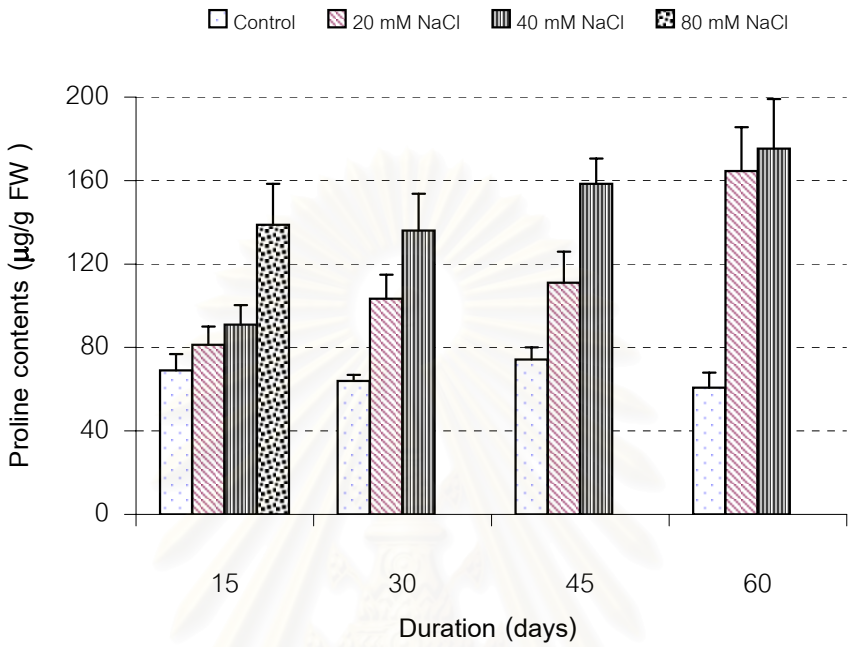
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 22 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, µ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 23 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, µ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 24 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, µ g/g FW) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพนลีนในใบล่าง

จากการทดลองพบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้ถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ มีการสะสมโพรลีนในใบล่างเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม โดยมีการสะสมโพรลีนในใบล่างมากกว่าใบบริเวณยอด และมีการสะสมเพิ่มมากขึ้นเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับระดับเกลือสูงขึ้นและตามระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็ม สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีแนวโน้มการสะสมโพรลีนในใบล่างน้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีแนวโน้มการสะสมโพรลีนในใบล่างมากกว่าทั้งสองพันธุ์

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีการสะสมโพรลีนในใบล่างอย่างชัดเจนที่ระยะเวลา 30 วัน ที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7 1.9 และ 3 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (60.39 102.18 115.12 และ 181.29 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 25 รูปที่ 25) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโพรลีนในใบล่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.9 และ 2.2 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (69.32 133.74 และ 153.84 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีแนวโน้มการสะสมโพรลีนในใบล่างมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 โดยที่ระยะเวลา 30 วัน คือที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมโพรลีนในใบล่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้น 1.8 2.01 และ 2.4 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (89.12 137.88 151.53 และ 179.42 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 26 รูปที่ 26) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโพรลีนในใบล่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน คือเพิ่มขึ้นประมาณ 2.01 และ 2.4 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (76.15 151.71 และ 180.87 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีแนวโน้มการสะสมโพรลีนในใบล่างมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 โดยมีการสะสมโพรลีนในใบล่างเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ (ที่ระดับเกลือ 80

มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้) มีการสะสมโพรลีนในใบล่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.9 และ 2.01 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (81.69 153.58 และ 196.66 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 27 รูปที่ 27) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโพรลีนในใบล่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 3.5 และ 3.6 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (63.72 220.28 และ 227.95 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 25 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	34.91 ± 2.17 [a]	37.96 ± 2.07 [a]	39.03 ± 3.57 [a]	35.20 ± 1.55 [a]
15	77.41 ± 7.90 [a]	101.81 ± 1.37 [a]	102.97 ± 2.32 [a]	175.66 ± 17.92 [b]
30	60.39 ± 6.67 [a]	102.18 ± 3.55 [b]	115.12 ± 7.20 [b]	181.29 ± 12.40 [c]
45	90.22 ± 18.00 [a]	105.84 ± 5.72 [b]	141.97 ± 7.60 [b]	- (** ตาย)
60	69.32 ± 14.75 [a]	133.74 ± 6.65 [b]	153.84 ± 4.35 [b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 26 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	30.28 ± 3.57 [a]	30.50 ± 1.55[a]	30.10 ± 2.17 [a]	30.26 ± 2.07 [a]
15	75.54 ± 16.20 [a]	119.75 ± 23.70 [b]	123.61 ± 5.57 [b]	129.14 ± 10.50 [b]
30	89.12 ± 19.80 [a]	137.88 ± 13.70 [b]	151.53 ± 11.72 [b]	179.42 ± 18.67 [b]
45	61.69 ± 15.57 [a]	145.69 ± 9.75 [b]	154.14 ± 10.22 [b]	- (** ตาย)
60	76.15 ± 6.17 [a]	151.71 ± 3.27 [b]	180.87 ± 15.30 [b]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

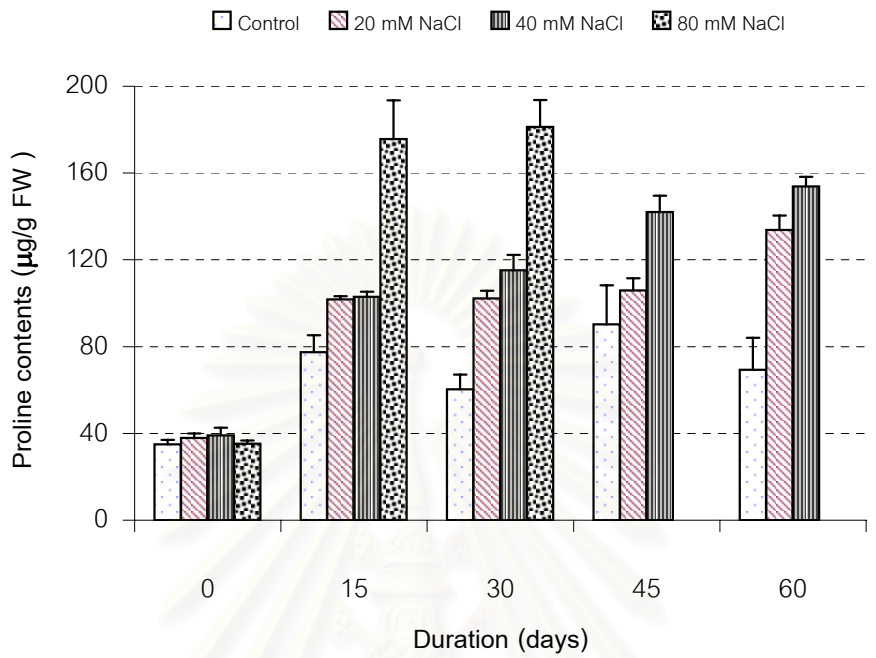
ตารางที่ 27 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	22.90 ± 6.25 [a]	26.97 ± 2.97 [a]	19.72 ± 2.57 [a]	27.45 ± 1.55 [a]
15	82.87 ± 10.77 [a]	98.53 ± 7.60 [a]	110.34 ± 10.62 [a]	191.44 ± 11.35 [b]
30	76.13 ± 3.82 [a]	142.55 ± 6.02 [b]	152.57 ± 1.62 [b]	- (** ตาย)
45	81.69 ± 3.92 [a]	153.58 ± 12.90 [b]	196.66 ± 12.22 [c]	- (** ตาย)
60	63.72 ± 3.85 [a]	220.28 ± 28.10 [b]	227.95 ± 9.90 [b]	- (** ตาย)

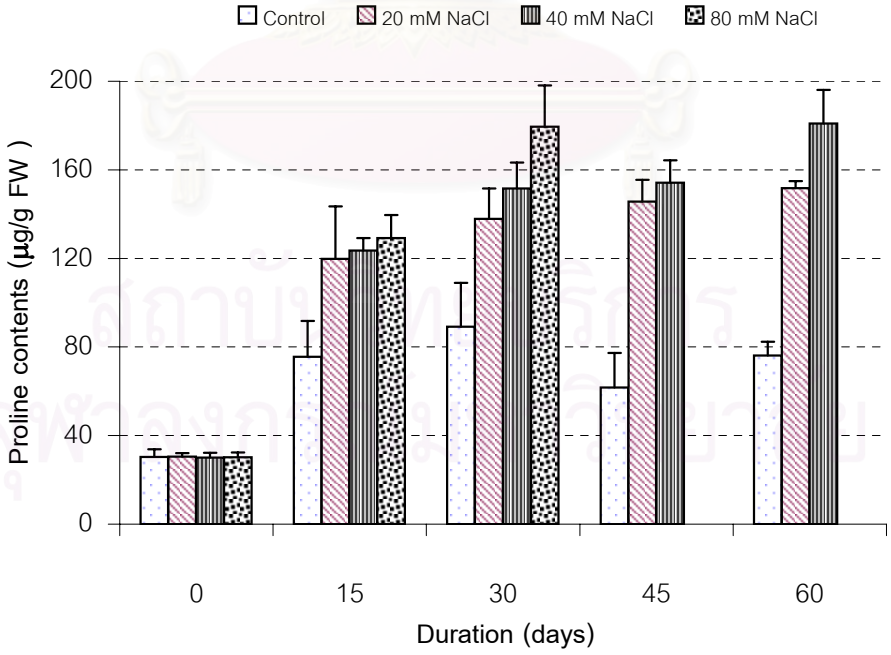
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

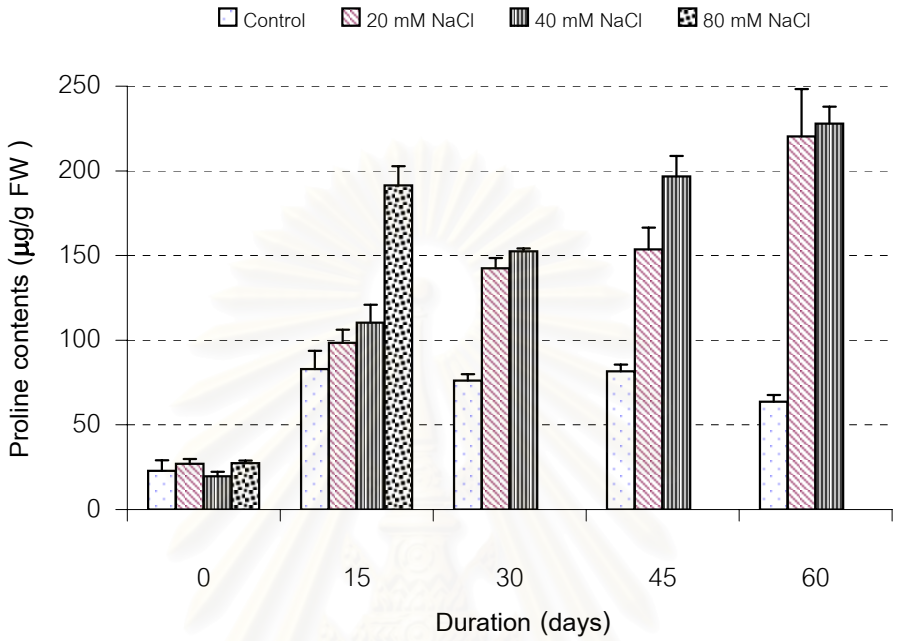
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 25 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, µ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 26 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, µ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 27 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, µ g/g FW) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรลีนในราก

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ ได้รับภาวะเค็มพบว่ามีการสะสมโพรลีนในรากน้อยกว่าใบบริเวณยอด และใบล่าง การสะสมโพรลีนในราก พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีแนวโน้มการสะสมโพรลีนใกล้เคียงกัน คือมีการสะสมโพรลีนในรากเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยไม่แตกต่างทางสถิติกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มในทุกระดับเกลือ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 พบว่ามีแนวโน้มการสะสมโพรลีนในรากมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 โดยเมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 ถึง 60 วัน มีการสะสมโพรลีนในรากเพิ่มขึ้นและแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 และ 45 วัน พบว่ามีการสะสมโพรลีนในรากเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมโพรลีนเพิ่มเพียงเล็กน้อยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (25.77 30.14 และ 31.06 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 28 รูปที่ 28) การสะสมโพรลีนในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 (ตารางที่ 29 รูปที่ 29) พบว่าก็เป็นไปในทำนองเดียวกันกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็ม พบว่ามีการสะสมโพรลีนในรากเพิ่มขึ้นตั้งแต่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน และมีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน จนถึงระยะเวลา 60 วัน โดยที่ระยะเวลา 30 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ (ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้) มีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.4 และ 1.6 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (26.73 36.10 และ 43.17 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (ตารางที่ 30 รูปที่ 30) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโพรลีนในรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7 และ 2.1 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (25.19 42.29 และ 52.84 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ซึ่งมีการสะสมโพรลีนในรากเพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ พันธุ์ ชม.60

ตารางที่ 28 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	21.40 ± 2.87 [a]	18.75 ± 2.70 [a]	21.43 ± 3.10 [a]	17.36 ± 5.12 [b]
15	21.83 ± 3.97 [a]	14.13 ± 4.52 [a]	14.91 ± 0.95 [a]	19.08 ± 1.15 [a]
30	30.78 ± 3.10 [a]	34.06 ± 1.90 [a]	32.78 ± 2.30 [a]	35.86 ± 2.05 [a]
45	29.61 ± 2.60 [a]	29.99 ± 3.20 [a]	32.68 ± 1.20 [a]	- (** ตาย)
60	25.77 ± 1.75 [a]	30.14 ± 2.95 [a]	31.06 ± 3.12 [a]	- (** ตาย)

ตารางที่ 29 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	21.14 ± 5.02 [a]	22.19 ± 2.50 [a]	19.56 ± 2.87 [a]	18.66 ± 2.60 [a]
15	29.92 ± 4.15 [a]	29.76 ± 3.17 [a]	26.81 ± 1.42 [a]	28.36 ± 0.80 [a]
30	21.09 ± 1.27 [a]	25.72 ± 1.37 [a]	22.16 ± 4.12 [a]	25.73 ± 2.07 [a]
45	31.63 ± 1.17[a]	31.98 ± 3.30 [a]	33.72 ± 2.75 [a]	- (** ตาย)
60	34.31 ± 1.15[a]	33.95 ± 2.87[a]	37.15 ± 1.22[a]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

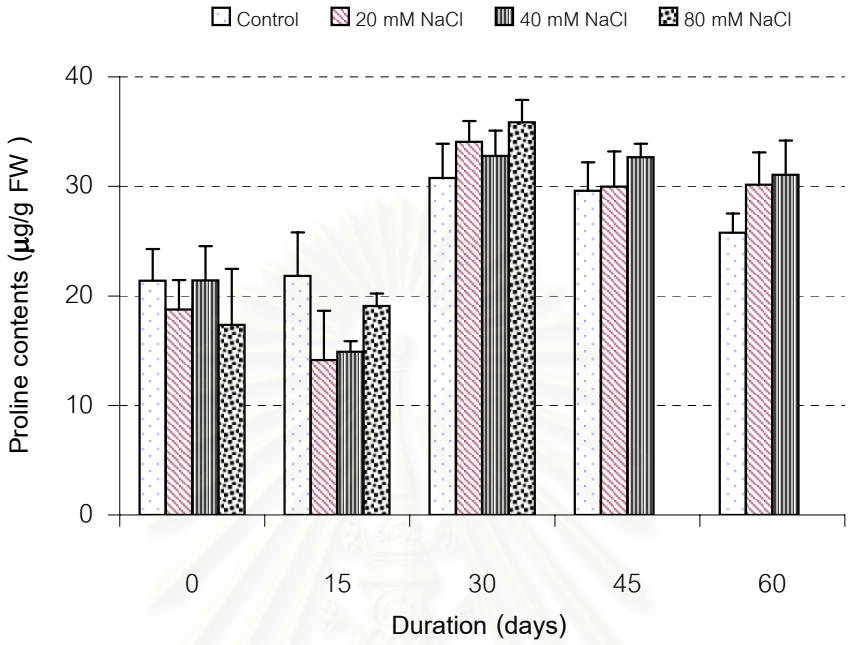
ตารางที่ 30 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, μ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	19.13 ± 4.10 [a]	13.52 ± 1.33 [a]	15.12 ± 2.16 [a]	14.75 ± 1.89 [a]
15	22.28 ± 2.49 [a]	24.33 ± 4.85 [a]	26.85 ± 3.16 [a]	29.67 ± 1.36 [a]
30	26.73 ± 2.72 [a]	36.10 ± 1.38 [b]	43.17 ± 2.02 [c]	- (** ตาย)
45	25.25 ± 5.00 [a]	38.44 ± 5.88 [ab]	49.81 ± 5.29 [b]	- (** ตาย)
60	25.19 ± 3.90 [a]	42.29 ± 5.56[b]	52.84 ± 3.17 [b]	- (** ตาย)

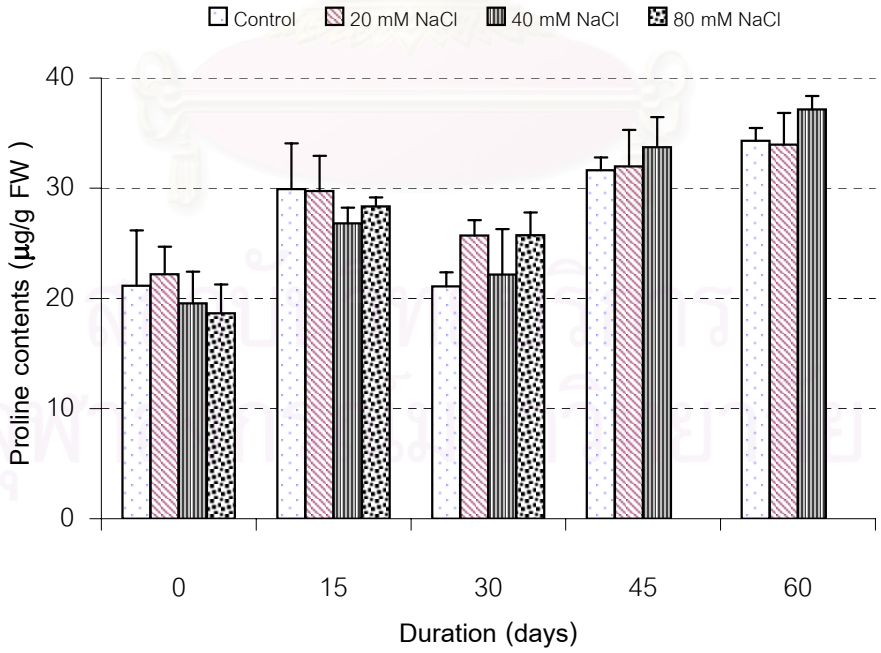
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

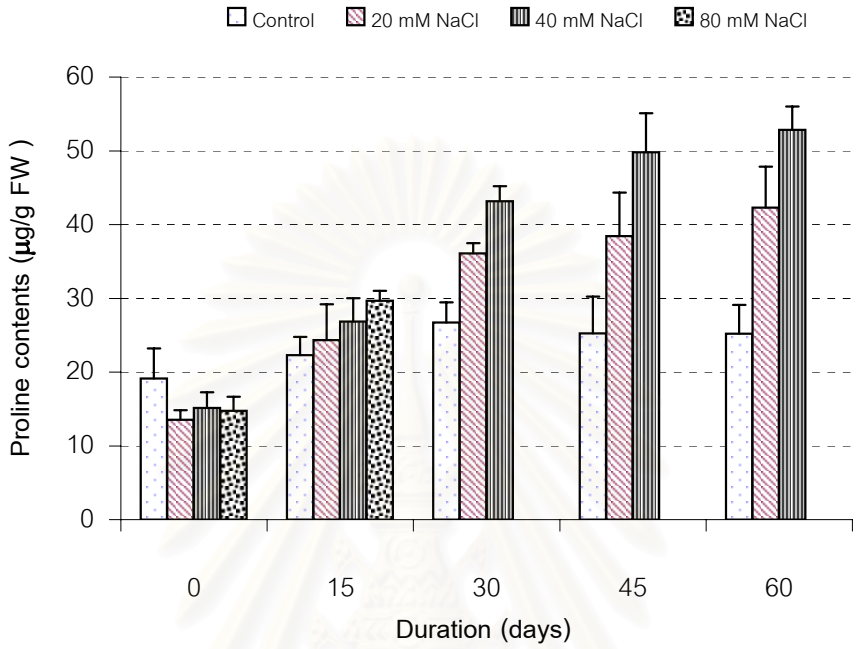
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 28 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, µ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 29 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, µ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 30 ปริมาณโพรลีน (Proline contents, µ g/g FW) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณโซเดียมไอออน

4.1 ปริมาณโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอด

เมื่อให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลาย พบว่าถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีการสะสมโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอดเพิ่มมากขึ้น ตั้งแต่ถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มใน 15 วันแรก ถึง 60 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอดมากกว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มมีการสะสมโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มนานขึ้น และในระดับเกลือที่สูงขึ้น โดยมีแนวโน้มการสะสมตั้งแต่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน มีการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 2.3 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม สำหรับที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.08 0.10 0.13 และ 0.18 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 31 รูปที่ 31) เมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นประมาณ 1.6 และ 2.2 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม ซึ่งเฉพาะที่ระดับเกลือเท่านั้นที่ใบบริเวณยอดมีปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญแตกต่างจากต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.09 0.14 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอดคล้ายกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และมีการสะสมปริมาณโซเดียมไอออนใกล้เคียงกัน กล่าวคือมีแนวโน้มการสะสมตั้งแต่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็ม 15 วัน โดยมีปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.8 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม สำหรับที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.09 0.09 0.12 และ 0.16 เปอร์เซ็นต์

ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 32 รูปที่ 32) เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นประมาณ 1.6 และ 2.4 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่รับภาวะเค็ม (0.08 0.13 และ 0.19 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) โดยปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งสองระดับเกลือ และปริมาณโซเดียมไอออนใกล้เคียงกับ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ระดับเกลือและระยะเวลาเดียวกัน (0.09 0.14 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ของ น้ำหนักแห้ง)

ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอด เช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และพันธุ์ ชม.60 คือมีการสะสมโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มนานขึ้นและระดับเกลือที่สูงขึ้น แต่พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอดมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และพันธุ์ ชม.60 โดยมีแนวโน้มการสะสมตั้งแต่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน และมีปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.8 และ 4.5 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.13 0.24 และ 0.59 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้น 3.7 และ 4.4 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.10 0.37 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 33 รูปที่ 33) โดยปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งสองระดับเกลือ และมีปริมาณโซเดียมไอออนมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และพันธุ์ ชม.60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
15	0.08 ± 0.002 [a]	0.10 ± 0.002 [a]	0.13 ± 0.01 [ab]	0.18 ± 0.08 [b]
30	0.10 ± 0.009 [a]	0.12 ± 0.01 [a]	0.18 ± 0.04 [ab]	0.26 ± 0.05 [b]
45	0.09 ± 0.007 [a]	0.12 ± 0.006 [ab]	0.18 ± 0.03 [b]	- (** ตาย)
60	0.09 ± 0.01 [a]	0.14 ± 0.01 [ab]	0.20 ± 0.02 [b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 32 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
15	0.09 ± 0.002 [a]	0.09 ± 0.01 [a]	0.12 ± 0.01 [ab]	0.16 ± 0.02 [b]
30	0.10 ± 0.005 [a]	0.08 ± 0.006 [a]	0.14 ± 0.02 [a]	0.43 ± 0.10 [b]
45	0.08 ± 0.01 [a]	0.12 ± 0.02 [ab]	0.16 ± 0.03 [b]	- (** ตาย)
60	0.08 ± 0.01 [a]	0.13 ± 0.009 [b]	0.19 ± 0.01 [c]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

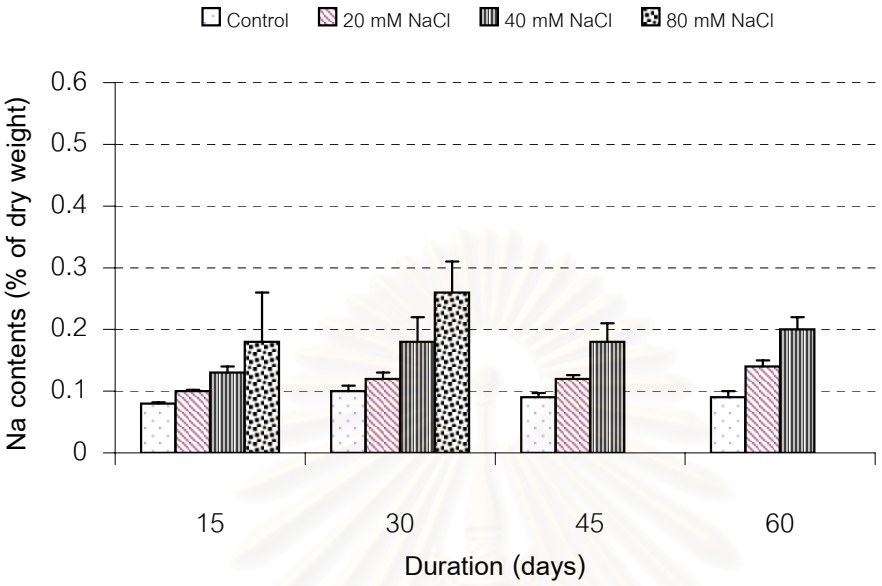
ตารางที่ 33 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard eror)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
15	0.13 ± 0.02 [a]	0.14 ± 0.008 [a]	0.24 ± 0.008 [b]	0.59 ± 0.02 [c]
30	0.11 ± 0.006 [a]	0.15 ± 0.02 [a]	0.24 ± 0.02 [b]	- (** ตาย)
45	0.10 ± 0.006 [a]	0.19 ± 0.02 [b]	0.35 ± 0.02 [c]	- (** ตาย)
60	0.10 ± 0.009 [a]	0.37 ± 0.07 [b]	0.44 ± 0.11 [b]	- (** ตาย)

