



ผลของโซเดียมคลอไรด์และไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อน
ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.)

EFFECTS OF SODIUM CHLORIDE AND CHITOSAN ON GROWTH AND
ANTIOXIDATION IN SUNFLOWER (*Helianthus annuus* L.) SPROUTS

สุชาวดี สมสำราญ

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลของไซเดียมคลอไรด์และไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้น
อ่อนทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECTS OF SODIUM CHLORIDE AND CHITOSAN ON GROWTH AND
ANTIOXIDATION IN SUNFLOWER (*Helianthus annuus* L.) SPROUTS



SUCHAWADEE SOMSAMRAN

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for MASTER OF EDUCATION (Biology)
Faculty of Science Srinakharinwirot University

2018

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของไซเดียมคลอไรด์และไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อน

ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.)

ของ

สุชาวดี สมสำราญ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ ชาญชัยเชาว์
วิวัฒน์)

ที่ปรึกษาร่วม

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชัย วงศ์วัฒนะ)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนิษฐาน ศรินวล)

ชื่อเรื่อง	ผลของโซเดียมคลอไรด์และไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน (<i>Helianthus annuus</i> L.)
ผู้วิจัย	สุชาวดี สมสำราญ
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ

NaCl เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต การพัฒนา และผลผลิตทางการเกษตรพืชตอบสนองต่อความเครียดจาก NaCl โดยการสร้างสารประกอบทุติยภูมิซึ่งจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระไคโตซานนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเนื่องจากสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโต เพื่อศึกษาผลของ NaCl และไคโตซาน ต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน และเพื่อศึกษาผลของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน การทดลองที่ 1 ล้างและแช่เมล็ดทานตะวันด้วยน้ำกลั่น เพาะในถาดเพาะเมล็ด และพ่น NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ แก่ต้นอ่อนที่มีอายุ 35 และ 7 วันหลังออก การทดลองที่ 2 ล้างและแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ การทดลองที่ 3 แช่เมล็ดทานตะวันด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75 % (w/v) และพ่น NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM แก่ต้นอ่อนที่มีอายุ 35 และ 7 วัน และศึกษาการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ ผลการศึกษาพบว่า NaCl ส่งผลให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดของลำต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ปริมาณ MDA และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaCl นอกจากนี้ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75 % (w/v) มีความยาวลำต้นเพิ่มขึ้น ส่วนความยาวราก น้ำหนักสด ไม่แตกต่างกัน ($p < .05$) ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณ MDA และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น และผลของไคโตซานและ NaCl ส่งผลให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักสดราก ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณ MDA ของรากและลำต้น และปริมาณฟลาโวนอยด์ของต้นอ่อนทานตะวันลดลง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอล และปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

คำสำคัญ : NaCl, โซเดียมคลอไรด์, ไคโตซาน, การเจริญเติบโต, การต้านอนุมูลอิสระ

Title	EFFECTS OF SODIUM CHLORIDE AND CHITOSAN ON GROWTH AND ANTIOXIDATION IN SUNFLOWER (<i>Helianthus annuus</i> L.) SPROUTS
Author	SUCHAWADEE SOMSAMRAN
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2018
Thesis Advisor	Assistant Professor Somkiat Phonphisutthimas

NaCl is one of the important factors affecting plant growth, development and agricultural production. Plants respond to NaCl stress by producing secondary metabolites that can as antioxidants. Chitosan is used for agricultural purposes since it can stimulate plant growth. The objective of this study was to investigate the effect of NaCl and chitosan on growth and antioxidant activity in sunflower sprouts after 7-day germination. Chitosan at various concentrations were treated by sunflower seeds at the soaking stage before germination and NaCl solution was sprayed on the sunflower seedling for 3, 5 and 7 days after germination. The results showed that shoot length fresh weight, and chlorophyll *a* and *b* in NaCl treated sunflower sprouts decreased with the increased of NaCl concentrations increased with NaCl treatments. Chitosan at 0.5 and 0.75 % (w/v) increased shoot length but provided no effect on root length and shoot fresh weight compared to untreated sprouts. Chitosan after increased photosynthetic pigments, MDA content, and antioxidant activities in the treated sprouts. For the combination of chitosan and NaCl, shoot length, shoot and root fresh weights, photosynthetic pigments, root and shoot MDA, and flavonoid content of treated sprouts decreased but antioxidant activities, phenol, and proline contents increased.

Keyword : NaCl, Sodium chloride, Chitosan, Growth, Antioxidant activity

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ อาจารย์ที่
 ปรึกษาปริญญาโท และรองศาสตราจารย์.ดร. เฉลิมชัย วงศ์วัฒนะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สำหรับการ
 ให้อำนาจ คำแนะนำ แนวทางในการทำปริญญาโท ตลอดจนการตรวจแก้ไขจนทำให้การ
 ทำปริญญาโทในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉริยา
 รังษิรุจิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนิษฐาณ ศรีนวล อาจารย์ ดร. รักชนก โคโต และอาจารย์ ดร. สุทา
 มาศ นิยมพานิช ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการในการสอบเค้าโครงปริญญาโท ที่ให้คำแนะนำ
 และตรวจแก้ไขเค้าโครงปริญญาโท ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนิษฐาณ ศรี
 นวล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ ชาญชัยเขาวีวัฒน์ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบปาก
 เปลา ให้คำแนะนำจนทำให้ปริญญาโทเล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการศึกษาและการ
 ทำปริญญาโท ตลอดจนการให้กำลังใจจนทำให้ปริญญาโทในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี
 ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดการศึกษา

สุชาวดี สมสำราญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย	2
ความสำคัญของงานวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1. อนุมูลอิสระ (free radical)	4
2. แหล่งกำเนิดอนุมูลอิสระ (source of free radical).....	5
2.1 ปฏิกิริยาภายในร่างกาย.....	5
2.2 ปฏิกิริยาภายนอกในร่างกาย	6
3. สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant).....	6
4. แหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ (sources of antioxidant)	6
4.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidant)	6
4.2 สารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ (natural antioxidant)	6
5. ความเครียดจากความเค็ม.....	10

5.1 ผลกระทบของความเค็มต่อพืช	10
5.2 การตอบสนองของพืชต่อความเครียดจากความเค็ม	12
6. ผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตของพืช	14
7. ผลของ NaCl ต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน	15
8. ผลของ NaCl ต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง	16
9. ผลของ NaCl ต่อการต้านและสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ	18
10. ไคโตซาน (chitosan)	20
10.1 ด้านการเกษตร	21
10.2 ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม	22
10.3 ด้านอุตสาหกรรมอาหาร	22
11. ไคโตซานอีลิซิเตอร์ (chitosan as elicitor)	22
12. ผลของไคซานต่อการเจริญเติบโต	23
13. ผลของไคโตซานต่อการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	25
1. พืชที่ใช้ทดสอบ	25
2. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	25
2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย NaCl และไคโตซาน	25
2.2 อุปกรณ์ในการปลูกพืช	25
2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์	25
2.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน	25
2.5. สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl free radical scavenging activity (DPPH)	25
2.6 สารเคมีที่ใช้การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ferric antioxidant power (FRAP)	25

2.7 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอล	26
2.8 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์	26
2.9 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน	26
3. วิธีการทดลอง	27
3.1 การทดลองผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน.....	27
3.2. ผลของไคโตซานต่อเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน	27
3.3. การทดลองผลของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน	28
4. การวิเคราะห์ข้อมูล.....	29
4.1 การเจริญเติบโต.....	29
4.2 ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง.....	29
4.3 การวิเคราะห์การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันจากการวิเคราะห์ปริมาณ MDA.....	30
4.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)	30
4.5 การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันโดยวิธี ferric antioxidant power (FRAP)	31
4.6 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลโดยรวม (total phenol content).....	31
4.7 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ (flavonoid content)	32
4.8 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน.....	32
5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	32
6. สถานที่ทำการทดลอง	33
7. ระยะเวลาทดลอง.....	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	34

1. ผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน	34
1.1 ผลต่อการเจริญเติบโต.....	34
1.2 ผลต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง	35
1.3 ผลต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน	35
1.4 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH	36
1.5 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP)	36
2. ผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน	41
2.1 ผลต่อการเจริญเติบโต.....	41
2.2 ผลต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง	42
2.3 ผลต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน	42
2.4 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH	43
2.5 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP)	43
3. ผลของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโต และการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน.....	48
3.1. ความยาวลำต้น	48
3.2 ความยาวราก.....	49
3.3 น้ำหนักสดลำต้น.....	50
3.4 น้ำหนักสดราก.....	51
3.5 คลอโรฟิลล์เอ.....	53
3.6 คลอโรฟิลล์บี	54
3.7 แคโรทีนอยด์	55
3.8 การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิชันในราก.....	57
3.9 การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิชันในลำต้น	58
3.10 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH.....	60

3.11 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP	61
3.12 ฟีนอล	63
3.13 ฟลาโวนอยด์	64
3.14 โพรตีน	66
บทที่ 5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ	83
สรุปผลการทดลอง	83
1. ผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน โดยใช้ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ	83
2. ผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน โดยใช้ไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ	85
3. ผลของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ	86
อภิปรายผลการทดลอง	92
1. ผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน	92
2. ผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน	96
3. ผลของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ	100
4. สรุปผลการศึกษา	108
ข้อเสนอแนะ	110
บรรณานุกรม	111
ภาคผนวก	123
ประวัติผู้เขียน	130

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ผลของ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าต่อความยาวลำต้น ปริมาณน้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดรากของต้นอ่อนทานตะวัน ที่ 7 วันหลังออก	37
ตาราง 2 ผลของ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ ของต้นอ่อนทานตะวัน ที่ 7 วันหลังออก	38
ตาราง 3 ผลของ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันของต้นอ่อนทานตะวัน ที่ 7 วันหลังออก	39
ตาราง 4 ผลของ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าต่อการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน ที่ 7 วันหลังออก.....	40
ตาราง 5 ผลของการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานก่อนเพาะต่อความยาวลำต้น ปริมาณน้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดราก ของต้นอ่อนทานตะวัน ที่ 7 วันหลังออก	44
ตาราง 6 ผลของการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานก่อนเพาะต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ ของต้นอ่อนทานตะวัน ที่ 7 วันหลังออก.....	45
ตาราง 7 ผลของการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานก่อนเพาะต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันของต้นอ่อนทานตะวัน ที่ 7 วันหลังออก.....	46
ตาราง 8 ผลของการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานก่อนเพาะต่อการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน ที่ 7 วันหลังออก.....	47
ตาราง 9 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอนเพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวัน ที่ 7 วันหลังออก	69
ตาราง 10 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอนเพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อความยาวรากของต้นอ่อนทานตะวัน ที่ 7 วันหลังออก	70
ตาราง 11 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอนเพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณน้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวัน ที่ 7 วันหลังออก.....	71

ตาราง 12 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณ น้ำหนัสดรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก	72
ตาราง 13 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณ คลอโรฟิลล์เอของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก	73
ตาราง 14 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณ คลอโรฟิลล์บีของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก	74
ตาราง 15 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณแคโร ทีนอยด์ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก	75
ตาราง 16 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณ MDA ในรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก	76
ตาราง 17 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณ MDA ในลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก	77
ตาราง 18 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีผล ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก	78
ตาราง 19 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก	79
ตาราง 20 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณฟิ โนลของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก	80
ตาราง 21 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณฟลา โวนอยด์ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก	81
ตาราง 22 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณโพ รรินของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก	82

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 โครงสร้างของวิตามินซี	7
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของวิตามินอี	8
ภาพประกอบ 3 โครงสร้างของเบต้าแคโรทีน	8
ภาพประกอบ 4 โครงสร้างของฟีนอล	9
ภาพประกอบ 5 โครงสร้างของฟลาโวนอยด์	10
ภาพประกอบ 6 ระยะเวลาของผลกระทบจากความเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืช	11
ภาพประกอบ 7 กลไกการตอบสนองของพืชในสภาวะความเครียดจากความเค็ม	13
ภาพประกอบ 8 โครงสร้างของไคตินและไคโตซาน	21

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันมนุษย์กำลังเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่เต็มไปด้วยมลพิษ ไม่ว่าจะเป็นฝุ่น ควันไฟ ควันจากท่อไอเสีย การปนเปื้อนของโลหะหนักในอากาศ ควันบุหรี่ รังสีอัลตราไวโอเลต รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ภายในร่างกาย เช่น การเผาผลาญสารอาหาร ความเครียด ที่ส่งผลให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งจะทำให้เกิดความเสื่อมสภาพของเซลล์ เป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่าง ๆ มากมาย เช่น โรคหลอดเลือดอุดตัน โรคมะเร็ง โรคต้อกระจก รวมถึงความแก่ชรา ทำให้ต้องหาวิธีต่าง ๆ ในการดูแลสุขภาพ โดยเฉพาะในเรื่องการเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์แก่ร่างกาย เช่น อาหารที่มีส่วนประกอบของผักและผลไม้ เนื่องจากในผักและผลไม้ ประกอบด้วยไฟเบอร์ (fiber) วิตามิน แร่ธาตุ และเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ (Slavin and Lloyd, 2012) ทำให้ปัจจุบันภาคการเกษตรจึงให้ความสำคัญต่อการพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น โดยมีการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ และชีวภาพ เพื่อนำมาช่วยในการเพิ่มผลผลิต และคุณค่าทางอาหารของผักและผลไม้

การบริโภคต้นอ่อนของพืชนั้นกำลังได้รับความนิยม เช่น ต้นอ่อนถั่วลันเตา ต้นอ่อนหัวไชเท้า ต้นอ่อนข้าวสาลี ต้นอ่อนทานตะวันโดยนำมารับประทานเป็นผักสลัด เนื่องจากมีสารอาหารจำพวกโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ (Lintschinger et al., 1997) รวมทั้งเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอล (phenolic compound) ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ที่จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่มีส่วนช่วยในการป้องกัน และลดอัตราการเกิดโรคต่าง ๆ (Drewnowski and Gomez-Carneros, 2000) ในธรรมชาติ โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) เป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดปริมาณของผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากปริมาณ NaCl มีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช เช่น ในสภาวะ NaCl ความเข้มข้นสูง ส่งผลให้ใบลำต้นพืชมีขนาดเล็กลง เกิดความเครียดออสโมติก (osmotic stress) และสภาวะขาดน้ำ (water deficit) ในสภาวะ NaCl มีความเข้มข้นสูง (H.-J. Kim, Fonseca, Choi, Kubota, and Kwon, 2008) แต่ในขณะเดียวกันพืชจะเกิดการปรับตัวด้วยการสร้างสารทุติยภูมิ (secondary metabolites) เช่น สารประกอบฟีนอล เพื่อตอบสนองต่อสภาวะเครียด (Wahid and Ghazanfar, 2006) ซึ่งสารประกอบทุติยภูมิที่ถูกสร้างขึ้นนั้น เป็นสารที่มีประโยชน์แก่นมนุษย์มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารป้องกันการเกิดมะเร็ง การอักเสบ การอุดตันของหลอดเลือด จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระตาม

ธรรมชาติ (Verma and Shukla, 2015) การที่พืชได้รับ NaCl ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชมีลักษณะที่ไม่น่ารับประทานจึงจำเป็นต้องหาปัจจัยที่ช่วยให้การเจริญเติบโตของพืชดีขึ้น จึงสนใจศึกษาไคโตซาน (chitosan) เนื่องจากไคโตซานเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมายทั้งในด้านการแพทย์และเภสัชกรรม ด้านอุตสาหกรรมอาหาร รวมถึงด้านการเกษตรที่นิยมนำไคโตซานมาใช้กระตุ้นการงอก การเจริญเติบโต ใช้ในการปรับสภาพดิน ก่อนการเพาะปลูก อีกทั้งยังพบว่าการใช้ ไคโตซานมีส่วนช่วยให้พืชมีความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเค็ม ความแล้ง ความเย็น (Katiyar, Hemantaranjan, and Singh, 2015) รวมทั้งสามารถ ชักนำให้พืชสามารถสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของสารประกอบฟีนอล (D.-O. Kim, Chun, Kim, Moon, and Lee, 2003)

จากข้อมูลข้างต้นพบว่า NaCl มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากความเข้มข้นของ NaCl ที่ระดับต่าง ๆ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้พืชสามารถสร้างสารประกอบฟีนอลในในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้น ส่วนไคโตซานมีผลต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโต และมีส่วนช่วยในการพัฒนาคุณภาพของผักและผลไม้ โดยการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้สนใจศึกษาผลของการใช้ไคโตซานเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโต ร่วมกับการใช้ NaCl เพื่อเป็นการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1. ศึกษาผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน
2. ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน
3. ศึกษาผลของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโต และการสร้างสารต้านอนุมูล-อิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

ความสำคัญของงานวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้ NaCl และไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เข้ามาช่วยในกระตุ้นการเจริญเติบโต และเพิ่มความสามารถในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน เพื่อนำมาปรับใช้ในทางการเกษตรสำหรับเพาะปลูกพืชให้มีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบันที่ให้ความสำคัญต่อการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาผลของ NaCl และไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) โปรลีน (proline) การต้านและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถนำเสนอรายละเอียดตามลำดับ
ดังนี้

1. อนุมูลอิสระ
2. แหล่งกำเนิดอนุมูลอิสระ
3. สารต้านอนุมูลอิสระ
4. แหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ
5. ความเครียดและความเครียดจากความเค็ม
6. ผลของ NaCl ต่อการงอกและเจริญเติบโตของพืช
7. ผลของ NaCl ต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน
8. ผลของ NaCl ต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
9. ผลของ NaCl ต่อการต้านและสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ
10. ไคโตซาน
11. ไคโตซานอิลิซิเตอร์
12. ผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโต
13. ผลของไคโตซานต่อการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ

1. อนุมูลอิสระ (free radical)

อนุมูลอิสระ หมายถึง อะตอมที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (unpaired electron) มีความไม่เสถียรและว่องไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับอะตอมหรือโมเลกุลอื่น ๆ ได้ง่าย อนุมูลอิสระแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ กลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (reactive oxygen species, ROS) กลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (reactive nitrogen species, RNS) และกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (reactive chlorine species, RCS) (Vajragupta, 2006)

อนุมูลอิสระก่อให้เกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ โดยเป็นอันตรายต่อโครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA) โปรตีน และไขมันบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (Ames, Shigenaga, and Hagen, 1993) อาจส่งผลให้เกิดโรคต่าง ๆ ตามมา เช่น ภาวะการอักเสบและรูมาติก โรคหัวใจ

ภาวะเส้นเลือดอุดตัน โรคมะเร็ง โรคหอบหืด โรคความจำเสื่อม รวมถึงภาวะความชราภาพก่อนวัย (Sutajit and Angvanich, 2012)

2. แหล่งกำเนิดอนุมูลอิสระ (source of free radical)

อนุมูลอิสระเกิดขึ้นตลอดเวลาโดยเกิดจากปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกของสิ่งมีชีวิต

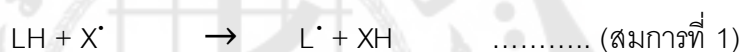
2.1 ปัจจัยภายในร่างกาย

กระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดอนุมูลอิสระขึ้น เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเป็นอีกสาเหตุของการเกิดอนุมูลอิสระ (Frankel, 1996) แบ่งปฏิกิริยาออกเป็น 3 ระยะดังนี้

2.1.1 ระยะเหนี่ยวนำ (initiation)

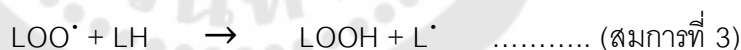
เป็นระยะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาดัง

สมการ



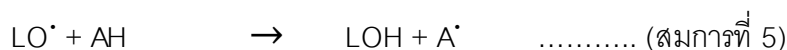
2.1.2 ระยะเพิ่มจำนวน (propagation)

อนุมูลอิสระรวมตัวกับอะตอมของออกซิเจน เกิดเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์ (peroxyl radical) (สมการที่ 2) แล้วเกิดการทำปฏิกิริยากับกรดไขมันต่อ เกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) (สมการที่ 3)



2.1.3 ระยะสิ้นสุด (termination)

เป็นระยะที่อนุมูลอิสระเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่น ๆ เพื่อทำให้เกิดความเสถียรขึ้น ดังสมการ



2.2 ปัจจัยภายนอกร่างกาย

มนุษย์เผชิญกับอนุมูลอิสระตลอดเวลาไม่ว่าจะเป็นรังสีต่าง ๆ ในธรรมชาติ เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet, UV) รังสีเอ็กซ์เรย์ (X-ray) รังสีแกมมา (gamma ray) และคลื่นไมโครเวฟ นอกจากนี้การได้รับควันจากโรงงานอุตสาหกรรม ควันจากการประกอบอาหาร ควันบุหรี่ ยาปราบศัตรูพืช หรือการบริโภคยารักษาโรคบางชนิดก็สามารถก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ (Mahantesh, Gangawane, and Patil, 2012)

3. สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารที่มีความสามารถในการต่อต้านหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ เพื่อป้องกันการเสียสภาพของดีเอ็นเอ โปรตีน ไขมัน และสารชีวโมเลกุลอื่น ๆ ภายในร่างกาย ที่เป็นสาเหตุสำคัญที่นำมาสู่การเจ็บป่วยจากโรคต่าง ๆ เช่น มะเร็ง หัวใจและหลอดเลือด รวมไปถึงความชรา (Halliwell, 1995) โดยมนุษย์สามารถได้รับสารต้านอนุมูลอิสระมาจากแหล่งต่าง ๆ (Phansawan, 2013) โดยแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระแบ่งออกเป็น 2 แหล่ง คือ สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidant) และสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ (natural antioxidant)

4. แหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ (sources of antioxidant)

4.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidant)

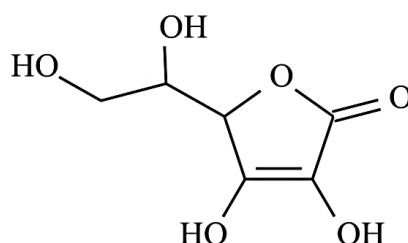
เป็นสารที่มีการพัฒนาโครงสร้างมาจากสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติเพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น propyl gallate BHT (butylated hydroxytoluene tertiary butylhydroquinone)

4.2 สารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ (natural antioxidant)

เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์สามารถสร้างขึ้นในรูปแบบของเอนไซม์และวิตามิน สารต้านอนุมูลอิสระที่สร้างขึ้นในร่างกายของสิ่งมีชีวิต เช่น เอนไซม์คะตะเลส (catalase) กลูตาไธโอนเพอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระในผักและผลไม้ผักที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน ฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอล เป็นต้น (Siriamornpun, 2014)

4.2.1. วิตามินซี (vitamin C)

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) (ภาพประกอบ 1) เป็นวิตามินที่สามารถละลายน้ำได้ จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีบทบาทสำคัญต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยวิตามินซียังมีส่วนช่วยในการป้องกันเนื้อเยื่อไม่ให้เกิดความเสียหายจากอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดมะเร็ง ช่วยในการเพิ่มไขมันที่มีความหนาแน่นสูง (High Density Lipoprotein, HDL) ซึ่งเป็นไขมันที่ช่วยลดการสะสมของไขมันบริเวณหลอดเลือดอันเป็นสาเหตุของการเกิดการอุดตันของหลอดเลือด ลดระดับโคเลสเตอรอลและลดการเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและโรคหลอดเลือด (Bagchi and Puri, 1998)

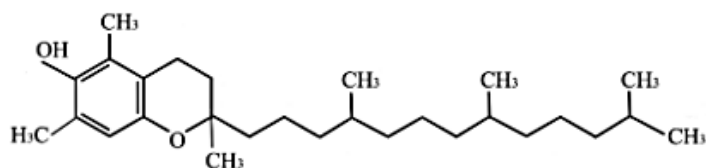


ภาพประกอบ 1 โครงสร้างของวิตามินซี

ที่มา: Dereven'kov et al. (2017)

4.2.2. วิตามินอี (vitamin E)

วิตามินอีหรือสารในกลุ่มโทโคเฟอรอล (tocopherol) (ภาพประกอบ 2) ซึ่งละลายได้ดีในไขมัน มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งกระบวนการเปอร์ออกซิเดชันของไขมัน จัดเป็นกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่มีส่วนช่วยในการป้องกันการถูกทำลายของไขมันบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (Shi et al., 2011) และมีบทบาทสำคัญในการลดระดับโคเลสเตอรอล ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดการอุดตันและแข็งตัวของหลอดเลือด ป้องกันการเกิดมะเร็ง รวมถึงการป้องกันการชราภาพของเซลล์ แต่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินอีได้จึงจำเป็นต้องรับประทานอาหารจำพวกพืชตระกูลถั่ว น้ำมันจากเมล็ดพืช เช่น ถั่วเหลือง ทานตะวัน มะกอก เป็นต้น (Sutajit and Angvanich, 2012)

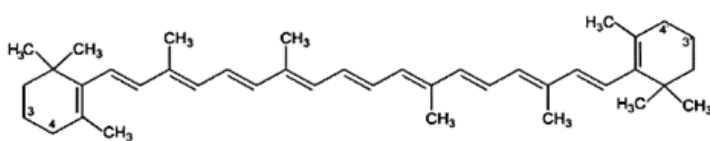


ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของวิตามินอี

ที่มา: Fan et al. (2015)

4.2.3. เบต้าแคโรทีน (β -carotene)

เบต้าแคโรทีน (ภาพประกอบ 3) จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในผัก ผลไม้ที่มีสีส้ม แดง เช่น ฟักทอง แครอท มะม่วงสุก มะละกอสุก รวมถึงผักใบเขียว เบต้าแคโรทีนมีบทบาทสำคัญในการกำจัดอนุมูลอิสระและยังเป็นแหล่งของวิตามินเอ (Grenfell-Lee, Zeller, Cardoso, and Pucaj, 2014) โดยมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้ไขมันบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลายจากอนุมูลอิสระ ลดการเกิดไขมันที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Lipoprotein, LDL) อันเป็นสาเหตุของการเกิดการแข็งตัวของหลอดเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ (Sutajit and Angvanich, 2012)

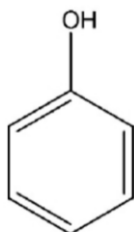


ภาพประกอบ 3 โครงสร้างของเบต้าแคโรทีน

ที่มา: Martín, Gudiña, and Barredo (2008)

4.2.4 ฟีนอล (phenol)

ฟีนอลมีลักษณะเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) และมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เป็นองค์ประกอบอย่างน้อยหนึ่งหมู่ (ภาพประกอบ4) สามารถละลายน้ำได้ (Ismail, Marjan, and Foong, 2004) โดยสารประกอบฟีนอลสามารถพบได้ในผักผลไม้ต่าง ๆ เช่น ฝรั่ง มะละกอ กัลฉ่าย องุ่นแดง กะหล่ำปลี แครอท บร็อคโคลี่ รวมถึงชา และกาแฟ (Balasundram, Sundram, and Samman, 2006) เป็นต้น สารประกอบฟีนอลจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติที่มีบทบาทในการบำรุงร่างกาย ป้องกันร่างกายจากการเกิดโรคต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นโรคมะเร็ง ภาวะเส้นเลือดอุดตัน และโรคหัวใจ (Kähkönen et al., 1999)

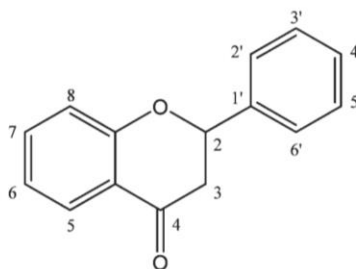


ภาพประกอบ 4 โครงสร้างของฟีนอล

ที่มา: Al-Khalid and El-Naas (2012)

4.2.5 ฟลาโวนอยด์ (flavonoid)

ฟลาโวนอยด์ (ภาพประกอบ5) เป็นสารประกอบฟีนอลชนิดหนึ่งที่พบในพืช ประกอบด้วยกลุ่มย่อยๆหลายชนิดแตกต่างกันตามโครงสร้าง เช่น ฟลาโวนอล (flavanol) ฟลาโวน (flavone) และไอโซฟลาโวน (isoflavone) (Rice-Evans, Miller, and Paganga, 1997) จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการอักเสบ การแพ้ ป้องกันการเกิดเนื้องอก ป้องกันเซลล์จากการทำลายของอนุมูลอิสระ (Kaur, Kathariya, Bansal, Singh, and Shahakar, 2016) ป้องกันกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ของไขมันที่มีความหนาแน่นต่ำ อีกทั้งมีส่วนช่วยในการสร้างความแข็งแรงให้กับหลอดเลือด ลดการอุดตันของเส้นเลือด coronary artery ที่เป็นสาเหตุสำคัญของภาวะหัวใจวาย (Heim, Tagliaferro, and Bobilya, 2002)



ภาพประกอบ 5 โครงสร้างของฟลาโวนอยด์

ที่มา: Dudonné et al. (2011)

5. ความเครียดจากความเค็ม

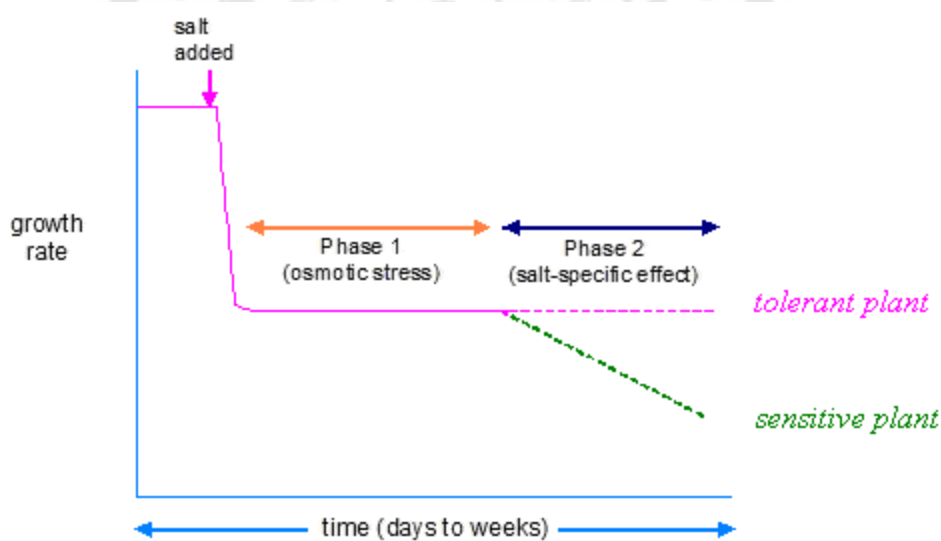
ในปัจจุบันการทำการเกษตรต้องเผชิญกับการแปลงทางสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ความเครียดจากความเค็มเป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญ เนื่องจากความเค็มส่งผลกระทบต่อภาคการเกษตรในการเพาะปลูกพืชเพื่อใช้ในการบริโภค เนื่องจากความเค็มจากการสะสมของไอออน เช่น แคลเซียมไอออน แมกนีเซียมไอออน และโซเดียมไอออนในดินและน้ำส่งผลต่อภาคการเกษตรในการเพาะปลูก การเพิ่มขึ้นของไอออนในดินส่งผลให้รากพืชไม่สามารถดูดน้ำไปใช้ได้เช่นเดียวกับสภาวะแล้ง อีกทั้งเกลือยังส่งผลให้ดินมีสภาพเป็นกรด ลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้เนื่องจากออกซิเจนละลายลงสู่น้ำในดินเพียงเล็กน้อย (Batool, Shahzad, Ilyas, and Noor, 2014)

5.1 ผลกระทบของความเค็มต่อพืช

NaCl เป็นปัจจัยทางกายภาพที่สำคัญที่ส่งผลการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากเมื่อมี NaCl ละลายอยู่ในดินและน้ำในปริมาณมาก ทำให้ค่าศักย์ของน้ำ (water potential) ภายในดินลดต่ำลงเรื่อย ๆ หากลดต่ำกว่าระดับของค่าศักย์ของน้ำภายในต้นพืช จะทำให้พืชดูดน้ำได้น้อยลง ลดแรงดันเต่ง (turgor pressure) ของเซลล์พืช ส่งผลให้พืชขาดน้ำ เกิดการสะสมไอออนที่เป็นพิษ (Meekaew, Kanthaprap, and Laloknam, 2010) โดย Batool et al. (2014) ได้แบ่งผลกระทบของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืชออกเป็น 2 ระยะ (ภาพประกอบ6) ได้แก่

ระยะแรก ความเครียดออสโมติก (osmotic stress) เมื่อมีเกลือที่ละลายอยู่ในดิน มีความเข้มข้นสูง ส่งผลให้ค่าศักย์ของน้ำภายในดินลดลงทำให้รากพืชไม่สามารถดูดน้ำเข้ามายังบริเวณต้นพืชได้ รวมถึงแร่ธาตุที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม ความเค็มส่งผลต่อแรงดันออสโมติกส่งผลให้การยืดยาว การขยายขนาดของเนื้อเยื่อเจริญ เมื่อน้ำในดินน้อยส่งผลให้เกิดการปิดปากใบทำให้ส่งผลกระทบต่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกยับยั้ง

ระยะที่สอง ความเครียดจากการสะสมไอออน (ionic stress) การสะสมของไอออนโดยเฉพาะโซเดียมไอออนจะส่งผลต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลงหรือหยุดชะงัก นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุในการเกิดการสะสมรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ (reactive oxygen species, ROS) ส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ รวมทั้งกระบวนการทางสรีรวิทยา และชีวเคมีของพืช



ภาพประกอบ 6 ระยะของผลกระทบจากความเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืช

ที่มา: Carillo, Annunziata, Pontecorvo, Fuggi, and Woodrow (2011)

5.2 การตอบสนองของพืชต่อความเครียดจากความเค็ม

ความเค็มเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากความเค็มจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยพืชแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการเจริญเติบโตภายใต้สภาวะความเค็มแตกต่างกัน เช่น พืชทนเค็มในกลุ่มพืชดินเค็ม (halophyte) จะมีการปรับตัวโดยการสะสมไอออนในส่วนของลำต้นเพื่อให้รากของพืชสามารถดูดน้ำได้ นอกจากชนิดพันธุ์ของพืชแล้วความสามารถในการทนเค็มของพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณน้ำที่พืชได้รับและชนิดของดิน พืชสามารถทนเค็มในสภาพที่มีความชื้นสูงกว่าในสภาพแห้งแล้ง เมื่อพืชได้รับความเค็มจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการหรือการตอบสนองต่าง ๆ ได้แก่ กระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเปิดปิดของปากใบ การสะสมหรือกำจัดไอออน การนำคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ปากใบ เกิดการสะสม ROS ทำให้พืชจะต้องมีการปรับตัวเพื่อให้อยู่รอดในสภาพที่ไม่เหมาะสมทั้งทางด้านสรีรวิทยา ด้านกายวิภาคศาสตร์ ด้านชีววิทยา และการปรับตัวเพื่อให้อยู่รอดต่อความเครียดจากอนุมูลอิสระ (Acosta-Motos et al., 2017)

5.2.1 การปรับตัวทางด้านสรีรวิทยาและด้านกายวิภาค

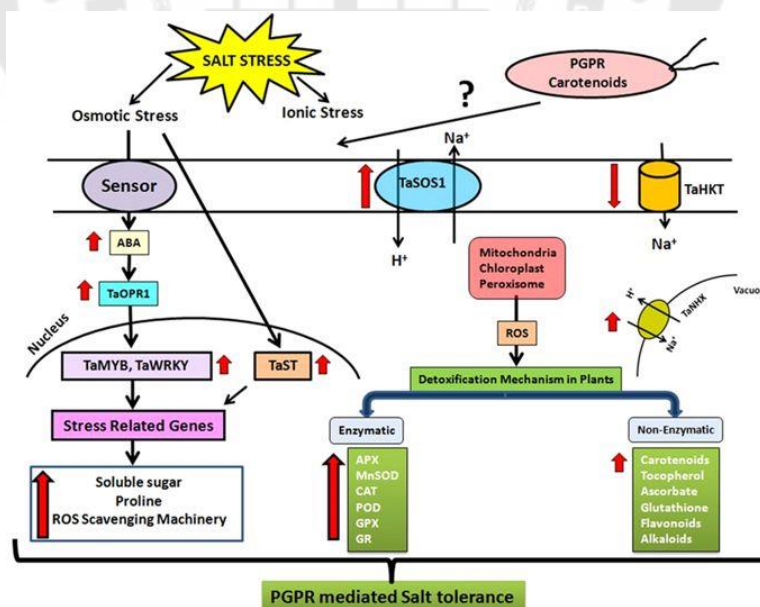
การปรับให้แผ่นใบมีลักษณะอวบและหนาขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาตรของเหลวภายในใบ ทำให้มีขนาดของแวคิวโอลใหญ่ขึ้นเพื่อสามารถกักเก็บเกลือไว้ในเซลล์ มีการเพิ่มขนาดของมีโซฟิลล์ (mesophyll) การมีถุงเกลือหรือต่อมเกลือเพื่อใช้ในการเก็บหรือกำจัดเกลือส่วนเกิน และยังช่วยในการลดการสูญเสียน้ำของพืช นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของรากโดยการยืดยาวและแตกออกของรากแขนงบริเวณปลายรากพืช จะช่วยให้รากสามารถลงไปถึงแหล่งน้ำและธาตุอาหารด้านล่าง (Udomprasert, 2015)

5.2.2 การปรับตัวทางด้านชีววิทยา

พืชจะมีการปรับค่าออสโมติกโดยการดูดหรือสร้าง organic osmolytes ภายในเซลล์ซึ่งสารเหล่านี้มีส่วนช่วยให้สารละลายภายในเซลล์สูงขึ้น ทำให้น้ำสามารถเคลื่อนที่จากภายนอกเข้าสู่เซลล์พืชได้ หรือลดการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์ออกนอกเซลล์ ทำให้เซลล์สามารถขยายขนาดได้ อีกทั้งการขับไซโตเมือกออกสู่ภายนอกผ่านทางรากหรือการเก็บเกลือไว้ในเซลล์พืชโดยการเก็บไว้ในแวคิวโอล (Udomprasert, 2015)

5.2.3 กลไกการตอบสนองของพืชในสภาวะความเครียดจากความเค็ม

ความเค็มเป็นสาเหตุทำให้พืชเกิดความเครียดออกซิเดติก ส่งผลให้ค่าศักย์ศักย์ของน้ำภายในดินลดลงทำให้รากพืชไม่สามารถดูดน้ำเข้ามายังบริเวณต้นพืชได้ ในสภาวะที่พืชขาดน้ำ จะมีการกระตุ้นให้พืชสร้างกรดแอบไซซิก (abscisic acid, ABA) ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อพืชในสภาวะขาดน้ำ คือช่วยให้พืชมีความต้านทานต่อสภาพขาดน้ำ เพราะมีผลทำให้มีการปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำของพืช และเมื่อพืชขาดน้ำ ส่งผลให้เกิด ความเครียดออกซิเดทีฟ (oxidative stress) เกิดการสะสมของ ROS เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ ไฮดรอกซิล และเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อของพืช นอกจากนี้พบว่า พืชมีการสร้างสารกลุ่ม osmoprotectant เช่น น้ำตาล โปรตีน ซึ่งมีบทบาทในการปกป้องเซลล์ไม่ให้ถูกทำลายเมื่อพืชได้รับความเครียดจากความเค็ม อีกทั้งเมื่อพืชได้รับความเครียดจากความเค็มจะตอบสนองโดยการกระตุ้นการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของเอนไซม์ ได้แก่ catalase (CAT) ascorbate peroxidase (APX) guaiacol Peroxidase (GPX) และกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ ได้แก่ แคโรทีนอยด์ กลูตาไธโอน ฟลาโวนอยด์ ขึ้นเพื่อป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระที่พืชได้รับภายใต้สภาวะความเครียด (ภาพประกอบ 7) (Bharti, Pandey, Barnawal, Patel, and Kalra, 2016)



ภาพประกอบ 7 กลไกการตอบสนองของพืชในสภาวะความเครียดจากความเค็ม

ที่มา: Bharti et al. (2016)

6. ผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตของพืช

NaCl มีบทบาทสำคัญอย่างมากในภาคการเกษตรในแง่ของการกำหนดผลผลิตทางการเกษตร และมีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น งานวิจัยของ Chartzoulakis and Klapaki (2000) ได้ทำการศึกษาการตอบสนองต่อความเค็มของพริกในระหว่างการเจริญเติบโต โดยใช้ NaCl ที่ความเข้มข้น 0 10 25 50 100 และ 150 mM พบว่าเมื่อพืชได้รับความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความยาวลำต้น ปริมาณน้ำหนักแห้งลดลง งานวิจัยของ A. K. Parida, Das, and Mittra (2004) ได้ศึกษาการตอบสนองต่อความเค็มของโกกวง (*Bruguiera parviflora*) โดยใช้ NaCl ความเข้มข้น 100 200 และ 400 mM พบว่า เมื่อพืชได้รับ NaCl ที่ความเข้มข้น 200 และ 400 mM ทำให้ความสูง น้ำหนักสดและความยาวราก ลดลง แต่เพิ่มขึ้นในพืชที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 100 mM งานวิจัยของ Bybordi and Tabatabaei (2009) ศึกษาผลของความเครียดจากความเค็มต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นคาโนลา (*Brassica napus* L.) โดยใช้ NaCl ความเข้มข้น 0 5 10 15 และ 20 dS/m พบว่า ความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการงอก ความยาวของยอดอ่อน ราก และปริมาณน้ำหนักสดของพืชลดลง นอกจากความเค็มที่ส่งผลโดยตรงต่อการงอกและปริมาณน้ำหนักสดของพืชแล้วความเค็มยังส่งผลต่อสัญญาณวิทยาของพืช

งานวิจัยของ Aghaleh, Niknam, Ebrahimzadeh, and Razavi (2009) ศึกษาใน *Salicornia persica* และ *S. eupaea* โดยให้ NaCl ความเข้มข้น 100 200 300 400 500 และ 600 mM พบว่า ปริมาณน้ำหนักสดและแห้งเพิ่มขึ้นในพืชที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 100 mM และลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น (200 300 400 500 และ 600 mM) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม งานวิจัยของ Cha-Um and Kirdmanee (2009) ศึกษาผลของของความเครียดจากเกลือต่อการเจริญเติบโตในข้าวโพด โดยใช้ NaCl ความเข้มข้น 100 200 300 และ 400 mM เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักรากลดลงในพืชที่ได้รับ NaCl ทุกความเข้มข้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม งานวิจัยของ Amirjani (2011) ศึกษาผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตในข้าว โดยใช้ NaCl 200 mM เป็นเวลา 14 วัน พบว่า ความยาวรากและความยาวลำต้น ลดลงร้อยละ 71 และ 54 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

Abraha and Yohannes (2013) พบว่า การเจริญเติบโตของข้าวโพดภายใต้สภาวะเครียดจาก NaCl โดยการใช้ NaCl ที่ระดับความเข้มข้น 0 2 4 6 และ 8 g/L พืชที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่มีความเข้มข้นของ NaCl สูงการยืดยาวของลำต้น ราก และจำนวนใบลดลง รวมทั้งขนาดของใบเล็กลงและหนาตัวขึ้น เมื่อเทียบกับพืชที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะควบคุม

และ งานวิจัยของ Shaygan, Baumgartl, and Arnold (2017) ศึกษาการงอกของ *Atriplex halmas* ภายใต้สภาวะความเครียดจากความเค็มและน้ำ โดยใช้สารละลาย NaCl ที่ระดับความเข้มข้น 0.015 0.030 0.060 0.122 0.245 และ 0.328 M พบว่า อัตราการงอกและการเจริญเติบโตของพืชลดลงในพืชที่ได้รับสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า NaCl ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งในส่วนของการงอก ความยาวลำต้น ปริมาณน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งของราก และปริมาณน้ำหนักราก น้ำหนักแห้งของลำต้นของพืชลดลง และพบว่า ภายใต้ความเครียดจากความเค็มส่งผลให้ใบพืชมีขนาดเล็ก หนา และมีผลต่อการหลุดร่วงของใบพืช นอกจากนี้ยังพบว่า พืชแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการเจริญเติบโตภายใต้สภาวะความเครียดจากความเค็มที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากสายพันธุ์ของพืช ระยะเวลา ปริมาณและความเข้มข้นของความเค็มที่พืชได้รับความเค็ม สภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น ความชื้น และแสง ล้วนมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

7. ผลของ NaCl ต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน

ลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากไขมันไม่อิ่มตัวบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ที่ถูกทำลายโดย ROS ภายใต้สภาวะความเครียดของพืช โดยสามารถวัดการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันจากปริมาณของมาโลนิล ไดอัลดีไฮด์ (Malonyldialdehyde, MDA) (Dionisio-Sese and Tobita, 1998) โดยงานวิจัยของ Bor, Özdemir, and Türkan (2003) ศึกษาผลของความเครียดจาก NaCl ต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันในปีทูท 2 สายพันธุ์ โดยใช้ NaCl ความเข้มข้น 150 และ 500 mM พบว่า ปริมาณ MDA สูงขึ้นในพืชที่ได้รับ NaCl โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 500 mM และ งานวิจัยของ El-baky, Hanaa, Amal, and Hussein (2003) ศึกษาผลของ NaCl ต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระในใบของหัวหอมบางสายพันธุ์โดยใช้ NaCl ความเข้มข้น 2,000 4,000 และ 6,000 ppm พบว่า ความเครียดจากความเค็มส่งผลให้เกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันเมื่อความเข้มข้นของ NaCl เพิ่มขึ้นทำให้พืชเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันสูงขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Koca, Bor, Özdemir, and Türkan (2007) ในงา และในพืชชนิดอื่น งานวิจัยของ Jaleel et al. (2007) ในแพะพวยฝรั่งที่ได้รับ NaCl พบว่า NaCl ส่งผลให้ปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น งานวิจัยของ Aghaleh et al. (2009) ศึกษาใน *Salicornia persica* และ *S. eupaea* โดยใน NaCl ความเข้มข้น 100 200 300 400 500 และ 600 mM โดยเจริญได้หลอดฟลูออเรสเซนซ์แสงขาว พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaCl สูงขึ้นเป็นผลให้ปริมาณ MDA สูงขึ้น เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม Motamedi and Farhoudi (2010)

ศึกษาผลของความเครียดจากความเค็มต่อการต้านอนุมูลอิสระและการเจริญเติบโตของดอกคำฝอย รวมทั้งศึกษาการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน โดยใช้ NaCl ความเข้มข้น 4 6 8 10 และ 12 ds/m พบว่า เมื่อพืชที่ได้รับ NaCl พบว่า ปริมาณของ MDA มีปริมาณสูงกว่าพืชในกลุ่มควบคุม แสดงให้เห็นถึงการถูกทำลายของเยื่อหุ้มเซลล์ในสภาวะความเครียดจากความเค็ม เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Ayala-Astorga and Alcaraz-Meléndez (2010) เกี่ยวกับผลของความเครียดจากความเค็มต่อปริมาณโปรตีน การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันและปริมาณรงควัตถุ ของต้นพอลิเนีย 2 สายพันธุ์โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้อาหารที่มีส่วนผสมของ NaCl ที่ความเข้มข้น 0 20 40 60 80 และ 160 mM โดยจะทำการวิเคราะห์ที่ 15 และ 30 วัน จากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณ MDA ของพืชที่ได้รับ NaCl จะสูงกว่ากลุ่มควบคุมในพืชที่มีอายุ 15 วัน และจะลดลงเมื่อวัดในพืชที่มีอายุ 30 วัน

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า NaCl ส่งผลต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน เมื่อความเข้มข้นของ NaCl เพิ่มขึ้นส่งผลให้พืชเกิดการสะสม MDA เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงความเสียหายของไขมันบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ที่ถูกทำลายจาก ROS เมื่อพืชเจอกับสภาวะเครียดทั้งทางกายภาพและชีวภาพ

8. ผลของ NaCl ต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

การเจริญเติบโตของพืชเป็นผลมาจากกระบวนการทางสรีรวิทยา ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ จะถูกควบคุมโดยปัจจัยแวดล้อมและการตอบสนองของพืชภายใต้สภาวะความเครียด กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพในต้นพืชที่แสดงถึงการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นในสภาวะความเครียดจากความเค็มจะส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นได้ช้าลงหรือหยุดชะงัก เนื่องจากเมื่อน้ำและในดินมีปริมาณของเกลือที่ละลายอยู่มากทำให้พืชดูดน้ำได้น้อยลง ทำให้ปากใบของพืชปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำทางปากใบทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถแพร่ผ่านเข้ามายังพืช นอกจากนี้ความเครียดจากความเค็มยังส่งผลในการยับยั้งกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอน และเอนไซม์ต่าง ๆ ทำให้ลดการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

งานวิจัยของ A. K. Parida et al. (2004) รายงานวิจัยที่ศึกษาผลของความเครียดจากความเค็มต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น งานวิจัยของ Agastian, Kingsley, and Vivekanandan (2000) ศึกษาในมัลเบอรี่พบว่า มัลเบอรี่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่มีความเค็มทำให้คลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ลดลงทั้งในสายพันธุ์ที่ทนเค็มและ

ไม่ทนเค็ม โดยเฉพาะในสายพันธุ์ที่ไม่ทนเค็มจะลดลงมากกว่าพันธุ์ที่ทนเค็ม งานวิจัยของ A. Parida, Das, and Das (2002) ได้ศึกษาในโกกทางโดยได้รับ NaCl ความเข้มข้น 100 200 400 mM พบว่า เมื่อพืชได้รับ NaCl ที่ความเข้มข้น 200 และ 400 mM ทำให้ปริมาณของ คลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ลดลง แต่เพิ่มขึ้นในพืชที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 100 mM

งานวิจัยของ Khosravinejad, Heydari, and Farboodnia (2008) ศึกษาผลของ NaCl ต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้าวบาร์เลย์ โดยใช้ NaCl ความเข้มข้น 50 100 200 300 และ 400 mM พบว่า ปริมาณ คลอโรฟิลล์เอ และ คลอโรฟิลล์บีลดลงเมื่อ เจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่มีความเค็ม ในทางตรงกันข้ามพบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มสูงขึ้น งานวิจัยของ Aghaleh et al. (2009) ศึกษาใน *Salicornia persica* และ *S. eupaea* โดยใน NaCl ความเข้มข้น 100 200 300 400 500 และ 600 mM โดยเจริญใต้หลอดฟลูออเรสเซนต์แสงขาว พบว่า เมื่อพืชได้รับ NaCl ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ลดลงในทุกความเข้มข้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม งานวิจัยของ Cha-Um and Kirdmanee (2009) ศึกษาผลของ ความเครียดจากเกลือต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้าวโพด โดยใช้ NaCl ความเข้มข้น 100 200 300 และ 400 mM เป็นเวลา 5 วัน พบว่า เมื่อพืชได้รับ NaCl ทำให้ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ลดลง เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม งานวิจัยของ Amirjani (2011) ศึกษาผลของความเค็มต่อปริมาณรงควัตถุในข้าว โดยใช้ NaCl 200 mM เป็นเวลา 14 วัน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และ แคโรทีนอยด์ลดลงร้อยละ 33 41 และ 39 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

งานวิจัยของ Saravanavel, Ranganathan, and Anantharaman (2011) ศึกษาผลของ NaCl ต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นแสมดำ (*Avicennia Officinalis*) โดยใช้ NaCl ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 0.5 0.75 1 1.25 1.5 1.75 และ 2 พบว่า ที่ ความเข้มข้น 0.75 % ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มสูงขึ้น และจะลดลงเมื่อ ความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 0.75 งานวิจัยของ Mozafariyan, Saghafi, Bayat, and Bakhtiari (2013) ศึกษาความเข้มข้นของ NaCl ต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ NaCl ที่ความเข้มข้น 0 25 และ 50 mM พบว่า ในสภาวะที่ความเข้มข้นของ NaCl ในน้ำในดินลดลง ส่งผลให้พืช มีการปิดปากใบทำให้ปริมาณ CO_2 ลดลงทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดได้ช้าลงเมื่อ เทียบกับกลุ่มควบคุม และงานวิจัยของ Kaur et al. (2016) การศึกษาผลของความเครียดจาก ความเค็มต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในผักชี 2 สายพันธุ์ โดยใช้ NaCl ที่ความเข้มข้น 25 50 และ 75 mM พบว่า ระดับความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และ

แคโรทีนอยด์ลดลงเมื่อได้รับ NaCl เป็นผลมาจากพืชดูดน้ำได้น้อยลง ส่งผลต่อการเปิดปิดของปากใบทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นได้น้อยลง

จากการศึกษางานวิจัยความเครียดจากความเค็มต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง คลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ในพืชหลายชนิด พบว่า ความเค็มส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ลดลงในพืชบางชนิด และเพิ่มขึ้นในพืชบางชนิดภายใต้สภาวะความเครียดจากความเค็ม จึงสรุปได้ว่า ระยะเวลา ปริมาณ ความเข้มข้นของ NaCl รวมถึงชนิดของพืชมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

9. ผลของ NaCl ต่อการต้านและสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อพืชได้รับความเครียดจากความเค็มจะมีกลไกในการสร้างสารประกอบทุติยภูมิขึ้น โดยสารทุติยภูมิมีบทบาทหน้าที่ในการป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระ เช่น งานวิจัยของ Sairam, Srivastava, Agarwal, and Meena (2005) ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวสาลี 2 สายพันธุ์ คือสายพันธุ์ที่ทนเค็มและสายพันธุ์ไม่ทนต่อความเค็ม ภายใต้สภาวะความเครียดจากความเค็ม โดยใช้ NaCl ที่มีความเข้มข้น 100 และ 200 mM ผลการศึกษาพบว่า NaCl ทำให้พืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น และเพิ่มไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) เพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพื่อป้องกันเซลล์เกิดอันตรายจาก ROS นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของความเครียดจากความเค็มต่อการสะสมสารประกอบทุติยภูมิที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ เช่น ในงานวิจัยของ H.-J. Kim et al. (2008) ได้ทำการศึกษาผลของเกลือในน้ำที่ส่งผลต่อปริมาณสารอาหารผักกาดขาว โดยใช้ความเข้มข้นของเกลือที่ระดับความเข้มข้น 0 5 50 100 และ 200 mM พบว่า การเจริญเติบโตของผักกาดขาวลดลง เมื่อความเข้มข้นของเกลือสูงกว่า 100 mM และพืชที่เจริญเติบโตภายใต้ได้รับเกลือที่ความเข้มข้น 5 mM มีความสามารถในการกระตุ้นระดับการสร้างแคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลสูงกว่ากลุ่มควบคุม เมื่อได้รับสารละลายเกลืออย่างต่อเนื่อง

ต่อมาในงานวิจัยของ Hichem and Mounir (2009) ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดต่อความเครียดจากความเค็ม โดยใช้ความเข้มข้นของ NaCl ที่ระดับ 0 34 68 และ 102 mM พบว่า พืชมีการตอบสนองต่อความเครียดต่อความเค็มโดยการสร้างสารประกอบฟีนอลที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม เป็นกลไกการป้องกันตัวเองของพืชจาก อนุมูลอิสระ และงานวิจัยของ Guo, Yang, Wang, Guo, and Gu (2014) ศึกษาผลของความเครียดจากความเค็มต่อการสร้างสารที่มีประโยชน์แก่ร่างกายและความสามารถในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนบร็อก

โคโลรี 3 สายพันธุ์ โดยใช้ความเข้มข้นของ NaCl 3 ระดับคือ 40 80 และ 160 mM พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 160 mM ความเค็มมีความสามารถในการชักนำให้บร็อคโคโลรี ทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณการสารฟีนอลิก กลูโคราฟานิน (glucoraphanin) ซัลโฟราเฟน (sulphoraphane) ไมโรซิเนส (myrosinase) และสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณของกรดแอสคอร์บิกลดลง เมื่อความเข้มข้นของ NaCl เท่ากับ 160 mM นอกจากนี้ก็วิจัยได้ประยุกต์การนำความเค็มมาใช้กระตุ้นพืชหลาย ๆ ชนิดมากขึ้น งานวิจัยของ Yuan, Wang, Guo, and Wang (2010) ศึกษาผลของความเครียดจากเกลือต่อการสร้างสารประกอบฟีนอล กลูโคซิโนเลต (glucosinolates) ไมโรซิเนส ความสามารถในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนหัวไชเท้า โดยใช้ความเข้มข้นของเกลือที่ระดับ 10 50 และ 100 mM พบว่า ร้อยละของการงอกลดลง เมื่อความเข้มข้นของเกลือสูงกว่า 50 mM และปริมาณของสารประกอบฟีนอล กลูโคซิโนเลต ไมโรซิเนส ความสามารถในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนหัวไชเท้ามีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเกลืออยู่ที่ระดับ 100 mM และงานวิจัยของ Lim, Park, Kim, Jeong, and Kim (2012) จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือต่อระดับการสร้างสารประกอบฟีนอล แคโรทีนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนบักวีต โดยการใช้ความเข้มข้นของ NaCl ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันคือ 0 10 50 100 และ 200 mM ผลการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโตของพืชจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อพืชได้รับเกลือที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 10 mM และพบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 50 และ 100 mM พืชจะมีการสร้างสารประกอบฟีนอล แคโรทีนอยด์ และมีความสามารถในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าพืชที่ได้รับความเข้มข้นของ NaCl เท่ากับ 0 10 และ 200 mM