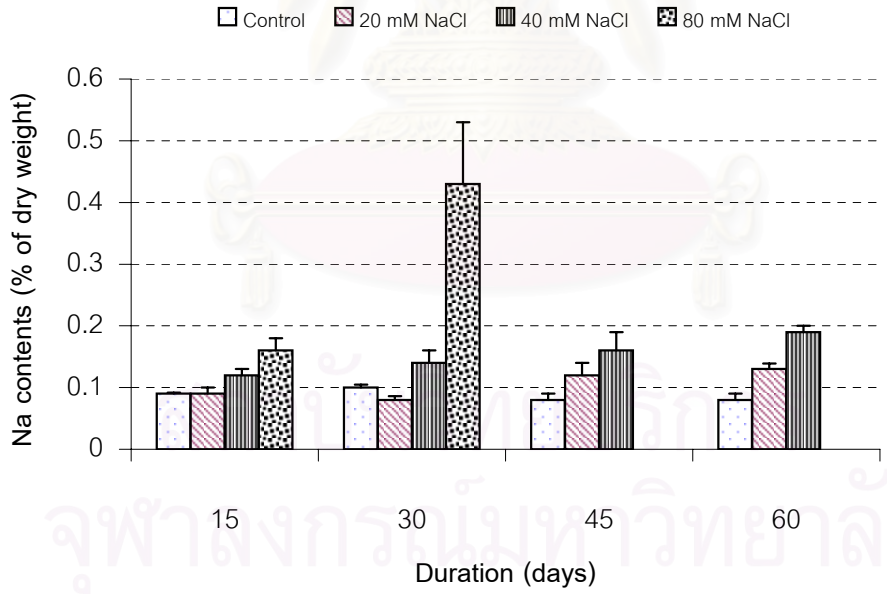
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

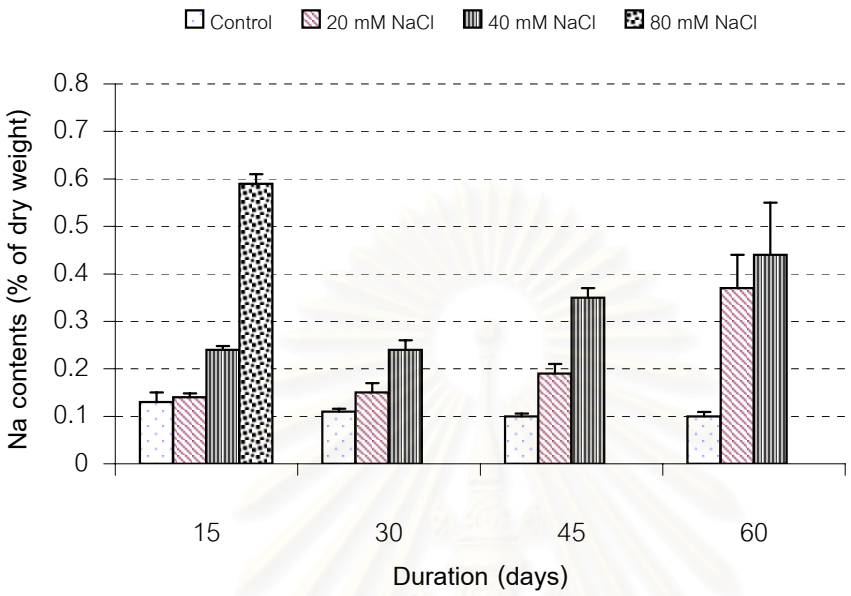
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 31 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลือ
พันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 32 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลือ
พันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 33 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง

4.2 ปริมาณโซเดียมไอออนในใบล่าง

เมื่อให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลาย พบว่าถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีการสะสมโซเดียมไอออนในใบล่างเพิ่มมากขึ้น ตั้งแต่ถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มใน 15 วันแรก ถึง 60 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยมีการสะสมโซเดียมไอออนในใบล่างมากกว่าใบบริเวณยอดทั้งสามพันธุ์

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มมีการสะสมโซเดียมไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มนานขึ้นและระดับเกลือที่สูงขึ้น โดยมีแนวโน้มการสะสมตั้งแต่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน คือที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 1.7 และ 3.4 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.10 0.15 0.17 และ 0.34 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 34 รูปที่ 34) โดยปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะต้นถั่วเหลืองที่ได้รับระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7 และ 2.4 เท่า ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.09 0.15 และ 0.22 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) โดยปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะที่ระดับเกลือ 40 มิลลิโมลาร์เท่านั้น

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มมีการสะสมโซเดียมไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มนานขึ้นและระดับเกลือที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นประมาณ 1.6 2.3 และ 3.9 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.08 0.13 0.18 และ 0.31 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 35 รูปที่ 35) โดยปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองต้นถั่วเหลืองที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมโซเดียมไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 2.4 และ 3.9 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.09 0.22 และ 0.35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) และมีการสะสมโซเดียมไอออนที่ใบล่างมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5

ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มมีการสะสมโซเดียมไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มนานขึ้น และพบว่ามีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนในใบล่างมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และพันธุ์ ชม.60 โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโซเดียมไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นประมาณ 1.9 2.9 และ 8.7 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.11 0.21 0.32 และ 0.87 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 36 รูปที่ 36) โดยปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ และเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีการสะสมโซเดียมไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งสองระดับเกลือคือที่ระดับ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 2.2 และ 3.5 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.11 0.24 และ0.39 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 และ 4.2 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.11 0.27 และ 0.46 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) โดยปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับเกลือ 40 มิลลิโมลาร์ การสะสมโซเดียมไอออนในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 34 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.07 ± 0.01 [a]	0.09 ± 0.007 [a]	0.09 ± 0.01 [a]	0.10 ± 0.008 [a]
15	0.10 ± 0.01 [a]	0.15 ± 0.03 [a]	0.17 ± 0.03 [a]	0.34 ± 0.2 [b]
30	0.10 ± 0.04 [a]	0.13 ± 0.03 [ab]	0.18 ± 0.02 [b]	0.43 ± 0.03 [c]
45	0.10 ± 0.003 [a]	0.13 ± 0.02 [a]	0.20 ± 0.009 [b]	- (** ตาย)
60	0.09 ± 0.01 [a]	0.15 ± 0.005 [a]	0.22 ± 0.03 [b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 35 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.11 ± 0.01 [a]	0.11 ± 0.009 [a]	0.10 ± 0.01 [a]	0.11 ± 0.02 [a]
15	0.08 ± 0.009 [a]	0.13 ± 0.03 [ab]	0.18 ± 0.02 [b]	0.31 ± 0.02 [c]
30	0.10 ± 0.005 [a]	0.18 ± 0.02 [ab]	0.19 ± 0.03 [b]	0.33 ± 0.01 [c]
45	0.11 ± 0.01 [a]	0.20 ± 0.008 [ab]	0.26 ± 0.05 [b]	- (** ตาย)
60	0.09 ± 0.01 [a]	0.22 ± 0.009 [b]	0.35 ± 0.06 [c]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

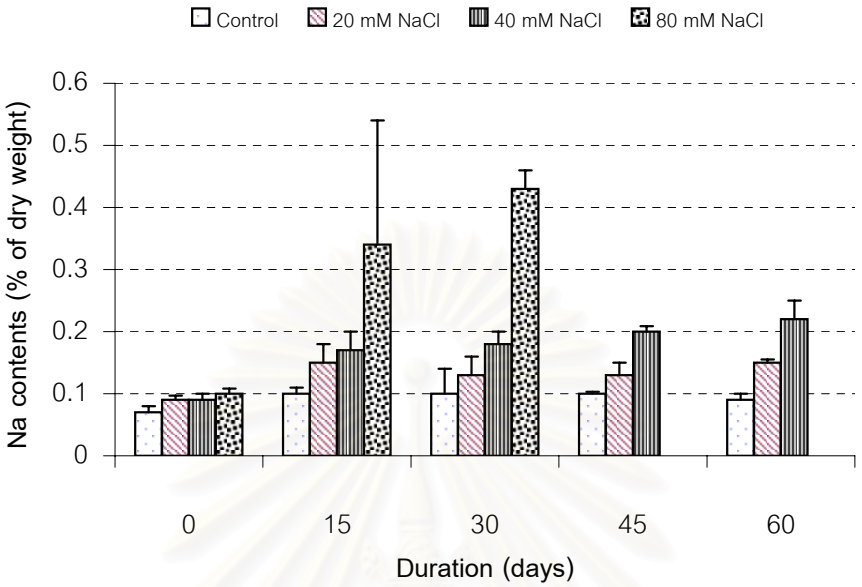
ตารางที่ 36 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.10 ± 0.08 [a]	0.11 ± 0.04 [a]	0.10 ± 0.01 [a]	0.11 ± 0.08 [a]
15	0.11 ± 0.01 [a]	0.21 ± 0.005 [a]	0.32 ± 0.04 [a]	0.87 ± 0.22 [b]
30	0.11 ± 0.009 [a]	0.24 ± 0.02 [b]	0.39 ± 0.05 [c]	- (** ตาย)
45	0.15 ± 0.03 [a]	0.25 ± 0.04 [a]	0.59 ± 0.03 [b]	- (** ตาย)
60	0.11 ± 0.01 [a]	0.27 ± 0.03 [a]	0.46 ± 0.09 [b]	- (** ตาย)

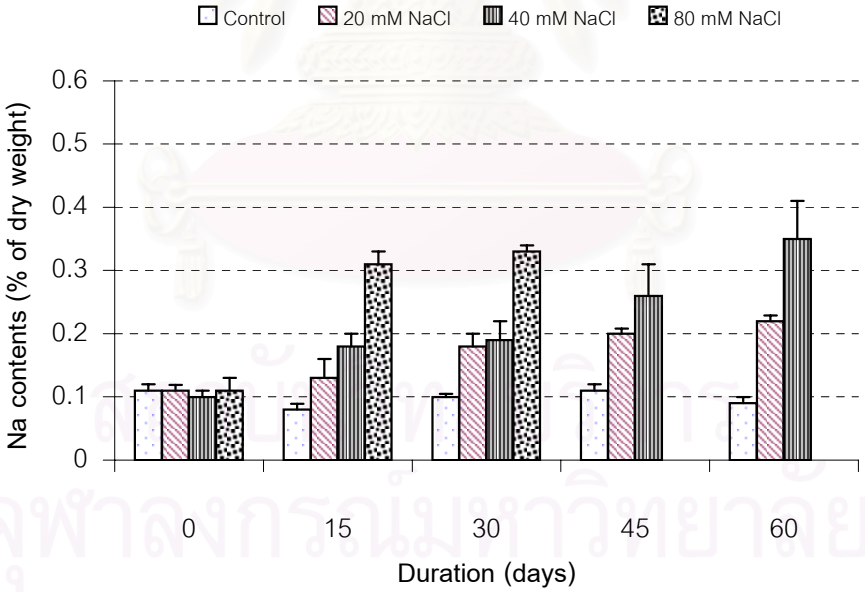
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

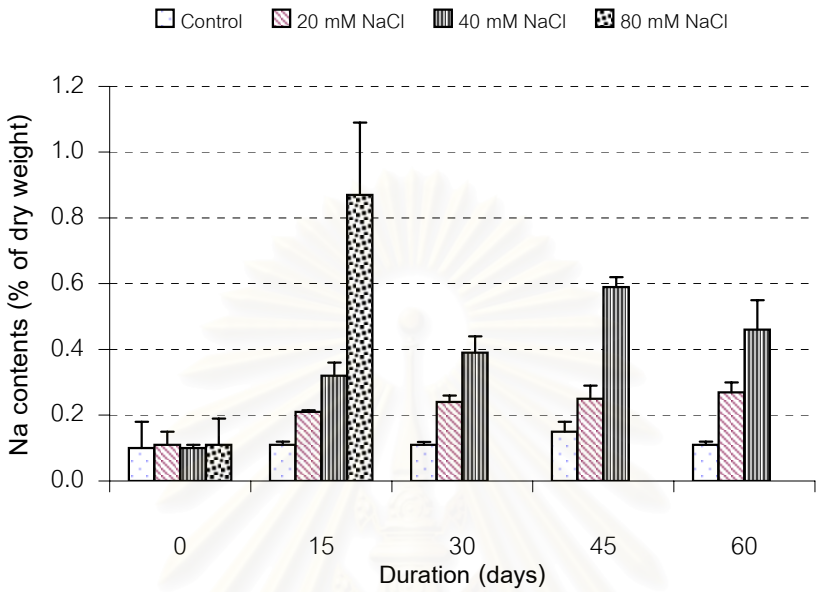
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 34 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 35 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 36 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ปริมาณโซเดียมไอออนในราก

เมื่อให้โซเดียมคลอไรด์ในสารละลาย พบว่าถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มนานขึ้นและระดับเกลือที่สูงขึ้น ตั้งแต่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วันถึง 60 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยมีการสะสมโซเดียมไอออนในรากมากกว่าใบล่างและใบบริเวณยอดทั้งสามพันธุ์

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มมีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้นตามระดับเกลือและระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็ม โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทุกระดับเกลือ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 2.9 3.3 และ 6.9 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.28 0.80 0.91 และ 1.93 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 37 รูปที่ 37) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 3.5 และ 6.2 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.36 1.26 และ 2.22 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) โดยมีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนในรากมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 แต่น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มมีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนในรากคล้ายกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 60 วัน พบว่ามีการสะสมโซเดียมไอออนในรากน้อยกว่า โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้น 1.6 3.8 และ 7.5 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.24 0.39 0.92 และ 1.81 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 38 รูปที่ 38) โดยมีปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งสองระดับเกลือ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 2.7 และ 4.3 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.33 0.89 และ 1.43 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) โดยมีการสะสมโซเดียมไอออนในรากน้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5

ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มมีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และพันธุ์ ชม.60 โดยมีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนในรากมากกว่าทั้งสองพันธุ์ เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 3.1 และ 12.3 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.52 0.78 1.62 และ 6.38 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 39 รูปที่ 39) โดยมีการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ และเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 และ 45 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 3.7 และ 7.8 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.41 1.51 และ 3.19 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) โดยมีการสะสมโซเดียมไอออนในรากมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และพันธุ์ ชม.60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 37 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.35 ± 0.01 [a]	0.38 ± 0.02 [a]	0.35 ± 0.03 [a]	0.37 ± 0.04 [a]
15	0.28 ± 0.03 [a]	0.80 ± 0.07 [b]	0.91 ± 0.03 [b]	1.93 ± 0.21 [c]
30	0.28 ± 0.02 [a]	0.77 ± 0.07 [a]	1.87 ± 0.28 [b]	2.47 ± 0.18 [c]
45	0.35 ± 0.02 [a]	1.11 ± 0.12 [b]	1.83 ± 0.05 [c]	- (** ตาย)
60	0.36 ± 0.01 [a]	1.26 ± 0.05 [b]	2.22 ± 0.09 [c]	- (** ตาย)

ตารางที่ 38 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.22 ± 0.01 [a]	0.22 ± 0.006 [a]	0.26 ± 0.01 [a]	0.28 ± 0.03 [a]
15	0.24 ± 0.01 [a]	0.39 ± 0.03 [a]	0.92 ± 0.13 [b]	1.81 ± 0.22 [c]
30	0.27 ± 0.02 [a]	0.60 ± 0.03 [ab]	0.93 ± 0.05 [b]	2.63 ± 0.35 [c]
45	0.27 ± 0.02 [a]	0.79 ± 0.10 [b]	1.19 ± 0.08 [c]	- (** ตาย)
60	0.33 ± 0.02 [a]	0.89 ± 0.06 [b]	1.43 ± 0.24 [c]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

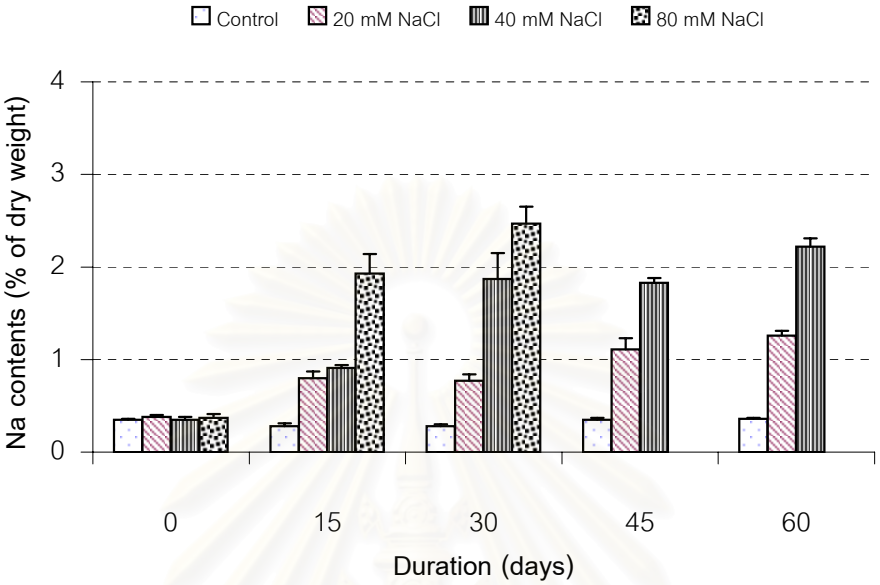
ตารางที่ 39 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.25 ± 0.04 [a]	0.26 ± 0.03 [a]	0.24 ± 0.03 [a]	0.25 ± 0.06 [a]
15	0.52 ± 0.05 [a]	0.78 ± 0.32 [a]	1.62 ± 0.37 [b]	6.38 ± 1.00 [c]
30	0.42 ± 0.03 [a]	1.21 ± 0.12 [b]	1.78 ± 0.10 [c]	- (** ตาย)
45	0.26 ± 0.03 [a]	1.38 ± 0.14 [b]	1.99 ± 0.23 [c]	- (** ตาย)
60	0.41 ± 0.07 [a]	1.51 ± 0.05 [b]	3.19 ± 0.25 [c]	- (** ตาย)

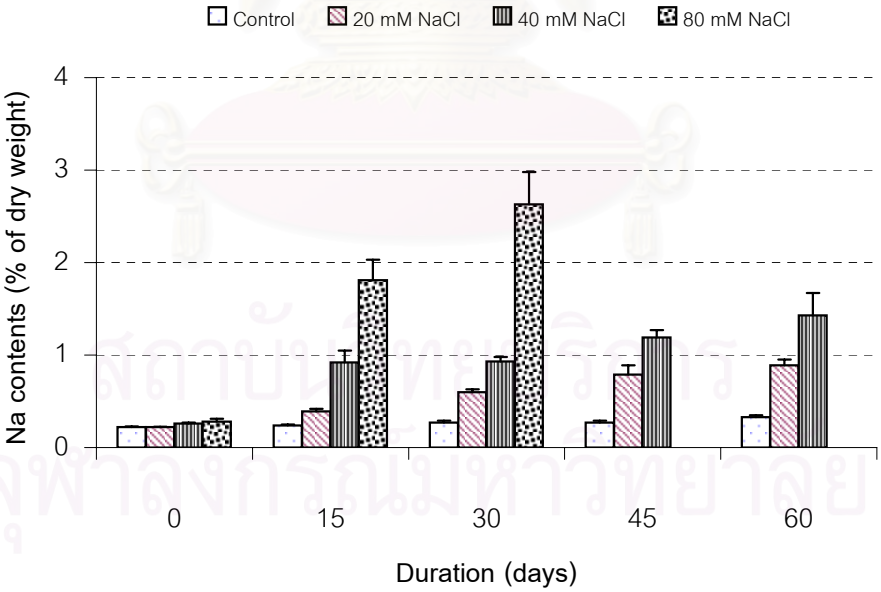
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

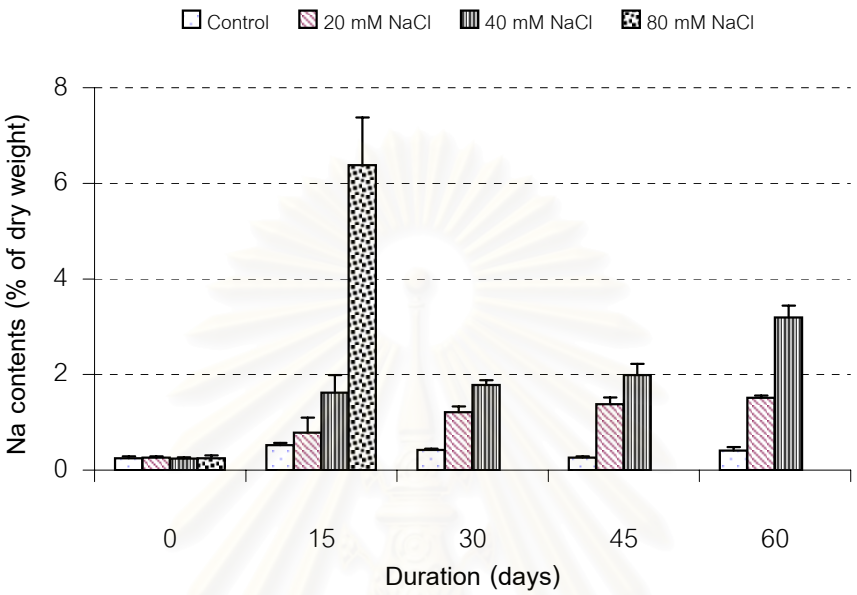
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 37 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 38 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 39 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.
ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ปริมาณโซเดียมไอออนในฝักถั่วเหลือง

เมื่อต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ คือพันธุ์ สจ.5 ชม.60 และ สท.2 ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 และ 60 วัน พบว่าถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเพิ่มมากขึ้นในถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ชม.60 และ สจ.5 ตามลำดับ การสะสมโซเดียมไอออนในฝักนั้น พบว่ามีปริมาณการสะสมที่น้อยกว่า ใบบริเวณยอด ใบล่างและราก ของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญคือ เพิ่มขึ้นประมาณ 2 และ 2.5 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.04 0.08 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 40 รูปที่ 40) เช่นเดียวกับที่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน คือมีการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 1.6 และ 2.6 เท่า ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.05 0.08 และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเช่นเดียวกับ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 แต่พบว่ามีการสะสมมากกว่าที่ระยะเวลา 60 วัน โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญคือเพิ่มขึ้นประมาณ 2 และ 2.5 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.04 0.08 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 41 รูปที่ 41) และเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญคือเพิ่มขึ้นประมาณ 2.2 และ 3.2 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.05 0.11 และ 0.16 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) โดยมีการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญคือเพิ่มขึ้นประมาณ 2.3 และ 2.3 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.04 0.09 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 42 รูปที่ 42) และเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน

ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 และ 3.2 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.06 0.15 และ 0.19 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีการสะสมโซเดียมไอออนในฝักใกล้เคียงกับถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 แต่มากกว่าพันธุ์ สจ.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 40 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
45	0.04 ± 0.003 [a]	0.08 ± 0.013 [b]	0.10 ± 0.014 [b]	- (** ตาย)
60	0.05 ± 0.005 [a]	0.08 ± 0.010 [b]	0.13 ± 0.014 [c]	- (** ตาย)

ตารางที่ 41 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
45	0.04 ± 0.002 [a]	0.08 ± 0.01 [b]	0.10 ± 0.005 [b]	- (** ตาย)
60	0.05 ± 0.004 [a]	0.11 ± 0.01 [b]	0.16 ± 0.02 [b]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