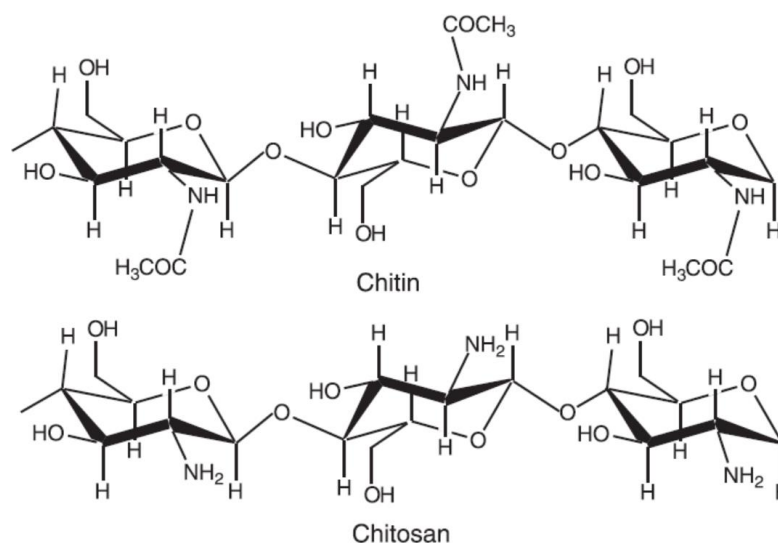
นอกจาก NaCl สามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารทุติยภูมิในพืชเพิ่มขึ้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น หากได้รับ NaCl ระดับสูงถึงระดับความเป็นพิษก็จะทำให้การสะสม การสร้างสารทุติยภูมิในพืชลดลงตามงานวิจัยของ Dash and Panda (2001) ศึกษาความเครียดจากความเค็มในการชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตและการทำงานต่าง ๆ ในระหว่างการงอกของเมล็ดถั่วดำ โดยใช้ความเข้มข้นของ NaCl ที่ระดับ 0 1 2 และ 3 % (w/v) จากผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละการงอก ความยาวราก ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลดลง พืชมีการสร้างโพรลีน เอนไซม์อะซีเตเลส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และปริมาณโพสฟีนอลลดลง และงานวิจัยของ Ksouri et al. (2007) ทำการศึกษาผลของความเค็มต่อการสร้างสารประกอบฟีนอลและความสามารถในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในใบของ *Cakile maritima* โดยทดสอบความเข้มข้นของ NaCl 2 ระดับคือ 100 และ 400 mM พบว่า การเจริญเติบโต การสร้างสารประกอบฟีนอล และการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระของพืชที่ได้รับ NaCl

ที่ความเข้มข้น 100 mM สูงกว่าพืชที่ได้รับ NaCl ที่ความเข้มข้น 400 mM และงานวิจัยของ Świeca (2015) ศึกษาผลของความเครียดจากสภาพแวดล้อมต่อการสร้างสารประกอบฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนถั่วเลนทิล โดยมีการเลือกใช้ปัจจัยทางกายภาพหลายปัจจัย เช่น ความเค็ม โดยเลือกใช้ความเค็มที่ระดับความเข้มข้น 200 และ 300 mM พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 300 mM ทำให้ต้นอ่อนของถั่วเลนทิลมีความสามารถในการสร้างสารประกอบฟีนอล และสร้างสารต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 200 mM

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า เมื่อพืชได้รับ NaCl จะมีความสามารถในการต้านอนุมูล-อิสระสูงขึ้นในพืชหลาย ๆ ชนิด เช่น ในต้นอ่อนของพืชหลายชนิด ได้แก่ บัควีต หัวไชเท้า บร็อคโคลี่ หรือพืชอื่น ๆ ได้แก่ ผักกาดขาว พริก เป็นต้น และมีความสามารถในการสร้างสารประกอบทุติยภูมิอื่น ๆ เช่น สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ในถั่วเลนทิล ถั่วดำสูงขึ้นซึ่งเป็นกลไกในการป้องกันพืชจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ทั้งนี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและสร้างสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับชนิดพืช ปริมาณ ระยะเวลาในการได้รับความเครียด รวมถึงชนิดของความเครียดที่ได้รับ พืชแต่ละชนิดก็จะมี การตอบสนองต่อความเครียดที่แตกต่างกัน

10. ไคโตซาน (chitosan)

ไคโตซาน คือ คาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากการสลายตัวของไคติน (chitin) แหล่งของไคติน (ภาพประกอบ 7) ส่วนใหญ่สามารถพบได้ในบริเวณเปลือกของสัตว์ที่มีโครงร่างแข็งในกลุ่มของครัสเตเชียน (crustacean) ได้แก่ กุ้ง ปู รวมทั้งพวกแมลง สามารถพบได้ในโครงร่างแข็งภายในของหมึก และพบได้บริเวณผนังเซลล์ของรา ยีสต์ โดยไคโตซานจัดเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้มาจากการทำปฏิกิริยากับเบสเพื่อกำจัดหมู่อะซิดิกทำให้มีขนาดของโมเลกุลที่เล็กลง สามารถละลายได้ในกรดอ่อนหรือน้ำ ในปัจจุบันได้นำไคโตซานมาใช้ประโยชน์มากมาย ทั้งด้านการแพทย์และเภสัชกรรม การเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมความงาม (Hamed, Özogul, and Regenstein, 2016)



ภาพประกอบ 8 โครงสร้างของไคตินและไคโตซาน

ทีมา, Jayakumar, Prabakaran, Kumar, Nair, and Tamura (2011)

10.1 ด้านการเกษตร

ปัจจุบันได้มีการนำไคโตซานมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร โดยการนำไคโตซานมาใช้ในเคลือบเมล็ดพืช เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ การเข้าทำลายของจุลินทรีย์ ทำให้เมล็ดพืชสามารถงอกและเจริญเติบโตได้ มีการนำไคโตซานมาใช้เพื่อกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโต ใช้ในการปรับสภาพดินก่อนการเพาะปลูก เนื่องจากมีส่วนช่วยในการควบคุมการปลดปล่อยแร่ธาตุและสารอาหารให้กับพืช อีกทั้งยังพบว่า การใช้ไคโตซานยังมีส่วนช่วยในการทำให้พืชสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเค็ม ความแห้ง ความเย็น และชักนำให้เกิดการสร้างสารประกอบทุติยภูมิในพืชหรือป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตกระถาง ถูสำหรับเพาะปลูกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Katiyar et al., 2015)

10.2 ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม

ไคโตซานเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกาย สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจึงถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์และเภสัชกรรม เช่น ใช้เป็นผลิตภัณฑ์สำหรับปิดบาดแผล ผลิตภัณฑ์สำหรับบรรเทา ไหมเย็บแผล เป็นส่วนผสมในยาบางชนิดเพื่อป้องกันการย่อยสลายของยาบริเวณกระเพาะอาหารซึ่งเป็นวิธีการควบคุมการปลดปล่อยยาให้เข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด (Ilium, 1998)

10.3 ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

ไคโตซานถูกนำมาใช้สำหรับเคลือบ เป็นบรรจุภัณฑ์ เพื่อช่วยยืดอายุของอาหารและเครื่องดื่ม ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น เช่น ผัก ผลไม้ ไข่ นม ขนมปัง อาหารทะเล โดยนำไคโตซานมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของน้ำและแก๊สต่าง ๆ รวมทั้งป้องกันไม่ให้อาหารสูญเสียความชุ่มชื้น ชะลอการเสื่อมสภาพ ยับยั้งการทำลายของจุลินทรีย์ ชะลอการสุกของผลไม้ และมีการนำไคโตซานผสมลงไปในการอบบางชนิดเพื่อช่วยยืดอายุ เช่น การผลิตน้ำผลไม้ เนื่องจากไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดซึ่งมีประสิทธิภาพในการช่วยแยกอนุภาคแขวนลอย ลดความขุ่นของน้ำผลไม้ ช่วยควบคุมระดับความเป็นกรดของน้ำผลไม้ ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และยีสต์ที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการบูดของน้ำผลไม้เพื่อยืดอายุและสามารถเก็บได้นานขึ้น (No, Meyers, Prinyawiwatkul, and Xu, 2007)

11. ไคโตซานอิลิซิเตอร์ (chitosan as elicitor)

อิลิซิเตอร์ (elicitor) คือ กระบวนการชักนำหรือยับยั้งการสังเคราะห์สารประกอบทุติยภูมิของพืช เพื่อให้พืชอยู่รอดภายใต้ปัจจัยที่ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตทั้งปัจจัยทางกายภาพ เช่น ความแห้ง ความเค็ม รังสีอัลตราไวโอเล็ต และปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ จุลินทรีย์ที่ก่อโรคในพืชโดยไคโตซานจัดเป็นอิลิซิเตอร์ตามธรรมชาติที่มีความสามารถในการสังเคราะห์สารตั้งต้นของลิกันิน เช่น สารประกอบในกลุ่มของฟีนอล ได้แก่ กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) กรดฟีนอลิก (phenolic acid) กรดซินแนปิก (sinapic acid) มีส่วนช่วยในการต้านจุลินทรีย์ นอกจากนี้ไคโตซานสามารถชักนำให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานโรคของพืชและเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) และฟีนิลอะลานีน แอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonia lyase) พืชจะมีการตอบสนองต่อไคโตซานอิลิซิเตอร์ทางด้านสรีรวิทยาโดยเฉพาะการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของสารประกอบฟีนอล (Ferri and Tassoni, 2011)

12. ผลของไคซานต่อการเจริญเติบโต

ไคโตซานได้ถูกนำมาเพื่อใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด งานวิจัยของ Ohta, Taniguchi, Konishi, and Hosoki (1999) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการออกดอกของดอกไลเซนทัส โดยการนำไคโตซาน 1% ผสมกับดิน และ ไคโตซาน 0.1% ที่ละลายในกรดแลคติก พบว่า การใช้ไคโตซาน 1% ผสมกับดินทำให้พืชมีความสูงของลำต้น ความยาวความกว้างของแผ่นใบ ปริมาณน้ำหนักสดของดอกสูงกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เคลือบเมล็ดด้วยไคโตซาน 0.1% ที่ละลายในกรดแลคติก รวมทั้งจำนวนดอกที่เยอะขึ้น งานวิจัยของ No et al. (2003) ศึกษาผลของไคโตซานต่อผลผลิต ปริมาณวิตามินซี และความแข็งแรงของถั่วงอก โดยใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันคือ 22 59 224 493 และ 746 kDa ในตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน และใช้เวลาในการแช่แตกต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่า ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 493 kDa ที่ละลายใน 0.05% ในกรดอะซิติก แช่เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทำให้ถั่วงอกมีปริมาณน้ำหนักรวม ปริมาณวิตามินซี และความแข็งแรงของถั่วงอกสูงที่สุด

นอกจากนี้งานวิจัยของ No et al. (2007) ได้ศึกษาผลของไคโตซานต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของถั่วงอก โดยแช่ในไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ น้อยกว่า 10 kDa จัดเป็นระดับต่ำ 50 100 kDa จัดเป็นระดับปานกลาง และสูงกว่า 1,000 kDa จัดเป็นระดับสูง จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตพบว่า ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ระดับสูงทำให้ถั่วงอกมีความยาวของไฮโปคอติล (hypocotyl) ความยาวราก ความยาวจากไฮโปคอติลถึงราก ความอวบของไฮโปคอติล และน้ำหนักสดสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า งานวิจัยของ Cho, No, and Prinyawiwatkul (2008) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและคุณค่าทางโภชนาการของต้นอ่อนทานตะวัน โดยใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 28 67 223 444 และ 746 kDa โดยมีการละลายในตัวทำละลาย น้ำ กรดอะซิติก กรดแลคติก และกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 และ 0.5% ในเวลา 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่า ต้นทานตะวันที่แช่ในไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำคือ 28 kDa ที่ละลายใน 0.5% กรดแลคติกเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ทำให้อัตราการงอก การเจริญเติบโต ความยาวและความอวบสูงกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า

งานวิจัยของ Mahdavi and Rahimi (2013) ทำการศึกษาผลของไคโตซานต่อการงอกและการเจริญเติบโตของ ajowan (*Carum copticum*) ภายใต้ความเค็มจากความเค็ม โดยแช่เมล็ดในไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 0.2 และ 0.5% แล้วนำมาปลูกในกระถางที่มีความเค็ม 0 4 8 และ 12 dS/m ผลพบว่า ไคโตซานทุกความเข้มข้นส่งผลให้อัตราการงอก ความยาวของ

ลำต้น ความยาวราก ปริมาณน้ำหนักแห้งของไฮโพคอติล และปริมาณน้ำหนักแห้งรากแรกเกิดสูงกว่ากลุ่มควบคุม

จากการศึกษาการใช้ไคโตซานเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช พบว่า ไคโตซานสามารถชักนำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น ในส่วนของความยาวลำต้น ปริมาณน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล ระยะเวลาที่พืชได้รับ รวมถึงชนิดของพืช

13. ผลของไคโตซานต่อการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ

นอกจากจะมีการนำปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพมาใช้ในการกระตุ้นการเจริญเติบโต และชักนำให้พืชสร้างสารต้านอนุมูลอิสระแล้ว ยังพบว่า มีการนำไคโตซานมาใช้ประโยชน์เพื่อกระตุ้นการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น ตามงานวิจัยของ H.-J. Kim, Chen, Wang, and Rajapakse (2005) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระของ โหระพา (*Ocimum basilicum* L.) โดยใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 0.5 และ 1% (w/v) ให้กับโหระพาก่อนระยะต้นอ่อน พบว่า โหระพาที่ได้รับ 0.1 และ 0.5% ไคโตซานมีความสามารถในการสร้างสารประกอบฟีนอล สูงกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ และเมื่อศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) พบว่า ไคโตซาน 0.5% ทำให้โหระพามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ

งานวิจัยของ Cho et al. (2008) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตในต้นอ่อนทานตะวันโดยใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 28 67 223 444 และ 746 kDa ความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 และ 0.5% (w/v) ในเวลา 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่ในไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำคือ 28 kDa ที่ละลายใน 0.5% กรดแลคติกเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ทำให้มีความสามารถในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และงานวิจัยของ Salimgandomi and Shabrangi (2016) ศึกษาผลของไคโตซานต่อปริมาณของสารประกอบฟีนอลที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระในเปปเปอร์มินต์ โดยให้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 50 และ 100 μ M โดยมีวิธีให้โดยการพ่นบริเวณลำต้น และผิวดิน พบว่า พืชที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 100 μ M มีปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์สูงกว่าพืชที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 50 μ M และกลุ่มควบคุมตามลำดับ ทั้งนี้จึงเป็นผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH เพิ่มขึ้นเช่นกัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พืชที่ใช้ทดสอบ

ทานตะวัน (*Helianthus annulus* L.)

2. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย NaCl และไคโตซาน

2.1.1 โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl)

2.1.2 ไคโตซาน (chitosan)

2.1.3 ขวดวัดปริมาตร

2.2 อุปกรณ์ในการปลูกพืช

2.2.1 กระถางพลาสติกขนาด 7 x 17 x 6 cm

2.2.2 ถาดรองเพาะพร้อมฝาปิดสีขาวขุ่น

2.2.3 ดินผสมปุ๋ยมะพร้าว

2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์

2.3.1 อะซิโตน (acetone)

2.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน

2.4.1 กรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid, TCA)

2.4.2 กรดไธโอบาบิพูริค (thiobarbituric acid, TBA)

2.5. สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl free radical scavenging activity (DPPH)

2.5.1 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

2.5.2 trolox (trolox)

2.5.3 เมทานอล (methanol)

2.6 สารเคมีที่ใช้การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ferric antioxidant power (FRAP)

2.6.1 เมทานอล (methanol)

2.6.2 กรดอะซิติก (acetic acid)

2.6.3 โซเดียมอะซิเตต (sodium acetate)

2.6.4 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid)

2.6.5 2-4-6-tripyrldyl-s-triazine

2.6.6 ไอรอน (III) คลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต (Iron (III) chloride hexahydrate, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

2.6.7 trolox (trolox)

2.7 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอล

2.7.1 เมทานอล (methanol)

2.7.2 Folin ciocalteu reagent

2.7.3 โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate)

2.7.4 กรดแกลลิก (gallic acid)

2.8 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์

2.8.1 โซเดียมไนไตรต์ (sodium nitrite)

2.8.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)

2.8.3 อะลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminium chloride)

2.8.4 แคเทชิน (catechin)

2.9 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์โพรลีน

2.9.1 นินไฮดริน (ninhydrin)

2.9.2 กรดแกลเซียลแอซิดิก (glacial acetic acid)

2.9.3 กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid)

2.9.4 โทลูอีน (toluene)

2.9.5 โพรลีน (proline)

3. วิธีทดลอง

3.1 การทดลองผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

3.1.1 การเตรียมสารละลาย NaCl

เตรียม stock NaCl ความเข้มข้น 1 M โดยชั่ง NaCl 58.5 g เติมน้ำจนมี ปริมาตรครบ 1 L จากนั้นนำสารละลาย NaCl มาเจือจางเพื่อให้ได้ความเข้มข้น 200 400 600 800 และ 1000 mM ความเข้มข้นละ 1 L

3.1.2 การเตรียมพืชที่ใช้ในการทดลอง

นำเมล็ดทานตะวันมาแช่ด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นห่อด้วยผ้าที่มีความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาเพาะในดินผสมโยมะพร้าวในกระถางพลาสติกที่มีขนาด 7 x 17 x 6 cm แล้ววางในถาดรอง ปิดด้วยฝาพลาสติกสีขาวขุ่น วางบนชั้นปลูกในสภาพห้องทดลองโดยไม่ให้แสง และให้น้ำวันละ 1 ครั้ง ครั้งละ 100 mL ต่อกระถาง

3.1.3 การให้สารละลาย NaCl แก่ต้นอ่อนทานตะวัน

สารละลาย NaCl แต่ละความเข้มข้นแก่ต้นอ่อนทานตะวันปริมาตร 50 mL ต่อกระถาง ที่ 3 5 และ 7 วันหลังจาก โดยชุดควบคุมจะพ่นด้วยน้ำกลั่น

3.1.4 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำเก็บข้อมูล 2 ชุด

3.1.5 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

เก็บตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวันอายุ 7 วันหลังจาก เพื่อทำการวิเคราะห์การเจริญเติบโต (น้ำหนักสด ความยาวลำต้น และความยาวราก) ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์) การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน (malondialdehyde, MDA) และการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ

3.2. ผลของไคโตซานต่อเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

3.2.1 การเตรียมสารละลายไคโตซาน

เตรียมไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.50 0.75 และ 1% (w/v) ความเข้มข้นละ 100 mL (ใช้ไคโตซาน food grade น้ำหนักโมเลกุล 5 kDa)

3.2.2 การเตรียมพีซีในการทดลอง

นำเมล็ดทานตะวันแช่ในสารละลายไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นห่อด้วยผ้าที่มีความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยกลุ่มควบคุมแช่ในน้ำกลั่น หลังจากนั้นนำมาเพาะในดินผสมโยมะพร้าวในกระถางพลาสติกที่มีขนาด $7 \times 17 \times 6$ cm แล้ววางในถาดรอง ปิดด้วยฝาพลาสติกสีขาวขุ่น วางบนชั้นปลูกในสภาพห้องทดลองโดยไม่ให้แสง และให้น้ำวันละ 1 ครั้ง ๆ ละ 100 mL ต่อกระถาง

3.2.3 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำเก็บข้อมูล 2 ชุด

3.2.4 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

เก็บตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอกเพื่อทำการวิเคราะห์การเจริญเติบโต (น้ำหนักสด ความยาวลำต้น และความยาวราก) ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์) การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน และการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ

3.3. การทดลองผลของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

3.3.1 การเตรียมพีซีที่ใช้ในการทดลอง

แช่เมล็ดทานตะวันด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.5 และ 0.75% (w/v) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นห่อด้วยผ้าที่มีความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยกลุ่มควบคุมจะแช่ในน้ำกลั่น หลังจากนั้นนำมาเพาะในดินผสมโยมะพร้าวในกระถางพลาสติก ที่มีขนาด $7 \times 17 \times 6$ cm แล้ววางในถาดรอง ปิดด้วยฝาพลาสติกสีขาวขุ่น วางบนชั้นปลูกในสภาพห้องทดลองโดยไม่ให้แสง และให้น้ำวันละ 1 ครั้ง ๆ ละ 100 mL ต่อกระถาง

3.3.2 การให้สารละลาย NaCl แก่ต้นอ่อนทานตะวัน

พ่นสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ให้กับต้นอ่อนทานตะวันปริมาตร 50 mL ต่อกระถาง ที่ 3 5 และ 7 วันหลังงอก โดยชุดควบคุมพ่นด้วยน้ำกลั่น

3.3.3 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ factorial design in CRD ปัจจัยที่ 1 คือ ไคโตซาน ปัจจัยที่ 2 คือ NaCl ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำเก็บข้อมูล 2 ชุด

3.3.4 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

เก็บตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอกเพื่อทำการวิเคราะห์การเจริญเติบโต (น้ำหนักสด ความยาวลำต้น และความยาวราก) ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์) การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน การสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลรวม ฟลาโวนอยด์ และโปรตีน

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การเจริญเติบโต

สุ่มเก็บตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอกเพื่อทำการวิเคราะห์การเจริญเติบโตจากปริมาณน้ำหนักสด ความยาวลำต้น และความยาวราก

4.2 ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ดัดแปลงวิธีจาก Sumanta, Haque, Nishika, and Suprakash (2014) โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.5 g ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ บดให้ละเอียด แล้วเติมอะซีโตนความเข้มข้น 80% (v/v) ปริมาตร 10 mL นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 xg เป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 663 และ 470 nm ตามลำดับ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ ตามสมการดังนี้

$$\text{คลอโรฟิลล์ เอ (C}_a\text{)} = 12.25 (A_{663}) - 2.79 (A_{645})$$

$$\text{คลอโรฟิลล์ บี (C}_b\text{)} = 21.5 (A_{645}) - 5.1 (A_{663})$$

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

เมื่อ	A_{663}	คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663 nm
	A_{645}	คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 nm
	A_{470}	คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 nm

4.3 การวิเคราะห์การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันจากการวิเคราะห์ปริมาณ MDA

นำต้นพืชที่ 7 วันหลังออก มาวิเคราะห์ปริมาณ MDA ตามวิธีของ Gao, Li, Gao, Li, and Sun (2009) ตัวอย่างพืช 1 g บดให้ละเอียดแล้วเติมสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก ความเข้มข้น 10% (w/v) ปริมาตร 4 mL จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,200 xg เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายใสที่อยู่ด้านบนมา 2 mL เติมด้วยกรดไธโอบาบิทรูรีค ความเข้มข้น 0.62% (w/v) ที่ละลายอยู่ในกรดไตรคลอโรอะซิติก 10% (w/v) ปริมาตร 2 mL แล้วแช่ในน้ำอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำมาแช่น้ำแข็งทันทีเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,200 xg เป็นเวลา 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 532 และ 600 nm ตามลำดับ

การคำนวณ

$$\text{MDA concentration } (\mu\text{molL}^{-1}) = 6.45 (A_{532} - A_{600}) - 0.56 A_{450}$$

$$\text{MDA content (nmol g}^{-1}\text{FW)} = \text{MDA concentration } (\mu\text{molL}^{-1}) \times \frac{\text{homogenate volume (mL)}}{\text{FW (g)}}$$

เมื่อ	A_{450}	คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 nm
	A_{532}	คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 nm
	A_{600}	คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm

4.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

การเตรียมสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันโดยการชั่งตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวัน 2 g บดให้ละเอียด แล้วเติมเมทานอล ความเข้มข้น 80% (v/v) ปริมาตร 20 mL นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10000 xg เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ปริมาตร 0.2 mL เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยดัดแปลงวิธีของ Enujiugha, Talabi, Malomo, and Olagunju (2012) โดยเตรียมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.1 mM ในสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 80% (v/v) ปริมาตร 3.8 mL ผสมให้เข้ากันในหลอดทดลอง บ่มปฏิกิริยาในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm คำนวณร้อยละการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้สูตร

จากสูตร

$$\% \text{ antioxidant} = 1 - \frac{(\text{sample} - \text{blank})}{\text{control}} \times 100$$

4.5 การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันโดยวิธี ferric antioxidant power (FRAP)

การเตรียมสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันโดยการชั่งตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวัน 2 g บดให้ละเอียด แล้วเติมเมทานอล ความเข้มข้น 80% (v/v) ปริมาตร 20 mL นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 xg เป็นเวลา 10 นาที เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยดัดแปลงวิธีของ Szóllósi and Varga (2002) โดยนำสารสกัด 0.5 mL ผสมกับสารละลาย FRAP (อะซีเตตบัฟเฟอร์ pH 3.6 ผสมกับสารละลาย 2,4,6-ไตรไพริดีล-เอส-ไดรเอซีน ความเข้มข้น 10 mM ที่ละลายอยู่ในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 mM และไอรอน (III) คลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต ความเข้มข้น 20 mM ในน้ำกลั่น ผสมสารทั้งสามชนิดในอัตราส่วน 10 : 1 : 1) ปริมาตร 3 mL นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm เปรียบเทียบค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระกับกราฟของสารละลายมาตรฐาน trolox

4.6 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลโดยรวม (total phenol content)

การสกัดสารฟีนอลจากตัวอย่างพืชดัดแปลงวิธีมาจาก Lim et al. (2012) นำต้นอ่อนทานตะวัน 2 g บดให้ละเอียดแล้วเติมเมทานอล 80% (v/v) ปริมาตร 20 mL หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 xg เป็นเวลา 10 นาที นำสารสกัดไปวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลโดยรวมโดยดัดแปลงวิธีจาก Pająk, Socha, Gałkowska, Rożnowski, and Fortuna (2014) นำสารสกัดจากพืช ปริมาตร 0.1 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 0.4 mL ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติมสารละลาย Folin ciocalteu reagent ความเข้มข้น 0.2 M ปริมาตร 2.5 mL หลังจากนั้นเติมโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 7.5% (w/v) ปริมาตร 2 mL เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลโดยรวมโดยนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดเทียบกับกราฟของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

4.7 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ (flavonoid content)

การสกัดสารฟลาโวนอยด์ดัดแปลงวิธีมาจาก Lim et al. (2012) โดยนำต้นอ่อนทานตะวัน 2 g บดให้ละเอียดแล้วเติมเมทานอล 80% (v/v) ปริมาตร 20 mL หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 xg เป็นเวลา 10 นาที นำสารสกัดไปวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ โดยดัดแปลงวิธีของ D.-O. Kim et al. (2003) โดยนำสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันปริมาตร 1 mL เติมน้ำกลั่น 4 mL และเติมโซเดียมไนไตรท์ ความเข้มข้น 5% (w/v) ปริมาตร 0.3 mL ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 10% (w/v) ปริมาตร 0.3 mL ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที หลังจากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 2 mL ผสมให้เข้ากันแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 10 mL ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 2.4 mL ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm วิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ในสารสกัด โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแคเทชิน

4.8 การวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอล

การวิเคราะห์โพลีฟีนอลดัดแปลงมาจากวิธีการของ Bates, Waldren, and Teare (1973) โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.5 g บดให้ละเอียดโดยใช้กรดซัลฟิวริกปริมาณ 10 mL ความเข้มข้น 3% (w/v) แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 หลังจากนั้นนำสารสกัดที่กรองได้ปริมาตร 2 mL มาทำปฏิกิริยากับ 2 mL ของกรดไนโตรซิก และกรดแกลูเทอริก 2 mL ในหลอดทดลอง แล้วนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 1 ชั่วโมงแล้วนำมาหยุดปฏิกิริยาในอ่างน้ำแข็ง หลังจากนั้นเติมโทลูอีน 4 mL ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่าสารละลายเป็นเวลา 15 - 20 วินาที แล้วปล่อยให้สารแยกชั้น หลังจากนั้นดูดสารละลายที่แยกชั้นอยู่ด้านบนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm โดยใช้โทลูอีนเป็น blank นำค่าการดูดกลืนแสงไปเปรียบเทียบหาปริมาณโพลีฟีนอลในพืชโดยใช้กราฟของสารละลายมาตรฐานโพลีฟีนอล

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance , ANOVA) ตามแผนการทดลองข้างต้นโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

6. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาของพืช ห้อง 410 อาคาร 10 และห้อง 321 อาคาร 15 (หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

7. ระยะเวลาทดลอง

กรกฎาคม 2559 – มีนาคม 2562



บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาตามวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้เป็นไปตามความมุ่งหมายของงานวิจัยที่ได้กำหนดดังนี้

1. ศึกษาผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน
2. ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน
3. ศึกษาผลของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

1. ผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

1.1 ผลต่อการเจริญเติบโต

จากการศึกษาผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน โดยศึกษาความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดราก พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 400 mM ส่งผลให้ความยาวลำต้นลดลงร้อยละ 3 ส่วนความเข้มข้น 600 800 และ 1,000 mM ส่งผลให้ความยาวลำต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยมีความยาวลำต้นลดลงคิดเป็นร้อยละ 13 14 และ 26 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ในขณะที่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 200 mM ส่งผลให้ความยาวลำต้นเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง 1)

ผลของ NaCl ต่อปริมาณน้ำหนักราก พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 และ 800 mM ทำให้ปริมาณน้ำหนักรากลดลงร้อยละ 2 และ 7 ตามลำดับ และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 1,000 mM น้ำหนักรากลดลงคิดเป็นร้อยละ 18 ส่วนต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 200 และ 400 mM มีปริมาณน้ำหนักรากเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง 1)

ผลของ NaCl ต่อความยาวราก พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 200 400 600 และ 800 mM ส่งผลให้ความยาวรากเพิ่มขึ้นร้อยละ 9 12 9 และ 14 ตามลำดับ และลดลงร้อยละ 1 ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 1,000 mM ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง 1)

ผลของ NaCl ต่อปริมาณน้ำหนักสดของรากต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM พบว่าน้ำหนักสดของรากเพิ่มขึ้นร้อยละ 11 19 และ 21 ตามลำดับ ส่วนในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 200 และ 1,000 mM ลดลงร้อยละ 13 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง 1)

1.2 ผลต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ผลของ NaCl ต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ทุกความเข้มข้น มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่มีแนวโน้มว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 ถึง 1,000 mM จะมีปริมาณมากกว่าในกลุ่มควบคุม คลอโรฟิลล์บี พบว่า มีแนวโน้มที่จะสูงที่สุดในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 mM ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์พบว่า จะสูงสุดในต้นที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ส่วนที่ NaCl ความเข้มข้นอื่นๆ พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตาราง 2)

1.3 ผลต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน

การวัดการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันโดยวัดจากปริมาณ MDA ของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ในการทดลองนี้ พบว่า เมื่อให้ NaCl แก่ต้นอ่อนทานตะวัน ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มมากขึ้น ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 200 400 และ 600 mM เท่ากับ 0.065 0.058 และ 0.069 $\text{nmol g}^{-1}\text{FW}$ คิดเป็นร้อยละ 104 102 และ 121 ของกลุ่มควบคุมตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 และ 1,000 mM ซึ่งเท่ากับ 0.088 และ 0.098 $\text{nmol g}^{-1}\text{FW}$ คิดเป็นร้อยละ 154 และ 172 ของกลุ่มควบคุมตามลำดับ (ตาราง 3)

1.4 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

การตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) โดยอนุมูลอิสระ DPPH เป็นอนุมูลไนโตรเจนคงตัวที่มีสีม่วง เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านอนุมูลอิสระ สารละลาย DPPH จะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แสดงให้เห็นความสามารถในการทำลาย อนุมูลอิสระของสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน โดยแสดงในค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl มีแนวโน้มในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าต้นอ่อนทานตะวันในกลุ่มควบคุม โดยต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 200 และ 400 mM มี% การยับยั้งอนุมูลอิสระเป็น 18.828 และ 26.302 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 104 และ 146 ของกลุ่มควบคุมตามลำดับ แต่เมื่อได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 800 และ 1,000 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมี% การยับยั้งอนุมูลอิสระเป็น 26.895 31.870 และ 31.194 ตามลำดับ โดยคิดเป็นร้อยละ 149 176 และ 173 ของกลุ่มควบคุม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) (ตาราง 4)

1.5 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP)

การตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP เป็นการทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์เฟอริกของสารประกอบเชิงซ้อนโดยการถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน Fe^{3+} TPTZ ให้เป็น Fe^{2+} TPTZ ซึ่งจะเปลี่ยนจากสารละลายใสเป็นสารละลายสีน้ำเงิน แสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน รายงานผลในรูป FRAP value เทียบกับกราฟของสารละลายมาตรฐาน trolox พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 200 และ 400 mM มีค่า FRAP เท่ากับ 0.026 และ 0.032 mg/mL trolox ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 800 และ 1,000 mM ซึ่งมีค่า FRAP เท่ากับ 0.036 0.041 และ 0.040 mg/mL trolox ตามลำดับ (ตาราง 4)

ตาราง 1 ผลของ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าต่อความยาวลำต้น ปริมาณน้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

ความเข้มข้นของ NaCl (mM)	ความยาวลำต้น		น้ำหนักสดลำต้น		ความยาวราก		น้ำหนักสดราก	
	cm ^{1/}	%C ^{2/}	g	%C	cm.	%C	g	%C
0	18.722ab ^{3/} ± 0.338	100	0.878a ± 0.038	100	5.778a ± 0.516	100	0.075a ± 0.065	100
200	19.967a ± 0.170	107	0.889a ± 0.021	101	6.306a ± 0.460	109	0.065a ± 0.004	87
400	18.250b ± 0.642	97	0.895a ± 0.044	102	6.467a ± 0.305	112	0.083a ± 0.010	111
600	16.167 c ± 0.529	86	0.860a ± 0.007	98	6.278a ± 0.346	109	0.089a ± 0.008	119
800	15.750c ± 0.294	84	0.817ab ± 0.053	93	6.567a ± 0.417	114	0.091a ± 0.009	121
1000	13.900d ± 0.296	74	0.717b ± 0.030	82	5.695a ± 0.353	99	0.072a ± 0.008	96

^{1/} ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดรากของต้นอ่อนทานตะวัน

^{2/} ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดรากของต้นอ่อนทานตะวันคิดเป็นร้อยละเทียบกับกลุ่มควบคุม

^{3/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

ตาราง 2 ผลของ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

ความเข้มข้นNaCl		คลอโรฟิลล์เอ		คลอโรฟิลล์บี		แคโรทีนอยด์	
(mM)	µg/mL ^{1/}	% C ^{2/}	µg/mL	%C	µg/mL	%C	
0	1.671a ^{3/} ± 0.139	100	0.624a ± 0.139	100	0.699b ± 0.019	100	
200	1.551a ± 0.132	93	0.410a ± 0.186	66	0.747ab ± 0.041	107	
400	1.613a± 0.108	97	0.455a ± 0.288	73	0.740ab ± 0.035	106	
600	1.758a ± 0.280	105	0.836a ± 0.248	134	0.6430b ± 0.054	92	
800	1.874a ± 0.191	112	0.395a ± 0.145	63	0.866a ± 0.068	124	
1000	1.731a ± 0.229	104	0.558a ± 0.162	89	0.724ab ± 0.055	104	

^{1/} ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ของต้นอ่อนทานตะวัน

^{2/} ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ของต้นอ่อนทานตะวันคิดเป็นร้อยละของกลุ่มควบคุม

^{3/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

ตาราง 3 ผลของ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

ความเข้มข้น NaCl (mM)	ปริมาณ MDA (nmol g ⁻¹ FW) ^{1/}	%C ^{2/}
0	0.057b ^{3/} ± 0.008	100
200	0.065b ± 0.005	104
400	0.058b ± 0.001	102
600	0.069ab ± 0.008	121
800	0.088a ± 0.008	154
1000	0.098a ± 0.003	172

^{1/} ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวัน

^{2/} ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันคิดเป็นร้อยละของกลุ่มควบคุม

^{3/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

ตาราง 4 ผลของ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าต่อการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

ความเข้มข้น NaCl (mM)	ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH ^{1/}	% C ^{2/}	FRAP value (mg/mL Trolox)	% C
0	18.066c ^{3/} ± 0.897	100	0.023c ± 0.001	100
200	18.828bc ± 2.036	104	0.026bc ± 0.003	111
400	26.302abc ± 1.770	146	0.032abc ± 0.003	139
600	26.895ab ± 1.388	149	0.036ab ± 0.005	157
800	31.870a ± 5.303	176	0.041a ± 0.006	178
1000	31.194a ± 2.233	173	0.040a ± 0.005	174

^{1/} ปริมาณการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน

^{2/} ปริมาณการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันคิดเป็นร้อยละของกลุ่มควบคุม

^{3/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

2. ผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

2.1 ผลต่อการเจริญเติบโต

ศึกษาผลของไคโตซานที่ให้แก่เมล็ดทานตะวันตอนเพาะต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน โดยศึกษาความยาว ลำต้น น้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดราก พบว่า การให้ไคโตซานแก่เมล็ดในตอนเพาะทุกความเข้มข้นไม่ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น และความยาวราก แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ยกเว้นน้ำหนักสดรากซึ่งพบว่า ไคโตซานที่ความเข้มข้น 1% (w/v) ที่ให้ทางเมล็ด ทำให้น้ำหนักลำต้นอ่อนทานตะวันสูงกว่ากลุ่มควบคุมและมากกว่าไคโตซานความเข้มข้นอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ส่วนความยาวลำต้น พบว่าไคโตซานความเข้มข้น 0.5 และ 0.75% (w/v) มีแนวโน้มทำให้ความยาวลำต้นของต้นอ่อนมากกว่ากลุ่มควบคุม และที่ความเข้มข้นอื่น ๆ แต่ที่ไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) ทำให้ความยาวลำต้นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตาราง 5)

ผลของไคโตซานต่อน้ำหนักสดของลำต้น พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.5 0.75 และ 1% (w/v) มีปริมาณน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 0.959 0.952 0.971 และ 0.961 g ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง 5)

ผลของไคโตซานต่อความยาวราก พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.5 0.75 และ 1% (w/v) มีความยาวรากเฉลี่ยเท่ากับ 7.578 7.739 7.106 และ 7.700 cm ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง 5)

ผลของไคโตซานต่อน้ำหนักสดของราก พบว่า ไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) ทำให้ปริมาณน้ำหนักสดของรากต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยมีปริมาณน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 0.238 g เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 168 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.75% (w/v) ทำให้ปริมาณน้ำหนักสดของรากเท่ากับ 0.147 0.146 g ซึ่งเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 4 และ 3 ตามลำดับ และไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้ปริมาณน้ำหนักสดของรากเท่ากับ 0.122 g คิดเป็นร้อยละ 14 ซึ่งไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม (ตาราง 5)

2.2 ผลต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ผลของไคโตซานต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ พบว่า คลอโรฟิลล์เอมีปริมาณเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 2.546 $\mu\text{g/mL}$ คิดเป็นร้อยละ 36 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณเท่ากับ 1.940 และ 2.185 $\mu\text{g/mL}$ เพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 3 และ 16 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ไคโตซานความเข้มข้น 0.25% (w/v) ส่งผลให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงร้อยละ 2 ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) มีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 1.839 $\mu\text{g/mL}$ (ตาราง 6)

ในส่วนของการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์บีนั้น พบว่า ไคโตซานความเข้มข้น 0.25 และ 0.50% (w/v) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 16 และ 34 โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเท่ากับ 0.769 และ 0.887 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ แต่ปริมาณคลอโรฟิลล์บีที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่เมื่อให้ไคโตซานความเข้มข้น 0.75 และ 1% (w/v) มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีลดลงต่ำกว่าที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50 % (w/v) เหลือเพียง 0.482 และ 0.718 $\mu\text{g/mL}$ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติจากกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) (ตาราง 6)

ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์นั้น พบว่า ปริมาณไคโตซานที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันค่อนข้างลดลง โดยที่ความเข้มข้นของไคโตซานที่สูง (0.75 และ 1 % w/v) มีปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นมีค่าเท่ากับ 0.777 และ 0.816 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) (ตาราง 6)

2.3 ผลต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน

การวัดการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน โดยการวัดจากปริมาณ MDA ของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน พบว่า ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้นสูงจะทำให้ปริมาณ MDA เพิ่มมากขึ้นโดยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 1.00% (w/v) มีปริมาณ MDA เท่ากับ 0.073 และ 0.087 $\text{nmol g}^{-1}\text{FW}$ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 109 และ 136 ของกลุ่มควบคุมตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) (ตาราง 7)

2.4 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

การตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) นั้นอนุมูลอิสระ DPPH เป็นอนุมูลไนโตรเจนคงตัวที่มีสีม่วง เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านอนุมูลอิสระ สารละลาย DPPH จะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แสดงให้เห็นความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน โดยแสดงในค่าร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH พบว่า ไคโตซานทุกความเข้มข้น ทำให้ร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.50 0.75 และ 1% (w/v) ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 24.315 27.923 28.361 และ 31.672 ตามลำดับ เพิ่มขึ้นร้อยละ 34 54 57 และ 75 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตาราง 8)

2.5 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP)

การตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP เป็นการทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารประกอบเชิงซ้อนโดยการถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน Fe^{3+} TPTZ ให้เป็น Fe^{2+} TPTZ ซึ่งจะเปลี่ยนจากสารละลายสีเป็นสารละลายสีน้ำเงิน แสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน รายงานผลในรูป FRAP value เทียบกับกราฟของสารละลายมาตรฐาน trolox พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) มีค่า FRAP value เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.031 mg/mL trolox ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.25 และ 0.50% (w/v) ทำให้มีค่า FRAP value เท่ากับ 0.030 mg/mL trolox ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติจากกลุ่มควบคุม แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไคโตซานเป็น 0.75% (w/v) พบว่า ค่า FRAP value จะเพิ่มเป็น 0.031 mg/mL trolox ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยคิดเป็นร้อยละ 129 ของกลุ่มควบคุม แต่ที่ไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) ค่า FRAP value ของต้นอ่อนทานตะวันกลับลดลงเหลือเพียง 0.023 mg/mL trolox ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง 8)

ตาราง 5 ผลของการแช่เมล็ดด้วยโคโคไธซานก่อนเพาะต่อความยาวลำต้น ปริมาณน้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดราก ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก

ความเข้มข้นของโคโคไธซาน (% (w/v))	ความยาวลำต้น		น้ำหนักสดลำต้น		ความยาวราก		น้ำหนักสดราก	
	cm ^{1/}	% C ^{2/}	g	% C	cm	% C	g	% C
0	18.111ab ^{3/} ± 0.96	100	0.967a ^{3/} ± 0.032	100	7.372a ^{3/} ± 0.388	100	0.142b ^{3/} ± 0.020	100
0.25	18.050ab ± 0.121	100	0.959a ± 0.046	99	7.578a ± 0.532	103	0.147b ± 0.030	104
0.50	19.145a ± 0.957	106	0.952a ± 0.090	98	7.739a ± 0.495	105	0.122b± 0.012	86
0.75	19.294a ± 0.197	107	0.971a ± 0.013	100	7.106a ± 0.622	96	0.146b± 0.002	103
1	17.233b ± 0.246	95	0.961a ± 0.025	99	7.700a ± 0.776	104	0.238a± 0.012	168

^{1/} ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดรากของต้นอ่อนทานตะวัน

^{2/} ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดรากของต้นอ่อนทานตะวันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

^{3/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

ตาราง 6 ผลของการแช่เมล็ดด้วยไดโตซานก่อนเพาะต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก

ความเข้มข้น ไดโตซาน (% (w/v))	คลอโรฟิลล์เอ		คลอโรฟิลล์บี		แคโรทีนอยด์	
	µg/mL ¹	% C ²	µg/mL	%C	µg/mL	%C
0	1.878b ³ ± 0.145	100	0.662a ± 0.064	100	0.959a ± 0.091	100
0.25	1.839b ± 0.106	98	0.769a ± 0.328	116	0.967a ± 0.093	101
0.5	1.940b ± 0.080	103	0.887a ± 0.061	134	0.465b± 0.022	48
0.75	2.185b ± 0.080	116	0.482a ± 0.066	73	0.777a ± 0.139	81
1	2.546a ± 0.133	136	0.718a ± 0.020	108	0.816a ± 0.084	85

¹ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ของต้นอ่อนทานตะวัน

² ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ของต้นอ่อนทานตะวันคิดเป็น% ของกลุ่มควบคุม

³ ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบโดยใช้

DMRT

ตาราง 7 ผลของการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานก่อนเพาะต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก

ความเข้มข้นไคโตซาน (% (w/v))	ปริมาณ MDA (nmol g ⁻¹ FW) ^{1/}	%C ^{2/}
0	0.067a ^{3/} ± 0.007	100
0.25	0.067a ± 0.004	100
0.50	0.064a ± 0.001	96
0.75	0.073a ± 0.005	109
1	0.087a ± 0.013	130

^{1/} ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวัน

^{2/} ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

^{3/} ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

ตาราง 8 ผลของการแช่เมล็ดด้วยโคโคโตซานก่อนเพาะต่อการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

ความเข้มข้นโคโคโตซาน (% (w/v))	ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH ¹	% C ²	FRAP value (mg/mL Trolox)	% C
0	18.094c ³ ± 0.431	100	0.024bc ³ ± 0.002	100
0.25	24.315b ± 0.940	134	0.030ab ± 0.002	125
0.5	27.923ab ± 1.231	154	0.030ab ± 0.002	125
0.75	28.361ab ± 0.936	157	0.031a ± 0.003	129
1	31.672a ± 2.911	175	0.023c ± 0.001	96

¹ ปริมาณการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน

² ปริมาณการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

³ ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

3. ผลของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโต และการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ ในต้นอ่อนทานตะวัน

3.1. ความยาวลำต้น

ความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและพ่น NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 วันหลังออก พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทั้งที่ไม่แช่และแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่ได้แช่ด้วยไคโตซาน มีความยาวลำต้นเท่ากับ 19.293 cm ส่วนเมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซาน 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้ความยาวลำต้นลดลงร้อยละ 6 และ 9 โดยมีความยาวลำต้นเท่ากับ 17.894 และ 17.452 cm ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งน้อยกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียวที่ทำให้ความยาวลำต้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และความยาวลำต้นน้อยกว่าความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานเพียงอย่างเดียว การให้ NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนที่ไม่แช่และแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่ได้แช่ด้วยไคโตซาน มีความยาวลำต้นเท่ากับ 17.655 cm ลดลงร้อยละ 8 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนเมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซาน 0.50 และ 0.75 % (w/v) ทำให้ความยาวลำต้นลดลงร้อยละ 4 10 โดยมีความยาวลำต้นเท่ากับ 18.319 และ 17.299 cm ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

เมื่อนำเมล็ดที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่น NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้ความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันน้อยกว่าความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและไม่ได้พ่น NaCl ส่วนต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM ที่ไม่แช่และแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่ได้แช่ด้วยไคโตซาน มีความยาวลำต้นเท่ากับ 18.398 cm ลดลงร้อยละ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนเมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซาน 0.50 และ 0.75% (w/v) มีความยาวลำต้นเท่ากับ 17.741 และ 16.963 cm ซึ่งลดลงร้อยละ 7 และ 11 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมจากการทดลองจะเห็นว่า ความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันทั้งที่ไม่แช่และแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีความยาวลำต้นลดลงเมื่อพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM ในภาพรวมพบว่า NaCl มีผลทำให้ความยาวลำต้นลดลงแต่ไคโตซานช่วยให้ความยาวลำต้นเพิ่มขึ้น เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่ำ (400 mM) ไคโตซานก็ไม่ได้ช่วยให้ความยาวลำต้นเพิ่มมากขึ้น แต่ NaCl 600 mM ไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ช่วยให้ความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นมากกว่าได้รับ NaCl 600mM อย่างเดียว แต่ที่ NaCl 800 mM ผลการส่งเสริมของไคโตซานลดต่ำลง (ตาราง 9)

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวัน 7 วันหลังออก จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซาน มีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) โดย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ทำให้ความยาวลำต้นเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยมีความยาวลำต้นเฉลี่ยเท่ากับ 18.192 17.759 และ 17.734 cm ตามลำดับ และไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้ความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p > .05$) มีความยาวลำต้น เท่ากับ 18.404 และ 18.169 cm ตามลำดับ (ตาราง 9)

3.2 ความยาวราก

ความยาวรากของต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและพ่น NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังออก พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทั้งที่ไม่แช่และแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีความยาวราก 7.667 cm ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม เมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) มีความยาวรากเท่ากับ 7.364 cm ความยาวรากลดลงร้อยละ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และเมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซาน 0.75% (w/v) มีความยาวรากเท่ากับ 7.858 cm ความยาวรากเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

การพ่น NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทั้งที่ไม่แช่และแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซาน มีความยาวราก 7.427 cm ทำให้ความยาวลำต้นลดลงร้อยละ 3 ส่วนเมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซาน 0.50 และ 0.75% (w/v) มีความยาวรากเท่ากับ 6.650 และ 7.459 cm ความยาวรากลดลงร้อยละ 13 และ 3 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และการพ่น NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทั้งที่ไม่แช่และแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีความยาวราก 7.352 cm ทำให้ความยาวรากลดลงร้อยละ 4 เมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซาน 0.50 และ 0.75% (w/v) มีความยาวรากเท่ากับ 7.270 และ 7.577 cm ความยาวรากลดลงร้อยละ 5 และ 1 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการทดลองจะพบว่า ไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้ความยาวรากลดลงมากกว่าการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) เมื่อได้พ่นด้วย NaCl ที่ความเข้มข้นเดียวกัน ในภาพรวม NaCl และไคโตซาน ทำให้ความยาวรากลดลง เมื่อให้ NaCl ร่วมกับไคโตซาน ความยาวรากก็ยังคงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม แต่ถ้าดูที่ต้นที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) แล้วได้รับ NaCl ทุกความเข้มข้น พบว่า

ความยาวรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน ร่วมกับ NaCl จะมากกว่าต้นที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว (ตาราง 10)

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อความยาวรากของต้นอ่อนทานตะวัน 7 วันหลังออก จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซาน ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p > .05$) โดย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM มีความยาวรากเฉลี่ยเท่ากับ 7.633 7.179 และ 7.390 cm ตามลำดับ ความยาวรากของต้นอ่อนทานตะวันไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p > .05$) และพบว่า ไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้ความยาวรากเฉลี่ยของต้นอ่อนทานตะวันไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p > .05$) โดยมีความยาวราก เท่ากับ 7.073 และ 7.559 cm ตามลำดับ (ตาราง 10)

3.3 น้ำหนักสดลำต้น

น้ำหนักสดของลำต้นต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและ ฟัน NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังออก พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทั้งที่ไม่แช่และแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีน้ำหนักสดลำต้นเท่ากับ 1.069 g เมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีน้ำหนักสดเท่ากับเท่ากับ 1.062 1.046 cm ซึ่งไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM ทำให้น้ำหนักสดลำต้นมีปริมาณน้อยกว่าน้ำหนักสดลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl และไคโตซานเพียงอย่างเดียว NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทั้งที่ไม่แช่และแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีน้ำหนักสดลำต้นเท่ากับ 0.981 g เมล็ดที่แช่ด้วย ไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีน้ำหนักสดเท่ากับเท่ากับ 0.984 และ 0.935 cm น้ำหนักสดลำต้นลดลงร้อยละ 6 และ 11 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้น้ำหนักสดลำต้นมีปริมาณน้อยกว่าน้ำหนักสดลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl และ ไคโตซานเพียงอย่างเดียว และ NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทั้งที่ไม่แช่และแช่เมล็ดด้วย ไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีน้ำหนักสดลำต้นเท่ากับ 0.988 g เมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีน้ำหนักสดเท่ากับเท่ากับ 0.985 0.961 g น้ำหนักสดลำต้นลดลงร้อยละ 6 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น

ต่าง ๆ ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM ทำให้น้ำหนักสดลำต้นน้อยกว่าน้ำหนักสดลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl และไคโตซานเพียงอย่างเดียว ภาพรวมไคโตซานทำให้น้ำหนักสดลำต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มมากขึ้น แต่ NaCl ทำให้ลดลง การให้ NaCl ทุกความเข้มข้นแก่ต้นอ่อนที่ได้รับไคโตซาน 0.50 และ 0.75% (w/v) พบว่า น้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวันลดต่ำลงจากการได้รับ NaCl อย่างเดียวเล็กน้อย (ตาราง 11)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อน้ำหนักสดของลำต้นของต้นอ่อนทานตะวัน 7 วันหลังออก จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซานไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p \geq .05$) โดยที่ NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM มีปริมาณน้ำหนักสดของลำต้นเท่ากับ 1.059 0.966 และ 0.978 g ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) และไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้น้ำหนักสดของลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันเท่ากับ 1.030 และ 1.035 g ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) (ตาราง 11)

3.4 น้ำหนักสตราก

น้ำหนักสดของรากต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและพ่น NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังออก พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีน้ำหนักสตรากเท่ากับ 0.167 g เพิ่มขึ้นร้อยละ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีน้ำหนักสดเท่ากับ 0.140 และ 0.132 g ลดลงคิดเป็นร้อยละ 6 และ 11 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับ NaCl ความเข้มข้น 400 mM ทำให้น้ำหนักสดของรากน้อยกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM เพียงอย่างเดียว แต่สูงกว่ารากของต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ

การพ่น NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซาน มีน้ำหนักสตรากเท่ากับ 0.149 g ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ส่วนปริมาณน้ำหนักสดของรากต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) น้ำหนักสดจะเป็น 0.144 และ 0.124 g ลดลงคิดเป็นร้อยละ 3 และ 13 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการทดลองการแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน

ทำให้ปริมาณน้ำหนักสดของรากลดลงน้อยกว่าน้ำหนักสดของรากต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 mM

NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีน้ำหนักสดรากเท่ากับ 0.156 g เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนเมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) น้ำหนักสดรากเท่ากับ 0.171 g เพิ่มขึ้นร้อยละ 15 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM ทำให้น้ำหนักสดของรากลดลงร้อยละ 19 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม น้ำหนักสดเท่ากับ 0.120 g การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้น้ำหนักสดรากของต้นอ่อนทานตะวันมากกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl และไคโตซานเพียงอย่างเดียว ในภาพรวมไคโตซานที่ให้แก่เมล็ดก่อนเพาะ มีผลให้น้ำหนักสดของรากต้นอ่อนลดลงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม แต่ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้า มีผลกระทบต่อน้ำหนักสดลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อให้ NaCl แก่ต้นกล้าที่ได้รับไคโตซานทางเมล็ด พบว่า NaCl ความเข้มข้น 400 mM น้ำหนักสดของรากที่ได้รับไคโตซานจะสูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซานเพียงอย่างเดียวทั้ง 2 ความเข้มข้น แต่ที่ NaCl ความเข้มข้น 600 และ 800 mM เฉพาะต้นกล้าที่ได้รับไคโตซาน 0.50% (w/v) เท่านั้นที่มีน้ำหนักสดรากมากกว่าต้นที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) อย่างเดียว และ NaCl ที่ความเข้มข้น 800 mM นั้นต้นอ่อนที่ได้รับไคโตซาน 0.50% (w/v) จะมีน้ำหนักสดรากมากกว่าต้นที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว (ตาราง 12)

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อน้ำหนักสดของรากต้นอ่อนทานตะวัน 7 วันหลังออก จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซาน ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p \geq .05$) ต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM มีน้ำหนักสดของรากเท่ากับ 0.146 0.139 และ 0.149 g ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) และไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้น้ำหนักสดของรากต้นอ่อนทานตะวันเท่ากับ 0.144 และ 0.126 g ตามลำดับ น้ำหนักสดของลำต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) เมื่อได้รับไคโตซานมีความเข้มข้น 0.75% (w/v) (ตาราง 12)

3.5 คลอโรฟิลล์เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและพ่น NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังออก พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 1.666 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 16 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 1.648 และ 1.424 $\mu\text{g/mL}$ ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 17 และ 28 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอมากกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานเพียงอย่างเดียว

ส่วนการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 1.585 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 20 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 1.676 และ 1.494 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงร้อยละ 15 และ 24 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงในต้นอ่อนทานตะวันทั้งในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดและไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานก่อนการปลูก

เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 1.456 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 26 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 1.634 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 17 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 2.052 $\mu\text{g/mL}$ เพิ่มขึ้น ร้อยละ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การให้ไคโตซานแก่เมล็ดก่อนเพาะทำให้ต้นอ่อนมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดน้อยลง NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้ามีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดน้อยลง การให้ NaCl แก่ต้นกล้าที่ได้รับไคโตซานทางเมล็ดก่อนเพาะทั้ง 2 ความเข้มข้น ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนมากกว่าต้นอ่อนที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะที่ NaCl 800 mM ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนที่ได้รับไคโตซานและ NaCl สูงกว่าต้นอ่อนที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว (ตาราง 13)

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ในต้นอ่อนทานตะวัน 7 วันหลังงอก จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซานมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) โดย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ส่งผลให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 1.579 1.585 และ 1.717 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) และไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75 % (w/v) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของต้นอ่อนทานตะวันเท่ากับ 1.562 และ 1.583 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกัน ($p \geq .05$) (ตาราง 13)

3.6 คลอโรฟิลล์บี

ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและพ่น NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังงอก พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเท่ากับ 0.784 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 6 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บี เท่ากับ 0.696 และ 0.578 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงร้อยละ 16 และ 31 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ทำให้คลอโรฟิลล์บีมีปริมาณน้อยกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียว

การพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเท่ากับ 0.430 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 48 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเท่ากับ 0.568 และ 0.435 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 32 และ 48 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีลดลงในต้นอ่อนทานตะวันทั้งในต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานก่อนการปลูก

เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเท่ากับ 0.509 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 39 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเท่ากับ 1.263 และ 0.873 $\mu\text{g/mL}$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 52 และ 5 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน

ร่วมกับพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มขึ้นสูงกว่าปริมาณคลอโรฟิลล์บีในต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl และไคโตซานเพียงอย่างเดียว ทั้ง NaCl และไคโตซานมีผลให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีลดน้อยลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน 0.50 และ 0.75% (w/v) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียวในแต่ละความเข้มข้น โดยเฉพาะที่ ความเข้มข้น 800 mM ต้นที่ได้รับไคโตซานมาก่อนจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าต้นที่ไม่ได้รับไคโตซานมากกว่าร้อยละ 70 (ตาราง 14)

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บี ต้นอ่อนทานตะวัน 7 วันหลังออก จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซาน มีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) โดยต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเท่ากับ 0.686 0.478 และ 0.882 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) เมื่อได้รับ NaCl ความเข้มข้น 400 และ 800 mM ไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีของต้นอ่อนทานตะวันเท่ากับ 0.766 และ 0.595 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ ไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บี แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq .05$) (ตาราง 14)