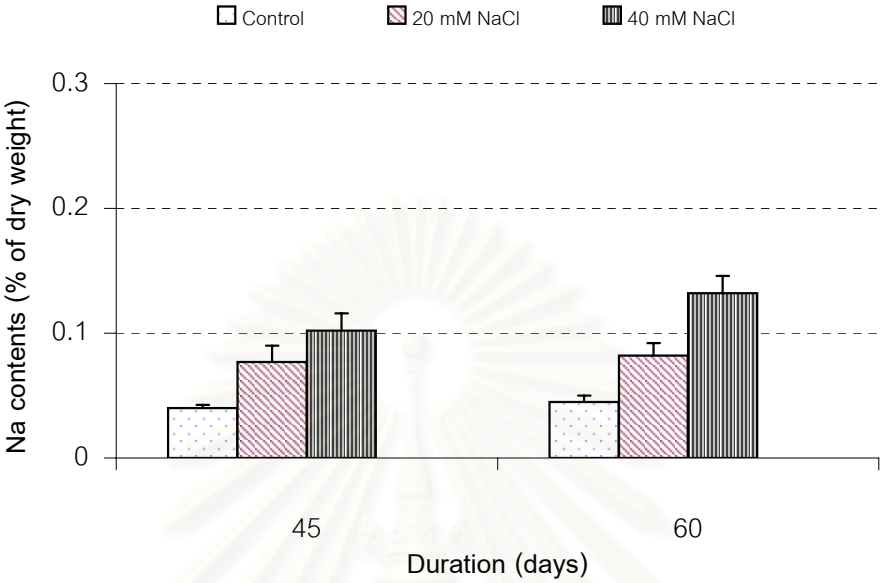
ตารางที่ 42 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโซเดียมไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
45	0.04 ± 0.004 [a]	0.09 ± 0.006 [b]	0.09 ± 0.007 [b]	- (** ตาย)
60	0.06 ± 0.002 [a]	0.15 ± 0.02 [b]	0.19 ± 0.02 [b]	- (** ตาย)

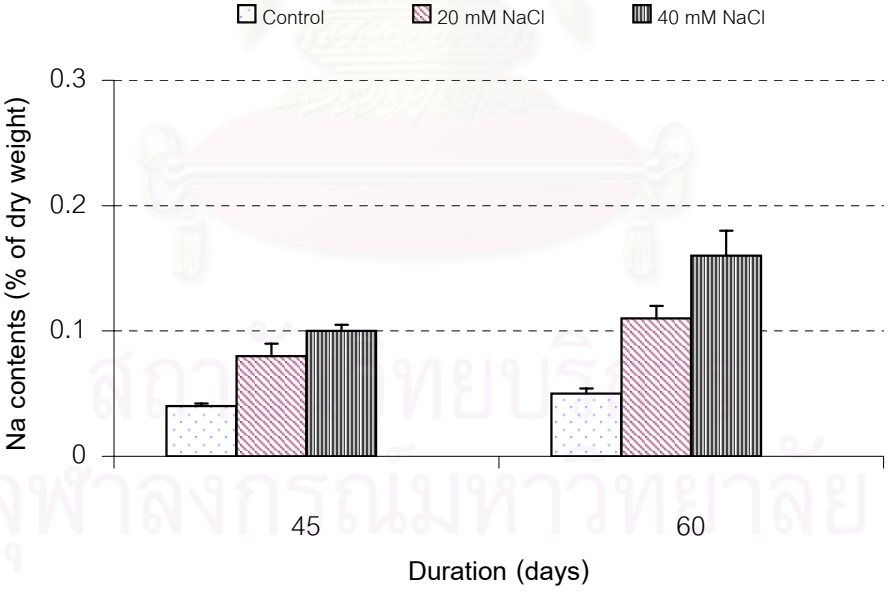
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

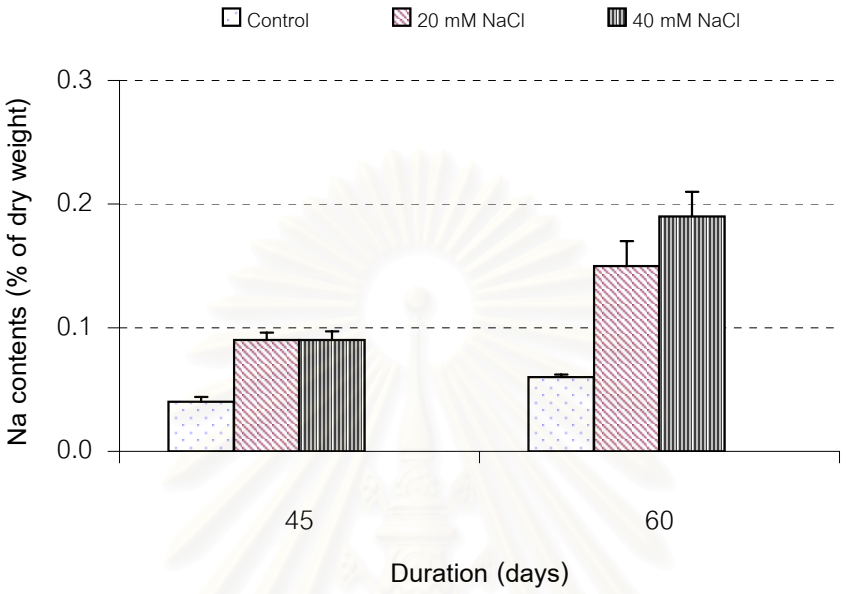
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 40 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 41 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.6 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 42 ปริมาณโซเดียมไอออน (Na contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สท. ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณคลอไรด์ไอออน

5.1 ปริมาณคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอด

เมื่อให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลาย พบว่าถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอดมีรูปแบบคล้ายกัน คือมีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับระดับเกลือสูงขึ้นและเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็ม โดยพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นมากกว่าพันธุ์ สจ.5 และพันธุ์ ชม.60 ในขณะที่พันธุ์ สจ.5 มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอดใกล้เคียงกับพันธุ์ ชม.60

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 6.5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.31 และ 2.03 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) และมีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยมีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญคือเพิ่มขึ้นประมาณ 3.5 4.5 และ 7.1 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็มที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ (0.34 1.18 1.53 และ 2.42 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 43 รูปที่ 43) สำหรับที่ระยะเวลา 45 วัน มีแนวโน้มสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ40 มิลลิโมลาร์ พบว่าการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 5.6 และ 6.9 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.35 1.96 และ 2.42 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็ม พบว่ามีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอดเช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 60 วัน พบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนเมื่อคิดเป็นจำนวนเท่าต่อต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มน้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 โดยที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่าต้นถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 3.4 และ 5.8 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.50 1.70 และ 2.91 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 44 รูปที่ 44)

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นมากกว่าพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ในทุกระดับเกลือ พบว่าเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอดเพิ่มขึ้นแตกต่างชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญ คือ เพิ่มขึ้น ประมาณ 18 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มและต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม คือเพิ่มขึ้นประมาณ 7.4 และ 11.2 เท่าตามลำดับ (0.51 4.02 และ 5.71 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 45 รูปที่ 45)

5.2 ปริมาณคลอไรด์ไอออนในใบล่าง

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์คือ สจ.5 ชม.60 และ สท.2 ได้รับภาวะเค็ม พบว่ามีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างเช่นเดียวกัน โดยมีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับระดับเกลือสูงขึ้นและเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็ม การสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างนั้นพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอด แต่มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างมากกว่าในถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์และพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างใกล้เคียงกัน ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมสะสมคลอไรด์ไอออนมากกว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ เช่นเดียวกับการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอด

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน โดยที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับเกลือ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม โดยมีการสะสมเพิ่มขึ้นประมาณ 3.8 4.3 และ12.6 เท่าตามลำดับ (0.33 1.26 1.41 และ 4.17 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 46 รูปที่ 46) และเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 และ 45 วัน มีแนวโน้มการสะสมโดยมีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างในรูปแบบเดียวกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างเพิ่ม

ขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม คือมีการสะสมเพิ่มขึ้นประมาณ 6.3 และ 9.1 เท่าตามลำดับ (0.38 2.40 และ 3.46 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็ม พบว่ามีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 5.1 และ 9.7 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.29 0.44 1.48 และ 2.82 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 47 รูปที่ 47) โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 และ 45 วัน มีรูปแบบการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันและเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วันพบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 โดยที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 6.9 และ 10.1 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.36 2.48 และ 3.62 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างมากกว่าพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ในทุกระดับเกลือและทุกระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็ม โดยมีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน คือที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นประมาณ 2 4.9 และ 12.64 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.37 0.75 1.82 และ 4.68 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 48 รูปที่ 48) ที่ระยะเวลา 30 และ 45 วัน มีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นในรูปแบบเดียวกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 โดยที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 17 และ 18.8 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.42 7.15 และ 7.90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นประมาณ 6.3 และ 9.1 เท่า และถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นประมาณ 6.9 และ 10.1 เท่า ที่ระดับเกลือและระยะเวลาได้รับเกลือเดียวกัน

ตารางที่ 43 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลือง พันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
15	0.31 ± 0.06 [a]	0.31 ± 0.03 [a]	0.38 ± 0.03 [a]	2.03 ± 0.10 [b]
30	0.34 ± 0.04 [a]	1.18 ± 0.10 [b]	1.53 ± 0.04 [b]	2.42 ± 0.22 [c]
45	0.32 ± 0.02 [a]	1.50 ± 0.15 [b]	2.37 ± 0.28 [b]	- (** ตาย)
60	0.35 ± 0.02 [a]	1.96 ± 0.14 [b]	2.42 ± 0.22 [b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 44 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลือง พันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
15	0.31 ± 0.04 [a]	0.32 ± 0.003 [a]	0.45 ± 0.04 [a]	1.97 ± 0.12 [b]
30	0.50 ± 0.03 [a]	1.33 ± 0.08 [a]	1.68 ± 0.09 [a]	2.31 ± 1.38 [b]
45	0.53 ± 0.06 [a]	1.48 ± 0.12 [b]	2.14 ± 0.14 [c]	- (** ตาย)
60	0.50 ± 0.04 [a]	1.70 ± 0.10 [b]	2.91 ± 0.11 [c]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

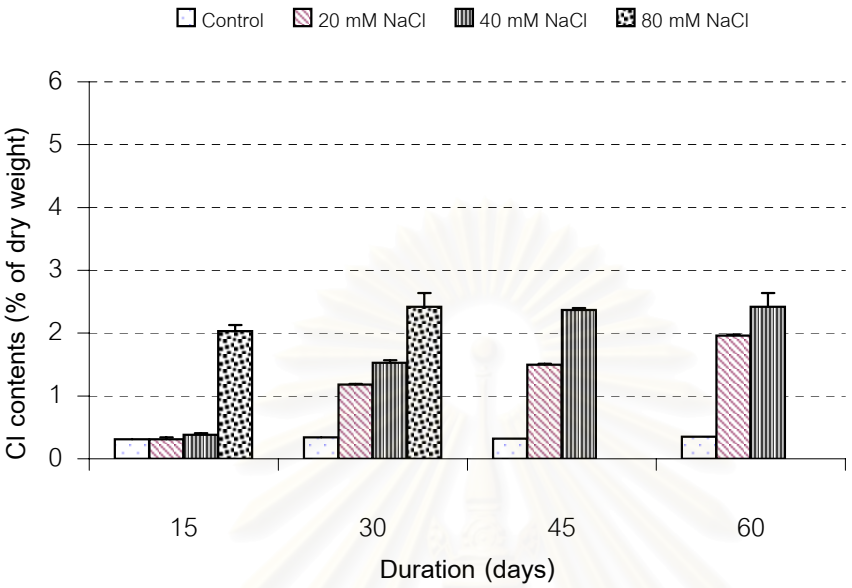
ตารางที่ 45 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
15	0.26 ± 0.009 [a]	0.58 ± 0.07 [a]	1.63 ± 0.20 [a]	4.69 ± 1.02 [b]
30	0.50 ± 0.02 [a]	2.32 ± 0.57 [b]	3.26 ± 0.10 [b]	- (** ตาย)
45	0.57 ± 0.04 [a]	3.55 ± 0.23 [b]	4.65 ± 0.22 [c]	- (** ตาย)
60	0.51 ± 0.21 [a]	4.02 ± 0.26 [b]	5.71 ± 0.79 [c]	- (** ตาย)

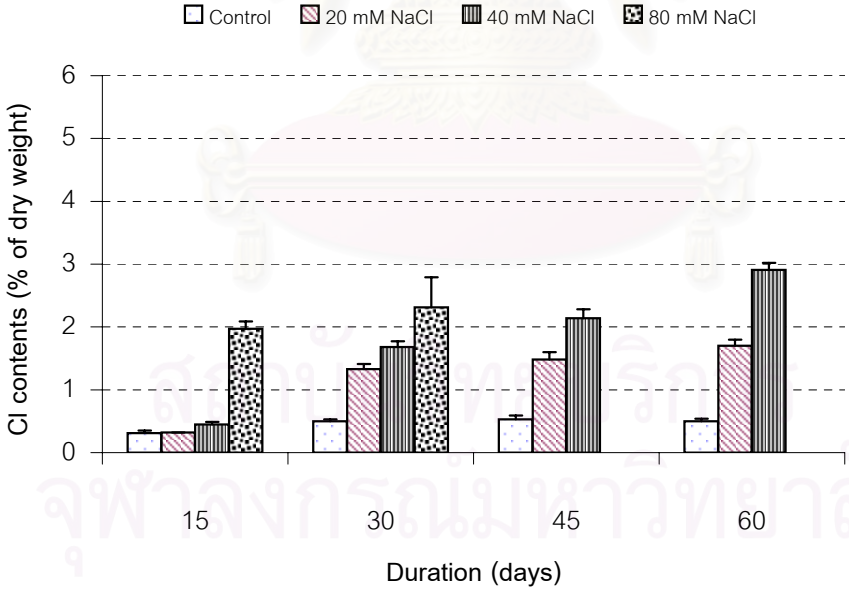
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

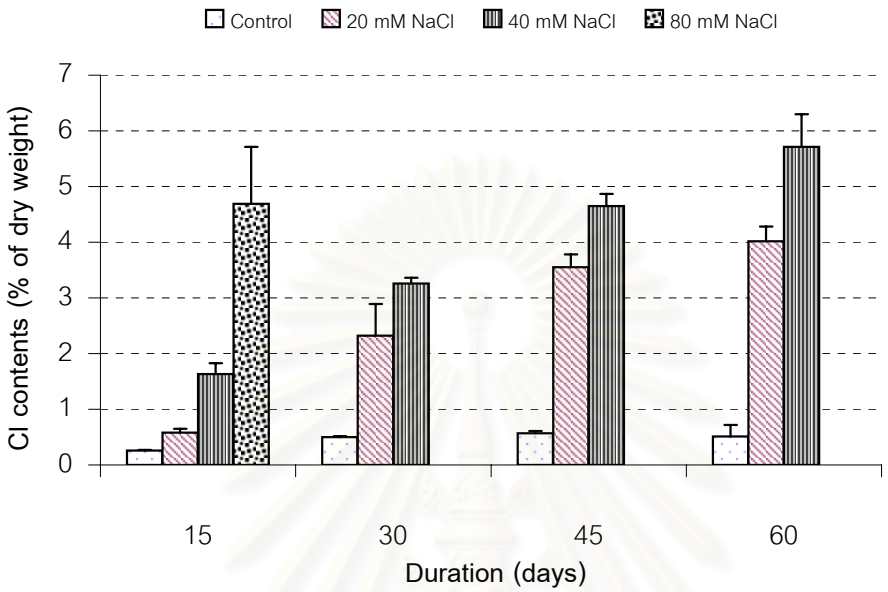
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 43 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลือง พันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 44 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลือง พันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 45 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบบริเวณยอดของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 46 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.29 ± 0.02 [a]	0.30 ± 0.03 [a]	0.31 ± 0.01 [a]	0.33 ± 0.01 [a]
15	0.33 ± 0.02 [a]	1.26 ± 0.10 [b]	1.41 ± 0.18 [b]	4.17 ± 0.28 [c]
30	0.43 ± 0.08 [a]	1.90 ± 0.07 [b]	2.25 ± 0.27 [b]	5.00 ± 0.31 [c]
45	0.39 ± 0.07 [a]	1.75 ± 0.16 [b]	3.69 ± 0.21 [c]	- (** ตาย)
60	0.38 ± 0.03 [a]	2.40 ± 0.18 [b]	3.46 ± 0.39 [b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 47 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.37 ± 0.07 [a]	0.32 ± 0.02 [a]	0.30 ± 0.04 [a]	0.29 ± 0.02 [a]
15	0.29 ± 0.02 [a]	0.44 ± 0.06 [a]	1.48 ± 0.12 [b]	2.82 ± 0.11 [c]
30	0.38 ± 0.13 [a]	1.94 ± 0.05 [b]	2.60 ± 0.12 [c]	2.86 ± 0.10 [c]
45	0.42 ± 0.05 [a]	1.96 ± 0.23 [b]	3.23 ± 0.22 [c]	- (** ตาย)
60	0.36 ± 0.04 [a]	2.48 ± 0.13 [b]	3.62 ± 0.20 [c]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

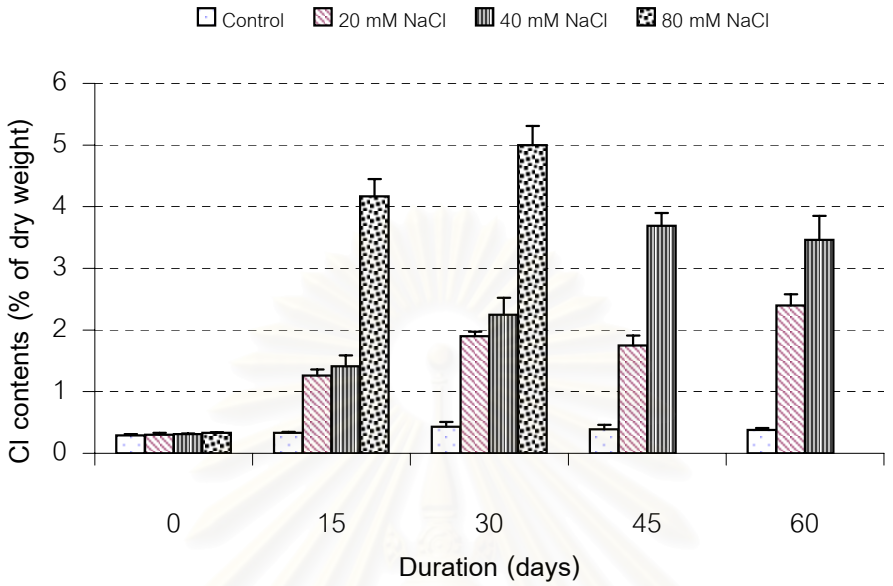
ตารางที่ 48 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.31 ± 0.03 [a]	0.29 ± 0.01 [a]	0.33 ± 0.01 [a]	0.33 ± 0.01 [a]
15	0.37 ± 0.03 [a]	0.75 ± 0.13 [a]	1.82 ± 0.04 [b]	4.68 ± 0.62 [c]
30	0.39 ± 0.10 [a]	4.59 ± 0.04 [b]	6.29 ± 0.05 [c]	- (** ตาย)
45	0.40 ± 0.10 [a]	5.43 ± 0.43 [b]	6.24 ± 0.03 [b]	- (** ตาย)
60	0.42 ± 0.11 [a]	7.15 ± 0.44 [b]	7.90 ± 0.09 [b]	- (** ตาย)

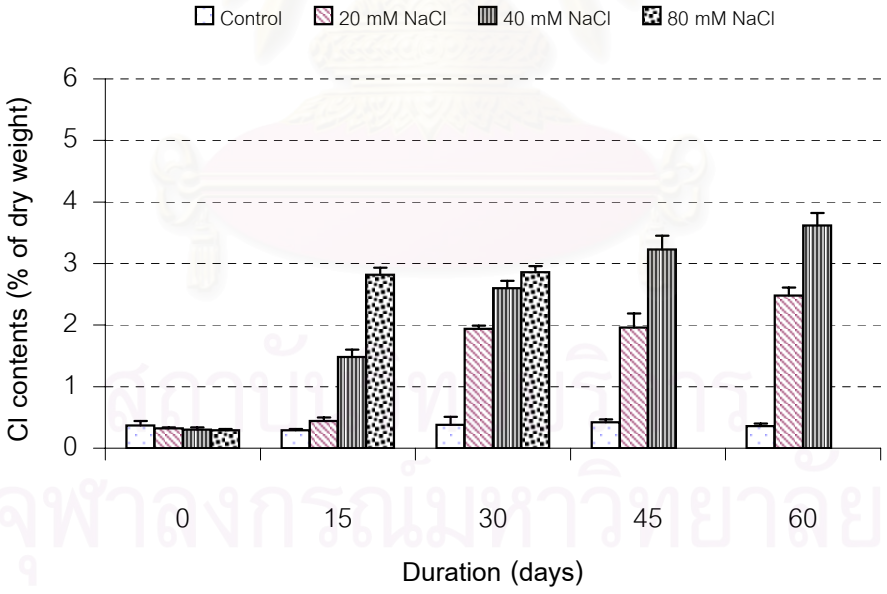
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

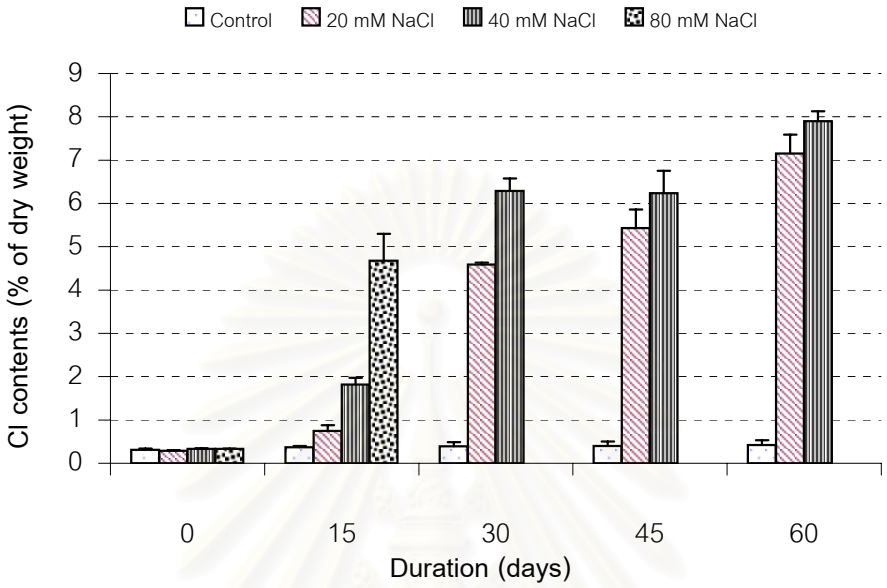
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 46 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 47 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 48 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ปริมาณคลอไรด์ไอออนในราก

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็ม พบว่ามีการสะสมของคลอไรด์ไอออนในทิศทางเดียวกับการสะสมคลอไรด์ไอออนในบริเวณยอดและใบล่าง คือมีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับเกลือสูงขึ้นและตามระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็ม การสะสมคลอไรด์ไอออนในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 พบว่ามีรูปแบบการสะสมคล้ายกัน คือมีการสะสมในรากเพิ่มมากกว่าในใบล่างและใบบริเวณยอด สำหรับพันธุ์ สท.2 มีรูปแบบที่แตกต่างคือ มีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มมากขึ้นในใบล่าง ราก และใบบริเวณยอดตามลำดับ

ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มมีการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับเกลือและระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็ม เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มโดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน มีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นประมาณ 4 6 และ 8.6 เท่าที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ (0.58 2.34 3.49 และ 4.97 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 49 รูปที่ 49) และมีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนเช่นเดียวกันกับที่ระยะเวลา 30 และ 45 วัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากเพิ่มขึ้นประมาณ 5 และ 10.6 เท่า ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.55 2.82 และ 5.85 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)

ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มมีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากเพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 แต่มีรูปแบบการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากเหมือนกัน โดยเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มคือเพิ่มขึ้นประมาณ 3.7 6.7 และ 8.7 เท่าตามลำดับ (0.75 2.75 5.05 และ 6.54 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 50 รูปที่ 50) สำหรับที่ระยะเวลา 30 และ 45 วันการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่าต้นถั่วเหลืองมีการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม โดยมีการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากเพิ่มขึ้นประมาณ 4.1 และ 9.2 เท่าตามลำดับ (0.82 3.34 และ 7.54 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)

ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็มมีรูปแบบการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากเช่นเดียวกับพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 โดยมีการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน คือเพิ่มขึ้นประมาณ 15.6 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม (0.67 และ 10.44 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม คือเพิ่มขึ้นประมาณ 5.6 และ 9.9 เท่าตามลำดับ (0.60 3.31 และ 5.92 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 51 รูปที่ 51) โดยการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นที่น้อยกว่าการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 49 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.12 ± 0.09 [a]	0.10 ± 0.08 [a]	0.14 ± 0.08 [a]	0.14 ± 0.10 [a]
15	0.58 ± 0.09 [a]	2.34 ± 0.31 [b]	3.49 ± 0.34 [b]	4.97 ± 0.50 [c]
30	0.74 ± 0.11 [a]	2.52 ± 0.54 [b]	4.40 ± 0.60 [b]	6.29 ± 0.36 [c]
45	0.62 ± 0.07 [a]	3.07 ± 0.50 [b]	5.85 ± 0.26 [c]	- (** ตาย)
60	0.55 ± 0.04 [a]	2.82 ± 0.26 [b]	5.85 ± 0.53 [b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 50 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.11 ± 0.09 [a]	0.10 ± 0.11 [a]	0.11 ± 0.08 [a]	0.10 ± 0.11 [a]
15	0.75 ± 0.16 [a]	2.75 ± 0.58 [b]	5.05 ± 0.26 [c]	6.54 ± 0.46 [c]
30	0.64 ± 0.18 [a]	2.37 ± 0.70 [b]	5.65 ± 0.42 [b]	10.63 ± 1.89 [c]
45	0.72 ± 0.10 [a]	3.01 ± 0.36 [b]	5.24 ± 1.05 [b]	- (** ตาย)
60	0.82 ± 0.09 [a]	3.34 ± 0.31 [b]	7.54 ± 1.41 [b]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