3.7 แคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและพ่น NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังออก พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.785 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 4 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 0.720 และ 0.692 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงร้อยละ 12 และ 15 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานร่วมกับ NaCl มีปริมาณน้อยกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียว และมากกว่าปริมาณ แคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ เพียงอย่างเดียว

พ่น NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.790 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 3 การแช่เมล็ดด้วย ไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.769 $\mu\text{g/mL}$ ลดลง คิดเป็นร้อยละ 6 และพบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวัน ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นร้อยละ 14 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม หรือเท่ากับ 0.936 $\mu\text{g/mL}$

เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.758 $\mu\text{g/mL}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 7 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.587 และ 0.718 $\mu\text{g/mL}$ หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 28 และ 12 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม NaCl ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงเล็กน้อย ไคโตซานทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่ำ ๆ แก่ต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ได้รับ NaCl แต่ไม่ได้รับไคโตซาน โดยเฉพาะ NaCl ที่ความเข้มข้น 600 mM ปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) จะสูงกว่าต้นที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว และสูงกว่ากลุ่มควบคุม (ตาราง 15)

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวัน 7 วันหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซานมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) โดย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.732 0.832 และ 0.721 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) เมื่อได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 mM ส่วนไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นอ่อนทานตะวันเท่ากับ 0.713 และ 0.759 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ ไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ของลำต้นอ่อนทานตะวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) (ตาราง 15)

3.8 การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิชั่นในราก

ปริมาณ MDA ในรากของต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและพ่น NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังออก พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณ MDA เท่ากับ $0.068 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 19 ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ปริมาณ MDA เท่ากับ 0.051 และ $0.045 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ ลดลง คิดเป็นร้อยละ 11 และ 21 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการทดลองพบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานทำให้ปริมาณ MDA ลดลงภายใต้สภาวะที่มี NaCl ความเข้มข้น 400 mM และลดลงต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียว NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณ MDA เท่ากับ $0.074 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 30 ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ปริมาณ MDA เท่ากับ $0.042 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ ลดลงร้อยละ 27 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) มีปริมาณ MDA เท่ากับ $0.057 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม จากผลการทดลองพบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้ปริมาณ MDA ในรากต้นอ่อนทานตะวันลดลง ภายใต้สภาวะที่มี NaCl ความเข้มข้น 600 mM และลดลงต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) เพียงอย่างเดียว

การพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณ MDA เท่ากับ $0.073 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 28 ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ปริมาณ MDA เท่ากับ 0.053 และ $0.035 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ ลดลงร้อยละ 7 39 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้ปริมาณ MDA ในรากต้นอ่อนทานตะวันลดลง ภายใต้สภาวะที่มี NaCl ความเข้มข้น 800 mM และลดลงต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl และไคโตซานความเข้มข้น 0.75% เพียงอย่างเดียว แต่การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ร่วมกับการพ่น NaCl ความเข้มข้น มีปริมาณ MDA สูงกว่าปริมาณ MDA ในรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานเพียงอย่างเดียว NaCl ที่ให้ทางใบ ส่งผลให้มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่ม ส่วนไคโตซานทำให้มีปริมาณ MDA ลดลง การให้ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ แก่ต้นอ่อนทานตะวัน

ที่ได้รับ ไคโตซานตอนเพาะ จะทำให้ปริมาณ MDA ลดต่ำกว่าการได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว ไคโต-ซานช่วยลดการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน ในสภาวะที่มีความเครียดเนื่องจาก NaCl โดยเฉพาะที่ NaCl ความเข้มข้นสูง (800 mM) (ตาราง 16)

เมื่อศึกษาอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซาน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซานมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) โดย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณ MDA เท่ากับ 0.054 0.058 และ 0.054 $\text{nmol g}^{-1}\text{FW}$ ตามลำดับ และ NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้ปริมาณ MDA ในลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) และไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) มีปริมาณ MDA เท่ากับ 0.053 $\text{nmol g}^{-1}\text{FW}$ ส่วนไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.75% (w/v) มีปริมาณ MDA เท่ากับ 0.057 $\text{nmol g}^{-1}\text{FW}$ ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง 16)

3.9 การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันในลำต้น

ปริมาณ MDA ในรากของต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและพ่นด้วย NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังงอก พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณ MDA เท่ากับ 0.055% (w/v) ลดลงร้อยละ 5 ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีปริมาณ MDA เท่ากับ 0.041 และ 0.056 $\text{nmol g}^{-1}\text{FW}$ ลดลงคิดเป็นร้อยละ 29 และ 3 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการทดลอง พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานทำให้ปริมาณ MDA ลดลง ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม

ส่วนการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณ MDA เท่ากับ 0.063 $\text{nmol g}^{-1}\text{FW}$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ปริมาณ MDA เท่ากับ 0.072 $\text{nmol g}^{-1}\text{FW}$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 24 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วย ไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) มีปริมาณ MDA เท่ากับ 0.063 $\text{nmol g}^{-1}\text{FW}$ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม จากผลการทดลอง พบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้ปริมาณ MDA ในรากต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะที่มี NaCl ความเข้มข้น 600 mM และเพิ่มขึ้นสูงกว่าต้น

อ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM ไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) เพียงอย่างเดียว

NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วย ไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีปริมาณ MDA เท่ากับ $0.075 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 29 ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ปริมาณ MDA เท่ากับ $0.0062 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 7 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) มีปริมาณ MDA เท่ากับ $0.045 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ ลดลงร้อยละ 22 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM มีปริมาณลดเมื่อมีการแช่เมล็ดด้วย ไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ก่อนเพาะเมล็ด เมื่อให้ NaCl แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ และไม่ได้รับไคโตซานทางเมล็ด พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่ำถึงปานกลาง (400-600 mM) ปริมาณ MDA ในต้นที่ได้รับไคโตซานจะมีค่าใกล้เคียงกับในต้นที่ได้รับ NaCl แต่ไม่ได้รับ ไคโตซาน แต่เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นสูง (800 mM) พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานทางเมล็ด จะมีปริมาณ MDA ลดลง ต่ำกว่าต้นที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM เพียงอย่างเดียว แสดงว่า ในสถานะที่มี NaCl ความเข้มข้นสูง (800 mM) ไคโตซานจะช่วยลดการเกิดลิพิด-เปอร์ออกซิเดชัน ทำให้ค่า MDA ลดต่ำลง โดยเฉพาะที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้นสูง (0.75% w/v) (ตาราง 17)

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซาน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซาน ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) โดย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณ MDA เท่ากับ 0.054 0.058 และ $0.054 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ ตามลำดับ NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้ปริมาณ MDA ในลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) และไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) มีปริมาณ MDA เท่ากับ $0.053 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ ส่วนไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.75% (w/v) มีปริมาณ MDA เท่ากับ $0.057 \text{ nmol g}^{-1} \text{ FW}$ ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง 17)

3.10 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน และพ่น NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังออก พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 23.366 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM ทำให้มีร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 27.227 และ 25.658 ตามลำดับ การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานหรือต้นอ่อนที่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียว การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียวแต่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าต้นอ่อนที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน

พ่น NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 27.707 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้มีร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 32.898 และ 25.836 ตามลำดับ การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานหรือต้นอ่อนที่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียว การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียวและที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน

การพ่น NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 39.231 การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75 % (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM ทำให้มี ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 32.472 และ 32.396 ตามลำดับ การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าต้นอ่อน

ทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานเพียงอย่างเดียว แต่พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM (ตาราง 18)

ในสถานะที่มี NaCl ไคโตซานจะทำให้ DPPH เพิ่มมากขึ้น ที่ NaCl ความเข้มข้นต่ำ ไคโตซานจะช่วยทำให้ DPPH ของต้นอ่อนทานตะวันสูงกว่าในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว (400 mM NaCl) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaCl เป็น 600 mM ไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้ค่า DPPH สูงกว่าในต้นอ่อนที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว แต่ไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ไม่ค่อยมีความแตกต่างกับต้นที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว NaCl 800 mM ส่งผลให้ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในต้นที่ไม่ได้รับไคโตซานจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 39.231% ส่วนในต้นที่ได้รับไคโตซานทั้ง 2 ความเข้มข้นนั้น เมื่อให้ NaCl 800 mM ค่า % DPPH ของต้นอ่อนก็เพิ่มสูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซาน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว 800 mM ค่า % DPPH จะสูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซานร่วมกับได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM (ตาราง 18)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซาน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซาน มีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) โดย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 25.417 28.814 และ 34.700 NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ ทำให้ ต้นอ่อนทานตะวันมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 29.068 และ 27.705 ซึ่งไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ทำให้ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) (ตาราง 18)

3.11 ผลการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและพ่น NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังออก พบว่าเมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันทั้งที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่าเมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีค่า FRAP value เท่ากับ 0.026 mg/mL trolox เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 13 เมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีค่า FRAP value เท่ากับ 0.022 และ 0.023 mg/mL trolox ตามลำดับ พบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงร้อยละ 4 ส่วนเมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม

เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีค่า FRAP value เท่ากับ 0.027 mg/mL trolox เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 17 เมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีค่า FRAP value เท่ากับ 0.022 mg/mL trolox ลดลงร้อยละ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมเมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีค่า FRAP value เท่ากับ 0.030 เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 30 เมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) มีค่า FRAP value เท่ากับ 0.019 mg/mL trolox ลดลงร้อยละ 7 และ 0.75% (w/v) มีค่า FRAP value เท่ากับ 0.024 mg/mL trolox เพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการศึกษา พบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วยไคโตซานและแช่เมล็ดด้วยไคโตซานเพียงอย่างเดียว เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ (400 600 และ 800 mM) แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า การให้ NaCl แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานจะทำให้ค่า FRAP value ของต้นอ่อนมีค่าต่ำกว่าในต้นอ่อนที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว (ตาราง 19)

จากพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซานมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) การพ่น NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM มีค่า FRAP value เท่ากับ 0.024 0.022 และ 0.024 mg/mL trolox ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) มีค่า FRAP value เท่ากับ 0.021 mg/mL trolox และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) มีค่า FRAP value เท่ากับ 0.024 mg/mL trolox ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) (ตาราง 19)

3.12 ฟีนอล

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอล พบว่า การพ่น NaCl ที่ความเข้มข้น 400 และ 600 mM ให้กับ ต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังออก ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณฟีนอล เท่ากับ 0.007 และ 0.007 mg/mL ของ Gallic acid (GA) ลดลงคิดเป็นร้อยละ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ต้นอ่อนที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM มีปริมาณฟีนอล เท่ากับ 0.008 mg/mL ของ GA ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณฟีนอล เท่ากับ 0.015 และ 0.014 mg/mL ของ GA เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 88 และ 75 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการศึกษาพบว่า ต้นอ่อนที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่ได้รับ NaCl พบว่า NaCl ความเข้มข้น 400 และ 600 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณฟีนอลลดลง แต่ที่ NaCl ความเข้มข้น 800 mM ทำให้มีปริมาณฟีนอลไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ปริมาณฟีนอลของต้นอ่อนที่ แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) พบว่า ไคโตซานทั้งสองความเข้มข้นส่งผลให้ปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตาราง 20)

ปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและพ่น NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 5 หลังออก พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซาน ส่วนปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) มีค่าปริมาณฟีนอลเท่ากับ 0.007 mg/mL ของ GA ลดลงร้อยละ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และพบว่าปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้นเป็น 1 เท่า เมื่อแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM มีปริมาณฟีนอลเท่ากับ 0.016 mg/mL of GA การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับ NaCl ความเข้มข้น 400 mM มีผลต่อปริมาณฟีนอลทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง โดยการแช่ไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) และพ่นด้วย NaCl ทำให้มีปริมาณฟีนอลไม่แตกต่างจากต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียวและต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานอย่างเดียว ส่วนการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณฟีนอลสูงกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและ NaCl อย่างเดียว

ส่วนการพ่น NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีค่าปริมาณฟีนอลเท่ากับ 0.007 mg/mL ของ GA ลดลงคิดเป็นร้อยละ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

พบว่า ปริมาณฟีนอลเพิ่มร้อยละ 38 และ 75 เมื่อแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM มีปริมาณฟีนอลเท่ากับ 0.011 และ 0.014 mg/mL ของ GA ตามลำดับ จากการศึกษาค้นคว้า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับ NaCl ความเข้มข้น 600 mM ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณสูงกว่าปริมาณฟีนอลของกลุ่มควบคุม และต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 mM เพียงอย่างเดียว

การพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า เมล็ดที่ไม่แช่ด้วยไคโตซานมีค่าปริมาณฟีนอลเท่ากับ 0.008 mg/mL ของ GA NaCl มีผลเล็กน้อยต่อปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนทานตะวัน ไคโตซานทำให้ปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม การให้ NaCl แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานในการแช่เมล็ดก่อนเพาะ พบว่า ปริมาณฟีนอลของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน จะสูงกว่าปริมาณฟีนอลที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว โดยเฉพาะที่ NaCl ความเข้มข้นสูง การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM ส่งผลให้ปริมาณ ฟีนอลในต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณสูงกว่าปริมาณฟีนอลของกลุ่มควบคุม และต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM เพียงอย่างเดียว (ตาราง 20)

จากการพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซานมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) การพ่น NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM มีปริมาณฟีนอลเท่ากับ 0.010 0.011 และ 0.011 mg/mL ของ GA ตามลำดับ โดยพบว่า NaCl ความเข้มข้น 400 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณฟีนอลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < .05$) และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้ปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยมีปริมาณฟีนอลเท่ากับ 0.012 และ 0.014 mg/mL ของ GA (ตาราง 20)

3.13 ฟลาโวนอยด์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ พบว่า การพ่น NaCl ที่ความเข้มข้น 400 และ 600 mM ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังออก ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณฟลาโวนอยด์เท่ากับ 0.007 0.010 และ 0.012 mg/mL catechin ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 53 33 และ 20 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณฟลาโวนอยด์เท่ากับ 0.005 และ 0.012

mg/mL catechin ลดลงคิดเป็นร้อยละ 67 และ 20 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการศึกษาพบว่า ต้นอ่อนที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณ ฟลาโวนอยด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อีกทั้งปริมาณฟลาโวนอยด์ของต้นอ่อนที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) พบว่า ไคโตซานทั้งสองความเข้มข้นส่งผลให้ปริมาณ ฟลาโวนอยด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตาราง 21)

ปริมาณฟลาโวนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและ ฟัน NaCl พบว่า เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันวันที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า มีปริมาณฟลาโวนอยด์เท่ากับ 0.007 mg/mL catechin ลดลงร้อยละ 53 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการศึกษาพบว่า เมล็ดที่ไม่แช่และแช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ไม่แตกต่างกัน เมื่อความเข้มข้นของ NaCl เท่ากับ 400 mM

ปริมาณฟลาโวนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันวันที่ฟันด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันวันที่ไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน เท่ากับ 0.010 mg/mL catechin ลดลงร้อยละ 33 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 % (w/v) มีปริมาณฟลาโวนอยด์เท่ากับ 0.017 mg/mL catechin เพิ่มขึ้นร้อยละ 13 และไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ปริมาณฟลาโวนอยด์เท่ากับ 0.009 mg/mL catechin ลดลงคิดเป็นร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ร่วมกับ NaCl ความเข้มข้น 600 mM ทำให้มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงกว่าต้นอ่อนทานตะวันในกลุ่มควบคุม การฟันด้วย NaCl และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานเพียงอย่างเดียว

การฟันด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันวันที่แช่และไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันวันที่ไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน เท่ากับ 0.012 mg/mL catechin ลดลงร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ปริมาณฟลาโวนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันวันที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75 % (w/v) มีปริมาณเท่ากับ 0.011 mg/mL catechin ลดลงร้อยละ 27 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม การฟันด้วย NaCl ความเข้มข้น 800 mM และต้นอ่อนทานตะวันวันที่แช่ด้วย ไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) เพียงอย่างเดียว ไคโตซานในสภาวะที่ไม่มีเกลือจะทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันลดต่ำลง การให้

NaCl ความเข้มข้นต่ำ ๆ มีผลกระทบต่อปริมาณฟลาโวนอยด์เล็กน้อย NaCl ที่ความเข้มข้น 400 และ 800 mM ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีปริมาณ ฟลาโวนอยด์ไม่ค่อยแตกต่างกัน แต่ NaCl ที่ความเข้มข้น 600 mM .ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) จะมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) และไม่ได้รับไคโตซาน และยังมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงกว่ากลุ่มควบคุม (ตาราง 21)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซาน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซานมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) โดย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณฟลาโวนอยด์มีค่าเท่ากับ 0.007 0.012 และ 0.012 mg/mL catechin การพ่น NaCl ความเข้มข้น 400 mM ทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < .05$) การแช่ไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ส่งผลให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณฟลาโวนอยด์เท่ากับ 0.010 และ 0.011 mg/mL catechin ซึ่งไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) (ตาราง 21)

3.14 โพรลีน

จากการศึกษาปริมาณโพรลีน พบว่า การพ่น NaCl ที่ความเข้มข้น 400 และ 600 mM ให้กับต้นอ่อนทานตะวันในวันที่ 3 5 และ 7 หลังออก ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้น ซึ่งเท่ากับ 37.266 44.628 และ 58.219 $\mu\text{mol/mL}$ proline ตามลำดับ อีกทั้งพบว่าเมื่อศึกษาในเมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณโพรลีนเท่ากับ 28.523 และ 35.330 $\mu\text{mol/mL}$ proline ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณโพรลีนเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อความเข้มข้นของ NaCl เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับความเข้มข้นของไคโตซานที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณโพรลีนสูงขึ้น (ตาราง 22)

ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานและพ่น NaCl พบว่าเมื่อให้ NaCl ความเข้มข้น 400 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน มีปริมาณโพรลีนเท่ากับ 37.266 $\mu\text{mol/mL}$ proline ซึ่งเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 69 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีปริมาณโพรลีนเท่ากับ 36.195 และ 36.979 $\mu\text{mol/mL}$ proline เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 64 และ 68 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการศึกษาพบว่า ต้นอ่อน

ทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับ NaCl ความเข้มข้น 400 mM มีปริมาณโพรลีนน้อยกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว แต่สูงกว่าการได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v)

พ่น NaCl ความเข้มข้น 600 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน มีปริมาณโพรลีนเท่ากับ 44.628 $\mu\text{mol/mL}$ proline เพิ่มขึ้นร้อยละ 102 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีปริมาณโพรลีนเท่ากับ 52.014 และ 35.903 $\mu\text{mol/mL}$ proline เพิ่มขึ้นร้อยละ 136 และ 63 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการศึกษาพบว่าต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.50% (w/v) ร่วมกับ NaCl ความเข้มข้น 600 mM มีปริมาณโพรลีนสูงกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl หรือไคโตซานเพียงอย่างเดียว ส่วนปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ร่วมกับ NaCl ความเข้มข้น 600 mM มีปริมาณต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียวและมีค่าใกล้เคียงกับเมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) เพียงอย่างเดียว และ NaCl ความเข้มข้น 800 mM แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ไม่แช่เมล็ดด้วยไคโตซาน มีปริมาณโพรลีนเท่ากับ 58.219 $\mu\text{mol/mL}$ proline เพิ่มขึ้นร้อยละ 164 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีปริมาณโพรลีนเท่ากับ 56.821 และ 55.207 $\mu\text{mol/mL}$ proline เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 158 และ 150 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการศึกษาพบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM มีปริมาณโพรลีนน้อยกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว แต่มีปริมาณโพรลีนสูงกว่าการได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) (ตาราง 22)

ทั้ง NaCl และไคโตซานมีผลทำให้ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ตามความเข้มข้นที่สูงขึ้น NaCl ที่ความเข้มข้นต่ำ (400 mM) ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนที่ได้รับและไม่ได้รับไคโตซานไม่แตกต่างกัน เมื่อความเข้มข้นของ NaCl เพิ่มขึ้น ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับและไม่ได้รับไคโตซานเพิ่มขึ้นด้วย ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานทั้ง 2 ความเข้มข้น เมื่อได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM จะมีปริมาณโพรลีนสูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซานแต่ไม่ได้รับ NaCl และสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ปริมาณโพรลีนนั้นต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM โดยไม่ได้รับไคโตซาน (ตาราง 22)

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมกันระหว่าง NaCl และไคโตซาน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า NaCl และไคโตซาน มีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) โดย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยมีปริมาณโพรลีนเท่ากับ 36.813 44.182 และ 56.749 $\mu\text{mol/mL}$ proline ตามลำดับ และไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) มีปริมาณโพรลีนเท่ากับ 43.388 $\mu\text{mol/mL}$ proline ส่วนไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณโพรลีนเท่ากับ 40.855 $\mu\text{mol/mL}$ proline ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (ตาราง 22)



ตาราง 9 ผลของโคโคซานที่เสริมลดทอนพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มิตต่อความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันวันที่ 7 วันหลังงอก

ความยาวลำต้น (cm)				
ความเข้มข้นโคโคซาน (% (w/v))	ความเข้มข้น NaCl (mM)			
	0	400	600	800
0	19.099 ± 0.568 ³	19.293 ± 0.568	17.655 ± 0.526	18.398 ± 0.526
0.50	19.662 ± 0.526	17.894 ± 0.526	18.319 ± 0.526	17.741 ± 0.056
0.75	20.624 ± 0.526	17.452 ± 9.568	17.229 ± 0.568	16.963 ± 0.568
เฉลี่ย	19.892 A ¹ ± 0.312	18.192B ± 0.320	17.759B ± 0.312	17.734B ± 0.312

¹ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

²ค่าเฉลี่ยผลของโคโคซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

³อิทธิพลร่วมระหว่าง โคโคซาน และ NaCl ที่มีผลต่อความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 10 ผลของไคโตซานที่เพิ่มลดคอนเพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อความยาวรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

ความยาวราก (cm)				
ความเข้มข้นไคโตซาน (% (w/v))	ความเข้มข้น NaCl (mM)			
	0	400	600	800
0	7.640 ± 0.344 ^{2/}	7.677 ± 0.344	7.427 ± 0.344	7.352 ± 0.344
0.50	7.008 ± 0.372	7.364 ± 0.344	6.650 ± 0.344	7.270 ± 0.344
0.75	7.341 ± 0.344	7.858 ± 0.344	7.459 ± 0.344	7.577 ± 0.407
เฉลี่ย	7.330A ^{1/} ± 0.204	7.633A ± 0.199	7.179A ± 0.199	7.390A ± 0.211

^{1/}ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

^{2/} ค่าเฉลี่ยผลของไคโตซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

^{3/} อธิพิพลร่วมระหว่าง ไคโตซาน และ NaCl ที่มีผลต่อความยาวรากของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 11 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอนเพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณน้ำหนัสดของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

น้ำหนัสดลำต้น (g)				
ความเข้มข้นไคโตซาน (% (w/v))		ความเข้มข้น NaCl (mM)		
0	0	400	600	800
0	1.050 ± 0.039 ¹	1.069 ± 0.039	0.981 ± 0.039	0.988 ± 0.039
0.50	1.090 ± 0.039	1.062 ± 0.039	0.984 ± 0.039	0.985 ± 0.039
0.75	1.200 ± 0.042	1.046 ± 0.039	0.935 ± 0.039	0.961 ± 0.042
เฉลี่ย	1.113A ¹	1.059A ± 0.022	0.966B ± 0.022	0.978B ± 0.023

¹ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

²ค่าเฉลี่ยผลของไคโตซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

³อิทธิพลรวมระหว่าง ไคโตซาน และ NaCl ที่มีผลต่อน้ำหนักสดลำต้นของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 12 ผลของไคโตซานที่เติมติดตอนเพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณน้ำหนัสดรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

น้ำหนัสดราก (g)				
ความเข้มข้นไคโตซาน (% (w/v))	ความเข้มข้น NaCl (mM)			
	0	400	600	800
0	0.149 ± 0.011 ¹	0.167 ± 0.012	0.149 ± 0.011	0.156 ± 0.011
0.50	0.123 ± 0.011	0.140 ± 0.012	0.144 ± 0.012	0.171 ± 0.015
0.75	0.127 ± 0.012	0.132 ± 0.011	0.124 ± 0.011	0.120 ± 0.012
เฉลี่ย	0.133A ¹ ± 0.007	0.146A ± 0.007	0.139A ± 0.007	0.149A ± 0.008

¹ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

²ค่าเฉลี่ยผลของไคโตซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

³อิทธิพลร่วมระหว่าง ไคโตซาน และ NaCl ที่มีผลต่อน้ำหนัสดรากของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 13 ผลของโคโคซานที่เติมติดตอนพะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

คลอโรฟิลล์เอ (µg/mL)				
ความเข้มข้นโคโคซาน (% (w/v))		ความเข้มข้น NaCl (mM)		
	0	400	600	800
0	1.977 ± 0.091 ^{3L}	1.666 ± 0.091	1.585 ± 0.091	1.456 ± 0.100
0.50	1.287 ± 0.091	1.648 ± 0.091	1.676 ± 0.091	1.634 ± 0.091
0.75	1.364 ± 0.100	1.424 ± 0.091	1.494 ± 0.091	2.052 ± 0.100
เฉลี่ย	1.543A ^{1L} ± 0.054	1.579A± 0.053	1.585A ± 0.053	1.717A ± 0.056

^{1L}ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

^{2L}ค่าเฉลี่ยผลของโคโคซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

^{3L}อิทธิพลร่วมระหว่าง โคโคซาน และ NaCl ที่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 14 ผลของไคโตซานที่เพิ่มลดคอนเพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

คลอโรฟิลล์ (µg/mL)				
ความเข้มข้นไคโตซาน (% (w/v))		ความเข้มข้น NaCl (mM)		
0	400	600	800	เฉลี่ย
0	0.833 ± 0.112 ^{2/}	0.784 ± 0.112	0.509 ± 0.112	0.639a ^{2/} ± 0.056
0.50	0.536 ± 0.103	0.696 ± 0.103	0.568 ± 0.103	0.766a ± 0.053
0.75	0.494 ± 0.112	0.578 ± 0.103	0.435 ± 0.126	0.595a ± 0.057
เฉลี่ย	0.621BC ^{1/} ± 0.063	0.686B ± 0.061	0.478C ± 0.066	0.882A ± 0.065

^{1/}ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

^{2/} ค่าเฉลี่ยผลของไคโตซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

^{3/} อภิทธิพลร่วมระหว่าง ไคโตซาน และ NaCl ที่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 15 ผลของโคโคซานที่แช่เมล็ดตอนเพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

แคโรทีนอยด์ (µg/mL)				
ความเข้มข้นโคโคซาน (% (w/v))	ความเข้มข้น NaCl (mM)			
	0	400	600	800
0	0.818 ± 0.045 ¹	0.785 ± 0.045	0.790 ± 0.045	0.758 ± 0.045
0.50	0.676 ± 0.049	0.720 ± 0.045	0.769 ± 0.045	0.587 ± 0.045
0.75	0.0691 ± 0.045	0.692 ± 0.045	0.936 ± 0.049	0.718 ± 0.045
เฉลี่ย	0.729B ¹ ± 0.027	0.732B ± 0.026	0.832A ± 0.027	0.721B ± 0.026

¹ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

² ค่าเฉลี่ยผลของโคโคซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

³ อธิพิพลร่วมระหว่าง โคโคซาน และ NaCl ที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 16 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณ MDA ในรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

ปริมาณ MDA (nmol/g FW)				
ความเข้มข้นไคโตซาน (% (w/v))	ความเข้มข้น NaCl (mM)			
	0	400	600	800
0	0.057±0.005 ^{2L}	0.068 ± 0.005	0.074 ± 0.005	0.073 ± 0.005
0.50	0.048 ± 0.005	0.051 ± 0.005	0.042 ± 0.005	0.053 ± 0.005
0.75	0.060 ± 0.005	0.045 ± 0.005	0.057 ± 0.005	0.035 ± 0.005
เฉลี่ย	0.055A ^{1L} ± 0.003	0.054A ± 0.003	0.058A ± 0.003	0.054A ± 0.003

^{1L}ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

^{2L} ค่าเฉลี่ยผลของไคโตซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

^{3L}อิทธิพลร่วมระหว่าง ไคโตซาน และ NaCl ที่มีผลต่อปริมาณ MDA ในรากของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 17 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอนเพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณ MDA ในลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

ปริมาณ MDA (nmol/g FW)				
ความเข้มข้นไคโตซาน (% (w/v))	ความเข้มข้น NaCl (mM)			
	0	400	600	800
0	0.058 ± 0.007 ³	0.055 ± 0.008	0.063 ± 0.007	0.075 ± 0.007
0.50	0.038 ± 0.007	0.041 ± 0.007	0.072 ± 0.007	0.062 ± 0.007
0.75	0.062 ± 0.007	0.056 ± 0.007	0.063 ± 0.007	0.045 ± 0.007
เฉลี่ย	0.053B ¹ ± 0.004	0.051B ± 0.004	0.066A ± 0.004	0.061B ± 0.004

¹ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

² ค่าเฉลี่ยผลของไคโตซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

³ อธิทิกพลร่วมระหว่าง ไคโตซาน และ NaCl ที่มีผลต่อปริมาณ MDA ในลำต้นของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 18 ผลของโคโคซานที่เพิ่มสัดส่วนของ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

DPPH (%)				
ความเข้มข้นโคโคซาน (% (w/v))	0	400	ความเข้มข้น NaCl (mM) 600	800
0	18.399 ± 2.447 ¹	23.366 ± 1.896	27.707 ± 1.896	39.231 ± 1.896
0.50	23.673 ± 1.896	27.227 ± 1.896	32.898 ± 2.120	32.472 ± 1.896
0.75	26.929 ± 1.896	25.658 ± 1.896	25.836 ± 1.896	32.396 ± 1.896
เฉลี่ย	23.000C ¹ ± 1.210	25.417BC ± 1.095	28.814B ± 1.139	34.700A ± 1.095

¹ ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

² ค่าเฉลี่ยผลของโคโคซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

³ อักษรพร้อมระหว่าง โคโคซาน และ NaCl ที่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 19 ผลของไคโตซานที่เติมลดคอนเพนและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังงอก

FRAP (mg/mL Trolox)				
ความเข้มข้นไคโตซาน (% (w/v))	0	400	ความเข้มข้น NaCl (mM) 600	800
0	0.023 ± 0.001 ^{3L}	0.026 ± 0.001	0.027 ± 0.002	0.030 ± 0.001
0.50	0.024 ± 0.001	0.022 ± 0.001	0.022 ± 0.001	0.019 ± 0.001
0.75	0.027 ± 0.001	0.023 ± 0.001	0.022 ± 0.001	0.024 ± 0.001
เฉลี่ย	0.025A ^{1L} ± 0.001	0.024A ± 0.001	0.022A ± 0.001	0.024A ± 0.001

^{1L}ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

^{2L}ค่าเฉลี่ยผลของไคโตซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

^{3L}อิทธิพลร่วมระหว่าง ไคโตซาน และ NaCl ที่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 20 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอเนเปะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้า ที่มีต่อปริมาณฟีนอลของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

ปริมาณฟีนอล (mg/mL Gallic acid)				
ความเข้มข้นไคโตซาน (% (w/v))	ความเข้มข้น NaCl (mM)			
	0	400	600	800
0	0.008 ± 0.001 ³	0.007 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.008 ± 0.001
0.50	0.015 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.011 ± 0.001	0.016 ± 0.001
0.75	0.014 ± 0.001	0.016 ± 0.001	0.014 ± 0.001	0.011 ± 0.001
เฉลี่ย	0.012A ¹ ± 0.001	0.010B ± 0.001	0.011AB ± 0.001	0.011AB ± 0.001

¹ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

² ค่าเฉลี่ยผลของไคโตซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

³ อธิทพิพลร่วมระหว่าง ไคโตซาน และ NaCl ที่มีผลต่อปริมาณฟีนอลของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 21 ผลของไคโตซานที่ส่งผลต่อเนพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

ปริมาณฟลาโวนอยด์ (mg/mL catechin)				
ความเข้มข้นไคโตซาน (% (w/v))	0	400	600	800
0	0.015 ± 0.001 ³	0.007 ± 0.001	0.010 ± 0.001	0.012 ± 0.001
0.50	0.005 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.017 ± 0.001	0.011 ± 0.001
0.75	0.012 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.011 ± 0.001
เฉลี่ย	0.011A ¹ ± 0.000	0.007B ± 0.000	0.012A ± 0.000	0.012A ± 0.000

¹ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

² ค่าเฉลี่ยผลของไคโตซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT

³ อธิทริพลร่วมระหว่าง ไคโตซาน และ NaCl ที่มีผลต่อปริมาณฟีนอลของต้นอ่อนทานตะวัน

ตาราง 22 ผลของไคโตซานที่แช่เมล็ดตอนเพาะและ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้าที่มีต่อปริมาณโปรตีนของต้นอ่อนทานตะวันที่ 7 วันหลังออก

ปริมาณโปรลีน (µmol/mL proline)		ความเข้มข้น NaCl (mM)		
ความเข้มข้นไคโตซาน (% (w/v))	0	400	600	800
0	22.050 ± 0.277 ^{3L}	37.266 ± 0.277	44.628 ± ± 0.277	58.219 ± 0.277
0.50	28.523 ± 0.277	36.195 ± 0.277	52.014 ± 0.277	56.821 ± 0.277
0.75	35.330 ± 0.277	36.979 ± 0.277	35.903 ± 0.277	55.207 ± 0.277
เฉลี่ย	28.634D ^{1L} ± 0.160	36.813C ± 0.160	44.182B ± 0.160	56.749A ± 0.160

- 1/ ค่าเฉลี่ยผลของ NaCl ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT
- 2/ ค่าเฉลี่ยผลของไคโตซานตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบโดยใช้ DMRT ^{3L}อิทธิพลร่วมระหว่าง ไคโตซาน และ NaCl ที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนของต้นอ่อนทานตะวัน

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของ NaCl และไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเกิดลิพิดเพอร็อกซิเดชัน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยศึกษาใน NaCl ความเข้มข้น 200 400 600 800 และ 1,000 mM และศึกษาในไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.5 0.75 และ 1% (w/v) หลังจากนั้นทำการศึกษาผลของของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเกิดลิพิดเพอร็อกซิเดชัน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเลือกความเข้มข้นของ NaCl 400 600 และ 800 mM ไคโตซานความเข้มข้น 0.5 และ 0.75% (w/v) ในการเลือกความเข้มข้นของ NaCl และไคโตซานพิจารณาจากการเจริญเติบโต ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สรุปผลการทดลอง
2. อภิปรายผลการทดลอง
3. ข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. ผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน โดยใช้ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ

1.1 การเจริญเติบโต

จากผลการทดลองพบว่า NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันในส่วนของความยาวลำต้น พบว่า ความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันมีแนวโน้มลดลง เมื่อได้พ่นด้วย NaCl ในระยะต้นกล้า โดย NaCl ความเข้มข้น 600 800 และ 1,000 mM ทำให้ความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) น้ำหนักสดของ ลำต้น พบว่า น้ำหนักสดของลำต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) เมื่อพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 1,000 mM และผลของ NaCl ต่อความยาวรากและน้ำหนักสดของราก พบว่า NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวและน้ำหนักสดของรากเพียงเล็กน้อยซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$)

1.2 ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ศึกษาผลของ NaCl ต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ พบว่า NaCl มีผลกระทบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่มีแนวโน้มว่า NaCl ที่ความเข้มข้นสูง (600 – 1,000 mM) จะกระตุ้นให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์บีก็เช่นเดียวกัน ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ มีปริมาณคลอโรฟิลล์บี ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ก็มีแนวโน้มว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์บีจะสูงที่สุดในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 mM ปริมาณแคโรทีนอยด์นั้น ต้นอ่อนทานตะวันในกลุ่มควบคุมและต้นที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 200 – 600 mM มีปริมาณ แคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ที่ความเข้มข้น 800 mM ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) แล้วจะลดลงไปอีกเมื่อได้รับ NaCl ความเข้มข้น 1,000 mM

1.3 การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิชั่น

เมื่อต้นอ่อนทานตะวันได้รับ NaCl เซลล์อาจถูกทำลายโดยกระบวนการลิพิดเพอร์ออกซิเดชันซึ่งตรวจสอบได้โดยการวัดปริมาณ MDA พบว่า ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 800 และ 1,000 mM ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยมีค่าคิดเป็นร้อยละ 154 และ 172 ของกลุ่มควบคุมตามลำดับ

1.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ในต้นอ่อนทานตะวันพบว่า ร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้น และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 800 และ 1,000 mM เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

1.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้น มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP value) เพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 800 และ 1,000 mM เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

2. ผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน โดยใช้ไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ

2.1 การเจริญเติบโต

การให้ไคโตซานแก่เมล็ดในตอนเพาะทุกความเข้มข้นไม่ทำให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดลำต้น และความยาวราก แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ยกเว้นน้ำหนักสดรากซึ่งพบว่า ไคโตซานที่ความเข้มข้น 1% (w/v) ที่ให้ทางเมล็ด ทำให้ น้ำหนักสดรากต้นอ่อนทานตะวันสูงกว่ากลุ่มควบคุมและมากกว่าไคโตซานความเข้มข้นอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ส่วนความยาวลำต้น พบว่า ไคโตซานความเข้มข้น 0.5 และ 0.75% (w/v) มีแนวโน้มทำให้ความยาวลำต้นของต้นอ่อนมากกว่ากลุ่มควบคุม และที่ความเข้มข้นอื่น ๆ แต่ที่ไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) ทำให้ความยาวลำต้นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

2.2 ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

จากการศึกษาผลของไคโตซานต่อปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง พบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ในต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์บี พบว่า ไคโตซานทุกความเข้มข้นทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) และปริมาณแคโรทีนอยด์นั้น พบว่า ปริมาณไคโตซานที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันค่อนข้างลดลง โดยที่ความเข้มข้นของไคโตซานที่สูง (0.75 และ 1% w/v) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$)

2.3 การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิชั่น

การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดก่อนการเพาะ โดยการวัดจากปริมาณ MDA พบว่า ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq .05$) แต่พบว่า ปริมาณ MDA มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75 และ 1% (w/v) โดยมีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 109 และ 136 ของกลุ่มควบคุมตามลำดับ

2.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไคโตซานที่เพิ่มขึ้นและไคโตซานทุกความเข้มข้น ทำให้การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH นั้นสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)

2.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP พบว่า เพิ่มขึ้นในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.50 และ 0.75% (w/v) โดยเฉพาะไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ทำให้ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ FRAP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < .05$) แต่ที่ไคโตซานที่ความเข้มข้น 1% (w/v) ส่งผลให้ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ลดต่ำลงแต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < .05$)

3. ผลของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ

3.1 ความยาวลำต้น

NaCl มีผลทำให้ความยาวลำต้นลดลงแต่ไคโตซานช่วยให้ความยาวลำต้นเพิ่มขึ้น เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่ำ (400 mM) ไคโตซานก็ไม่ได้ช่วยให้ความยาวลำต้นเพิ่มมากขึ้น แต่ NaCl 600 mM ไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ช่วยให้ความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นมากกว่าได้รับ NaCl 600mM อย่างเดียว แต่ที่ NaCl 800 mM ไคโตซานทำให้ความยาวลำต้นลดต่ำกว่าการได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM และกลุ่มควบคุม และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซานจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า NaCl และไคโตซานมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$)

3.2 ความยาวราก

NaCl และไคโตซานทำให้ความยาวรากลดลง เมื่อให้ NaCl ร่วมกับไคโตซาน ความยาวรากก็ยังคงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม แต่ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) แล้วได้รับ NaCl ทุกความเข้มข้นพบว่า ความยาวรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานร่วมกับ NaCl จะมากกว่าต้นที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว ส่วนต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) แล้วได้รับ NaCl ทุกความเข้มข้นพบว่า ความยาวรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานร่วมกับ NaCl จะลดลงต่ำกว่าต้นที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p \geq .05$)

3.3 น้ำหนักสดลำต้น

NaCl ส่งผลให้น้ำหนักสดของลำต้นลดลง ส่วนไคโตซานมีผลทำให้น้ำหนักสดของลำต้นเพิ่มขึ้น การให้ NaCl ทุกความเข้มข้นแก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) พบว่า น้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวันลดต่ำลงจากการได้รับ NaCl อย่างเดียวเล็กน้อย เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p \geq .05$)

3.4 น้ำหนักสดราก

ไคโตซานที่ให้แก่เมล็ดก่อนเพาะมีผลทำให้น้ำหนักสดรากลดลงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม แต่ NaCl ที่ให้ในระยะต้นกล้ามีผลกระทบต่อน้ำหนักสดรากเล็กน้อย แต่เมื่อให้ NaCl แก่ต้นอ่อนที่ได้แช่ด้วยไคโตซานก่อนเพาะพบว่า NaCl ความเข้มข้น 400 mM ส่งผลให้น้ำหนักสดรากของต้นที่ได้รับไคโตซานจะสูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซานอย่างเดียวทั้ง 2 ความเข้มข้น แต่ NaCl ที่ความเข้มข้น 600 และ 800 mM เฉพาะต้นที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) เท่านั้นที่มีน้ำหนักสดรากมากกว่าต้นที่รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) อย่างเดียว และ NaCl ที่ความเข้มข้น 800 mM นั้น ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน 0.50% (w/v) จะมีน้ำหนักสดมากกว่าต้นที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p \geq .05$)

3.5 คลอโรฟิลล์เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลง เช่นเดียวกับการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การให้ NaCl แก่ต้นกล้าที่ได้รับไคโตซานทางเมล็ดก่อนเพาะทั้ง 2 ความเข้มข้น ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนมากกว่าต้นอ่อนที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะที่ NaCl 800 mM ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนที่ได้รับไคโตซานและ NaCl สูงกว่าต้นอ่อนที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$)

3.6 คลอโรฟิลล์บี

ทั้ง NaCl และไคโตซาน มีผลให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีลดน้อยลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน 0.50 และ 0.75% (w/v) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียวในแต่ละความเข้มข้น โดยเฉพาะที่ ความเข้มข้น 800 mM ต้นที่ได้รับไคโตซานมาก่อนจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าต้นที่ไม่ได้รับไคโตซาน เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซานพบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$)

3.7 แครโทีนอยด์

ต้นอ่อนทานตะวันที่พ่น NaCl ด้วยความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ลดลงและการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่ำ ๆ แก่ต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ได้รับ NaCl แต่ไม่ได้รับไคโตซาน โดยเฉพาะ NaCl ที่ความเข้มข้น 600 mM ปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) จะสูงกว่าต้นที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว และสูงกว่ากลุ่มควบคุม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซานพบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$)

3.8 ปริมาณ MDA ในราก

การพ่นด้วย NaCl ด้วยความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน ส่งผลให้ปริมาณ MDA ในรากของต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้น การให้ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานตอนเพาะ จะทำให้ปริมาณ MDA ลดต่ำลงกว่า การได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว ไคโตซานช่วยลดการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน ในสภาวะที่มีความเครียดเนื่องจาก NaCl โดยเฉพาะที่ NaCl ความเข้มข้นสูง (800 mM) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซานพบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$)

3.9 ปริมาณ MDA ในลำต้น

การพ่นด้วย NaCl ด้วยความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ส่งผลให้ปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้น ส่วนการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ส่งผลให้ปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ส่งผลให้ปริมาณ MDA ในลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เมื่อให้ NaCl แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับและไม่ได้รับไคโตซานทางเมล็ด พบว่า เมื่อให้

NaCl ความเข้มข้นต่ำถึงปานกลาง (400 - 600 mM) ปริมาณ MDA ในต้นที่ได้รับไคโตซานจะมีค่าใกล้เคียงกับในต้นที่ได้รับ NaCl แต่ไม่ได้รับไคโตซาน แต่เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นสูง (800 mM) พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานทางเมล็ด จะมีปริมาณ MDA ลดลง ต่ำกว่าต้นที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM เพียงอย่างเดียว แสดงว่า ในสภาวะที่มี NaCl ความเข้มข้นสูง (800 mM) ไคโตซานจะช่วยลดการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน ทำให้ค่า MDA ลดต่ำลง โดยเฉพาะที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้นสูง (0.75% w/v) เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$)

3.10 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ในต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวันสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ในสภาวะที่มี NaCl ไคโตซานจะทำให้ DPPH เพิ่มมากขึ้น ที่ NaCl ความเข้มข้นต่ำ ไคโตซานจะช่วยทำให้ DPPH ของต้นอ่อนทานตะวันสูงกว่าในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว (400 mM NaCl) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaCl เป็น 600 mM ไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ทำให้ค่า DPPH สูงกว่าในต้นอ่อนที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว แต่ไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ไม่ค่อยมีความแตกต่างกับต้นที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว NaCl 800 mM ส่งผลให้ร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในต้นที่ไม่ได้รับไคโตซานจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 39.231 % ส่วนในต้นที่ได้รับไคโตซานทั้ง 2 ความเข้มข้นนั้น เมื่อให้ NaCl 800 mM ค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของต้นอ่อนก็เพิ่มสูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซาน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว 800 mM ค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะสูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซานร่วมกับได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$)

3.11 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ในต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ส่งผลให้ทำให้ค่า FRAP value ในต้นอ่อนทานตะวันสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ (400 600 และ 800 mM) แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า การให้ NaCl แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานจะทำ

ให้ค่า FRAP value ของต้นอ่อนมีค่าต่ำกว่าในต้นอ่อนที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$)

3.12 ฟีนอล

NaCl มีผลเล็กน้อยต่อปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนทานตะวัน ส่วนไคโตซานทำให้ปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม การให้ NaCl แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานในการแช่เมล็ดก่อนเพาะ พบว่า ปริมาณฟีนอลของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน จะสูงกว่าปริมาณฟีนอลที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว โดยเฉพาะที่ NaCl ความเข้มข้นสูง การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณสูงกว่าปริมาณฟีนอลของกลุ่มควบคุม และต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$)

3.13 ฟลาโวนอยด์

ไคโตซานในสถานะที่ไม่มี NaCl จะทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันลดต่ำลง การให้ NaCl ความเข้มข้นต่ำ ๆ มีผลกระทบต่อยปริมาณฟลาโวนอยด์เล็กน้อย NaCl ที่ความเข้มข้น 400 และ 800 mM ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) มีปริมาณฟลาโวนอยด์ไม่ค่อยแตกต่างกัน แต่ NaCl ที่ความเข้มข้น 600 mM ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) จะมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) และไม่ได้รับไคโตซาน และยังมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงกว่ากลุ่มควบคุม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$)

3.14 โพรลีน

ทั้ง NaCl และไคโตซานมีผลทำให้ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ตามความเข้มข้นที่สูงขึ้น NaCl ที่ความเข้มข้นต่ำ (400 mM) ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนที่ได้รับและไม่ได้รับไคโตซานไม่แตกต่างกัน เมื่อความเข้มข้นของ NaCl เพิ่มขึ้น ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับและไม่ได้รับไคโตซานเพิ่มขึ้นด้วย ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานทั้ง 2 ความเข้มข้น เมื่อได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM จะมีปริมาณโพรลีนสูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซานแต่ไม่ได้รับ NaCl และสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ปริมาณโพรลีนนั้นต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM โดยไม่ได้รับไคโตซาน เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$)

จากผลการศึกษาพบว่า การพ่น NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ แก่ต้นอ่อนทานตะวัน ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงโดยเฉพาะในส่วนของความยาวลำต้น พบว่า NaCl ความเข้มข้น 600 800 และ 1,000 mM ส่งผลให้ความยาวลำต้นลดลงเช่นเดียวกับน้ำหนักสด พบว่า NaCl ส่งผลให้น้ำหนักสดของพืชลดลงโดยเฉพาะ NaCl ความเข้มข้นสูง (1,000 mM) การพ่นด้วย NaCl ส่งผลกระทบต่อส่วนรากของพืชเพียงเล็กน้อย ในขณะเดียวกันกลับพบว่า การพ่น NaCl ให้แก่พืชส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้น แม้ว่าพืชจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นแต่ NaCl ก็ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาปัจจัยที่จะมาช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้ดีขึ้น เหมาะแก่การรับประทานนั้นคือไคโตซาน โดยเลือกวิธีการแช่เมล็ดและจากการศึกษาพบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ส่งผลให้ความยาวลำต้น น้ำหนักสดของพืชเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อีกทั้งยังทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของพืชเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย โดยแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน และพ่นด้วย NaCl ในระยะต้นกล้าพบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 mM ส่งผลให้ความยาวลำต้นของพืชสูงกว่าการได้รับ NaCl อย่างเดียว โดยเฉพาะต้นที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM น้ำหนักสดของพืชพบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ส่งผลให้ความยาวลำต้นลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่า การแช่เมล็ดด้วย ไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM ปริมาณฟีนอลพบว่า การแช่เมล็ดด้วย ไคโต-ซานร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่รับ NaCl อย่างเดียว และปริมาณฟลาโวนอยด์พบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 600 mM ส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและความเข้มข้นอื่น ๆ

อภิปรายผลการทดลอง

1. ผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

1.1 การเจริญเติบโต

จากการศึกษาผลของ NaCl ต่อความยาวลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดลำต้น และน้ำหนักสดรากของต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า NaCl ความเข้มข้น 600 800 และ 1,000 mM ส่งผลให้ความยาวลำต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chartzoulakis and Klapaki (2000) ศึกษาผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตของพริก พบว่า การปลูกพริกในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ความเข้มข้น 0 - 150 mM ส่งผลให้ความยาวลำต้นของพริกลดลงตามความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Amirjani (2011) ในข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ความเข้มข้น 200 mM ซึ่ง NaCl ส่งผลให้ความยาวลำต้นลดลง นอกจากนี้ Jamil, Lee, Kim, Kim, and Rha (2007) ศึกษาผลของ NaCl ต่อการความยาวลำต้นของหัวไชเท้าที่ปลูกในจานเพาะที่มี NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า NaCl ส่งผลให้ความยาวลำต้นของหัวไชเท้าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม Abraha and Yohannes (2013) ได้ศึกษาผลของการแช่เมล็ดข้าวโพดด้วย NaCl เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนปลูก พบว่า ความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความยาวลำต้นของข้าวโพดลดลง NaCl ส่งผลให้การให้ NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แก่พืชในแต่ละชนิดด้วยวิธีการให้ที่แตกต่างกันล้วนส่งผลกระทบต่อพืชทำให้ความยาวลำต้นและน้ำหนักสดลำต้นลดลง ความเครียดจากความเค็มส่งผลต่อการแบ่งเซลล์ของพืช ส่งผลต่อการยืดยาวของลำต้นพืชลดลง (McCue and Hanson, 1990)

ผลของ NaCl ต่อน้ำหนักสดลำต้น พบว่า น้ำหนักสดของลำต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) เมื่อพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 1,000 mM จากงานวิจัยของ พบว่า การปลูก *Salicornia persica* และ *S.eupaea* (Aghaleh et al., 2009) และข้าว (Amirjani, 2011) ในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า NaCl ส่งผลให้น้ำหนักสดของพืชลดลง และพบว่า การใช้ NaCl ผสมในอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อข้าวโพดโดยใช้ NaCl ความเข้มข้น 0 100 200 300 และ 400 mM เป็นเวลา 5 วัน พบว่า น้ำหนักสดลำต้นของข้าวโพดที่ได้รับ NaCl ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Cha-Um and Kirdmanee, 2009) นอกจากนี้พบว่า งานวิจัยของ Lim et al. (2012) ศึกษาผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนบักวีต โดยการพ่น NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้แก่ต้นอ่อนในทุก ๆ วัน พบว่า NaCl ส่งผลให้น้ำหนักสดของพืชลดลงโดยเฉพาะที่ NaCl ความเข้มข้นสูง โดย NaCl ส่งผลต่อพืชทั้งทางด้านสรีรวิทยาและสรีรวิทยาของพืช การสะสมไอออน Na^+ หรือไอออนอื่น ๆ ส่งผลกระทบต่อการดูดน้ำและแร่ธาตุที่สำคัญต่อ

การเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากการสะสมไอออนเหล่านี้ทำให้เกิด ความเครียดออกซิเดติก ความเครียดออกซิเดทีฟ การดูดน้ำและแร่ธาตุจากดินลดลง ส่งผลให้ความยาวลำต้น และน้ำหนักสดของลำต้นลดลง (Shrivastava and Kumar, 2015)

ผลของ NaCl ต่อความยาวรากและน้ำหนักสดของราก พบว่า NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวและน้ำหนักสดของรากเพียงเล็กน้อยซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) ตามงานวิจัยของ Jaleel et al. (2007) ศึกษาผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตของแพงพวยฝรั่งโดยการปลูกในจานเพาะที่มีกระดาดกรองที่มีความชื้นจาก NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า NaCl ส่งผลให้ความยาวรากลดลง และการศึกษาของ Jamil et al. (2007) พบว่า NaCl ส่งผลให้น้ำหนักสดรากลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวลำต้น โดยที่ NaCl จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อลำต้นของหัวไชเท้า

1.2 ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ผลการศึกษาปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ พบว่า NaCl มีผลกระทบเล็กน้อยต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่มีแนวโน้มว่า NaCl ที่ความเข้มข้นสูง (600 – 1,000 mM) จะกระตุ้นให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของ (A. K. Parida et al., 2004) พบว่า การปลูกโกก้างในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ความเข้มข้น 100 200 และ 400 mM โดย NaCl มีแนวโน้มที่ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้น ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ มีปริมาณคลอโรฟิลล์บี ไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ก็มีแนวโน้มว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์บี จะสูงที่สุดในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 mM สอดคล้องกับงานวิจัยของ Agastian et al. (2000) ที่ศึกษาผลของ NaCl ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บี โดยการปักชำกิ่งหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ M-5 BC2-59 และ S-30 ในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl พบว่า คลอโรฟิลล์เอ ในสายพันธุ์ BC2-59 เท่านั้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับ NaCl

ปริมาณแคโรทีนอยด์นั้น ต้นอ่อนทานตะวันในกลุ่มควบคุมและต้นที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 200 – 600 mM มีปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ที่ความเข้มข้น 800 mM ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) แล้วจะลดลงไปอีกเมื่อได้รับ NaCl ความเข้มข้น 1,000 mM สอดคล้องกับงานวิจัยของ Agastian et al. (2000) ที่ศึกษาผลของ NaCl ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยการปักชำกิ่งหม่อนทั้ง 3 สายพันธุ์

ได้แก่ M-5 BC2-59 และ S-30 ในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ในสายพันธุ์ BC2-59 เท่านั้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับ NaCl ส่วนสายพันธุ์อื่นๆ มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงเมื่อได้รับ NaCl จากงานวิจัยของ Cha-Um and Kirdmanee (2009) พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ในข้าวโพดลดลง เมื่อเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงที่มี NaCl และ Amirjani (2011) พบว่า การปลูกข้าวในสารละลายธาตุอาหารส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ภายใต้สภาวะความเครียดของ NaCl ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอาจเกิดจากความไม่เสถียรของโปรตีนเชิงซ้อนและการทำลายคลอโรฟิลล์โดยเอนไซม์ย่อยสลายคลอโรฟิลล์ (Reddy, 1986)

1.3 ปริมาณ MDA ในลำต้น

ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 800 และ 1,000 mM ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bor et al. (2003) ศึกษาผลของ NaCl ต่อการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันในปืทูล โดยให้ NaCl ความเข้มข้น 150 และ 500 mM ในสารละลายธาตุอาหารแก่ต้นปืทูลที่มีอายุ 40 วัน เป็นเวลา 12 วัน พบว่า NaCl ส่งผลให้ปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะ NaCl ความเข้มข้น 500 mM และจากการศึกษาในงาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ความเข้มข้น 50 และ 100 mM เป็นเวลา 7 และ 21 วัน พบว่า ปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับ NaCl โดยเฉพาะได้รับ NaCl 100 mM เป็นเวลา 21 วัน (Koca et al., 2007) เช่นเดียวกับการศึกษาใน *Cakile maritima* (Ksouri et al., 2007) *Salicornia persica* และ *S. eupaea* (Aghaleh et al., 2009) และข้าว (Chutipaijit, Cha-Um, and Sompornpailin, 2009) นอกจากนี้ El-baky et al. (2003) ได้ศึกษาผลของเกลือต่อปริมาณ MDA ในหัวหอม โดยการรดน้ำทะเลที่เจือจางให้มีความเข้มข้น 2,000 4,000 6,000 ppm พบว่า ปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้นของเกลือที่เพิ่มขึ้น และ Jaleel et al. (2007) พบว่า แพงพวยฝรั่งที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่มี NaCl ส่งผลให้มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และ Taïbi et al. (2016) พบว่า ถั่วแขกที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มี ทำให้มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ปริมาณ MDA ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันเพิ่มขึ้นภายใต้ที่มี NaCl ซึ่งแสดงถึงการสะสมไฮดรอกซิลและ ROS บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์เมื่อเกิดสภาวะความเครียดจากสิ่งแวดล้อมได้แก่ NaCl ซึ่ง ROS จะเข้าทำลายกรดไขมันไม่อิ่มตัวบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดความเสียหาย (Dionisio-Sese and Tobita, 1998)

1.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ในต้นอ่อนทานตะวันพบว่า NaCl ความเข้มข้น 200 400 600 800 และ 1,000 mM ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดย NaCl ความเข้มข้น 600 800 และ 1,000 mM ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาของ Ksouri et al. (2007) โดยปลูก NaCl *Cakile maritima* ในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ความเข้มข้น 100 และ 400 mM พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของพืชที่ได้รับ NaCl สูงกว่าพืชในกลุ่มควบคุม โดยจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้น งานวิจัยของ Hichem and Mounir (2009) ศึกษาในข้าวโพดที่ปลูกในดินโดยรดด้วย NaCl สัปดาห์ละ 3 ครั้ง ติดต่อกัน 6 สัปดาห์ พบว่า ข้าวโพดที่ได้รับ NaCl มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และนอกจากนี้ยังพบว่า การพ่น NaCl ความเข้มข้น 10 50 100 และ 200 mM แก่ต้นอ่อนบักวีต ส่งผลให้ต้นอ่อนบักวีตมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากลุ่มควบคุม (Lim et al., 2012)