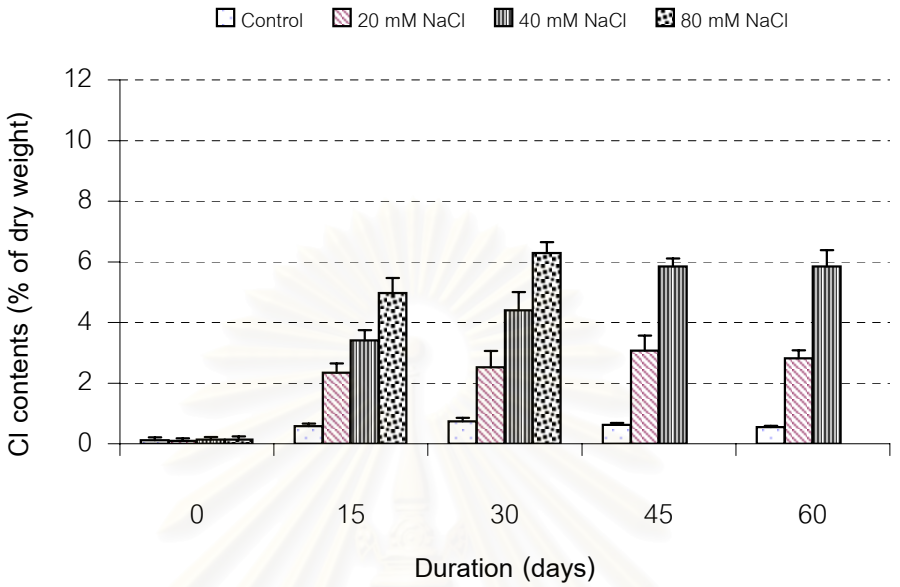
ตารางที่ 51 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
0	0.72 ± 0.16 [a]	0.86 ± 0.02 [a]	0.93 ± 0.04 [a]	1.01 ± 0.05 [a]
15	0.67 ± 0.02 [a]	2.38 ± 0.64 [ab]	3.44 ± 1.42 [b]	10.44 ± 2.28 [c]
30	0.58 ± 0.06 [a]	2.48 ± 0.14 [b]	3.45 ± 0.36 [b]	- (** ตาย)
45	0.64 ± 0.07 [a]	2.60 ± 0.07 [b]	3.58 ± 0.22 [c]	- (** ตาย)
60	0.60 ± 0.15 [a]	3.37 ± 0.26 [b]	5.92 ± 0.75 [b]	- (** ตาย)

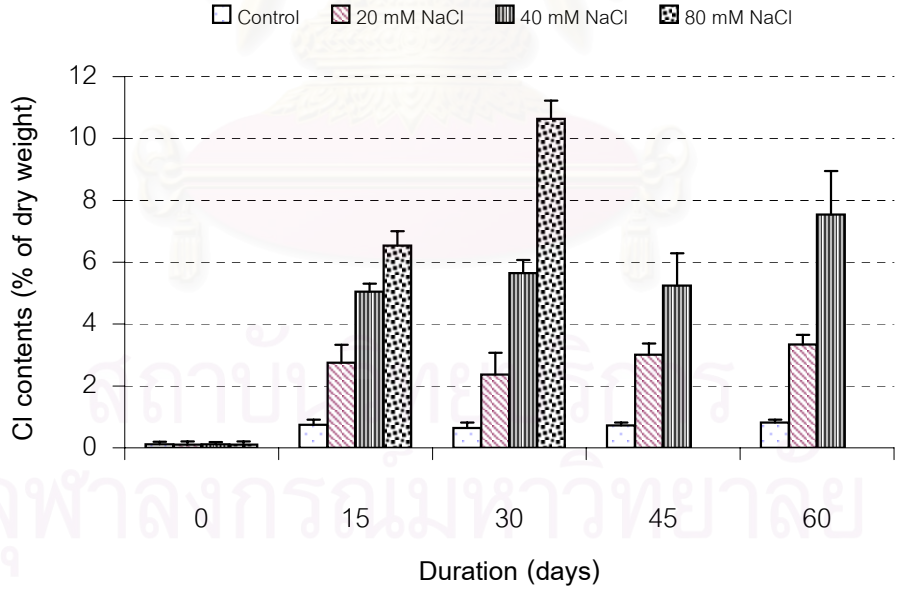
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 30 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่า ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

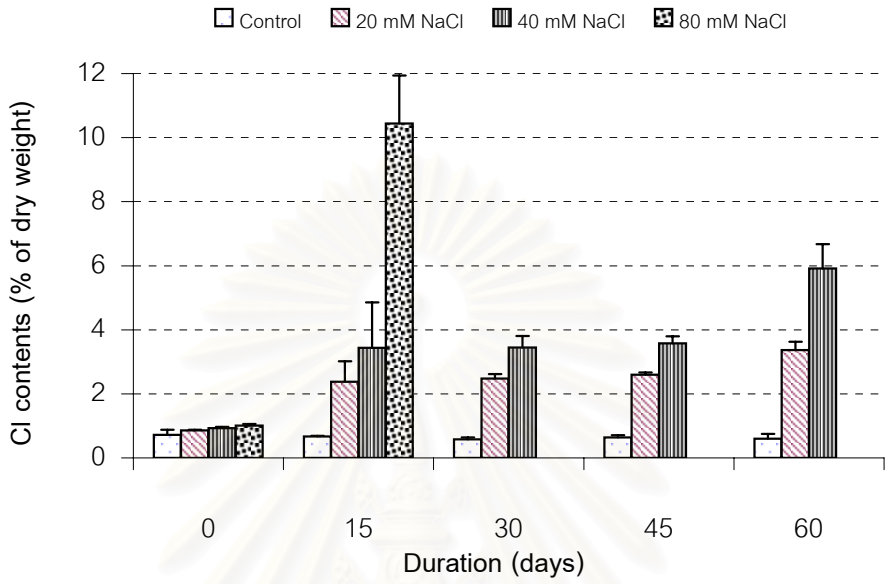
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 49 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 50 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.6 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 51 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 ปริมาณคลอไรด์ไอออนในฝักถั่วเหลือง

การศึกษาการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์พบว่า เมื่อถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็ม มีผลทำให้การสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม โดยการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นจากระดับเกลือที่มากขึ้นและระยะเวลาที่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็ม ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ขณะที่การสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ใกล้เคียงกัน การสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักที่เพิ่มขึ้นของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์พบว่ามีการสะสมที่มากกว่าปริมาณโซเดียมไอออนในฝัก

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 และ 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสม คลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็มคือที่ระยะเวลา 45 วัน คลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7 และ 2.3 เท่าตามลำดับ (0.12 0.20 และ 0.28 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 52 รูปที่ 52) และที่ระยะเวลา 60 วัน คลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นประมาณ 3 และ 3.7 เท่า ตามลำดับ (0.09 0.27 และ 0.33 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 คือเมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 และ 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม โดยที่ระยะเวลา 45 วัน มีการสะสมเพิ่มขึ้น 3 และ 4.2 เท่าตามลำดับ (0.10 0.30 และ 0.42 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 53 รูปที่ 53) และเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญคือเพิ่มขึ้น 2.7 และ 3.9 เท่าตามลำดับ (0.12 0.32 และ 0.47 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็มมีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 แต่มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นมากกว่า โดยเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม คือเพิ่มขึ้นประมาณ 5.9 และ 7.8 เท่าตามลำดับ (0.12 0.71 และ 0.93 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 54 รูปที่ 54)

5.4 ปริมาณคลอไรด์ไอออนในฝักถั่วเหลือง

การศึกษาการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์พบว่า เมื่อถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็ม มีผลทำให้การสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม โดยการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นจากระดับเกลือที่มากขึ้นและระยะเวลาที่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็ม ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ขณะที่การสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ใกล้เคียงกัน การสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักที่เพิ่มขึ้นของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์พบว่ามีการสะสมที่มากกว่าปริมาณโซเดียมไอออนในฝัก

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 และ 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสม คลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็มคือที่ระยะเวลา 45 วัน คลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7 และ 2.3 เท่าตามลำดับ (0.12 0.20 และ 0.28 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 52 รูปที่ 52) และที่ระยะเวลา 60 วัน คลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นประมาณ 3 และ 3.7 เท่า ตามลำดับ (0.09 0.27 และ 0.33 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 มีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 คือเมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 และ 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม โดยที่ระยะเวลา 45 วัน มีการสะสมเพิ่มขึ้น 3 และ 4.2 เท่าตามลำดับ (0.10 0.30 และ 0.42 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 53 รูปที่ 53) และเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญคือเพิ่มขึ้น 2.7 และ 3.9 เท่าตามลำดับ (0.12 0.32 และ 0.47 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็มมีแนวโน้มการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 แต่มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นมากกว่า โดยเมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในฝักเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม คือเพิ่มขึ้นประมาณ 5.9 และ 7.8 เท่าตามลำดับ (0.12 0.71 และ 0.93 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 54 รูปที่ 54)

ตารางที่ 52 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
45	0.12 ± 0.01 [a]	0.20 ± 0.01 [b]	0.28 ± 0.03 [c]	- (** ตาย)
60	0.09 ± 0.04 [a]	0.27 ± 0.03 [b]	0.33 ± 0.01 [b]	- (** ตาย)

ตารางที่ 53 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
45	0.10 ± 0.01 [a]	0.30 ± 0.01 [b]	0.42 ± 0.03 [b]	- (** ตาย)
60	0.12 ± 0.01 [a]	0.32 ± 0.03 [b]	0.47 ± 0.03 [b]	- (** ตาย)

หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สจ.5 และ ชม.60 ไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

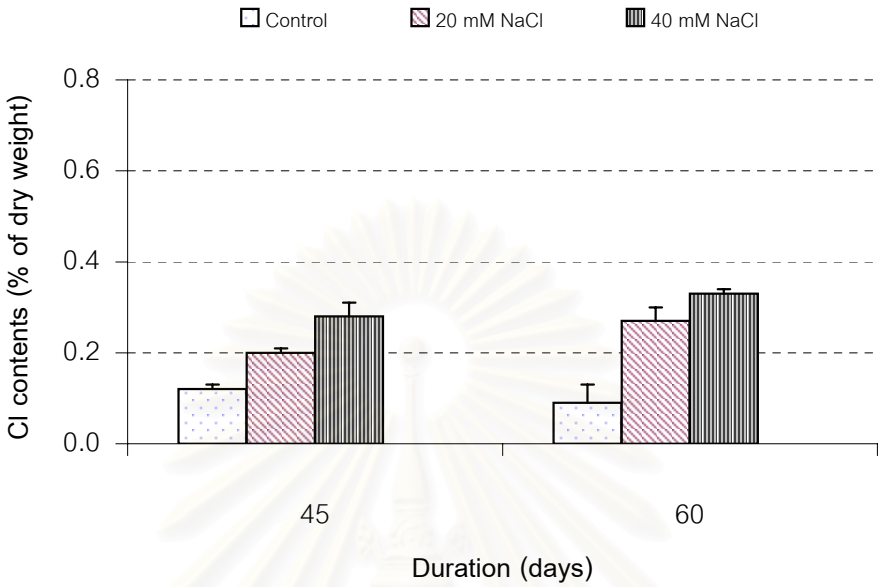
ตารางที่ 54 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) (± standard error)[1]			
	Control	20 mM NaCl	40 mM NaCl	80 mM NaCl
45	0.11 ± 0.003 [a]	0.62 ± 0.05 [b]	0.91 ± 0.007 [c]	- (** ตาย)
60	0.12 ± 0.008 [a]	0.71 ± 0.06 [b]	0.93 ± 0.02 [c]	- (** ตาย)

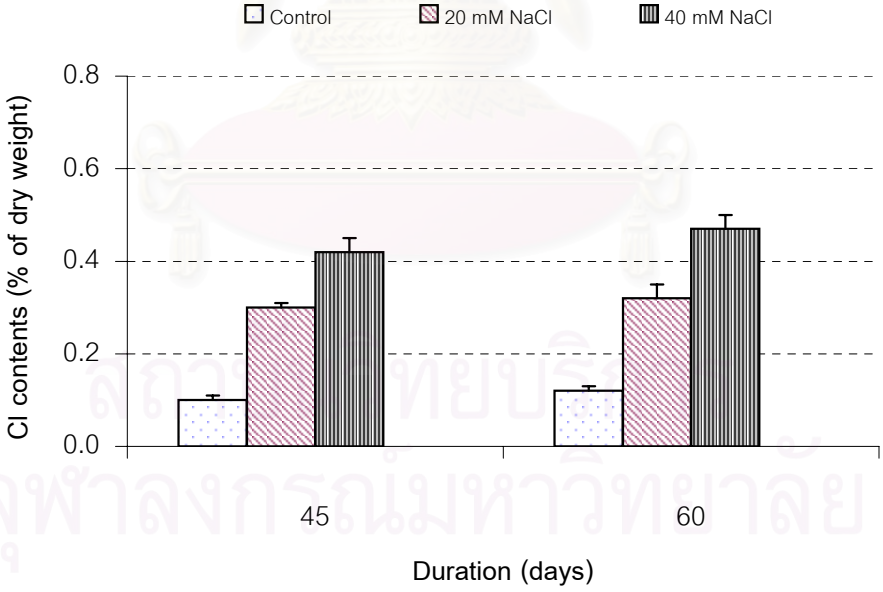
หมายเหตุ ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ที่ระยะเวลา 45 และ 60 วัน ต้นถั่วเหลือง สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้

[1] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรชนิดพิมพ์เล็กเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธีเปรียบเทียบแบบ DMRT

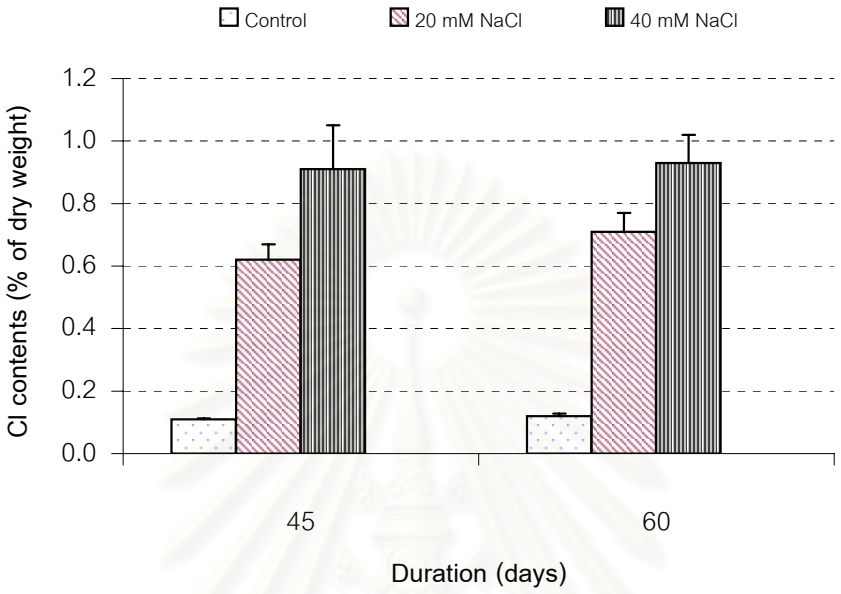
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 52 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 53 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.6 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 54 ปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl contents, % of dry weight) ในฝักของถั่วเหลืองพันธุ์ สท. ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

1. ผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

การศึกษาผลของเกลือที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ชม.60 และ สท.2 พบว่าเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มที่ระดับ 20 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์เพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง มีผลยับยั้งการสร้างน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งรากมากขึ้นตามระดับเกลือที่สูงขึ้นและระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็ม ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 เมื่อได้รับเกลือที่ระดับ 80 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่าต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับเกลือที่ระดับ 80 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 30 วัน ไม่สามารถเจริญเติบโตได้แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับระดับเกลือสูงขึ้น มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60

การตอบสนองต่อเกลือของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ปรากฏให้เห็นชัดเจน เมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ซึ่งในพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีแนวโน้มในการเพิ่มน้ำหนักแห้งต้นในอัตราที่ลดลงใกล้เคียงกัน คือพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วันที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 54 และ 77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพันธุ์ ชม.60 มีน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม 54 และ 77 เปอร์เซ็นต์เช่นเดียวกัน สำหรับถั่วเหลือง พันธุ์ สท.2 พบว่าได้รับผลกระทบมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 โดยมีแนวโน้มการเพิ่มน้ำหนักแห้งต้นในอัตราที่ลดลงมากกว่า โดยเฉพาะต้นที่ได้รับระดับเกลือสูงขึ้น คือมีน้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 55 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับเกลือ และระยะเวลาเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งต้นในอัตราที่ลดลงในถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ สอดคล้องกับการทดลองของ ศิริพรรณ บรรหาร (2543) รายงานถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับระดับเกลือ 40 80 และ 120 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 20 วัน มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 27 53 และ 81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และในพันธุ์ มข.35 น้ำหนักแห้งต้นที่ระดับเกลือ 40 และ 80 มิลลิโมลาร์ น้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 43 และ 73 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และสอดคล้องกับงานทดลองของ Abel และ Mackenzie (1963) พบเช่นเดียวกันว่าในต้นถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill cv.Lee) เมื่อได้รับเกลือที่ระดับความเค็ม 6.5 มิลลิโมห์/เซนติเมตร เป็นเวลา 20 วัน จะทำ

ให้น้ำหนักแห้งต้น และความสูงของต้นลดลงเกือบถึง 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับเกลือ

ภาวะเค็มมีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีแนวโน้มต่อการยับยั้งการสร้างน้ำหนักแห้งรากน้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ สท.2 สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 พบว่าภาวะเค็มมีผลต่อการยับยั้งการสร้างน้ำหนักแห้งรากมากกว่าถั่วเหลืองทั้ง 2 พันธุ์ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มมีน้ำหนักแห้งรากน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มประมาณ 60 และ 71 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ และถั่วเหลืองพันธุ์ ชม. 60 น้อยกว่าประมาณ 69 และ 85 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับเกลือและระยะเวลาเดียวกัน ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 น้อยกว่า 79 และ 89 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับเกลือและระยะเวลาเดียวกัน ซึ่งเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักแห้งรากมากกว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักแห้งต้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ อรุณศิริ กำลัง (2525) ได้รายงานว่าน้ำหนักแห้งใบ ต้น และ รากของถั่วเหลืองอายุ 30 44 และ 102 วัน ต่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์แต่ละระดับ น้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองอายุ 30 วันจะไวต่อเกลือมากกว่าส่วนอื่นๆ กล่าวคือเมื่อเติมเกลือเพียง 0.05 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักแห้งรากลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ใบและต้นลดลงประมาณ 26 และ 37 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Gauch และ Wadleigh (1944) ได้ศึกษาอิทธิพลของเกลือที่มีความเข้มข้นสูงต่อการเจริญเติบโตของถั่ว Red Kidney ได้รายงานผลการทดลองทำนองเดียวกันกับการศึกษานี้ คือน้ำหนักแห้งใบ ต้น และราก ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเพิ่มโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายปลูกพืชจาก 1.5 – 4.5 บรรยากาศ และพบว่า รากจะไวต่อเกลือมากกว่าส่วนอื่นๆ ของพืช

ผลการทดลองนี้ไม่ตรงกับรายงานของ ศิริพรรณ บรรหาร (2543) ได้รายงานว่าน้ำหนักแห้งรากของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 เมื่อ ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 20 วัน มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากลดลง แต่มีเปอร์เซ็นต์ลดลงน้อยกว่าน้ำหนักแห้งต้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Shalhevet และคณะ (1995) ที่ได้รายงานว่าเมื่อให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในดินที่ปลูกถั่วเหลืองจนระดับค่า EC เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 9.6 dsm^{-1} จะทำให้น้ำหนักแห้งต้นและรากลดลง 21 และ 3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักแห้งรากไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก อาจเป็นได้ว่าเนื่องจากระยะเวลาที่รากถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มไม่เท่ากัน โดยการทดลองนี้รากของถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ซึ่งนานกว่า ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุให้ส่วนรากถูกยับยั้งการเจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งในการทดลองพบว่ารากที่ได้รับภาวะเค็มมีลักษณะแกรนไม่ค่อยเจริญมีขนาดสั้นรวม

กันเป็นกระจุก รากไม่แตกแขนง และมีสีน้ำตาลดำ และได้รับความเสียหายมากขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มและที่ระดับเกลือสูงขึ้น จึงมีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากมีเปอร์เซ็นต์ลดลงมากกว่าน้ำหนักแห้งต้น

ในต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็มทั้งสามพันธุ์พบว่า มีน้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นที่ได้รับภาวะเค็มอย่างชัดเจน โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งราก น้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 เล็กน้อย ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีน้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งรากมากกว่าถั่วเหลืองทั้ง 2 พันธุ์ อย่างชัดเจน อาจเป็นผลเนื่องมาจากลักษณะใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีลักษณะยาวและแคบขณะที่ถั่วเหลือง พันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีลักษณะใบเหมือนกันคือใบกว้าง (ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537) ถั่วเหลืองที่มีใบประกอบเล็กยาวและแคบ จะรับแสงสว่างที่ส่องลอดลงไปยังส่วนล่างของลำต้นมากกว่าพันธุ์ของถั่วเหลืองที่มีใบกว้าง การกระจายของแสงภายในใบ และการรับแสงของพุ่มใบมีผลต่อความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสง การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นเมื่อพุ่มใบโปร่งทำให้แสงกระจายได้ดี ดังนั้นการเรียงตัวของใบในลักษณะที่โปร่งสม่ำเสมอดีจะทำให้การกระจายของแสงสู่ใบล่างในพุ่มใบของถั่วเหลืองดีด้วย ซึ่งจะไปเร่งการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (อรุณ น่วมน้อย, 2538) ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลทำให้ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ไม่ได้รับภาวะเค็มมีการเจริญเติบโตดีกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ในต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม

ภาวะเค็มมีผลลดการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์นั้นอาจเนื่องมาจากผลกระทบต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง Gale และคณะ (1967) ได้รายงานว่าถั่ว *Phaseolus Vulgaris* cv. Pinto ที่ได้รับความเค็ม –3.4 บาร์ การตอบสนองระยะแรก ๆ ที่เด่นชัดมากคือ ทำให้ปากใบปิด ซึ่งทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อพืชได้รับความเค็มนานขึ้น ความเค็มจะมีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ขั้นตอนของ light reaction เป็นส่วนใหญ่และมีผลทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เนื่องจากน้ำหนักแห้งของพืชเป็นผลิตผลที่พืชสร้างขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยแสงปริมาณแป้งที่พืชได้รับนี้ จะถูกใช้ในการเจริญเติบโตสร้างส่วนต่างๆ เช่น ใบและเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงขึ้นอีก บางส่วนของแป้งจะถูกเก็บไว้และเคลื่อนย้ายสู่เมล็ด (อภิพรรณ พุกภักดี, 2523) ดังนั้นการที่ถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มมีผลทำให้น้ำหนักแห้งลดลงนี้ส่วนหนึ่งอาจจะเนื่องมาจากอิทธิพลของโซเดียมคลอไรด์ที่ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลงนั่นเอง

ผลของภาวะเค็มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบ พบว่าเมื่อถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็มมีผลทำให้พื้นที่ใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับเกลือ พื้นที่ใบลดลงมากเมื่อระดับเกลือสูงขึ้น และตามระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มโดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีแนวโน้ม