1.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP พบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้น มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP value) เพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 600 800 และ 1,000 mM เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากการวิจัยของ Yuan et al. (2010) ศึกษาผลของ NaCl ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ของหัวไชเท้าที่ปลูกโดยใช้อาหารเลี้ยงที่มี NaCl ความเข้มข้น 10 50 และ 100 mM พบว่า NaCl ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในหัวไชเท้าเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ FRAP พบว่า NaCl ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยเมื่อความเข้มข้นของ NaCl เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดความเครียดจากความเค็ม มีการสะสมของ ROS ที่เป็นอันตรายต่อกระบวนการเจริญเติบโต พืชมีการตอบสนองโดยการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นเพื่อป้องกันการเข้าทำลายจาก ROS (Sairam et al., 2005)

2. ผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

2.1 การเจริญเติบโต

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.50 0.75 และ 1% (w/v) พบว่า ไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ส่งผลให้ความยาวลำต้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ที่ไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) ทำให้ความยาวลำต้นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ouyang and Xu (2003) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตของผักกาดขาว พบว่า การแช่เมล็ดผักกาดขาวด้วยไคโตซานก่อนการเพาะปลูกส่งผลให้ความยาวลำต้นเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับการแช่เมล็ดโหระพาในไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลให้ความยาวลำต้นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (H.-J. Kim et al., 2005) และการแช่เมล็ดทานตะวันในไคโตซานที่มีมวลโมเลกุล 746 444 223 67 และ 28 kDa ส่งผลให้ความยาวลำต้นของทานตะวันเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Cho et al., 2008) การศึกษาของ Mahdavi and Rahimi (2013) โดยแช่เมล็ดเทียนเกล็ดหอยในไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ไคโตซานส่งผลให้ความยาวลำต้นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับข้าวสาลี (Lian-Ju et al., 2014) และข้าว (Boonlertnirun, Boonraung, and Suvanasara, 2017) นอกจากนี้ Sheikha and Al-Malki (2011) ศึกษาการเจริญเติบโตของถั่วที่ปลูกในดินทรายที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.5 1 1.5 2 2.5 และ 3% พบว่า ความยาวลำต้นของถั่วที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.5 และ 1 % (w/v) ส่งผลให้ความยาวลำต้นเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของไคโตซานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความยาวลำต้นลดลง

น้ำหนักสดของลำต้น พบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานทุกความเข้มข้นส่งผลให้น้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < .05$) จากการศึกษาของ Ohta et al. (1999) ศึกษาผลของการให้ไคโตซานความเข้มข้น

0.1% (w/v) แก่ *Eustoma grandiflorum* โดยการแช่เมล็ดและการให้ทางดินพบว่า ไคโตซานส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยเฉพาะด้วยวิธีการให้ทางดินจะมากกว่าการให้ทางเมล็ด และตามงานวิจัยของ Sheikh and Al-Malki (2011) พบว่า ไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลให้น้ำหนักสดลำต้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ในถั่วที่ปลูกในดินทรายที่ได้รับไคโตซาน

ความยาวรากพบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานส่งผลให้ความยาวรากมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cabrera et al. (2010) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตของ บลูเบอร์รี่โดยจุ่มรากในไคโตซาน พบว่า ไคโตซานมีแนวโน้มทำให้ความยาวรากเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

น้ำหนักสดราก พบว่า เมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานก่อนการเพาะส่งผลให้มีปริมาณน้ำหนักสดรากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) ทำให้น้ำหนักสดของรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sheikh and Al-Malki (2011) ได้ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตของถั่วที่ปลูกในดินทรายที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.5 1 1.5 2 2.5 และ 3% พบว่า ไคโตซานส่งผลให้น้ำหนักสดของรากเพิ่มขึ้น

การเจริญเติบโตของพืชที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับไคโตซานเป็นผลเนื่องมาจากไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในไคโตซาน โดยไคโตซานจะมีปริมาณไนโตรเจนประมาณร้อยละ 8.7 (Ohta et al., 1999)

2.2 ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 1% (w/v) ส่งผลให้ปริมาณให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Salachna and Zawadzińska (2014) พบว่าเมื่อแช่หัวของต้นพรีเซียด้วยไคโตซานส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการแช่เมล็ดข้าวสาลีด้วยไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ก่อนนำไปปลูกในสารละลายธาตุอาหารพบว่า ไคโตซาน ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น (Lian-Ju et al., 2014) การศึกษาของ N. A. Dzung, Khanh, and Dzung (2011) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นกาแฟที่พ่นด้วยไคโตซานความเข้มข้น 20 40 60 และ 80 ppm มีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะไคโตซานที่ความเข้มข้น 60 ppm ส่งผลให้

ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) การพ่นไคโตซานส่งผลให้ส่งผลปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นในกระเจี๊ยบมอญ (Mondal et al., 2012) และ ในพริก (P. D. Dzung et al., 2017) ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์บี พบว่า ไคโตซานทุกความเข้มข้นทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pattamapusit and Rungcharoenthong (2559) ศึกษาผลของการพ่นไคโตซานความเข้มข้น 5 10 และ 15 mL/L แก่พริกชี้หนูพบว่า ไคโตซานทุกความเข้มข้นส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และพบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นในต้นที่ได้รับไคโตซาน 5 และ 10 mL/L และเริ่มลดลงเมื่อไคโตซานมีความเข้มข้นสูงขึ้น (15 mL/L) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันนั้นค่อนข้างลดลง เมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของไคโตซานที่สูง (0.75 และ 1% w/v) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$)

2.3 ปริมาณ MDA

ปริมาณ MDA ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq .05$) แต่พบว่า ปริมาณ MDA มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.75 และ 1% (w/v) โดยมีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Martínez, Reyes, Falcón, and Núñez (2015) พบว่า เมล็ดข้าวที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้นสูงส่งผลให้ปริมาณ MDA ในข้าวเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไคโตซานที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

2.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไคโตซานที่เพิ่มขึ้นและไคโตซานทุกความเข้มข้น ทำให้การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH นั้นสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ H.-J. Kim et al. (2005) พบว่า การแช่เมล็ดโหระพาในไคโตซานก่อนเพาะส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับ Cho et al. (2008) พบว่า เมล็ดทานตะวันแช่ด้วยไคโตซาน 28 kDa เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ส่งผลให้ต้นอ่อนทานตะวันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากลุ่มควบคุมและไคโตซานที่มีมวลโมเลกุลมากกว่า เช่นเดียวกับงานวิจัยของ M. N. Khan, Siddiqui, Mohammad, Naeem, and Khan (2010)

พบว่า การแช่เมล็ดโหระพาด้วยไคโตซานส่งผลให้โหระพามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากลุ่มควบคุมและ Srinuanparn and Asawatreratanakul (2016) ที่พบว่า การพ่นข้าวสังข์หยดพัตลุงด้วยไคโตซานส่งผลให้พืชมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และงานวิจัยของ Salimgandomi and Shabrangi (2016) ศึกษาผลของไคโตซานต่อปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระในเปปเปอร์มินต์ โดยการพ่นบริเวณ ลำต้น และบริเวณผิวดิน พบว่า พืชที่ได้รับไคโตซานส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้พบว่า การพ่นไคโตซานให้แก่ข้าวสังข์หยดพัตลุงส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากลุ่มควบคุม (Srinuanparn and Asawatreratanakul, 2016)

2.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP เพิ่มขึ้นในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.50 และ 0.75% (w/v) โดยเฉพาะไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) ทำให้ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ FRAP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < .05$) แต่ที่ไคโตซานที่ความเข้มข้น 1% (w/v) ส่งผลให้ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระลดต่ำลง แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \geq .05$) เนื่องจากในไคโตซานมีส่วนประกอบที่สำคัญคือธาตุไนโตรเจน จากการศึกษาของ Ibrahim, Jaafar, Rahmat, and Rahman (2012) พบว่า การให้ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนแก่ *Labisia pumila* ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ลดลงเมื่อมีปริมาณไนโตรเจนสูงขึ้น

จากการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวันพบว่า ต้นอ่อนทานตะวันที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นทั้งการศึกษาด้วยวิธี DPPH และ FRAP เนื่องจาก ไคโตซานมีส่วนช่วยชักนำให้เกิดการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกของพืช เพื่อให้พืชอยู่รอดภายใต้ปัจจัยที่ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตทั้งปัจจัยทางกายภาพ เช่น ความแล้ง ความเค็ม รังสี อัลตราไวโอเล็ต และปัจจัยทางชีวภาพ โดยพืชจะมีการตอบสนองต่อไคโตซานอิลิซิเตอร์ทางด้านสรีรวิทยาโดยเฉพาะการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ (Ferri and Tassoni, 2011)

3.ผลของ NaCl ร่วมกับไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูล

อิสระ

3.1 ความยาวลำต้น

NaCl มีผลทำให้ความยาวลำต้นลดลงแต่ไคโตซานช่วยให้ความยาวลำต้นเพิ่มขึ้น เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่ำ (400 mM) ไคโตซานก็ไม่ได้ช่วยให้ความยาวลำต้นเพิ่มมากขึ้น แต่ NaCl 600 mM ไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) ช่วยให้ความยาวลำต้นของต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นมากกว่าได้รับ NaCl 600mM อย่างเดียว แต่ที่ NaCl 800 ไคโตซานทำให้ความยาวลำต้นลดต่ำลงกว่าการได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM และกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ma et al. (2012) พบว่า การแช่เมล็ดข้าวสาลีด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.0625% ร่วมกับการให้ NaCl ความเข้มข้น 150 mM ในสารละลายธาตุอาหารในระยะต้นกล้าของพืชส่งผลให้ความยาวลำต้นลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว จากการศึกษาของ Jabeen and Ahmad (2013) พบว่า การแช่เมล็ดทานตะวันและเมล็ดดอกคำฝอยในไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.50 และ 0.75% ก่อนนำไปเพาะในจานเพาะที่ชุ่มไปด้วย NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ไคโตซาน 0.50% ส่งผลให้ความยาวลำต้นของพืชสูงกว่ากลุ่มควบคุม และไคโตซานความเข้มข้นอื่นๆ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Martínez et al. (2015) พบว่า ความยาวลำต้นข้าวหลังจากแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน 100 และ 500 mmol/L ที่เจริญเติบโตในจานเพาะที่มี NaCl สูงกว่าต้นที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว และ Zou et al. (2015) ศึกษาผลของไคโตซานและ NaCl ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวสาลี โดยปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีไคโตซานความเข้มข้น 2 29 50 และ 68% และ NaCl 100 mM พบว่าความยาวลำต้นของพืชที่ได้รับไคโตซานทุกความเข้มข้นร่วมกับ NaCl สูงกว่าความยาวลำต้นของพืชที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของไคโตซานที่ชักนำให้การเจริญเติบโตของพืชภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมให้เจริญเติบโตดีขึ้น เช่น การให้ไคโตซานแก่เมล็ดข้าวโพดที่เจริญเติบโตในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ความยาวลำต้นของพืชเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับไคโตซาน (Guan, Hu, Wang, and Shao, 2009) การเคลือบเมล็ดด้วยไคโตซานส่งผลให้ความยาวลำต้นของข้าวสาลีในสภาวะแล้งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (Zeng and Luo, 2012)

3.2 ความยาวราก

เมื่อให้ NaCl ร่วมกับไคโตซาน ความยาวรากก็ยังคงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม แต่ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) แล้วได้รับ NaCl ทุกความเข้มข้นพบว่า ความยาวรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานร่วมกับ NaCl จะมากกว่าต้นที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว ส่วนต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) แล้วได้รับ NaCl ทุกความเข้มข้นพบว่า ความยาวรากของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานร่วมกับ NaCl จะลดลงต่ำกว่าต้นที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว จากการศึกษา การแช่เมล็ดข้าวสาลีด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.0625% ร่วมกับการให้ NaCl ความเข้มข้น 150 mM ในสารละลายธาตุอาหารในระยะต้นกล้าของพืชส่งผลให้ความยาวรากลดลงเล็กน้อยแต่มีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม แต่พบว่า ความยาวรากสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว (Ma et al., 2012) และ Jabeen and Ahmad (2013) พบว่า การแช่เมล็ดทานตะวันและเมล็ดดอกคำฝอยในไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.50 และ 0.75% ก่อนนำไปเพาะในจานเพาะที่ชุ่มไปด้วย NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ไคโตซาน 0.50% มีแนวโน้มที่จะทำให้ความยาวรากของพืชสูงขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนการศึกษาของ Martínez et al. (2015) พบว่า ความยาวรากของต้นข้าวหลังจากแช่เมล็ดด้วยไคโตซาน 100 และ 500 mmol/L ที่เจริญเติบโตในจานเพาะที่มี NaCl สูงกว่าต้นที่ได้รับ NaCl และไม่ได้รับไคโตซานโดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 100 mmol/L นอกจากนี้มีการศึกษาในดอกคำฝอย โดยแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้นต่างๆ ในสภาวะที่มีความเครียดออกซิเดติก ส่งผลให้ความยาวรากของพืชมากกว่าความยาวรากของพืชในกลุ่มที่ได้รับ ความเครียดออกซิเดติกเพียงอย่างเดียว (Mahdavi, Modarres Sanavy, Aghaali khani, Sharifi, and Dolatabadian, 2011)

3.3 น้ำหนักสดลำต้น

NaCl ส่งผลให้น้ำหนักสดของลำต้นลดลง ส่วนไคโตซานมีผลทำให้น้ำหนักสดของ ลำต้นเพิ่มขึ้น การให้ NaCl ทุกความเข้มข้นแก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) พบว่า น้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวันลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zou et al. (2015) ศึกษาผลของไคโตซานและ NaCl ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวสาลี โดยปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ และ NaCl 100 mM พบว่า น้ำหนักสดลำต้นของพืชที่ได้รับไคโตซานร่วมกับ NaCl ส่งผลให้น้ำหนักสดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม Hernández-Hernández et al. (2018)

น้ำหนัสดลำต้นของมะเขือเทศที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ส่งผลให้น้ำหนัสดลำต้นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

3.4 น้ำหนักสตราก

แต่เมื่อให้ NaCl แก่ต้นอ่อนที่ได้แช่ด้วยไคโตซานก่อนเพาะพบว่า NaCl ความเข้มข้น 400 mM ส่งผลให้น้ำหนักสตรากของต้นที่ได้รับไคโตซานจะสูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซานอย่างเดียวทั้ง 2 ความเข้มข้น แต่ NaCl ที่ความเข้มข้น 600 และ 800 mM เฉพาะต้นที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) เท่านั้นที่มีน้ำหนักสตรากมากกว่าต้นที่รับไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) อย่างเดียว และ NaCl ที่ความเข้มข้น 800 mM นั้น ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน 0.50% (w/v) จะมีน้ำหนักสตรากมากกว่าต้นที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($p \geq .05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hernández-Hernández et al. (2018) พบว่า น้ำหนักสตรากของมะเขือเทศที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ส่งผลให้น้ำหนักสตรากมากกว่าน้ำหนักสตรากที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว

3.5 คลอโรฟิลล์เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลง เช่นเดียวกับการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม การให้ NaCl แก่ต้นกล้าที่ได้รับไคโตซานทางเมล็ดก่อนเพาะทั้ง 2 ความเข้มข้น ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนมากกว่าต้นอ่อนที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะที่ NaCl 800 mM ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นอ่อนที่ได้รับไคโตซานและ NaCl สูงกว่าต้นอ่อนที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว ตามงานวิจัยของ Ma et al. (2012) พบว่า ต้นกล้าของข้าวสาลีที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.0625% ก่อนได้รับ NaCl ที่ผสมในสารละลายธาตุอาหาร ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอมากกว่าต้นที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว จากการศึกษาของ Zou et al. (2015) พบว่า การให้สารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl และไคโตซานแก่ข้าวสาลี ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้นสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ไม่ได้รับไคโตซาน และพบว่า การปลูกมะเขือเทศในสารละลายธาตุอาหารที่มีไคโตซานและ NaCl ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่เจริญเติบโตโดยไม่ได้รับไคโตซาน (Hernández-Hernández et al., 2018)

นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในต้นกาแฟที่พ่นด้วยไคโตซานในสภาวะแล้งสูงกว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอในพืชที่เจริญเติบโตในสภาวะแล้ง (N. A. Dzung et al., 2011) และการเคลือบเมล็ดข้าวสาลีด้วยไคโตซานส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าพืชที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะแล้งโดยไม่ได้เคลือบเมล็ดด้วยไคโตซาน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไคโตซานมีส่วนในการช่วยเพิ่มความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการสะสมอินทรีย์วัตถุที่ใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตของข้าวสาลีในสภาวะแล้ง (Zeng and Luo, 2012)

3.6 คลอโรฟิลล์บี

ทั้ง NaCl และไคโตซาน มีผลให้ต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีลดน้อยลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน 0.50 และ 0.75% (w/v) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียวในแต่ละความเข้มข้น โดยเฉพาะที่ ความเข้มข้น 800 mM ต้นที่ได้รับไคโตซานมาก่อนจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าต้นที่ไม่ได้รับไคโตซาน เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) สอดคล้องกับงานวิจัย Ma et al. (2012) ต้นกล้าของข้าวสาลีที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.0625% ก่อนได้รับ NaCl ที่ผสมในสารละลายธาตุอาหาร ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีมากกว่าต้นที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว จากการรายงานปริมาณคลอโรฟิลล์บีในข้าวสาลีที่เจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารที่มีส่วนผสมระหว่าง NaCl และไคโตซาน Zou et al. (2015) และ Hernández-Hernández et al. (2018) พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในมะเขือเทศที่ได้รับไคโตซานในสภาวะที่มี NaCl ผสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารสูงกว่าในต้นที่ไม่มีไคโตซานผสมอยู่ นอกจากนี้พบว่า การพ่นไคโตซานให้แก่ต้นกาแฟที่เจริญเติบโตในสภาวะแล้ง ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่เจริญเติบโตในสภาวะแล้งและไม่ได้รับไคโตซาน (N. A. Dzung et al., 2011)

3.7 แคโรทีนอยด์

ต้นอ่อนทานตะวันที่พ่น NaCl ด้วยความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM ลดลง และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เมื่อให้ NaCl ความเข้มข้นต่ำ ๆ แก่ต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน เมื่อเปรียบเทียบกับ

ต้นที่ได้รับ NaCl แต่ไม่ได้รับไคโตซาน โดยเฉพาะ NaCl ที่ความเข้มข้น 600 mM ปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานความเข้มข้น 0.75% (w/v) จะสูงกว่าต้นที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว และสูงกว่ากลุ่มควบคุม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซาน พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน ($p < .05$) จากการศึกษาของ N. A. Dzung et al. (2011) พบว่า ต้นกาแฟที่พ่นด้วยไคโตซานที่เจริญเติบโตในสภาวะแล้งทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะไคโตซานความเข้มข้น 60 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับต้นกาแฟที่เจริญเติบโตในสภาวะแล้งและไม่ได้รับไคโตซาน

3.8 ปริมาณ MDA ในรากและลำต้น

ผลการศึกษาพบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ก่อนการเพาะเมล็ดร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้นต่างๆ ในวันที่ 3 5 และ 7 ส่งผลให้ปริมาณ MDA ในลำต้นและรากของต้นอ่อนทานตะวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) และลดลงต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ma et al. (2012) พบว่า การแช่เมล็ดข้าวสาลีด้วยไคโตซานก่อนการให้ NaCl ส่งผลให้ปริมาณ MDA ลดลงต่ำกว่าปริมาณ MDA ในข้าวสาลีที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว การให้ไคโตซานแก่พืชก่อนได้รับ NaCl มีผลในการช่วยป้องกันเซลล์พืชจากการถูกทำลายในสภาวะความเครียดจาก NaCl และ เช่นเดียวกับการศึกษาในดอกคำฝอยและทานตะวัน พบว่า ปริมาณ MDA ในพืชที่แช่เมล็ดด้วยไคโตซานก่อนการเจริญเติบโตในสภาวะที่มี NaCl ทำให้ปริมาณ MDA ลดลงต่ำกว่าในพืชที่เจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่มีไคโตซาน (Jabeen and Ahmad, 2013) และ Zou et al. (2015) พบว่า ต้นกล้าข้าวสาลีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl และไคโตซาน ส่งผลให้ปริมาณ MDA ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้าที่ได้ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีไคโตซานผสม การให้ไคโตซานแก่พืชก่อนเจริญเติบโตในสภาวะที่มี NaCl ส่งผลให้ปริมาณ MDA ในข้าวลดลง (Martínez et al., 2015) และไคโตซานมีผลในการช่วยลดปริมาณ MDA ให้แก่พืชภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมอื่น ๆ ได้แก่ เมล็ดข้าวโพดที่แช่ด้วยไคโตซานก่อนเจริญเติบโตในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ปริมาณ MDA ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดที่ไม่รับไคโตซาน (Guan et al., 2009) การพ่นไคโตซานบนดินที่ปลูกแอปเปิ้ลในสภาวะแล้ง ส่งผลให้ปริมาณ MDA ลดลงต่ำกว่าพืชที่ได้รับสภาวะแล้งเพียงอย่างเดียว (Yang, Hu, Li, Wu, and Qian, 2009) การเคลือบเมล็ดข้าวสาลีด้วยไคโตซานส่งผลให้ปริมาณ MDA ลดลงในสภาวะแล้งเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับไคโตซาน (Zeng and Luo, 2012) และการแช่เมล็ดดอกคำฝอยด้วยไคโตซานก่อน

การปลูกในสภาวะแล้ง เมื่อศึกษาปริมาณ MDA พบว่า ปริมาณ MDA ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับไคโตซานและเจริญเติบโตในสภาวะแล้ง (Mahdavi et al., 2011) ไคโตซานมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความเสถียรของเยื่อหุ้มเซลล์ในระหว่างเกิดความเครียดจากความแห้งแล้ง โดยไคโตซานสามารถลดความเสียหายจาก ROS ต่อเยื่อหุ้มเซลล์และลดระดับของอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเปอร์ออกไซด์ไฮดรอกซิลอนุมูลอิสระ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยผ่านการกระตุ้นเอนไซม์ ROS (XU et al., 2007)

3.9 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP

ผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH พบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียว และผลการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP พบว่า การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hernández-Hernández et al. (2018) ศึกษาผลของไคโตซานร่วมกับ NaCl ในผลมะเขือเทศ พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าในมะเขือเทศในกลุ่มควบคุมและได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว

3.10 ฟีนอล

จากผลการทดลอง NaCl มีผลให้ปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนทานตะวันลดลง แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dash and Panda (2001) ศึกษาในถั่วดำโดยให้ NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าเมื่อ NaCl มีความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลให้พืชมีการสร้างปริมาณฟีนอลที่ลดลง Ksouri et al. (2007) ศึกษาปริมาณฟีนอลลดลงใน *Cakile maritima* ที่ปลูกในอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงที่มี NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า NaCl ความเข้มข้น 400 mM มีปริมาณฟีนอลต่ำกว่าในพืชที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 100 mM NaCl ความเข้มข้นสูงส่งผลให้พืชสร้างฟีนอลได้น้อยกว่า NaCl ความเข้มข้นต่ำ นอกจากนี้มีงานวิจัยของ Lim et al. (2012) ศึกษาปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนบักวีต พบว่า การพ่น NaCl ความเข้มข้น 0 10 และ 200 mM ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลลดลงต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับ NaCl

ความเข้มข้น 50 และ 100 mM และจากงานวิจัยของ Świeca (2015) พบว่า NaCl ความเข้มข้น 300 mM ส่งผลให้ถั่วเลนทิลมีปริมาณฟีนอลต่ำกว่าถั่วที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 200 mM

ส่วนไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ แก่เมล็ดทานตะวันก่อนเพาะ ทำให้ปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนทานตะวันเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม จากการวิจัยของ W. Khan, Prithiviraj, and Smith (2003) พบว่า ไคโตซานที่ให้แก่ต้นถั่วเหลือง ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และ Srinuanporn and Asawatreratanakul (2016) พบว่า การฉีดพ่นไคโตซานความเข้มข้น 50 200 และ 500 ppm แก่ข้าวสาลีหีดพัทลุง ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลเพิ่มสูงกว่ากลุ่มควบคุม โดยปริมาณของฟีนอลจะเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของไคโตซานที่สูงขึ้น การให้ NaCl แก่ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานในการแช่เมล็ดก่อนเพาะ พบว่า ปริมาณฟีนอลของต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซาน จะสูงกว่าปริมาณฟีนอลที่ได้รับ NaCl อย่างเดียว โดยเฉพาะที่ NaCl ความเข้มข้นสูง การแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลในต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณสูงกว่าปริมาณฟีนอลของกลุ่มควบคุม และต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM เพียงอย่างเดียว เนื่องจาก ไคโตซานมีบทบาทในการกระตุ้นการป้องกันตนเอง โดยการไปกระตุ้นการทำงานของ phenylalanine ammonialyase ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารประกอบฟีนอล (Vander, Vårum, Domard, El Gueddari, and Moerschbacher, 1998) และในสภาวะที่มีไคโตซานจะกระตุ้นการทำงานของ PAL ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการของ phenylpropanoid pathway ที่มีบทบาทสำคัญในการสร้างประกอบฟีนอลภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (W. Khan et al., 2003)

3.12 ฟลาโวนอยด์

ผลการศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ พบว่า การพ่นต้นอ่อนทานตะวันด้วย NaCl และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และพบว่าการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ร่วมกับการพ่นด้วย NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่พ่นด้วย NaCl เพียงอย่างเดียว จากการศึกษาของ Chutipaijit et al. (2009) พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์ในข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ความเข้มข้น 100 mM เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับ NaCl ต่อเนื่อง เป็นเวลา 4 วัน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Taïbi et al. (2016) ที่ศึกษาในถั่วแขกที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ความเข้มข้น 50 100 และ 200 mM พบว่า การให้สารละลาย

NaCl แก่พืชทางรากอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ในพืชเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เนื่องจากปริมาณฟลาโวนอยด์ที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลจากพืชอยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตจึงชักนำให้เกิดการสร้างสารในกลุ่มของสารประกอบเพิ่มขึ้น เป็นกลไกการป้องกันตัวของพืชเมื่อได้รับความเครียดจากสภาพแวดล้อม (Grace and Logan, 2000) แต่ในการทดลองครั้งนี้พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมอาจเป็นผลเนื่องมาจากระยะเวลาที่พืชได้รับ NaCl เนื่องจากทดลองในครั้งนี้ได้ให้ NaCl ในระยะสั้น ไม่ให้พืชอยู่ในสภาวะเครียดเป็นเวลานาน เพื่อป้องกันต้นอ่อนของพืชไม่ให้มีลักษณะภายนอกที่ไม่ดีไม่เหมาะแก่การนำมารับประทาน เนื่องจากต้นอ่อนทานตะวันเป็นพืชที่นิยมนำมารับประทานสด

3.13 ปริมาณโพรลีน

ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันที่พ่นด้วย NaCl ความเข้มข้น 400 600 และ 800 mM เพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้น NaCl ที่สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ma et al. (2012) ศึกษาผลของปริมาณโพรลีนในต้นกล้าข้าวสาลีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ส่งผลให้ปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับเมล็ดดอกคำฝอยและทานตะวันที่เจริญเติบโตในจานเพาะเมล็ดที่มี NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ NaCl ที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Jabeen and Ahmad, 2013) จากการรายงานของ Ray, Bhuiyan, Hossain, Hasan, and Sharmin (2016) พบว่า การปลูกถั่วเขียวในกระถางที่มี NaCl ส่งผลให้มีปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้การปลูกถั่วเหลือง และข้าวหอมพันธุ์ไทยในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl เข้มข้นต่าง ๆ พบว่าปริมาณโพรลีนในพืชเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของ NaCl ที่เพิ่มขึ้น (Manyanon and Banharn, 2016) (U-bonrat, Janprasert, and Pongprayoon, 2017) และการแช่เมล็ดด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% (w/v) ส่งผลให้ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากการศึกษา ผลของการแช่เมล็ดข้าวสาลีด้วยไคโตซานก่อนปลูกในสารละลายธาตุอาหาร ส่งผลให้ปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Ma et al., 2012)

NaCl ที่ความเข้มข้นต่ำ (400 mM) ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนที่ได้รับและไม่ได้รับไคโตซานไม่แตกต่างกัน เมื่อความเข้มข้นของ NaCl เพิ่มขึ้น ปริมาณโพรลีนในต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับและไม่ได้รับไคโตซานเพิ่มขึ้นด้วย ต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับไคโตซานทั้ง 2 ความเข้มข้น เมื่อได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM จะมีปริมาณโพรลีนสูงกว่าต้นที่ได้รับไคโตซานแต่ไม่ได้รับ