ของพื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงใกล้เคียงกันคือในพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็ม เป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ พื้นที่ใบลดลงประมาณ 59 และ 77 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และพันธุ์ ชม.60 พื้นที่ใบลดลงประมาณ 58 และ 79 เปอร์เซ็นต์ สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 พบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้พื้นที่ใบลดลงมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 อย่างชัดเจน โดยพื้นที่ใบลดลงประมาณ 74 และ 86 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับเกลือและระยะเวลาเดียวกัน การทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Meiri และ Poljakoff-Mayber (1969) พบว่าการที่พื้นที่ใบทั้งหมดของพืชลดลงเมื่อได้รับภาวะเค็มนั้น เป็นเพราะว่าพื้นที่ของแต่ละใบและจำนวนใบน้อยลง Poljakoff-Mayber (1975) รายงานว่าเกลือทำให้การแบ่งเซลล์ของพืชทนเค็มลดลง แต่เซลล์เหล่านั้นยังสามารถขยายตัวได้จึงทำให้ขนาดของเซลล์ใหญ่ขึ้น และใบมีลักษณะอวบน้ำด้วย แต่ในพืชไม่ทนเค็มเกลือจะยับยั้งการแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเซลล์ด้วย จึงมีผลทำให้พื้นที่ใบลดลง เช่นเดียวกับ Nieman (1965) รายงานว่าพื้นที่ใบของถั่ว *Phaseolus vulgaris* ที่ได้รับเกลือลดลงเนื่องจากการแบ่งตัวของเซลล์ลดลง Meiri และ Poljakoff-Mayber (1969) มีความเห็นว่าเกิดจากเซลล์ขยายขนาดได้น้อย Wignarajah และคณะ (1975) ให้ข้อมูลที่สนับสนุนทั้งสองแนวทางนั้นว่าการที่พื้นที่ใบของถั่วดังกล่าวนี้เล็กกว่าปกติเนื่องจาก การแบ่งตัวของเซลล์และการขยายตัวของเซลล์ในใบพืชลดลงเช่นเดียวกับรายงานของ Moftah และ Michel (1987) ได้ศึกษาในถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill cv.Lee) ที่เจริญอยู่ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือ 100 มิลลิโมลาร์ พบว่าการขยายขนาดของใบจะลดลงใบอ่อนจะพัฒนาช้ามาก และใบแก่จะร่วงอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลของการขาดน้ำจากการที่ได้รับเกลือมีผลอย่างมากต่อการลดการแผ่ของใบ ดังนั้นจึงทำให้พื้นที่ใบน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับเกลือ ซึ่งการขยายตัวของเซลล์ขึ้นอยู่กับแรงดันเต่ง หรือน้ำในเซลล์เมื่อได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์และค่าศักย์ของน้ำในเซลล์ลดลงทำให้เกิดการขาดน้ำในต้นพืช จึงส่งผลให้การแบ่งเซลล์ลดลงการสร้างใบใหม่ก็ลดลงด้วย (Rawson, 1986) การที่พื้นที่ใบของถั่วทั้งสามพันธุ์ที่ได้รับภาวะเค็มลดลงนั้นสาเหตุหนึ่งเกิดจากการร่วงหล่นของใบล่าง เช่นเดียวกับ Flowers และ Yeo (1986) พบว่าความเค็มจะจำกัดความมีชีวิตของเซลล์ใบล่าง ซึ่งเป็นใบที่มีอายุมากจะร่วงหล่นได้ง่าย เพราะการทำงานของเซลล์ต่างๆ มีประสิทธิภาพลดลงในเมื่อความเค็มทำให้เกิดออสโมซิสน้อยลง พืชจึงมีโอกาสขาดน้ำได้ตลอดเวลาที่มีอัตราคายน้ำสูงพืชอาจปรับตัวให้มีชีวิตรอดได้โดยการผันน้ำในใบแก่ ไปเลี้ยงใบที่มีอายุน้อยกว่า ใบแก่จึงขาดน้ำและร่วงหล่นไปเร็วกว่า

ในภาวะที่ถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์เจริญอยู่ในสารละลายธาตุอาหารปกติ พบว่าพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีพื้นที่ใบใกล้เคียงกัน คือเมื่อถั่วเหลืองอายุ 60 วัน พันธุ์ สจ.5 มีพื้นที่ใบรวมต่อต้น 1729.42 ตารางเซนติเมตร และพันธุ์ ชม.60 มีพื้นที่ใบ

รวมต่อต้น 1734.99 ตารางเซนติเมตร สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 พบว่ามีพื้นที่ใบมากกว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ คือมีพื้นที่ใบ 2310.67 ตารางเซนติเมตร แต่เมื่อต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็มจะเห็นได้ชัดเจนว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ได้รับผลกระทบต่อพื้นที่ใบลดลงมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ซึ่งพื้นที่ใบลดลงใกล้เคียงกัน

จากการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ พบว่าในต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็มมีอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นลดลงตามระยะเวลาที่ถั่วเหลืองเจริญเติบโต โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ สท.2 แสดงให้เห็นว่าในต้นถั่วเหลืองที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีการเพิ่มพื้นที่ใบมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 และ สท.2

อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็มที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ แสดงให้เห็นว่าต้นถั่วเหลืองมีการเพิ่มพื้นที่ใบมากกว่าการเจริญทางลำต้นในระหว่างที่ได้รับภาวะเค็ม 15 วันแรก หลังจากนั้นการเพิ่มพื้นที่ใบจะเริ่มลดลงเมื่อถั่วเหลืองมีอายุ 30 ถึง 60 วัน ในขณะที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ การเพิ่มพื้นที่ใบลดลงตั้งแต่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ในถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 พบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้มีการเพิ่มพื้นที่ใบน้อยกว่าการเจริญทางต้นตั้งแต่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน และอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 และ 60 วัน ภาวะเค็มมีผลทำให้อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ลดลงนั้นสอดคล้องกับการทดลองของ Tie และ Cramer (1993) ที่ได้ศึกษาการตอบสนองของ *Brassica napus* ต่อภาวะเค็มที่ระดับ 8 dsm^{-1} พบว่าเมื่อพืชได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 24 วัน มีผลทำให้อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อต้น (LAR) ได้รับผลกระทบจากภาวะเค็มคือมีค่าลดลงและมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับการลดลงของอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) แสดงให้เห็นว่าภาวะเค็มมีผลทำให้การเพิ่มพื้นที่ใบของถั่วเหลืองลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการขยายขนาดของใบลดลงและใบมีการหลุดร่วง เนื่องจากภาวะเค็มมีผลทำให้การแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ในใบถูกยับยั้ง การขยายขนาดของใบจึงลดลงและใบแก่จะร่วงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลของการขาดน้ำจากการที่ได้รับเกลือและมีผลอย่างมากต่อการลดการแผ่ของใบ (Poljakoff-Mayber,1975) ดังนั้นจึงทำให้พื้นที่ใบน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม การขยายขนาดของเซลล์นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันเต่งหรือปริมาณน้ำในเซลล์ เมื่อพืชได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ค่า water potential ของน้ำในเซลล์ลดลงทำให้เกิดการขาดน้ำในใบพืช จึงส่งผลให้การแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ลดลง (Rawson, 1986) จากผลการทดลองสังเกตุได้ว่าภาวะเค็มมีผลทำให้ถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นลดลงมากกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม ในขณะที่โพรลีนมี

การสะสมในใบเพิ่มมากขึ้น อาจเป็นไปได้ว่าการสะสมโพรลีนที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นการพยายามปรับค่า water potential ภายในใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำของใบ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มที่ระดับเกลือสูง พบว่าการสะสมโพรลีนที่เพิ่มมากขึ้นมีลักษณะเป็นการพยายามปรับตัวของต้นถั่วเหลืองที่ได้รับความเสียหายจากภาวะเค็มในระยะสุดท้ายก่อนที่ต้นถั่วเหลืองจะตาย

ภาวะเค็มมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ โดยพบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มถูกยับยั้งการเจริญเติบโตมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ซึ่งถูกยับยั้งการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ได้รับภาวะเค็มมีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และพื้นที่ใบรวมต่อต้นลดลงอย่างชัดเจน ตั้งแต่ต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน และต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และชม.60 ยังสามารถเจริญเติบโตได้และต่อมาไม่สามารถเจริญเติบโตได้เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 วัน น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก พื้นที่ใบและอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกัน ผลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทนต่อภาวะเค็มของถั่วเหลืองพันธ์ สจ.5 และ ชม.60 ที่มากกว่าพันธุ์ สท.2 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา ผลของภาวะเค็มในถั่วเหลืองโดย Velageleti และ Schweitzer (1995) ซึ่งพบว่าในถั่วเหลืองพันธุ์ทนเค็มจะมีการลดลงของน้ำหนักแห้งต้นและรากน้อยกว่าพันธุ์ไม่ทนเค็ม เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ อัญชลี ใจดี (2543) ได้รายงานว่าเมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 14 วัน การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ถูกยับยั้งรุนแรงกว่าพันธุ์ สจ.5 โดยมีการสร้างน้ำหนักแห้งต้นเกิดในอัตราที่ลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พันธุ์ สจ.5 มีการลดลงเพียง 35 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งมีการยับยั้งการเจริญเติบโตของรากเกิดอย่างชัดเจนเฉพาะในพันธุ์ มข.35 ด้วย นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนรากต่อต้นในพันธุ์ มข.35 เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าต้นถั่วเหลืองได้รับผลเสียหายจากภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตอย่างรุนแรง ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีความสามารถในการต้านทานต่อภาวะเค็มมากกว่าพันธุ์ มข.35

2. ผลของภาวะเค็มต่อองค์ประกอบผลผลิต

ผลผลิตในถั่วเหลืองจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญสองประการคือ น้ำหนักเมล็ดโดยเฉลี่ยและจำนวนเมล็ดต่อต้น ซึ่งจำนวนเมล็ดต่อต้นยังขึ้นอยู่กับ จำนวนเมล็ดต่อฝักและจำนวนฝักต่อต้น อิทธิพลของสภาพแวดล้อมและเขตกรรมที่มีต่อถั่วเหลืองในช่วงเวลาที่พืชเจริญเติบโตอยู่ย่อมส่งผลต่อองค์ประกอบผลผลิตในถั่วเหลืองที่ได้รับเมื่อเก็บเกี่ยวด้วย (อภิพรรณ

พุกภักดี, 2523) ภาวะเค็มที่ต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับในการทดลองนี้ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองอย่างมาก ผลการศึกษาด้านองค์ประกอบผลผลิตพบว่าเมื่อต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับเกลือระดับสูงขึ้น มีผลทำให้จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้น และน้ำหนักแห้งฝักต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม โดยถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีจำนวนฝักต่อต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มใกล้เคียงกัน คือถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน มีผลทำให้จำนวนฝักต่อต้นน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม 52 และ 71 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ ชม.60 น้อยกว่าประมาณ 56 และ 73 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ สท.2 น้อยกว่าประมาณ 57 และ 69 เปอร์เซ็นต์ จำนวนเมล็ดต่อต้นและน้ำหนักแห้งเมล็ดต่อต้นได้รับความกระทบกระเทือนจากภาวะเค็มมากเช่นเดียวกัน ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ อรุณศิริ กำลัง (2525) รายงานว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อต้นและน้ำหนักเฉลี่ยร้อยเมล็ด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยจำนวนฝักต่อต้นลดลงอย่างชัดเจนมาก กล่าวคือ เมื่อเติมเกลือ 0.2 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้จำนวนฝักต่อต้นลดลงประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ จำนวนเมล็ดต่อฝักและน้ำหนักเฉลี่ยร้อยเมล็ดก็ได้รับผลกระทบมากเช่นเดียวกัน อภิพรรณ พุกภักดี (2523) รายงานว่าจำนวนฝักต่อต้นของถั่วเหลืองจะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายที่สุดในขณะเดียวกันจำนวนเมล็ดต่อฝัก และ น้ำหนักร้อยเมล็ดมักจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง

ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน ที่ระดับเกลือสูง 80 มิลลิโมลาร์ พบว่าไม่มีการให้ผลผลิต ส่วนถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้สอดคล้องกับ Petal และคณะ (1974) ได้รายงานว่า ที่ระดับความเค็มปานกลาง (10 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร) ผลผลิตเมล็ดของข้าวฟ่างลดลงประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อความเค็มสูง (20 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร) แทบจะไม่ได้ผลผลิตเลย สำหรับพืชตระกูลถั่วที่ปลูกในดินเค็มจะได้รับความกระทบกระเทือนจากเกลือค่อนข้างรุนแรง ระดับความเค็มที่ทำให้ผลผลิตลดลง 10 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในถั่วเหลืองคือ 5.2 6.9 และ 9.0 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร (Carter, 1975) จากการศึกษาความทนเกลือของถั่วพันธุ์ต่าง ๆ Abel และ Mckenzie (1964) รายงานว่าถั่วเหลืองพันธุ์ทนเค็มปานกลาง และ ต่ำ จะมีน้ำหนักเมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเพิ่มความเค็มแต่ละระดับช่วง 6.5 ถึง 10.2 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร แต่น้ำหนักแห้งเมล็ดของพันธุ์ที่ทนเค็มสูงจะลดลงมากก็ต่อเมื่อได้รับความเค็มสูงถึง 10.2 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตรเท่านั้น

3. ผลของภาวะเค็มต่อการสะสมโพรลีน

จากการทดลองพบว่าภาวะเค็มมีผลทำให้ถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ มีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นในใบล่างมากกว่าใบบริเวณยอดและราก การสะสมโพรลีนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีแนวโน้มการสะสมใกล้เคียงกันขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และชม.60 ในทุกตำแหน่งพืชที่ทำการทดลอง

การสะสมโพรลีนที่เพิ่มขึ้นในถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์นั้น พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมโพรลีนในทุกส่วนของพืชมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 และพบว่าการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ถูกยับยั้งมากกว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์แสดงว่าโพรลีนมีความสัมพันธ์ในทางลบกับการเจริญเติบโต

เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชที่สามารถทนต่อความเค็มได้ในช่วงแคบ คือสามารถทนเค็มได้ระหว่าง 2-4 เดซิซีเมนต่อเมตร (dSm^{-1}) (สมศรี อรุณินท์, 2532) และมีการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมค่อนข้างจำกัด จึงเป็นไปได้ว่าการสะสมโพรลีนในถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลเนื่องจากถั่วเหลืองได้รับความเสียหายจากภาวะเค็มไม่ใช่การแสดงว่าพืชมีการทนเค็ม ซึ่งได้มีรายงานการศึกษาว่าผลการสะสมโพรลีนที่เพิ่มขึ้นในพืชบางชนิดนั้น เป็นผลมาจากภาวะที่พืชได้รับความเครียด ซึ่งไม่ได้ทำให้พืชนั้นทนเค็ม (Moftah และ Michel, 1987) เช่นเดียวกับในข้าว (*Oryza sativa* (L.)) ซึ่งมีรายงานว่าภาวะเค็มมีผลทำให้ข้าวมีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากเป็นลักษณะอาการที่พืชได้รับความเสียหายจากภาวะเค็มมากกว่าที่จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าพืชนั้นต้านทานต่อภาวะเค็ม และโดยส่วนใหญ่แล้วพบว่าข้าวพันธุ์ที่ต้านทานต่อภาวะเค็ม มีการสะสมปริมาณโพรลีนที่ต่ำกว่าข้าวพันธุ์ที่ไวต่อภาวะเค็ม (Lutts และคณะ, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Lutts และคณะ (1999) ได้แสดงให้เห็นว่าในข้าวพันธุ์ไวต่อภาวะเค็มคือ พันธุ์ IKP เปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ต้านทานภาวะเค็มคือ พันธุ์ NB พบว่าเมื่อข้าวทั้งสองพันธุ์ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 3 และ 10 วัน ที่ระดับเกลือ 50 และ 100 มิลลลิโมลาร์ มีผลทำให้ข้าวทั้งสองพันธุ์มีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้น โดยมีการสะสมในพันธุ์ที่ไวต่อภาวะเค็มคือ IKP มากกว่าพันธุ์ต้านทานคือพันธุ์ NB และการสะสมเพิ่มขึ้นของโพรลีนนั้นพบว่ามีการสะสมในใบสูงกว่าในราก และพันธุ์ข้าว IKP ซึ่งไวต่อภาวะเค็มมีการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นทั้งในรากและใบ และมีปริมาณ K ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ต้านทาน NB เมื่อพืชได้รับภาวะเค็มมีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นในใบมากกว่าราก อาจเป็นผลเนื่องมาจากโพรลีนที่สังเคราะห์ขึ้นในรากนั้น สามารถเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่นๆ ของพืชได้ จากการเคลื่อนย้ายที่มีผลมาจากขบวนการคายน้ำ (transpiration stream) (Hua และคณะ, 1997)

การที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็มมีผลทำให้การสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นในใบ บริเวณยอด ใบล่างและราก มากว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 นั้นอาจเป็นผลเนื่องมาจากถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ได้รับผลกระทบจากการสะสมโซเดียมไอออน และคลอไรด์ไอออนเพิ่มสูงขึ้นในใบบริเวณยอด ใบล่างและราก ที่มากกว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ และได้รับผลกระทบต่อการเจริญเติบโตที่มากกว่า แสดงให้เห็นว่าการสะสมโพรลีนที่เพิ่มสูงขึ้นในถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 นั้นเป็นผลเนื่องมาจากการได้รับความเสียหายจากภาวะเค็ม ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 นั้นพบว่ามีแนวโน้มการสะสมเพิ่มขึ้นของโพรลีนเท่ากันและมีความต้านทานต่อภาวะเค็มมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า จึงอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณโพรลีนมีความสัมพันธ์กับความต้านทานภาวะเค็มในทางลบซึ่ง ธวัช เรืองโสภณ (2535) ทำการศึกษาในข้าวโพดพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสะสมโพรลีนกับค่า drought index สรุปได้ว่าปริมาณโพรลีนมีความสัมพันธ์กับความต้านทานแล้งในทางลบ โดยพันธุ์ที่มีการสะสมโพรลีนสูงจะไม่ทนทานต่อสภาวะแห้งแล้ง ส่วนพันธุ์ที่มีการสะสมโพรลีนต่ำเป็นพันธุ์ต้านทานแล้ง ซึ่งมีผลการทดลองทำนองเดียวกันกับการทดลองของ นวรัตน์ อุดมประเสริฐ (2540) รายงานว่าการสะสมโพรลีนภายใต้ภาวะขาดน้ำในข้าวโพดพันธุ์ Ki3 ซึ่งมีแนวโน้มไวต่อการขาดน้ำมีการสะสมโพรลีนสูงกว่าข้าวโพดพันธุ์ Ki11 ซึ่งมีแนวโน้มทนแล้ง เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมโพรลีนกับผลผลิตแล้วพบว่าการสะสมโพรลีนมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับการให้ผลผลิต โดยพันธุ์ Ki11 ซึ่งมีแนวโน้มทนแล้งเมื่อได้รับภาวะขาดน้ำให้ผลผลิตสูงกว่าและมีการสะสมโพรลีนในระดับที่ต่ำกว่าพันธุ์ Ki3 ซึ่งมีแนวโน้มไวต่อการขาดน้ำที่ให้ผลผลิตต่ำกว่า เช่นเดียวกับ Ilahi และ Dorffting (1981) ทำการทดลองในข้าวโพดสี่พันธุ์คือ Shaheen และ Gold Prinz ซึ่งเป็นพันธุ์ไม่ต้านทานต่อภาวะขาดน้ำ พบว่ามีปริมาณโพรลีนสูงกว่าพันธุ์ Swabi White และ Garbo ซึ่งเป็นพันธุ์ต้านทานต่อสภาวะขาดน้ำ

การสะสมโพรลีนที่เพิ่มขึ้นในถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์นี้ พบว่ามีความสัมพันธ์ในทางลบกับการเจริญเติบโต ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของ Kishor และคณะ (1995) ที่ได้ทดลองสร้าง *P5CS* transgenic plant ในต้นพืชยาสูบ พบว่าเมื่อ *P5CS* transgenic plant ได้รับภาวะเค็มมีการสะสมของโพรลีนในใบเพิ่มมากขึ้น จากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมพบว่า *P5CS* transgenic plant มีความสัมพันธ์กับการปรับตัวของพืชให้มีความทนเค็มขึ้นได้ดีกว่าชุดควบคุม เนื่องจาก *P5CS* transgenic plant ที่มีการสร้างโพรลีนปริมาณเพิ่มขึ้น มีการเจริญเติบโตของรากได้ดี น้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้น มีการพัฒนาของต้นและดอกได้ดีกว่าชุดควบคุมในการตอบสนองต่อภาวะเค็ม สอดคล้องกับรายงานการทดลองของ Barthakur และคณะ (2001) ที่ได้ทดลองสร้าง transgenic plant ในต้นพืชยาสูบ ชักนำให้พืชมีการแสดงออกที่เพิ่มขึ้นของ *osmotin* gene โดยใช้

CaMV 35S promoter เมื่อให้ภาวะเค็มที่ระดับเกลือ 200 มิลลิโมลาร์ กับ transgenic plant พบว่ามีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นมากกว่าพืชชนิด wild type อย่างมีนัยสำคัญ และ transgenic plant มีผลช่วยลดการหลุดร่วงของใบ (leaf senescence) เมล็ดมีการงอกดีขึ้นและเมื่อศึกษาการให้ภาวะขาดน้ำกับ transgenic plant พบว่าพืชมีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นและมีการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าพืชชนิด wild type จากผลการทดลองนี้ได้แนะนำว่าการชักนำให้มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นของ *osmotin* gene มีความเกี่ยวข้องกับการชักนำให้มีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับการทนต่อภาวะเค็มและภาวะขาดน้ำ

อย่างไรก็ตามเนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อภาวะเค็มไม่เหมือนกัน พืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์กันก็มีการตอบสนองต่อภาวะเค็มที่แตกต่างกัน การสะสมโพรลีนในพืชเมื่อได้รับภาวะเค็มนั้นจากหลายการทดลองพบว่ามีปริมาณการสะสมที่ความแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากระดับความต้านทานและการตอบสนองต่อภาวะเค็มของพืชแต่ละชนิดนั้นมีไม่เหมือนกัน และระยะการพัฒนาของพืชแต่ละระยะก็มีความต้านทานต่อภาวะเค็มที่แตกต่างกัน (Lutts และคณะ, 1999)

4. ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณโซเดียมไอออน

เมื่อต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็มมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์โซเดียมไอออนในใบบริเวณยอด ใบล่าง ราก และฝักถั่วเหลือง มีการสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีความสัมพันธ์ในทางลบกับการเจริญเติบโตของพืช จากผลการทดลองเมื่อระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 80 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้ส่วนต่างๆ ของถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้น และเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลานานขึ้นจาก 0 ถึง 60 วัน ก็มีผลทำให้มีการสะสมโซเดียมไอออนในส่วนต่างๆ ของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยพบว่าต้นถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีการสะสมโซเดียมไอออนในรากมากว่าส่วนอื่นๆ สำหรับตำแหน่งของใบพบว่าใบล่างมีการสะสมโซเดียมไอออนมากกว่าใบบริเวณยอด และฝักของถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมไอออนน้อยที่สุด

การที่ถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์เมื่อได้รับภาวะเค็ม มีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้นมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ ของพืชนั้นสอดคล้องกับการทดลองของ อรุณศิริ กำลัง (2525) รายงานว่าการให้โซเดียมคลอไรด์ระดับต่าง ๆ (0.05 0.1 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งดิน) ลงไปในดินที่ปลูกถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.1 พบว่าเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มจนมีอายุ 30 และ 44 วัน รากเป็นส่วนที่มีการสะสมโซเดียมไอออนไว้มากกว่าต้นและใบ กล่าวคือเมื่อเพิ่มเกลือให้มีระดับสูงกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ การสะสมโซเดียมไอออนทั้งใบลำต้นและรากจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก และถั่วหลืองที่ได้รับ

เกลือ 0.1 เปอร์เซ็นต์ จะสะสมโซเดียมไอออนในรากมากกว่าในใบประมาณ 2 เท่า เมื่อถั่วเหลืองอายุ 30 และ 44 วัน เช่นเดียวกับ Chavan และ Karadge (1980) พบว่าถั่วลิสงพันธุ์ TMV-10 ที่ได้รับเกลือระดับต่างๆ คือ 0 50 100 และ 200 มิลลิโมลาร์ จะสะสมโซเดียมไอออนในรากและต้นเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า ส่วนใบมีการสะสมเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า ของต้นที่ไม่ได้รับเกลือ เมื่อพืชได้รับเกลือในระดับสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง พบว่ารากจะสะสมโซเดียมไอออนได้มากกว่าลำต้นและใบ และ Lunin และ Gallatin (1964) รายงานผลการวิเคราะห์เนื้อเยื่อของถั่ว *Phaseolus vulgaris* พบว่าการสะสมโซเดียมไอออนในใบ ไม่ได้รับการกระทบกระเทือนจากการเพิ่มความเค็มอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในลำต้นและรากมีการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่าง ชัดเจนที่ระดับความเค็มสูงขึ้น จากงานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการสะสมโซเดียมไอออนในพืชส่วนใหญ่จะสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของเกลือที่เพิ่มขึ้น และรากจะสะสมโซเดียมไอออนมากกว่าส่วนอื่นๆ ของพืชซึ่ง Bernstein (1975) กล่าวว่าปกติรากพืชจะดูดไอออนและเคลื่อนย้ายไปสู่ลำต้นและใบ แต่พืชบางชนิดเคลื่อนย้ายโซเดียมไอออนจากรากไปสู่ใบได้น้อยกว่าพืชชนิดอื่น อย่างไรก็ตามการที่พืชบางชนิดดูดโซเดียมไอออนเข้ามาแล้วแต่ชะลอการเคลื่อนย้ายไปสู่ใบ และได้สะสมอยู่ที่รากเป็นจำนวนมาก จะเป็นข้อได้เปรียบของพืชดังกล่าวซึ่งช่วยให้พืชนั้นทนต่อความเค็มได้ดีขึ้น (Levitt, 1972)

การสะสมโซเดียมไอออนที่เกิดในใบล่างมากกว่าใบในบริเวณยอด เป็นกลไกหนึ่งที่พืชมีเพื่อป้องกันใบอ่อนจากภาวะเค็ม (Greenway และ Munns, 1980) ในการทดลองนี้พบว่าเมื่อถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็ม มีผลทำให้โซเดียมไอออนในใบล่างเพิ่มขึ้นมากกว่าใบบริเวณยอด อาจอธิบายได้จากงานวิจัยของ Durand และ Lacan (1994) ที่พบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณโซเดียมในไซเลมแซปลดลงตามความสูงของต้นที่เพิ่มขึ้น เกิดจากเนื้อเยื่อลำต้นรอบท่อลำเลียงมีการดูดรับโซเดียมเอาไว้ปริมาณโซเดียมที่ถูกลำเลียงไปยังยอดจึงลดลง ด้วยเหตุผลนี้จึงมีปริมาณไอออนของเกลือทั้งสองชนิดในใบบริเวณยอดน้อยกว่าใบล่าง

จากผลการทดลองนี้เห็นได้ชัดเจนว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมโซเดียมไอออนเพิ่มมากขึ้นในรากและรองลงมาคือใบล่าง ใบบริเวณยอดและฝักถั่วเหลืองตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณการสะสมที่มากกว่าพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 อย่างชัดเจน ที่ระดับเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ เมื่อถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน มีการสะสมโซเดียมไอออนในรากเพิ่มขึ้น 12.3 เท่า ใบล่าง 8.7 เท่า และใบบริเวณยอด 4.5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม และส่งผลให้ต้นถั่วเหลืองไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในระยะวันที่ 30 ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีการสะสมโซเดียมไอออนที่น้อยกว่าและยังเจริญเติบโตได้และถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีการสะสมโซเดียมไอออนมากกว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ในทุกระดับเกลือ ซึ่งส่งผลให้ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ได้รับความเสียหายและถูกยับยั้งการเจริญเติบโตมากกว่า โดยเห็นได้จากการที่มีน้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้ง

รากและพื้นที่ใบลดลง อย่างมีนัยสำคัญมากกว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ ดังนั้นถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 จึงมีความต้านทานต่อภาวะเค็มได้ดีกว่าพันธุ์ สท.2

การสะสมโซเดียมไอออนของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 เมื่อได้รับภาวะเค็มพบว่ามีการสะสมใกล้เคียงกันและน้อยกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ในทุกตำแหน่งที่ทำการศึกษา ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีการสะสมโซเดียมไอออนในลำต้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 โดยการกระจายตัวของไอออนในลักษณะดังกล่าวอาจช่วยลดปัญหาการขาดน้ำในใบอ่อนและช่วยลดการสะสมไอออนในใบแก่ (Greenway และ Munns,1980) มีผลทำให้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ต้านทานต่อภาวะเค็มได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริพรรณ บรรหาร (2543) พบว่าเมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ได้รับภาวะเค็ม ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีการสะสมโซเดียมและคลอไรด์ (เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) ที่ใบน้อยกว่าลำต้น โดยเพิ่มสูงขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าพันธุ์ มข.35 มีผลทำให้ถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ถูกยับยั้งการเจริญเติบโตที่มากกว่า อาจเป็นผลเนื่องมาจากการที่ต้นถั่วเหลืองมีการสะสมโซเดียมและคลอไรด์ไว้ที่ใบน้อยกว่าลำต้นนั้น ทั้งนี้อาจเป็นกลไกอันหนึ่งของพืชไม่ทนเค็มที่ลดความเป็นพิษของโซเดียมในส่วนของใบซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ในใบ โดยสะสมเกลือไว้ที่ลำต้น

เมื่อต้นถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 45 และ 60 วันพบว่า ถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ มีการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเพิ่มขึ้นโดยมีแนวโน้มการสะสมโซเดียมไอออนในฝักเพิ่มมากขึ้น ในถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ชม.60 และ สจ.5 ตามลำดับ การสะสมโซเดียมไอออนในฝักนั้นมีปริมาณการสะสมที่น้อยกว่าในใบบริเวณยอด ใบล่าง และ ราก ของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ โดยมีการสะสมเพิ่มขึ้นที่เกลือระดับสูงขึ้นและระยะเวลาที่ได้รับภาวะเค็มนานขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์ในทางลบกับองค์ประกอบผลผลิต พบว่าการสะสมโซเดียมไอออนในฝักที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับเกลือที่ระดับสูงมีผลทำให้จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้นและน้ำหนักแห้งฝักต่อต้นลดลงมากกว่าที่ระดับเกลือต่ำกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ผลของภาวะเค็มต่อปริมาณคลอไรด์ไอออน

เมื่อถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ได้รับภาวะเค็ม พบว่ามีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มมากขึ้นจากระดับเกลือที่สูงขึ้นและระยะเวลาที่ถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มนานขึ้น โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีรูปแบบการสะสมคลอไรด์ไอออนคล้ายกันคือ มีการสะสมในรากเพิ่มขึ้นมากกว่าในใบล่างและใบบริเวณยอด ซึ่งตำแหน่งใบล่างมีการสะสมคลอไรด์ไอออนมากว่าตำแหน่งใบบริเวณยอด ส่วนฝักถั่วเหลืองมีการสะสมน้อยที่สุด สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีรูปแบบที่แตกต่างกันคือมีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มมากขึ้นในใบล่าง ราก ใบบริเวณยอดและฝักถั่วเหลืองตามลำดับ และมีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ทุกตำแหน่งพืช

เป็นที่น่าสังกตว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการสะสมโซเดียมไอออนแล้ว ถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์เมื่อได้รับภาวะเค็มมีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอด ใบล่าง รากและฝักถั่วเหลือง มากกว่าการสะสมโซเดียมไอออน ซึ่งแสดงว่าคลอไรด์ไอออนมีแนวโน้มที่จะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วเหลืองมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ อัญชลี ใจดี (2543) รายงานว่าเมื่อถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ได้รับภาวะเค็มถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีการสะสมไอออนของเกลือเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับเกลือนานขึ้น และมีการสะสมคลอไรด์ในใบมากกว่าโซเดียม เมื่อได้รับภาวะเค็มนาน 14 วัน พบว่าปริมาณคลอไรด์เพิ่มขึ้นในใบล่างเนื่องจากภาวะเค็มถึง 12 เท่า ในขณะที่ปริมาณโซเดียมเพิ่มขึ้นเพียง 1.6 เท่าในถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 และมีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลงในพันธุ์ สจ.5 แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองเป็นพืชที่สามารถลดการสะสมโซเดียมในใบ และสอดคล้องกับรายงานของ Durand และ Lacan (1994) ที่พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ Hodgson สามารถลดปริมาณโซเดียมในใบได้โดยการสะสมไว้ในส่วนของลำต้นและมีการสะสมคลอไรด์มากในแผ่นใบเช่นเดียวกับ Velagaleti และ Schweitzer (1995) การมีปริมาณคลอไรด์เพิ่มขึ้นมากในใบล่างของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์นี้สอดคล้องกับอาการของใบที่พบ คือมีอาการใบแห้งตายเป็นจุด (necrosis) ที่บริเวณใกล้ขอบใบ และอาการใบเหลือง (chlorosis) โดยมีรายงานว่าอาการใบไหม้เป็นผลของความเป็นพิษของคลอไรด์ต่อเซลล์ในถั่วเหลือง (Yang และ Blanchar, 1993) ซึ่งเกิดขึ้นมากกับใบล่างของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เนื่องจากใบล่างมีการสะสมเพิ่มขึ้นของคลอไรด์ไอออนมากกว่าที่ตำแหน่งอื่นๆ และมีผลทำให้ใบหลุดร่วงมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ส่งผลให้พื้นที่ใบรวมต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มลดลงมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 อย่างชัดเจน

สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีแนวโน้มต่อการต้านทานภาวะเค็ม มากกว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 พบว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในรากมากกว่าใบล่าง

และใบบริเวณยอด และการสะสมคลอไรด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นของทั้งสองพันธุ์นั้น มีปริมาณการสะสมที่น้อยกว่าพันธุ์ สท.2 ทุกตำแหน่งพืช เช่นที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ เมื่อได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 มีการสะสมคลอไรด์ไอออนในใบล่าง เพิ่มขึ้นประมาณ 6.3 และ 9.10 เท่าตามลำดับ และ พันธุ์ ชม. 60 มีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นประมาณ 6.9 และ 10.1 เท่าตามลำดับ ขณะที่พันธุ์ สท.2 มีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นประมาณ 17 และ 18.8 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม สอดคล้องกับรายงานของ Abel และ Mckenzie (1964) รายงานว่าการสะสมคลอไรด์ไอออนของถั่วเหลืองพันธุ์ที่ทนเค็มและไม่ทนเค็มจะแตกต่างกัน กล่าวคือถั่วเหลืองที่ทนเค็มจะสะสมคลอไรด์ไอออนในใบและต้นน้อยกว่าพันธุ์ไม่ทนเค็มประมาณ 10-15 เท่า สำหรับพันธุ์ไม่ทนเค็มจะตายเมื่อสะสมคลอไรด์ไอออนในลำต้นและใบมากกว่า 15,000 และ 30,000 ppm ตามลำดับ ส่วนคลอไรด์ไอออนในรากถั่วเหลืองที่ทำการทดลองจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเพิ่มความเค็ม โดยได้เสนอแนะว่ากลไกที่เกี่ยวข้องกับการดูดคลอไรด์ไอออนที่รากจะแตกต่างกันตามพันธุ์ของถั่วเหลือง นอกจากนี้การเคลื่อนย้ายคลอไรด์ไอออนในแต่ละพันธุ์ก็แตกต่างกันด้วย

ในส่วนของฝักถั่วเหลืองนั้นพบว่าเมื่อต้นถั่วเหลืองได้รับภาวะเค็มมีผลทำให้การสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นมากกว่าปริมาณโซเดียมไอออน โดยในพันธุ์ สท.2 เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีการสะสมคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้น 0.71 และ 0.93 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ที่ระดับเกลือ 20 และ 40 มิลลิโมลาร์ตามลำดับมากกว่าพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 ซึ่งมีการสะสมใกล้เคียงกัน โดยการสะสมคลอไรด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นในถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์นั้นอาจเป็นไปได้ว่าเพื่อบรรเทาความเป็นพิษจากโซเดียมไอออน แต่อย่างไรก็ตามการสะสมโซเดียมไอออนและคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้องค์ประกอบผลผลิตพืชลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

การศึกษาอิทธิพลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต การสะสมโพรลีน โซเดียมไอออน และคลอไรด์ไอออนของถั่วเหลืองสามพันธุ์ หลังจากให้ถั่วเหลืองได้รับเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นระยะเวลา 0 15 30 45 และ 60 วัน พบว่าถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อภาวะเค็มที่ได้รับแตกต่างกัน ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถบอกถึงความสามารถในการปรับตัวต่อภาวะเค็ม ในถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. ภาวะเค็มที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

เมื่อให้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายมีผลทำให้อัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก พื้นที่ใบและอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้นในถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ลดลง โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ ชม. 60 มีแนวโน้มการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ภาวะเค็มมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตมากกว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 และ ชม.60 มีแนวโน้มในการต้านทานต่อภาวะเค็มได้ดีกว่า

2. ภาวะเค็มที่มีผลต่อองค์ประกอบผลผลิต

เมื่อให้เกลือโซเดียมในสารละลายมีผลทำให้จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้น และน้ำหนักแห้งฝักต่อต้น ในถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ลดลง โดยถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์เมื่อระดับเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงขึ้นมีผลทำให้องค์ประกอบผลผลิตน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็มอย่างมีนัยสำคัญ และมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 30 วัน

3. ภาวะเค็มที่มีผลต่อการสะสมโพรลีน

ภาวะเค็มมีผลทำให้ถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์สะสมโพรลีนเพิ่มขึ้น ที่ตำแหน่งใบพบว่ามีการสะสมในใบล่างเพิ่มขึ้นมากกว่าใบบริเวณยอด และรากมีการสะสมเพิ่มขึ้นน้อยกว่าโดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ ชม.60 มีแนวโน้มการสะสมโพรลีนใกล้เคียงกัน ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สท. 2 มีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าการสะสมโพรลีนที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ในทางลบกับการเจริญเติบโต และการสะสมโพรลีนที่เพิ่มขึ้นเป็นลักษณะอาการได้รับความเสียหายจากภาวะเค็มมากกว่าเป็นกลไกการทนเค็มของถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์ ซึ่งเป็นผลมาจากถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีปริมาณโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้น

4. ภาวะเค็มที่มีผลต่อปริมาณโซเดียมไอออน

ภาวะเค็มมีผลทำให้ถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้น โดยที่ตำแหน่งใบพบว่าใบล่างมีปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นมากกว่าใบบริเวณยอด และรากมีปริมาณมากกว่าที่ตำแหน่งใบ ฝักถั่วเหลืองมีปริมาณน้อยที่สุด ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ ชม.60 มีปริมาณโซเดียมไอออนใกล้เคียงกัน ขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 มีปริมาณโซเดียมไอออนมากกว่าทั้งสองพันธุ์ ผลแสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์พยายามลดความเสียหายจากภาวะเค็มที่บริเวณส่วนยอด โดยมีการสะสมโซเดียมไอออนที่รากและใบล่างมากกว่า และปริมาณโซเดียมไอออนที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ในทางลบกับการเจริญเติบโต โดยถั่วเหลืองพันธุ์สจ.5 และ ชม.60 มีแนวโน้มในการลดปริมาณการสะสมโซเดียมไอออนได้มากกว่าและต้านทานต่อภาวะเค็มได้ดีกว่าพันธุ์ สท.2

5. ภาวะเค็มที่มีผลต่อปริมาณคลอไรด์ไอออน

ภาวะเค็มมีผลทำให้ถั่วเหลืองทั้งสามพันธุ์มีปริมาณคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้น โดยถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 มีรูปแบบการเพิ่มปริมาณคลอไรด์ไอออนเหมือนกับการเพิ่มปริมาณโซเดียมไอออน แต่ในถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 พบว่าปริมาณคลอไรด์ไอออนในใบล่างเพิ่มสูงกว่าในตำแหน่งอื่นๆ สอดคล้องกับอาการของใบล่างคือใบแห้งตายบริเวณขอบใบ เนื่องจากความเป็นพิษของคลอไรด์ และมีผลทำให้ใบล่างหลุดร่วงในที่สุด มีผลทำให้พื้นที่ใบที่ลดลงมากกว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 และ ชม.60 อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับภาวะเค็ม

จากผลดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นไปได้ว่าการเพิ่มระดับเกลือในสารละลาย มีผลทำให้การสะสมไอออนของกลือในเนื้อเยื่อของถั่วเหลือง ถึงขั้นวิกฤตต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ซึ่งจะเห็นได้จากการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพืชได้รับความเสียหายมากขึ้นจากการได้รับเกลือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาองค์ประกอบผลผลิตพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 วัน ยังไม่ถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิต จึงมีผลทำให้เมล็ดมีขนาดเล็กไม่สามารถแยกเมล็ดออกจากฝักได้ ดังนั้นควรศึกษาหาข้อมูลถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยวของพันธุ์ถั่วเหลืองที่นำมาทดลองก่อน และกำหนดระยะเวลาการทดลองให้เหมาะสม

2. การศึกษาการสะสมโพรลีนในส่วนรากนั้น ควรกำหนดตำแหน่งของรากที่จะใช้ศึกษาให้แน่นอน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง เนื่องจากในบางการศึกษาพบว่าโพรลีนมีการสะสมมากในรากที่บริเวณ 0-3 มิลลิเมตร จากปลายรากมากกว่าส่วนของรากที่บริเวณ 10 มิลลิเมตรขึ้นไปจากปลายราก และควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของลำต้น ซึ่งจะสามารถอธิบายผลการทดลองได้ชัดเจนมากขึ้น

3. จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าในการวิเคราะห์ปริมาณไอออนของเกลือที่ตำแหน่งใบต่างกันในระดับเกลือที่สูงมีปัญหาเรื่องตัวอย่างที่จะวิเคราะห์มีปริมาณน้อย ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดของผลการวิเคราะห์ จึงต้องมีความรอบคอบมากขึ้นในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างพืชและอาจใช้วิธีการรวมตัวอย่างโดยการรวมตำแหน่งใบใกล้เคียงกัน เพื่อเป็นตัวแทนของใบในบริเวณนั้นเป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมพัฒนาที่ดิน. 2527. ความรู้เรื่องดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. โครงการพัฒนาดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2530. เคมีของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

นวรัตน์ อุดมประเสริฐ. 2540. อิทธิพลของสภาวะขาดน้ำในระยะออกช่อดอกตัวผู้ต่อระดับของโพรลีนและ เอ บี เอ และผลผลิตของข้าวโพด. รายงานวิจัยปี 2540. ภาควิชาพืชไร่. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัศนีย์ อัตตะนัทน์, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, สุรเดช จินตกานนท์. 2537. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช . ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธวัช เรืองโสภณ. 2535. การประเมินความทนแล้งของข้าวโพดต่างพันธุกรรมโดยใช้การสะสมโพรลีนเป็นดัชนี. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. ภาควิชาพืชไร่นา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มะลิวัลย์ เทพพูลผล และ สุรทิน แก้วโรจน์. 2531. อิทธิพลของอินทรีย์สารที่มีต่อการงอกและการเจริญเติบโตของถั่วเขียวในดินชุดกุลาร้องให้ที่ได้รับระดับความเค็มแตกต่างกัน. รายงานผลการค้นคว้าวิจัยปี 2528 เล่มที่ 2. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 104-105.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2521. ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2524. พืชกับความเค็มของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริพรรณ บรรหาร. 2543. การเปรียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของถั่วเหลือง *Glycine max*. (L.) merrill พันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ต่อภาวะเค็ม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาพฤกษศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภชัย แก้วมีชัย. 2537. การปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองในประเทศไทย. ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมศักดิ์ สุริโย. 2541. การผลิตถั่วเหลืองในยุคโลกาภิวัฒน์. เอกสารประกอบการอภิปรายในการประชุมวิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติ ครั้งที่ 7 เสนอที่มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 25-27 สิงหาคม. (เอกสารไม่ตีพิมพ์เผยแพร่).หน้า 1-9.

สมศรี อรุณินท์. 2531. การปลูกพืชในดินเค็ม. รายงานการสัมมนาการปลูกพืชในดินเลวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. หน้า 492-496.

สมศรี อรุณินท์. 2532. พืชทนเค็ม. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ฝ่ายเผยแพร่และประชาสัมพันธ์. สำนักงานเลขานุการ. 230 หน้า

สมศรี อรุณินท์, อรุณี ยุวะนิยม, พรรณี รุ่งแสงจันทร์, ชัยนาม ดิสถาพร และ อนงค์ สุทธาวาส. 2533. อิทธิพลของความเค็มต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดในข้าวสามพันธ์. รายงานผลการค้นคว้าวิจัยปี 2532. ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาการเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือขอนแก่น. หน้า 169-183.

สายัณห์ สดุดี. 2537. สภาวะการขาดน้ำในการผลิตพืช. ภาควิชาพืชศาสตร์. คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่สงขลา.

อภิพรรณ พุกภักดี. 2523. สรีรวิทยาของการผลิตพืชตระกูลถั่ว. ภาควิชาพืชไร่นา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรุณ น่วมน้อย. 2538. อิทธิพลของฤดูปลูกและอัตราปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ภายใต้สภาพแวดล้อมกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาพืชไร่นา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรุณศิริ กำลัง. 2525. อิทธิพลของเกลือแกงที่มีต่อการเจริญเติบโตและการสะสมไอออนต่างๆ ของถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัญชลี ใจดี. 2543. บทบาทของกรดแอบไซซิกจากภายนอกต่อการปรับตัวทางสรีรวิทยาบางประการในถั่วเหลือง *Glycine max*. (L.) merrill พันธุ์ สจ.5 และ มข.35 ที่ปลูกในภาวะเค็ม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาพฤกษศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัญชลี แพทย์อุดม. 2522. อิทธิพลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมไอออนของข้าวบางพันธุ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2525. ความสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

Abel, G.H.1969. Inheritance of the capacity for chloride inclusion and chloride exclusion by soybean. Soil Sci. Amer. J. 41 : 914-918.

Abel, G.H., Mackenzie, and Mackenzie, A.J. 1964. Salt tolerance of soybean varieties during germination and later stages of growth. Crop. Sci. 4 : 57-460.

Adam, F. and Frank, L. 1980. Metabolism of proline and the hydroxyprolines. Annu. Rev. Biochem. 49 : 1005-1061.

Akbar, M. and Ponnamperuma, F.N. 1982. Saline soil of south and southeast asia as potential rice lands. In rice research strategies for the future. Ed. IRRI. John Wiley and Sons,pp. 256-282.

Alia Prasad, K.V., Pardha, S.K. and Saradhi,P. 1995. Effects of zinc on free radicals and proline in Brassica and Cajanus. Phytochemistry. 39 : 45-47.

Balasubramanian, V. and Sinha, S.K. 1976. Effects of salt stress on growth, noduration and nitrogen fixation in cowpea and mung bean. Physiol Plant. 36 : 197-200.

Barthakur, S., Babu, V. and Bansal, K.C. 2001. Over-expression of osmotin induces proline accumulation and confers tolerance to osmotic stress in transgenic tobacco. Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology. 10 : 31-37.

Bates, L.S., Woldren, R.P. and Teare, I.D.1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39 : 205-207.

Beadle, C.L. 1993. Growth analysis. In Hall, D.O. *et al*. (ed) Photosynthesis and production in a changing environment : A field and laboratory manual. London : Chapman & Hall.

Beadle, C.L., Long, S.P., Imbamba, S.K., Hall, D.O. and Olembo, R.J. 1985. Photosynthesis in relation to plant production in terrestrial environments. Tycooly Publishing Limited. pp.82-85.

Bernstein, L. 1961. Osmotic adjustment of plants to saline media. I. Steady state. Amer. J. Bot. 48 : 909-918.

Bernstein, L. 1964. Effect of Salinity on mineral composition and growth of plants. Plant Anal. Fert. Probl. 42 : 25 – 45.

Bernstein, L. 1975. Effect of Salinity and sodicity on plant growth. Ann. Rev. Phytopathol. 13 : 295-311.

Bernstein, L. and Ogata, G.1966. Effects of salinity on noduration, nitrogen fixation and growth of soybeans and alfalfa. Agron J. 58 : 201-203.

Bhumble, D.R. and Abrol, I.P. 1978. Saline and sodic soils. In IRRI. Soil and rice. , Los Banos, Laguna, Philippines. pp.720-738

Boggess, S. F. and Stewart, C. R.1976. Contribution of arginine to proline accumulation in water – stressed barley leaves. Plant Physiol. 58 : 796 – 797.

Boggess, S. F., Aspinall, D. and Paleg, L.G. 1976. Stress metabolism IX. The significance of end – product inhibition of proline synthesis and of compartmentation in relation to stress – induced proline accumulation. Aust. J. Plant Physiol. 3 : 513 – 525.

Carter, D.L. 1975. Problems of salinity in agriculture, plant in saline environments. New York : Academic Press.

Catro, R.U. and Sabado, S.R. 1977. Influence of varying levels of salt applied at diffrence stages on growth and yield of rice. Grain J. 11(3) :43-45.

Chavan, P.D. and Karadge. B.A. 1980. Influence of salinity on mineral nutrition of peanut (*Arachis hypogea L.*). Plant and Soil. 54 : 5-13.

Clarkson, D.T. and Hanson, J.B. 1980. The mineral nutrition of higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 31 : 239-247.

Colmer, D.T., Fan, M.W.T., Higashi, M.R. and Andre' Lauchli. 1996. Interactive effects of Ca^{2+} and NaCl salinity on the ionic relation and proline accumulation in the primary root tip of *Sorghum bicolor*. Physiologia Plantarum. 97 : 883-893.

Csonka, L.N. and Hanson, A.D. 1991. Prokaryotic osmoregulation : genetics and physiology. Annv Rev Microbiol. 45 : 569-606.

Delane, R., Greenway, H. Munns, R. and Gibbs, J. 1982. Ion concentration and carbohydrate status of the elongating leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at high external NaCl. J.Exp.Bot. 35 : 557-573.

Delauney, A.J. and Verma, D.P.S. 1991. Proline biosynthesis and osmoregulation in plant. The plant Journal. 4 : 215-223.

Durand, M. and Lacan, D., 1994. Sodium partitioning within the shoot of soybean. Physiologia Plantarum. 91 : 65-71.

Ehlig, C. F. and Bernstein. L. 1958. Salt tolerance of strawberries. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 72 : 198-206.

Flowers, T.J. and Yeo, A.R. 1986. Ion relations of plants under drought and salinity. Aust. J. Plant Physiol. 13 : 75-91.

Flowers, T.J., Troke, P.E. and Yeo, A.R. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. Annu. Rev. Plant Physiol. 28 : 189 – 121.