NaCl และสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ปริมาณโพรงนั้นต่ำกว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ได้รับ NaCl ความเข้มข้น 800 mM โดยไม่ได้รับไคโตซาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ma et al. (2012) ที่พบว่า การแช่เมล็ดข้าวสาลีด้วยไคโตซานก่อนการปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl ส่งผลให้ปริมาณโพรงเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Jabeen and Ahmad (2013) ที่แช่เมล็ดดอกคำฝอยและเมล็ดทานตะวันในไคโตซานความเข้มข้น 0.25 0.50 และ 0.75% ก่อนนำมาปลูกในจานเพาะที่มี NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ปริมาณโพรงเพิ่มสูงขึ้นในเมล็ดที่แช่ด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.50 และ 0.75% นอกจากนี้งานวิจัยของ Martínez et al. (2015) ที่ศึกษาผลของเมล็ดข้าวที่แช่ด้วยไคโตซาน ก่อนนำมาปลูกในกระถางที่มี NaCl พบว่าไคโตซานส่งผลให้ปริมาณโพรงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่า การพ่นไคโตซานให้แก่ใบฝรั่งในสภาวะแล้ง ส่งผลให้ปริมาณโพรงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโพรงมีผลในการป้องกันเซลล์พืชในสภาวะแล้ง (Jiao et al., 2012) เนื่องจากในสภาวะในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น เกลือ ความแล้ง รังสีอัลตราไวโอเลต รวมถึงความเครียดออกซิเดทีฟ ส่งผลให้ปริมาณ โพรงเพิ่มขึ้น โดยโพรงมีบทบาทสำคัญในการช่วยป้องกันการทำลายโปรตีน DNA เอนไซม์ในการต้านอนุมูลอิสระ ปรับสมดุลของแรงดันเต่ง (turgor pressure) ภายในเซลล์ และป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ที่อาจเกิดอันตรายจากความเครียดออกซิเดทีฟ เพื่อให้พืชสามารถอยู่รอดภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโต (Liang, Zhang, Natarajan, and Becker, 2013)

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษา พบว่า การพ่น NaCl ให้กับต้นอ่อนทานตะวันที่อายุ 3 5 และ 7 หลังออกส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งในส่วนของความยาวลำต้นและน้ำหนักสดลำต้น และกระทบต่อความยาวรากและน้ำหนักสดรากเล็กน้อย ส่งผลให้ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง และนอกจากนี้พบว่า NaCl ส่งผลให้มีการสะสมของโพรง MDA รวมทั้ง สารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น NaCl ที่ละลายอยู่ในดินและน้ำ ทำให้ค่า water potential ในดินลดต่ำกว่าภายในต้นพืช ทำให้พืชดูดน้ำเข้าสู่เซลล์ได้น้อยลง ลดแรงดันเต่งของเซลล์ส่งผลให้พืชขาดน้ำ (Meekaew et al., 2010) และ NaCl สามารถชักนำให้มีการสะสมของกรดแอบไซซิก เป็นผลให้ปากใบพืชปิดส่งผลให้ปริมาณ CO_2 เข้าสู่ใบพืชได้น้อยลงทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเกิดได้น้อยลง NaCl ทำให้เกิดการสะสมของ Na^+ ภายในเซลล์ของพืชยับยั้งการดูดแร่ธาตุที่สำคัญจากดินเข้าสู่รากพืชส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง (Fraire Velázquez and Balderas Hernández, 2013) ส่งผลให้ การปริมาณ รงควัตถุใน

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง อาจเกิดจากความไม่เสถียรของโปรตีนเชิงซ้อนและการทำลายคลอโรฟิลล์โดยเอนไซม์ย่อยสลายคลอโรฟิลล์ (Reddy, 1986) เมื่อให้ไคโตซานร่วมกับ NaCl พบว่า การเจริญเติบโตของพืชเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับไคโตซานเป็นผลเนื่องมาจากไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในไคโตซาน โดยไคโตซานจะมีปริมาณไนโตรเจนประมาณร้อยละ 8.7 (Ohta et al., 1999) และพบว่า ในทางการเกษตรได้นำไคโตซานมาช่วยให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้นในสภาวะแล้ง ความเครียดจากความเค็ม อุณหภูมิต่ำ เป็นต้น (Katiyar et al., 2015)

นอกจากนี้ NaCl ส่งผลให้มีการสะสมอนุมูลอิสระ ในกลุ่มของ ROS ซึ่ง ROS จะเข้าทำลายกรดไขมันไม่อิ่มตัวบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดความเสียหาย ทำให้เกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันเพิ่มขึ้น (Dionisio-Sese and Tobita, 1998) การให้ไคโตซานแก่พืชก่อนได้รับ NaCl มีผลในการช่วยป้องกันเซลล์พืชจากการถูกทำลายในสภาวะความเครียดจาก NaCl แซ่เมลดด้วยไคโตซานก่อนการเจริญเติบโตในสภาวะที่มี NaCl ทำให้ปริมาณ MDA ลดลงต่ำกว่าในพืชที่เจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่มีไคโตซานในดอกคำฝอยและทานตะวัน (Jabeen and Ahmad, 2013) ข้าว (Martínez et al., 2015) ข้าวสาลี (Zou et al., 2015) พืชมีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้โดยการสะสมโปรตีนเพิ่มขึ้น โดยโปรตีนมีบทบาทสำคัญในการช่วยป้องกันการทำลายโปรตีน DNA เอนไซม์ในการต้านอนุมูลอิสระ ปรับสมดุลของแรงดันต่ง (turgor pressure) ภายในเซลล์ และป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ที่อาจเกิดอันตรายจากความเครียดออกซิเดทีฟ เพื่อให้พืชสามารถอยู่รอดภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโต (Liang, Zhang, Natarajan, and Becker, 2013) และ ROS ที่เกิดจากความเครียดจาก NaCl ยังกระตุ้นให้พืชมีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นเพื่อให้พืชอยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Hichem and Mounir, 2009) เมื่อให้ไคโตซานร่วมกับ NaCl ทำให้การเจริญเติบโตของพืชสูงกว่าได้รับ NaCl เพียงอย่างเดียว เนื่องจากไคโตซานยังมีส่วนช่วยในการทำให้พืชสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเค็ม ความแล้ง ความเย็น และชักนำให้เกิดการสร้างสารประกอบทุติยภูมิในพืชหรือป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Katiyar et al., 2015) โดยไคโตซานจัดเป็นอิทธิพลตามธรรมชาติที่ชักนำหรือยับยั้งการสังเคราะห์สารประกอบทุติยภูมิของพืช เพื่อให้พืชอยู่รอดภายใต้ปัจจัยที่ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตทั้งปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางชีวภาพ พืชจะมีการตอบสนองต่อไคโตซานอิทธิพลทางด้านสรีรวิทยาโดยเฉพาะการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของสารประกอบฟีนอล (Ferri and Tassoni, 2011)

จากการทดลองนี้ พบว่า การใช้ NaCl ความเข้มข้น 600 – 800 mM จะส่งผลให้ปฏิกิริยาแอนติออกแดนทีในต้นอ่อนทานตะวันมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค ส่วนการใช้ไคโตซานร่วมกับ NaCl นั้นอาจมีผลดีในช่วงของ NaCl ความเข้มข้นปานกลาง (600 mM) แต่เมื่อดูถึงความเป็นประโยชน์ของปฏิกิริยาแอนติออกแดนทีในต้นอ่อนทานตะวันก็ยังคงต่ำกว่าการใช้ NaCl เพียงอย่างเดียวที่อัตราของ NaCl ความเข้มข้นสูง (800 mM) ในการทดลองนี้

ข้อเสนอแนะ

1. สามารถศึกษาผลของ NaCl ต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธีการให้ NaCl วิธีการอื่น ๆ ได้ เช่น การให้ทางราก ทางเมล็ด หรือการฉีดพ่นบริเวณผิวดินที่ปลูก หรือการให้ NaCl อัตราต่ำอย่างต่อเนื่อง
2. สามารถศึกษาโดยใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง หรือสูงขึ้น โดยสามารถให้ได้ทั้งทางเมล็ด การฉีดพ่นบริเวณลำต้น ผิวดิน หรือการให้ทางรากพืช
3. สามารถศึกษาผลของ NaCl และไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในพืชชนิดอื่นได้ ไม่ว่าจะเป็น พืชหัว ผักสลัด หรือต้นอ่อนพืช เช่น หัวไชเท้า ถั่วลันเตา ถั่วงอก บร็อคโคลี่ เป็นต้น

บรรณานุกรม

- Abraha, B., and Yohannes, G. (2013). The role of seed priming in improving seedling growth of maize (*Zea mays* L.) under salt stress at field conditions. *Agricultural Sciences*, 4(12), 666-672.
- Acosta-Motos, R. J., Ortuño, F. M., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, J. M., and Hernandez, A. J. (2017). Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. *Agronomy*, 7(1). doi:10.3390/agronomy7010018
- Agastian, P., Kingsley, S., and Vivekanandan, M. (2000). Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, 38(2), 287-290.
- Aghaleh, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H., and Razavi, K. (2009). Salt stress effects on growth, pigments, proteins and lipid peroxidation in *Salicornia persica* and *S. europaea*. *Biologia Plantarum*, 53(2), 243-248.
- Al-Khalid, T., and El-Naas, M. H. (2012). Aerobic biodegradation of phenols: a comprehensive review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(16), 1631-1690.
- Ames, B. N., Shigenaga, M. K., and Hagen, T. M. (1993). Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(17), 7915-7922.
- Amirjani, M. R. (2011). Effect of salinity stress on growth, sugar content, pigments and enzyme activity of rice. *International Journal of Botany*, 7(1), 73-81.
- Ayala-Astorga, G. I., and Alcaraz-Meléndez, L. (2010). Salinity effects on protein content, lipid peroxidation, pigments, and proline in *Paulownia imperialis* (Siebold & Zuccarini) and *Paulownia fortunei* (Seemann & Hemsley) grown in vitro. *Electronic Journal of Biotechnology*, 13(5), 13-14.
- Bagchi, K., and Puri, S. (1998). Free radicals and antioxidants in health and disease: a review.
- Balasundram, N., Sundram, K., and Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants

- and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food chemistry*, 99(1), 191-203.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., and Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39(1), 205-207.
- Batool, N., Shahzad, A., Ilyas, N., and Noor, T. (2014). Plants and salt stress. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(9), 582.
- Bharti, N., Pandey, S. S., Barnawal, D., Patel, V. K., and Kalra, A. (2016). Plant growth promoting rhizobacteria *Dietzia natronolimnaea* modulates the expression of stress responsive genes providing protection of wheat from salinity stress. *Scientific Reports*, 6, 34768. doi:10.1038/srep34768
<https://www.nature.com/articles/srep34768#supplementary-information>
- Boonlertnirun, S., Boonraung, C., and Suvanasara, R. (2017). Application of chitosan in rice production. *Journal of metals, materials and minerals*, 18(2).
- Bor, M., Özdemir, F., and Türkan, I. (2003). The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. *Plant Science*, 164(1), 77-84.
- Bybordi, A., and Tabatabaei, J. (2009). Effect of Salinity Stress on Germination and Seedling Properties in Canola Cultivars (*Brassica napus* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(2).
- Cabrera, G., González, D., Silva, C., Bernardo, Y., Gidekel, M., Osorio, J., . . . de la Paix, D. (2010). Effect of chitosan on growth and development of highbush blueberry plants. *growth*, 8, 9.
- Carillo, P., Annunziata, M. G., Pontecorvo, G., Fuggi, A., and Woodrow, P. (2011). Salinity stress and salt tolerance *Abiotic stress in plants-mechanisms and adaptations*: InTech.
- Cha-Um, S., and Kirdmanee, C. (2009). Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. *Pak. J. Bot*, 41(1), 87-98.
- Chartzoulakis, K., and Klapaki, G. (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to

- NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 86(3), 247-260.
- Cho, M., No, H., and Prinyawiwatkul, W. (2008). Chitosan treatments affect growth and selected quality of sunflower sprouts. *Journal of food science*, 73(1), S70-S77.
- Chutipaijit, S., Cha-Um, S., and Sompornpailin, K. (2009). Differential accumulations of proline and flavonoids in indica rice varieties against salinity. *Pak J Bot*, 41(5), 2497-2506.
- Dash, M., and Panda, S. (2001). Salt stress induced changes in growth and enzyme activities in germinating *Phaseolus mungo* seeds. *Biologia Plantarum*, 44(4), 587-589.
- Dereven'kov, I. A., Hannibal, L., Dürr, M., Salnikov, D. S., Thi, T. T. B., Makarov, S. V., . . . Ivanović-Burmazović, I. (2017). Redox turnover of organometallic B12 cofactors recycles vitamin C: Sulfur assisted reduction of dehydroascorbic acid by cob (II) alamin. *Journal of Organometallic Chemistry*, 839, 53-59.
- Dionisio-Sese, M. L., and Tobita, S. (1998). Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. *Plant Science*, 135(1), 1-9.
- Drewnowski, A., and Gomez-Carneros, C. (2000). Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *The American journal of clinical nutrition*, 72(6), 1424-1435.
- Dudonné, S., Poupard, P., Coutiere, P., Woillez, M., Richard, T., Mérillon, J.-M., and Vitrac, X. (2011). Phenolic composition and antioxidant properties of poplar bud (*Populus nigra*) extract: individual antioxidant contribution of phenolics and transcriptional effect on skin aging. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(9), 4527-4536.
- Dzung, N. A., Khanh, V. T. P., and Dzung, T. T. (2011). Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. *Carbohydrate polymers*, 84(2), 751-755.
- Dzung, P. D., Phu, D. V., Du, B. D., Ngoc, L. S., Duy, N. N., Hiet, H. D., . . . Hien, N. Q. (2017). Effect of foliar application of oligochitosan with different molecular weight on growth promotion and fruit yield enhancement of chili plant. *Plant Production Science*, 20(4), 389-395.
- El-baky, A., Hanaa, H., Amal, A., and Hussein, M. (2003). Influence of salinity on lipid

- peroxidation, antioxidant enzymes and electrophoretic patterns of protein and isoenzymes in leaves of some onion cultivars. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2(8), 633-638.
- Enujiugha, V. N., Talabi, J. Y., Malomo, S. A., and Olagunju, A. I. (2012). DPPH radical scavenging capacity of phenolic extracts from African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*). *Food and Nutrition Sciences*, 3(1), 7.
- Fan, W., Zhu, X., Wu, L., Wu, Z., Li, D., Huang, F., and He, H. (2015). *Propofol: An anesthetic possessing neuroprotective effects* (Vol. 19).
- Ferri, M., and Tassoni, A. (2011). *Chitosan as elicitor of health beneficial secondary metabolites in in vitro plant cell cultures*.
- Fraire Velázquez, S., and Balderas Hernández, V. E. (2013). *Abiotic stress in plants and metabolic responses*: InTech.
- Frankel, E. N. (1996). Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality. *Food chemistry*, 57(1), 51-55.
- Gao, X., Li, M., Gao, Z., Li, C., and Sun, Z. (2009). Allelopathic effects of *Hemistepta lyrata* on the germination and growth of wheat, sorghum, cucumber, rape, and radish seeds. *Weed Biology and management*, 9(3), 243-249.
- Grace, S. C., and Logan, B. A. (2000). Energy dissipation and radical scavenging by the plant phenylpropanoid pathway. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 355(1402), 1499-1510.
- Grenfell-Lee, D., Zeller, S., Cardoso, R., and Pucaj, K. (2014). The safety of β -carotene from *Yarrowia lipolytica*. *Food and chemical toxicology*, 65, 1-11.
- Guan, Y.-j., Hu, J., Wang, X.-j., and Shao, C.-x. (2009). Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Journal of Zhejiang University Science B*, 10(6), 427-433.
- Guo, L., Yang, R., Wang, Z., Guo, Q., and Gu, Z. (2014). Effect of NaCl stress on health-promoting compounds and antioxidant activity in the sprouts of three broccoli cultivars. *International journal of food sciences and nutrition*, 65(4), 476-481.

- Halliwell, B. (1995). *How to characterize an antioxidant: an update*. Paper presented at the Biochem soc symp.
- Hamed, I., Özogul, F., and Regenstein, J. M. (2016). Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. *Trends in Food Science & Technology*, 48, 40-50.
- Heim, K. E., Tagliaferro, A. R., and Bobilya, D. J. (2002). Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of nutritional biochemistry*, 13(10), 572-584.
- Hernández-Hernández, H., González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., and Juárez-Maldonado, A. (2018). Effects of chitosan-PVA and Cu nanoparticles on the growth and antioxidant capacity of tomato under saline stress. *Molecules*, 23(1), 178.
- Hichem, H., and Mounir, D. (2009). Differential responses of two maize (*Zea mays* L.) varieties to salt stress: changes on polyphenols composition of foliage and oxidative damages. *Industrial crops and Products*, 30(1), 144-151.
- Ibrahim, M. H., Jaafar, H. Z., Rahmat, A., and Rahman, Z. A. (2012). Involvement of nitrogen on flavonoids, glutathione, anthocyanin, ascorbic acid and antioxidant activities of Malaysian medicinal plant *Labisia pumila* Blume (Kacip Fatimah). *International journal of molecular sciences*, 13(1), 393-408.
- Ilium, L. (1998). Chitosan and its use as a pharmaceutical excipient. *Pharmaceutical research*, 15(9), 1326-1331.
- Ismail, A., Marjan, Z. M., and Foong, C. W. (2004). Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food chemistry*, 87(4), 581-586.
- Jabeen, N., and Ahmad, R. (2013). The activity of antioxidant enzymes in response to salt stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings raised from seed treated with chitosan. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(7), 1699-1705.
- Jaleel, C. A., Gopi, R., Sankar, B., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sridharan, R., and Panneerselvam, R. (2007). Studies on germination, seedling vigour, lipid

- peroxidation and proline metabolism in *Catharanthus roseus* seedlings under salt stress. *South African Journal of Botany*, 73(2), 190-195.
- Jamil, M., Lee, K. J., Kim, J. M., Kim, H.-S., and Rha, E. S. (2007). Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. *Scientia Agricola*, 64(2), 111-118.
- Jayakumar, R., Prabakaran, M., Kumar, P. S., Nair, S., and Tamura, H. (2011). Biomaterials based on chitin and chitosan in wound dressing applications. *Biotechnology advances*, 29(3), 322-337.
- Jiao, Z., Li, Y., Li, J., Xu, X., Li, H., Lu, D., and Wang, J. (2012). Effects of exogenous chitosan on physiological characteristics of potato seedlings under drought stress and rehydration. *Potato Research*, 55(3-4), 293-301.
- Kähkönen, M. P., Hopia, A. I., Vuorela, H. J., Rauha, J.-P., Pihlaja, K., Kujala, T. S., and Heinonen, M. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(10), 3954-3962.
- Katiyar, D., Hemantaranjan, A., and Singh, B. (2015). Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20(1), 1-9.
- Kaur, G., Kathariya, R., Bansal, S., Singh, A., and Shahakar, D. (2016). Dietary antioxidants and their indispensable role in periodontal health. *journal of food and drug analysis*, 24(2), 239-246.
- Khan, M. N., Siddiqui, M. H., Mohammad, F., Naeem, M., and Khan, M. M. A. (2010). Calcium chloride and gibberellic acid protect linseed (*Linum usitatissimum* L.) from NaCl stress by inducing antioxidative defence system and osmoprotectant accumulation. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(1), 121.
- Khan, W., Prithiviraj, B., and Smith, D. L. (2003). Chitosan and chitin oligomers increase phenylalanine ammonia-lyase and tyrosine ammonia-lyase activities in soybean leaves. *Journal of plant physiology*, 160(8), 859-863.
- Khosravinejad, F., Heydari, R., and Farboodnia, T. (2008). Effects of salinity on photosynthetic pigments, respiration, and water content in two barley varieties. *Pak*

J Biol Sci, 11, 2438-2442.

- Kim, D.-O., Chun, O. K., Kim, Y. J., Moon, H.-Y., and Lee, C. Y. (2003). Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(22), 6509-6515.
- Kim, H.-J., Chen, F., Wang, X., and Rajapakse, N. C. (2005). Effect of chitosan on the biological properties of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(9), 3696-3701.
- Kim, H.-J., Fonseca, J. M., Choi, J.-H., Kubota, C., and Kwon, D. Y. (2008). Salt in irrigation water affects the nutritional and visual properties of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(10), 3772-3776.
- Koca, H., Bor, M., Özdemir, F., and Türkan, I. (2007). The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Environmental and experimental botany*, 60(3), 344-351.
- Ksouri, R., Megdiche, W., Debez, A., Falleh, H., Grignon, C., and Abdelly, C. (2007). Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(3-4), 244-249.
- Lian-Ju, M., Yue-Ying, L., Lan-Lan, W., Xue-Mei, L., Liu, T., and Bu, N. (2014). Germination and physiological response of wheat (*Triticum aestivum*) to pre-soaking with oligochitosan. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16(4).
- Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K., and Becker, D. F. (2013). Proline mechanisms of stress survival. *Antioxidants & redox signaling*, 19(9), 998-1011.
- Lim, J.-H., Park, K.-J., Kim, B.-K., Jeong, J.-W., and Kim, H.-J. (2012). Effect of salinity stress on phenolic compounds and carotenoids in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) sprout. *Food chemistry*, 135(3), 1065-1070.
- Lintschinger, J., Fuchs, N., Moser, H., Jäger, R., Hlebeina, T., Markolin, G., and Gössler, W. (1997). Uptake of various trace elements during germination of wheat, buckwheat and quinoa. *Plant Foods for Human Nutrition*, 50(3), 223-237.
- Ma, L., Li, Y., Yu, C., Wang, Y., Li, X., Li, N., . . . Bu, N. (2012). Alleviation of exogenous oligochitosan on wheat seedlings growth under salt stress. *Protoplasma*, 249(2),

393-399.

- Mahantesh, S., Gangawane, A., and Patil, C. (2012). Free radicals, antioxidants, diseases and phytomedicines in human health: Future prospects. *World Research Journal of Medicinal & Aromatic Plants*, 1(1), 6-10.
- Mahdavi, B., Modarres Sanavy, S. A. M., Aghaalikhani, M., Sharifi, M., and Dolatabadian, A. (2011). Chitosan improves osmotic potential tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings. *Journal of Crop Improvement*, 25(6), 728-741.
- Mahdavi, B., and Rahimi, A. (2013). Seed priming with chitosan improves the germination and growth performance of ajowan (*Carum copticum*) under salt stress. *EurAsian Journal of BioSciences*, 7.
- Manyanon, N., and Banharn, S. (2016). Effect of Salinity on Physiological responses of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cv. Nakornsawan 1 and Chiangmai 60. *Thai Agricultural Research Journal*, 34(1), 54-64 (in thai).
- Martin, J. F., Gudiña, E., and Barredo, J. L. (2008). Conversion of β -carotene into astaxanthin: Two separate enzymes or a bifunctional hydroxylase-ketolase protein. *Microbial Cell Factories*, 7(1), 3. doi:10.1186/1475-2859-7-3
- Martínez, G., Reyes, G., Falcón, R., and Núñez, V. (2015). Effect of seed treatment with chitosan on the growth of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings cv. INCA LP-5 in saline medium. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 143-150.
- McCue, K. F., and Hanson, A. D. (1990). Drought and salt tolerance: towards understanding and application. *Trends in Biotechnology*, 8, 358-362.
- Meekaew, W., Kanthaprap, N., and Laloknam, S. (2010). Adaptation of plant under salinity. *Advanced Sciences Journal*, 2(10), 28-37 (in thai).
- Mondal, M. M. A., Malek, M., Puteh, A., Ismail, M., Ashrafuzzaman, M., and Naher, L. (2012). Effect of foliar application of chitosan on growth and yield in okra. *Australian Journal of Crop Science*, 6(5), 918.
- Motamedi, M., and Farhoudi, R. (2010). Effect of salt stress on antioxidant activity and seedling growth of safflower cultivars. *Int. J. Appl*, 5(3), 367-375.
- Mozafariyan, M., Saghafi, K., Bayat, A. E., and Bakhtiari, S. (2013). The effects of different

- sodium Chloride concentrations on the growth and photosynthesis parameters of tomato (*Lycopersicum esculentum* cv. Foria). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(4), 203.
- No, H., Lee, K., Kim, I., Park, M., Kim, S., and Meyers, S. (2003). Chitosan treatment affects yield, ascorbic acid content, and hardness of soybean sprouts. *Journal of food science*, 68(2), 680-685.
- No, H., Meyers, S. P., Prinyawiwatkul, W., and Xu, Z. (2007). Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: a review. *Journal of food science*, 72(5), R87-R100.
- Ohta, K., Taniguchi, A., Konishi, N., and Hosoki, T. (1999). Chitosan treatment affects plant growth and flower quality in *Eustoma grandiflorum*. *HortScience*, 34(2), 233-234.
- Ouyang, S., and Xu, L. (2003). Effects of chitosan on nutrient qualities and some agronomic characters of non-heading Chinese cabbage. *Plant Physiology Communications*, 39(1), 21-24.
- Pajak, P., Socha, R., Gałkowska, D., Rożnowski, J., and Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food chemistry*, 143, 300-306.
- Parida, A., Das, A. B., and Das, P. (2002). NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins, and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. *Journal of Plant Biology*, 45(1), 28-36.
- Parida, A. K., Das, A., and Mitra, B. (2004). Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. *Trees*, 18(2), 167-174.
- Pattamapusit, W., and Rungcharoenthong, P. (2559). Effect of chitosan on growth, yield and salicylic acid content in bird chili. *KHON KAEN AGR*, 44(1), 141-146 (in thai).
- Phansawan, B. (2013). Free radicals, antioxidants and antioxidant activity determination. *Thai Science and Technology Journal (in thai)*.
- Ray, S. R., Bhuiyan, M. J. H., Hossain, M. A., Hasan, A. K., and Sharmin, S. (2016).

- Chitosan ameliorates growth and biochemical attributes in mungbean varieties under saline condition. *Research in Agriculture Livestock and Fisheries*, 3(1), 45-51.
- Reddy, M. (1986). Changes in pigment composition. Hill reaction activity and saccharides metabolism in bajra (*Penisetum typhoides*) leaves under NaCl salinity. *Photosynthetica*, 20, 50-55.
- Rice-Evans, C., Miller, N., and Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in plant science*, 2(4), 152-159.
- Sairam, R., Srivastava, G., Agarwal, S., and Meena, R. (2005). Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, 49(1), 85.
- Salachna, P., and Zawadzińska, A. (2014). Effect of chitosan on plant growth, flowering and corms yield of potted freesia. *Journal of Ecological Engineering*, 15(3).
- Salimgandomi, S., and Shabrangi, A. (2016). The effect of Chitosan on antioxidant activity and some secondary metabolites of *Mentha piperita* L. *Journal of Pharmaceutical and Health Sciences*, 4(2), 135-142.
- Saravanavel, R., Ranganathan, R., and Anantharaman, P. (2011). Effect of sodium chloride on photosynthetic pigments and photosynthetic characteristics of *Avicennia officinalis* seedlings. *Recent Research in Science and Technology*, 3(4).
- Shaygan, M., Baumgartl, T., and Arnold, S. (2017). Germination of *Atriplex halimus* seeds under salinity and water stress. *Ecological Engineering*, 102, 636-640.
- Sheikha, S., and Al-Malki, F. (2011). Growth and chlorophyll responses of bean plants to the chitosan applications. *European Journal of Scientific Research*, 50(1), 124-134.
- Shi, L.-E., Zhang, Z.-L., Xing, L.-Y., Yang, D.-D., Guo, X.-F., and Tang, Z.-X. (2011). Antioxidants extraction by supercritical CO₂. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(3), 300-308.
- Shrivastava, P., and Kumar, R. (2015). Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi journal of*

biological sciences, 22(2), 123-131.

Siriamornpun, S. (2014). *Antioxidants in food* (1 ed.): Bangkok : Oadian store (in thai).

Slavin, J. L., and Lloyd, B. (2012). Health benefits of fruits and vegetables. *Advances in nutrition*, 3(4), 506-516.

Srinuanparn, S., and Asawatreratanakul, P. (2016). Effect of chitosan on antioxidant contents and resistance of rice blast disease in Sung Yod Phatthalung rice. *RMUTP Research Journal*, 10(2), 114-124 (in thai).

Sumanta, N., Haque, C. I., Nishika, J., and Suprakash, R. (2014). Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents. *Research Journal of Chemical Sciences ISSN*, 2231, 606X.

Sutajit, M., and Angvanich, W. (2012). *Free radicals and antioxidants* (1 ed.): Bangkok : The society for free radical research-thai. (in thai)

Świeca, M. (2015). Elicitation with abiotic stresses improves pro-health constituents, antioxidant potential and nutritional quality of lentil sprouts. *Saudi journal of biological sciences*, 22(4), 409-416.

Szűcs, R., and Varga, I. S. I. (2002). Total antioxidant power in some species of Labiatae: adaptation of FRAP method. *Acta Biologica Szegediensis*, 46(3-4), 125-127.

Taïbi, K., Taïbi, F., Abderrahim, L. A., Ennajah, A., Belkhodja, M., and Mulet, J. M. (2016). Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany*, 105, 306-312.

U-bonrat, T., Janprasert, K., and Pongprayoon, W. (2017). Physiological Responses and Clustering of Four Aromatic Rice Cultivars to NaCl Salt Stress. *Burapha science journal*, 22(2), 233-247 (in thai).

Udomprasert, N. (2015). *Plant stress physiology* (1 ed.): Bangkok : Chulalongkorn Publishing (in thai).

Vajragupta, O. (2006). *Radical scavenging agents