Flowers, T.J., Duque, E., Hajibagheri, M.A., Mc Goning, T.P. and Yeo, A.R. 1985. The effect of salinity on the ultrastructure and net photosynthesis of two varieties of rice : futher evidence for a cellular compartment of salt resistance. New Phytol. 100 : 37-43.

Fougere, F., Rudulier, D.L. and Streeter, J.G. 1991. Effects of salt stress on amino acid, and carbohydrate composition of roots, bacteroids, and cytosal of alfalfa (*Meicago Sativa*). Plant Physio. 96 : 1228-1236.

Francois, L.E. Donovan, T. and Maas, E.V. 1984. Salinity effects on seed yield, growth and germination of grain sorhum. Agron. J. 76 : 741-744.

Gale, J. and Poljakoff – Mayber, A. 1970. Growth of *Atriplex halimus* (L.) in sodium chloride salinated culture solutions as affected by the relative humidity of the air . Aust. J. Biol. Sci. 23 : 947-952.

Gale, J., Kohl, H.C. and Hagen, R.M. 1967. Chang in the water balance and photosynthesis of onion, bean and cotton plants under saline condition. Physiol Plant. 20 : 408-420.

Gauch, H.G. and Wedleigh, C.H. 1944. Effects of high salt concentration on growth of bean plants. Bot. Gaz. 105 : 379-387.

Grattan, S.R. and Maas, E.V. 1984. Interactive effects of salinity and substrate phosphate on soybean. Agron. J. 76 : 668-676.

Greenway, H. 1973. Salinity, plant growth and metabolism. The J.Aust. Insti. Agri. Sci. 39 : 24-34.

Greenway, H. and Munns. R.1980. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. Annu. Rev. Plant Physiol. 31 : 149-190.

Geenway, H. and Osmond, C.B. 1972. Salt responses of enzymes from species differing in salt tolerance. Plant Physiol. 49 : 256 – 259.

Hach company. 1988. DR/2000 Spectrophotometer procedures manual. USA.

Hagedorn,C.H. and Phang, J.M. 1986. Catalytic transfer of hydride ions from NADPH to oxygen by the interconversions of proline and delta^{1}-pyrroline-5-carboxylate. Arch Biochem Biophys. 248 : 166-174.

Hanson, A.D. and Hitz, W.D. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant after deficits. Annu. Rev. Plant Physiol. 33 : 163-203.

Hanson, A.D. and Tully, R.E. 1979. Light stimulation of proline synthesis in water – stressed barley leaves. Planta. 145 : 45 – 51.

Hu, C.A., Delavnge, A.J. and Verma, D.P.S. 1992. A bifunctional anzyme (pyproline-5-carboxylate synthethase) catalyses the first two step in proline biosynthesis in plants. Proceeding of the National Academiy of Science. USA. 89 : 354-358.

Hua, X-J., Van de Cotton, B., Van Montagu, M., and Verbruggen, N. 1997. Developmental regulation of pyrroline-5-carboxylate reductase gene expression in Arabidopsis. Plant Physiol. 114 : 1215-1224.

Ilahi, I. and Dorffling, K. 1982. Changes in abscisic acid and proline levels in maize varieties of different drought resistance. Physiol Plant. 55 : 129-135.

Jacoby, B. 1994. Mechanisms involved in salt tolerance by plant. In Pessarakli M. (ed.) Handbook of plant and crop stress. New York : Marcel Dekker.

Jenings, D.H. 1968. Halophytes, succulence and sodium in plants : A unified theory. New Phytol. 6 : 899 – 911.

Jones, M.M. and Rawson, H.M. 1979. Influence of rate of deverlopment of leaf water potential on photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency and osmotic maintiance insorghum and maize under stress. Physiol. Plant. 45 : 103-111.

Jones, M.M., Turner, N.C. and Osmond, C.B. 1981. Mechanisms of drought Resistance. In : L. Delay and D. Aspirall, Physiology and Biochemistry of drought resistance in plant, Academic Press, Sydnry. 15-37p.

Kishor, P.B.K., Hong Z, Miao, G.H., Hu, C-AA. and Verma, D.P.S. 1995. Overexpresstion of Δ^1- pyrroline-5-carboxylate synthetase increase proline prodution and confers osmotolerance in transgenic plant. Plant Physiol. 108: 1387-1399.

Kleinkopf, G.E., Wallace. A. and Cha, J.W. 1975. Sodium relation in desert plant : 4 some physiological response of *Atriplex confertifolia* to different levels of NaCl. Soil Sci. 120 : 45-48.

Lashin, N.H. and Atanasiu. 1972. Studies on the effect of salt conc. On the formation of dry matter, uptake of mineral nutrients and mineral composition of cotton plants during the vegetative growth period 2. Acker Pflanzenbau. 54 : 217-222.

Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York. 697.p

Levitt, J. 1980. . Responses of plants to environmental stresses. 2d ed., Academic Press, New York. 497.p

Liu, J. and Zhu, J.K. 1997. Proline accumulation and salt – stress-induced gene expresstion in a salt- hypersensitive mutant of Arabidopsis. Plant Physiol. 11 : 591-596.

Longstrenth, D.J. and Strain, B.R.. 1977. Effects of salinity and illumination on photosynthesis and water balance of *Spartina alterniflora* Loisel. Oecologia. 31 : 191 – 199.

Lunin, I. and Gallatin, M.H. 1965. Salinity – fertility interactions in relation to the growth and composition of bean. I. Effect of N, P and K.I. Varying levels of N and P. Agron. J. 4 : 339 –345.

Lutt, S., Majerus, V. and Kinet, J-M.1999. NaCl effects on proline metabolism in rice (*Oryza sativa* (L.)) seedlings. Physiologia Plantarum. 105 : 450-458.

Lutt, S., Kinet, J-M. and Bouharmont, J. 1996. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* (L.)) cultivars differing in salinity resistance. Plant Growth Regul. 19 : 207-218.

Matsumura, M., Kanechi, M., Inagaki, N. and Meakawa, S. 1998. The effects of salt stress on ion uptake, accumulation of compatible solutes, and leaf osmotic potential in safflower, *Chrysanthemum paludosum* and sea aster. Journal of The Japanese Society for Horticultural Science. 67 (3) : 426-431.

McCue, K.F. and Hanson, A.D. 1990 . Drought and salt tolerance : to wards understanding and application. Trends Biotech. 8 : 358-362.

Meiri, A. and Poljakoff, A. 1969. The effect of chlorine salinity on growth of bean leaves in thickness and in area. Israel J. Bot. 16 : 115-123.

Moftah, E.A. and Michel, E.B. 1987. The effect of sodium chloride on solute potential and proline accumulation in soybean leaves. Plant Physiol. 83 : 238-240.

Munns, R. 1985. Na^+ K^+ and Cl^- in xylem sap flowing to shoot of NaCl – treated barley. J. Exp. Bot. 36 : 1032-1042.

Munns, R., and Termaat, A. 1986. Whole plant responses to salinity. Aust. J. Plant Physiol. 13 : 143-460.

Munns, R., Greenway, H. and Kirst, G.O. 1983. Halotolerant eukaryotes. In O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (eds.). Encycl. of plant physiol. New Ser. Vol. 12 c, Physiological Plant Ecology III, Responses to the Chemical and Biological Environment. Springer – Verlag, Barlin. pp. 59 – 135.

Munns, R., Fisher, D.B. and Tonnet, L. 1986. Na^+ and Cl^- transport in the phloem from leaves of NaCl – treated barley. Aust. J. Plant Physiol. 13 : 757-766.

Nassery, H. and Baker, D.A. 1974. Extrusion of sodium ions by barley roots III. The effect of high salinity on long – distance sodium ion transport. Annu. Bot. 38 : 141 – 147.

Neiman, R.H. 1965. Expansion of bean leaves and its supression by salinity. Plant Physiol. 40 : 156-160.

Nobel, C.L. Hallorn, G.M. and West, D.W. 1984. Identification and selection for salt tolerance in lucerne (*Medicago sativa* L.). Aust. J. Agric. Res. 35 : 239-252.

Oweczkin, J. and Kerven, G. 1980. Methods of analysis for nitrigen phosphorus sulpher and potassium in plant tissue. Department of Agriculture University of Queensland.

Pedersen, A.L., Feldner, H.C. and Rosendahj, L. 1996. Effect of proline on nitrogenase activity in symbiosomees from root nodules of soybean (*Glycine max* L.) subject to drought stress. J. Exp.Bot. 303 : 1533-1539.

Person, G.A., Ayers, A.D. and Eberhard. D.L. 1966. Relative Salt Tolerance of rice during germinative and early seedling deverlopment. Soil Sci. 102 : 151-156.

Petel, P.M., Wallace, A. and Wallihan, E.F. 1974. Influence of salinity and N-P fertility levels on mineral content and growth of sorghum in sand culture. Agron J. 67 : 622-625.

Poljakoff-Mayber, A. 1975. Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity stress . In A. Poljakoff-Mayber and J. Gale (eds.). Plant in Saline Environments. Springer-Verlag, Berlin. pp.97-117

Rawson,H.M. 1986. Gas exchange and growth in wheat and barley grown in salt. Australian Journal of Plant Physiology. 13 : 475-489.

Robinson, F. E. 1977. Predicting the actual yield decline from fifty percent increase in salinity in the colorsda river. In H.E. Dregne (ed.). Managing saline water for Irrigation : planning for the future. Taxas Tech University, Lubbock. pp. 170-174.

Robinson, S.P. and Dowton, W.J.S. 1985. Potassium, sodium and chloride ion concentration in leaves and isolated chloroplasts of the halophytes *Suaeda astralis* R. Br. Aust. J. Plant Physiol. 12 :471-479.

Rodriguez, G.H., Roberts, M.K.J., Jordan, R.W. and Drew, C.W. 1997. Growth, water relations , and accumulation of organic and inorganic solutes in root of maize seedling during salt stress. Plant Physiol. 113 : 881-893.

Samini, A.M., Maftour, M., Bassiri. A. and Sepaskhan, A.R. 1980. Growth and chemical composition of dry beans as affected by soil salinity and N fertilization. Plant and Soil. 54 : 217-222.

Serrano, R. and Galxiola, R. 1994. Microbial models and salt stress tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci. 13 : 121-138.

Shalhevet, J., Huck, G.M. and Schroeder, P.B. 1995. Root and shoot growth Responses to salinity in maize and soybean. Agron J. 87 : 512-516.

Sharma, A.K. 1980. Salt – balance studies in Laam Pao Irrigation Project area, Northeast Thailand. M.S. Thesis, A.I.T., Pathumthani.

Sepaskhan, A.R. 1977. Effect of soil salinity levels and plant water stress at various soybean growth stages. Can. J. Plant. Sci. 57 : 927-935.

Steponkus, P.L., Shahan, K.W. and Cutler, J.M. 1982. Osmotic adjustment in rice. In IRRI, Drought resistance in crop with emphasis on rice. IRRI, Los Banos, Philippinse. 181-194 p.

Stewart, C.R. 1972. The effect of wilting on proline metabolism in excised bean leaves in the dark. Plant Physiol. 51 : 508 – 511.

Stewart, C.R. and Lee, J.A. 1974. The role of proline accumulation in halophytes. Planta. 120 : 279-289.

Stewart, C.R., Boggess, S.F., Aspinall, D. and Paleg, L.G. 1977. Inhibition of proline oxidation by water stress. Plant Physiol. 59 : 930 – 932.

Soloman, A., Beer, S., Waisel, Y., Jones, G.P. and Paleg, L.G.1994. Effects of NaCl on the carboxylating activity of rubisco from *Tamarix jordanis* in the presence and absence of proline – related compatible solutes. Physoil Plant. 90 : 198-204

Storey, R., and Wyn Jones, R.G. 1979. Responses of *Atriplex spongiosa* and *Suaeda Monoica* to salinity. Plant Physiol. 63 : 156-162.

Tal, M. 1971. Salt tolerance in the wild relatives of the cultivated tomato response of *Lycopersicon esculentum* and *L. pururiannum* minor to Sodium chloride solution. Aust. J. Agric. Res. 22 : 631-638.

Thomson, W.W. 1975. The structure and function of salt glands. In A. Poljakoff – Mayber and J. Gale (eds.) . Plants in Saline Environment. Springer – Verlage, Berlin. pp. 118 – 146.

Tie, H.E. and Cramer, G.R. 1993. Growth and ion accumulation of two rapid-cycling Brassica species differing in salt tolerance. Plant and Soil. 153 : 19-31.

Torres, B.C. and Bingham, F.T. 1973. Salt tolerance of maxican wheat : I. Effect of nitrate and sodium chloride on mineral nutrition growth and grain production of four wheats. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37 :711-715.

Ungar, I.A. 1974. The effect of salinity and temperature on seed germination and growth of *Hordeum jabatum*. Can J. Bot. 52 : 1357-1362.

United States Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soil. Agri. Handbook 60. United States Dept. Agri., Washington, D.C. 160 p.

Valagaleti, R. and Schweitzer, S.M. 1995. General effects of salt stress on growth and symbiotic nitrogen fixation in soybean. In Pessarakli M (ed.) Handbook of plant and crop stress. New York : Marcel Dekker.

Van Rensburg, L. and Keruger, H. 1993. Proline accumulation as drough – tolerance selection criterion : Its relationship to membrane integrity and chloroplast ultrastructure in *Nicotiana tabacum* (L.). J Plant Physoil. 141 : 188-194.

Venekamp, J.K.1989. Regulation of cytosol acidity in plant under conditions of drought. Physiol Plant. 70 : 381-388.

Wainwright, S.J. 1980. Plants in relation to salinity. In H.W. Woolhouse (ed.). Advance in Bot. Res. Vol. 8 Academic Press, Inc., London. pp. 221-261

Waisel, Y. 1972. Biology of Halophytes. Academic Press, New York. 395 p.

Wallace, A., Abou – zamzam, A.W. and CHA, J.W. 1973. Effect of calcium on transport of cations to the xylem exudate of tobacco. Plant and Soil. 38 :41-48.

Wignarajah, K., Jennening, D.H. and Handley, J.F. 1975. The effect of salinity on growth of *Phaseolus vulgaris* (L.) I. Anatomical changes in the first trifoliate leaf. Ann. Bot. 39 : 1029-1038.

Wyn Jones, R. G. 1981. Salt tolerance, pp. 271 – 292. In M.K. Johnson (ed.). Physiological processes limiting plant productivity. Bot. 43, 281 – 285 (1965)

Yang, J. and Blanchar, R.W. 1993. Differentiating chloride susceptibility in soybean cultivars. Agron J. 58 : 880-885.

Yeo, A.R. 1983. Salinity resistance : physiologies and prices. Physiol. Plant. 58 : 214-222.

Yeo, A.R. and Flowers T.J. 1983. Varietal differences in the toxicity of sodium ions in rices leaves. Physiol. Plant. 59 : 189-195.

Yeo, A.R. and Flower, T.J. 1984. Mechanisms of salinity resistance in rice and their role as physiological criteria in plant breeding. In R.C. Staples (ed.). Salinity tolerance in plants : strategies for crop imprivement. John Wiley and Sons, Inc., New York. pp. 151-170.

Yeo, A.R. and Flowers, T.J. 1986. Salinity resistance in rice (*Oryza sativa* (L.)). and a pyramiding approach to breeding varieties for Saline soils. Aust. J. Plant. Physiol. 13 161-174.

Yeo, AR., Yeo, M.E., Caporn, S.K.M., Lachno, D.R. and Flowers, T.J. 1985. The use of 14 C – Ethane diol as a quantitative tracer for the transpirational volum flow of water and on investigation of the effects of salinity upon transpiration, net sodium accumulation and endogenous ABA in individual leaves of *Oryza sativa* L. J. Exp. Bot. 36 : 1099-1109.

Yoshiba, Y., Kiyosue, T., Katagiri, T., Uedo, H., Mizoguchi, T., Yamaguchi-Shinozaki, K., Wada Harada, Y. and Shinozaki, K. 1995. Correlation between the induction of a gene for Δ^1 – pyrroline–5-carboxylate synthetase and the accumulation of proline in *arabidopsis thaliana* under osmotic stress. Plant J. 7 : 751-760.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's solution

1.1 วิธีเตรียม stock solution (นันทนา อังกินันทน์ และ ศุภจิตรา ชัชวาลย์, 2542)

1.1.1 $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ 1 โมลาร์

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

1.1.2 KNO_3 1 โมลาร์

ชั่ง KNO_3 101.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

1.1.3 $MgSO_4$ 1 โมลาร์

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

1.1.4 KH_2PO_4 1 โมลาร์

ชั่ง KH_2PO_4 136.09 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

1.1.5 Fe – EDTA (มี Fe 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

- ชั่ง EDTA disodium salt ($C_{10}H_{14}O_8Na_2.2H_2O$) 22.4 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 372 ลิตร
- ชั่ง $FeCl_3.6H_2O$ 13.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนเป็น 728 ลิตร
- เทสารละลายทั้งสองผสมกันทีละน้อยหรือพ่นอากาศประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

1.1.6 Micronutrients

- ชั่ง H_3BO_3 2.86 กรัม $CuCl_2.2H_2O$ 0.05 กรัม $MnCl_2.4H_2O$ 1.81 กรัม $ZnCl_2$ 0.11 กรัม $NaMoO_4.2H_2O$ 0.025 กรัม
- แยกละลายในน้ำกลั่นทีละตัวแล้วเทสารละลายรวมกันและปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

1.2 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตร 0.5x Hoagland 's solution

สารเคมี	ปริมาตรที่ใช้ต่อสารละลาย 2 ลิตร
1 M $CaNO_3$	5 มิลลิลิตร
1 M KNO_3	5 มิลลิลิตร
1 M $MgSO_4$	2 มิลลิลิตร
1 M KH_2PO_4	1 มิลลิลิตร
Fe – EDTA (2.5 mg/l)	2 มิลลิลิตร
Micronutrients	1 มิลลิลิตร

2. การย่อยตัวอย่างพืช (Digestion)

2.1 วิธี Dry ashing สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์

- ชั่งตัวอย่างพืชประมาณ 100 มิลลิกรัม ใส่ในถ้วยเผา (Crucible) เติมสารละลายแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ความเข้มข้น 30 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการระเหิดของคลอไรด์ เขย่าถ้วยเผาเบาๆ เพื่อให้สารละลายเข้ากันแล้วนำไปเผาในเตาเผา (Muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที
- เมื่อตัวอย่างพืชเย็นลง ทำการละลายเถ้าโดยใช้น้ำกลั่นที่ร้อนปริมาตร 10 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้ว แล้วนำสารละลายที่ได้ไปต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที
- กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง ล้างตะกอนบนกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตรด้วย Erlenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตร และเก็บสารละลายที่ได้ไว้ในขวดพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีฝาปิด
- สารละลายสุดท้ายมีลักษณะใส พร้อมสำหรับการนำไปทำปฏิกริยาเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ต่อไป

2.2 วิธี Wet ashing สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม

- ชั่งตัวอย่างพืชประมาณ 100 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดสำหรับย่อยตัวอย่างพืช
- เติมกรดไนตริกประมาณ 10 มิลลิลิตร อุ่นตัวอย่างใน Digestion block ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 130 องศาเซลเซียส ย่อยตัวอย่างพืชต่อจนกรดไนตริกระเหยหมดโดยใช้เวลาประมาณ 90 นาที จากนั้นปล่อยให้สารละลายเย็นลง
- เติมกรดเปอร์คลอริคปริมาตร 4.5 มิลลิตร และย่อยต่อที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเกิดควันขาวในหลอดย่อยตัวอย่างพืช แสดงว่ากระบวนการย่อยสมบูรณ์ ใช้เวลาตั้งแต่อุณหภูมิถึง 200 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง
- นำสารละลายที่ได้มาปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง ได้สารละลายใสสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม

3. การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์

- เตรียมสารละลายคลอไรด์มาตรฐานความเข้มข้น 0 2 4 6 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากสารละลายคลอไรด์มาตรฐาน 1000 ppm
- นำสารละลายตัวอย่างพืช 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
- ทำปฏิกิริยาโดยเติมสาร Mercuric thiocyanate ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองที่มีสารละลายคลอไรด์มาตรฐานและหลอดทดลองที่มีสารละลายตัวอย่างพืช เขย่าให้เข้ากัน
- เติมสารละลาย Ferric ion ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาประมาณ 10 นาที จะได้สารละลายที่มีสีน้ำตาล
- วัดความเข้มข้นของสี โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 455 นาโนเมตร ของสารละลายคลอไรด์มาตรฐาน และสารละลายตัวอย่างพืช โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer
- คำนวณปริมาณคลอไรด์ในสารละลายตัวอย่างพืช โดยใช้วิธีเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายคลอไรด์มาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสง และคำนวณปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างพืชเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

4. การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม

- เตรียมสารละลายโซเดียมมาตรฐาน ความเข้มข้น 0 0.2 0.5 1.0 1.5 และ 2 ppm จากสารละลายโซเดียมมาตรฐาน 1000 ppm โดยเจือจางด้วย 1 % เปอร์คลอริก และปรับความเป็นกรดในสารละลายโดยการเติม KCl ในสารละลายให้มีความเข้มข้น 1% แล้วนำมา calibrate เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer โดยใช้ความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร
- เจือจางสารละลายตัวอย่างพืช โดยใช้ 1% เปอร์คลอริก เช่นเดียวกับสารละลายโซเดียมมาตรฐาน และปรับลดความเป็นกรดในสารละลายโดยการเติม KCl ในสารละลายให้มีความเข้มข้น 1% จากนั้นทำการวัดปริมาณโซเดียมด้วยความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร เช่นเดียวกัน
- คำนวณปริมาณโซเดียมในตัวอย่างพืชเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

5. การวิเคราะห์ปริมาณโพรลีน

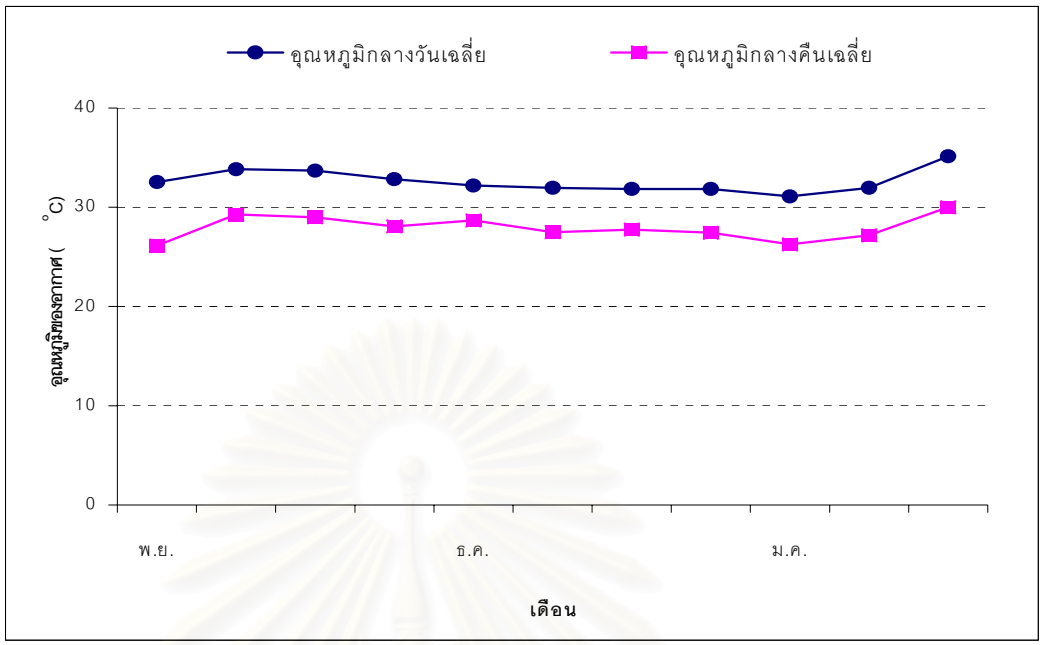
5.1 การวัดปริมาณโพรลีน (ไมโครกรัม/กรัมของน้ำหนักสด) ทำการสกัดตามวิธีของ Bates และคณะ (1973) ดังนี้

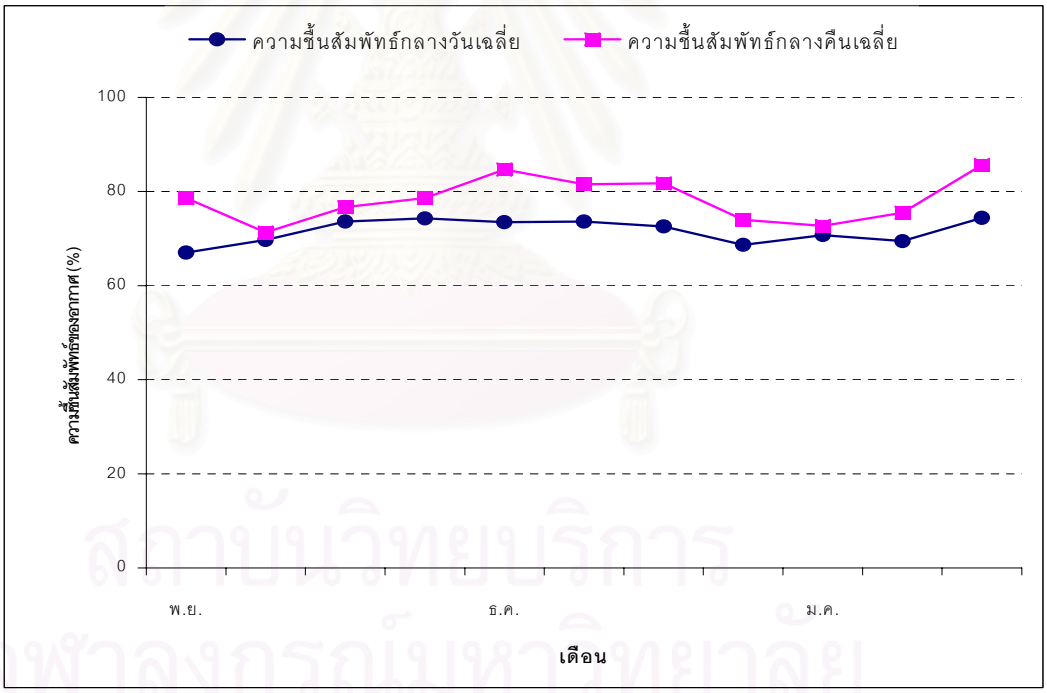
- เตรียมสารละลายโพรลีนมาตรฐานความเข้มข้น 0 3.75 7.5 15 และ 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จากสารละลายโพรลีนมาตรฐาน 6 มิลิกรัม/ลิตร โดยเจือจางด้วย 3% sulfosalicylic acid แล้วนำสารละลาย โพรลีนมาตรฐานปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง และทำการทดลองเหมือนกับสารละลายตัวอย่างพืช
- ชั่งตัวอย่างพืชสดประมาณ 0.25 กรัม บดกับ 3% sulfosalicylic acid ปริมาตร 2.5 มิลิลิตร และกรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1
- นำสารละลายที่กรองได้ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเติม acid–ninhydrin ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และ glacial acetic acid ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันแล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและสิ้นสุดปฏิกิริยาที่อ่างน้ำแข็ง
- นำ reaction mixture ที่ได้เติม toluene ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าประมาณ 15-20 วินาที สารละลายจะเกิดการแยกตัวออกจากกันแบ่งออกเป็นชั้นบนและชั้นล่าง

- ดูดสารละลายส่วนบนออกจากหลอดทดลองแล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร โดยมี toluene เป็น blank
- คำนวณปริมาณโพรลีนในสารละลายตัวอย่างพืช โดยใช้วิธีเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานโพรลีน

5.2 การเตรียมสารละลาย acid-ninhydrin นำ ninhydrin หนัก 1.25 กรัม ผสมกับ gracial acetic acid ปริมาตร 30 มิลิลิตร และ 6 M Phosphoric acid ปริมาตร 20 มิลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (สารละลายที่เตรียมได้ จะต้องใช้ภายใน 24 ชั่วโมง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

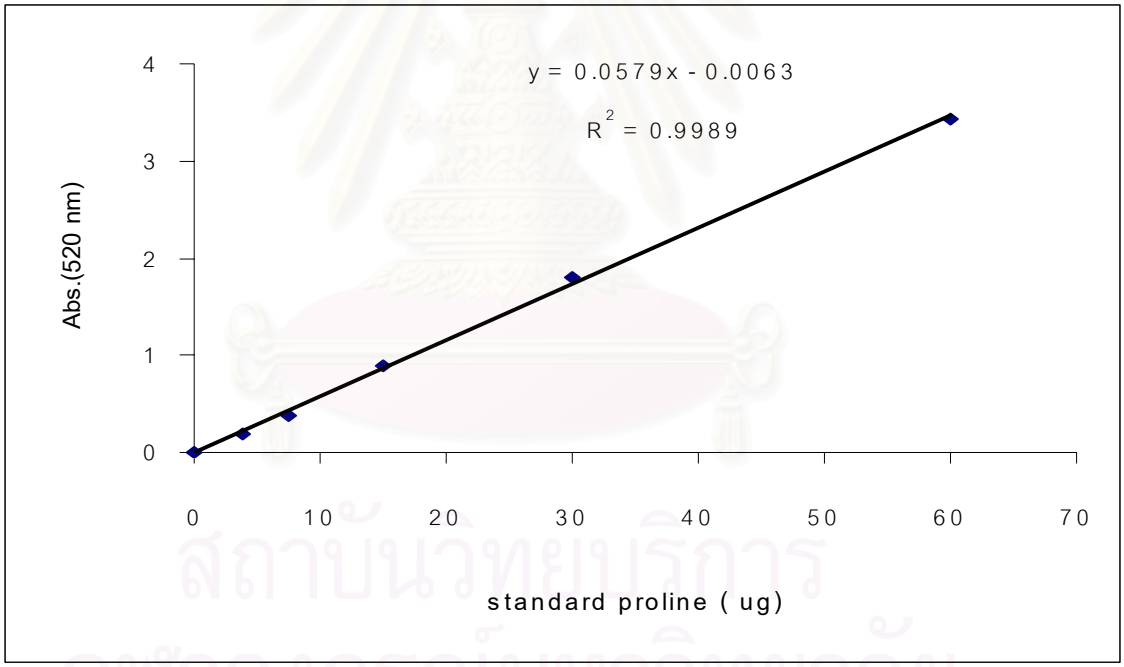




รูปที่ ก-1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในเรือนต้นไม้ ระหว่างการปลูกถั่วเหลือง เฉลี่ยทุก 7 วัน (เดือนพฤศจิกายน 2543-เดือนมกราคม 2544)

ตัวอย่างการทำกราฟมาตรฐานโพรลีน (proline) ในการวิเคราะห์ปริมาณโพรลีนในใบบริเวณยอด ใบล่าง และราก

ปริมาณโพรลีน (µg)	Abs.(520 nm)
0	0
3.75	0.198
7.5	0.375
15	0.886
30	1.803
60	3.437

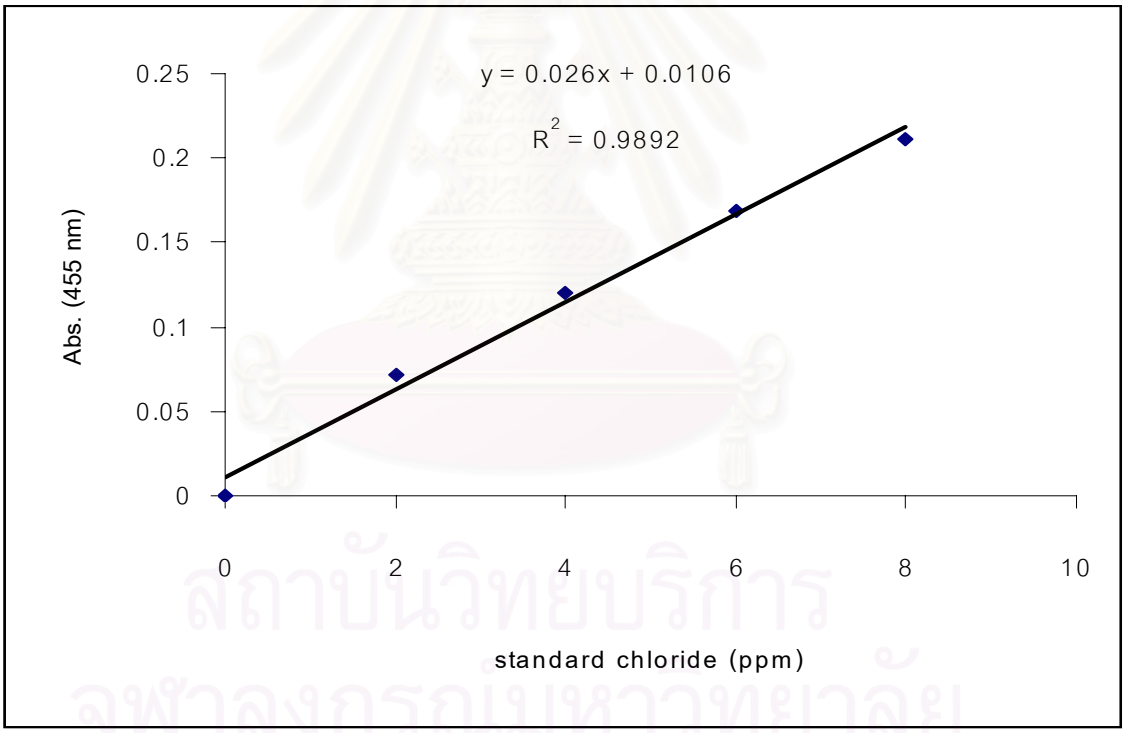


รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานโพรลีน (proline) ในการวิเคราะห์ปริมาณโพรลีนในใบบริเวณยอด ใบล่าง และราก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการทำกราฟมาตรฐานคลอไรด์ (C^-) ในการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในใบบริเวณยอด ใบล่าง รากและฝักถั่วเหลือง

ปริมาณคลอไรด์ (ppm)	Abs.(455 nm)
0	0
2	0.072
4	0.120
6	0.169
8	0.211



รูปที่ ก-3 กราฟมาตรฐานคลอไรด์ (Cl^-) ในการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ไอออนในใบบริเวณยอด ใบล่าง รากและฝักถั่วเหลือง

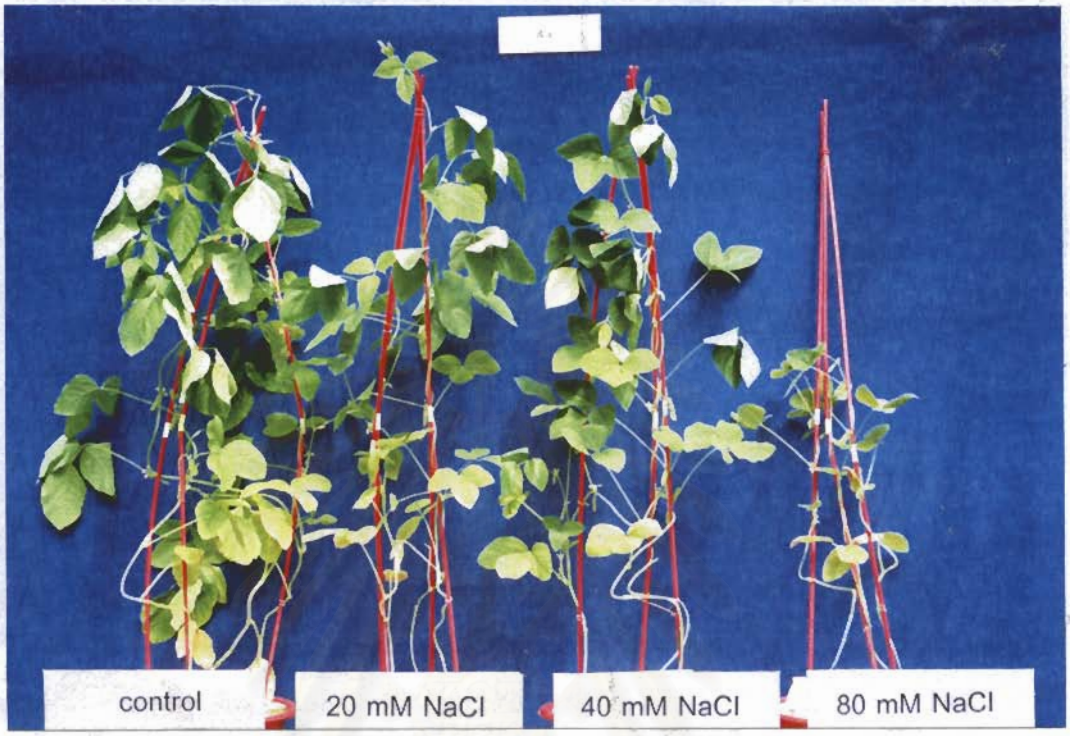
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

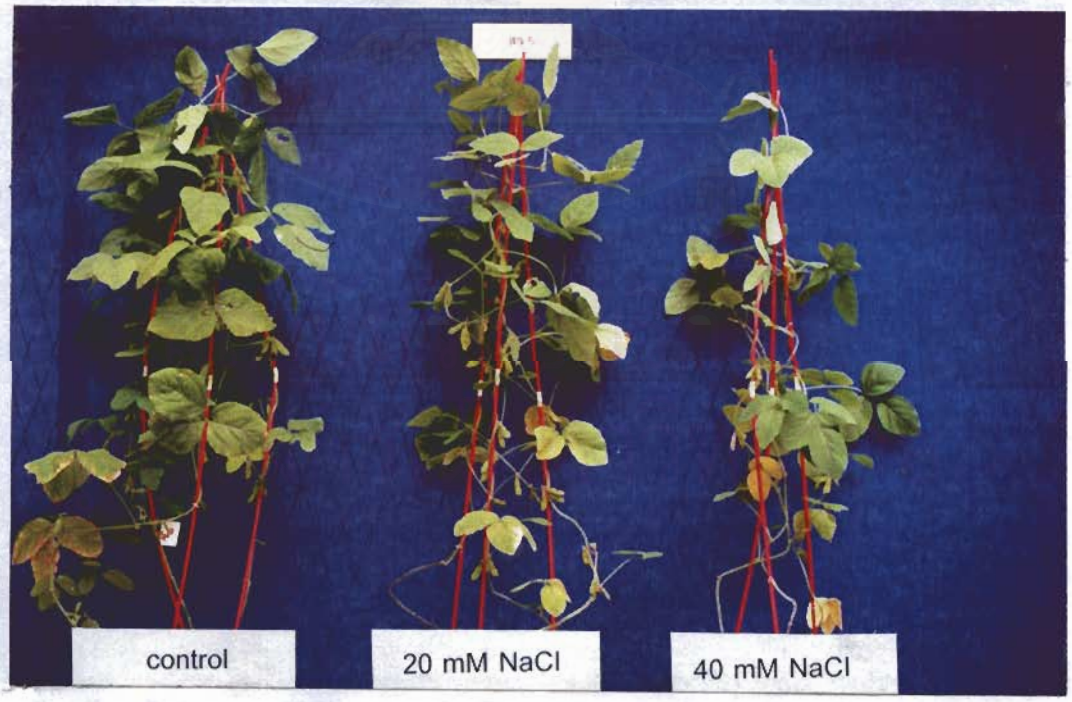
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข-1 ลักษณะแปลงทดลองภายในเรือนต้นไม้ ภาควิชาพฤกษศาสตร์

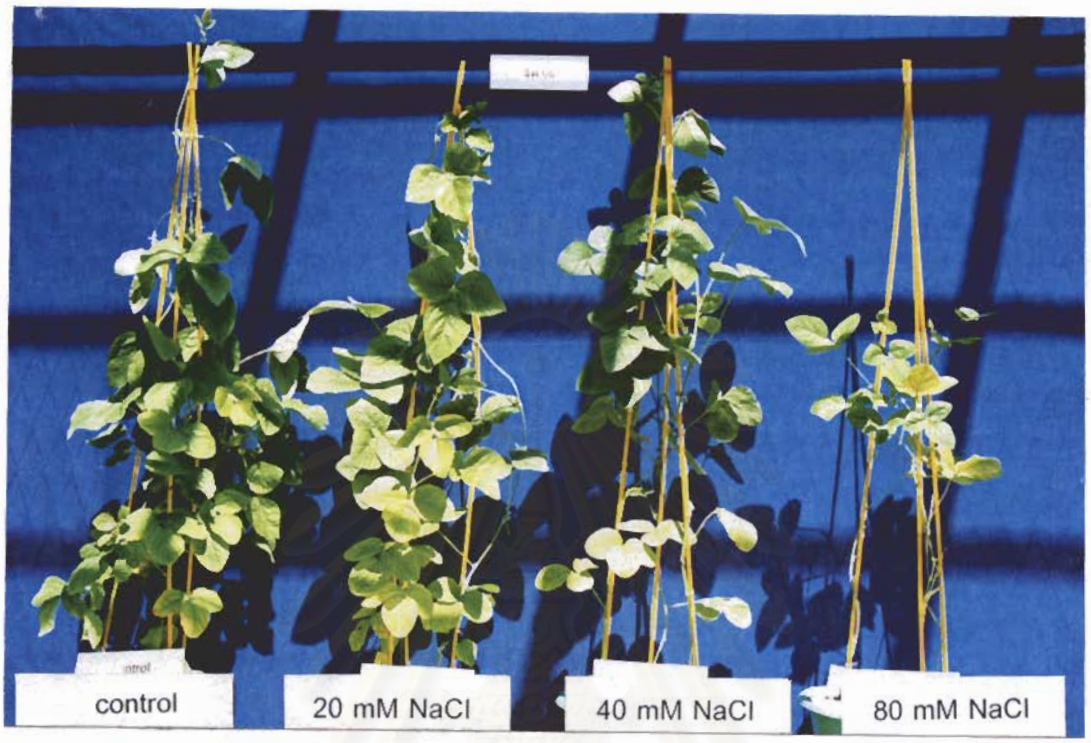
รูปที่ ข-2 ลักษณะอาการใบบางใบที่มีการม้วนตัวที่ขอบใบของถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 เมื่อได้รับภาวะเค็ม



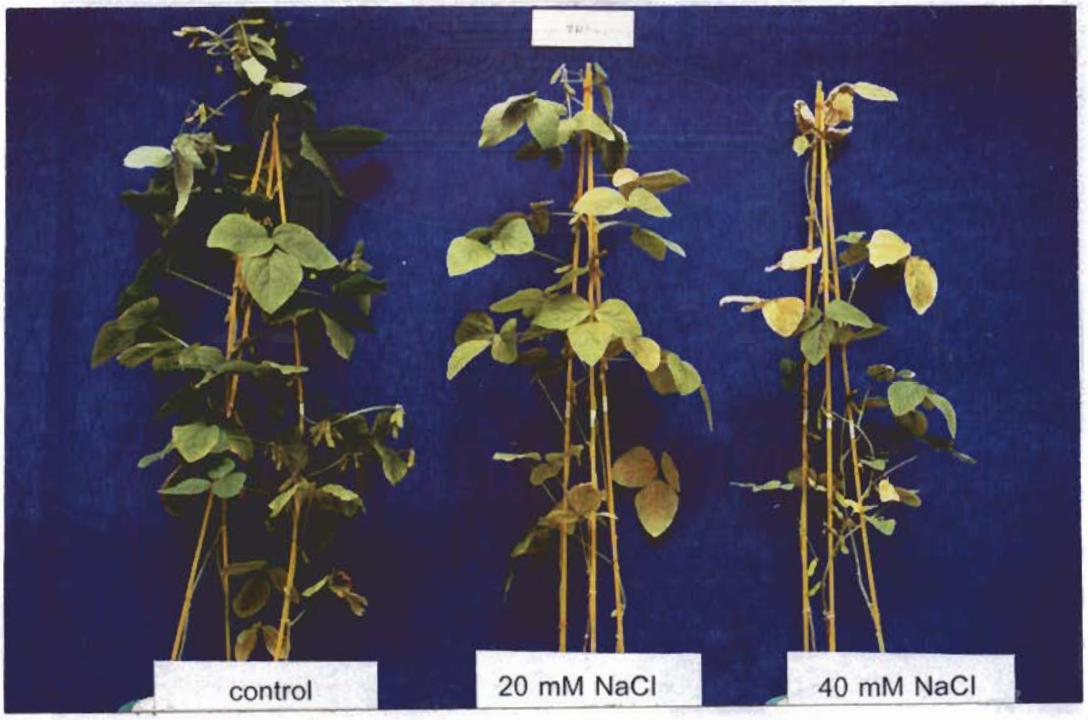
รูปที่ ข-3 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือแตกต่างกัน



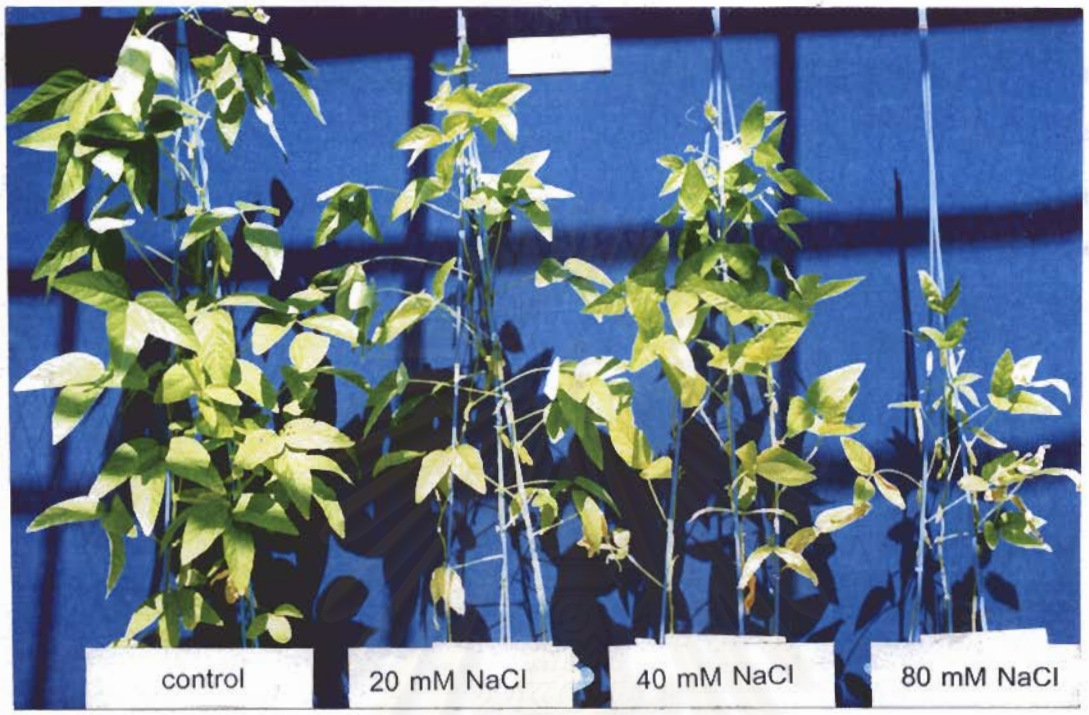
รูปที่ ข-4 ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือแตกต่างกัน



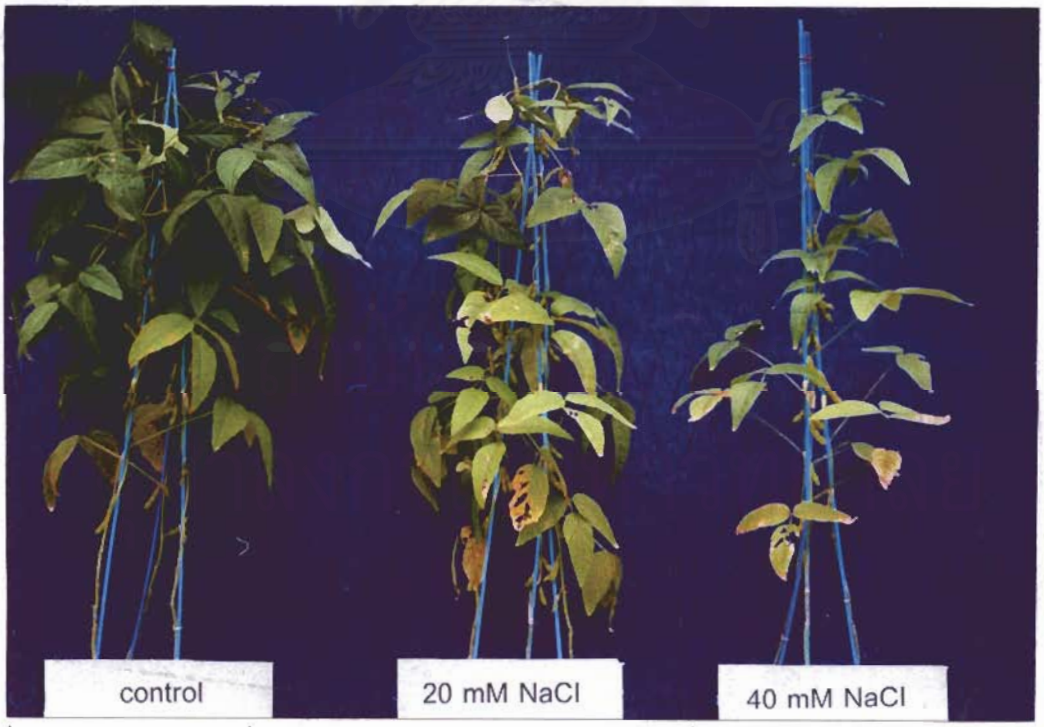
รูปที่ ข-5 ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือแตกต่างกัน



รูปที่ ข-6 ถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือแตกต่างกัน



รูปที่ ข-7 ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 15 วัน ที่ระดับเกลือแตกต่างกัน



รูปที่ ข-8 ถั่วเหลืองพันธุ์ สท.2 ที่ได้รับภาวะเค็มเป็นระยะเวลา 60 วัน ที่ระดับเกลือแตกต่างกัน

ประวัติของผู้วิจัย

นายพรศักดิ์ ภักดีวราภรณ์ เกิดวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2517 ที่อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนมัธยมฐานบินกำแพงแสน ในปีการศึกษา 2535 และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2539 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย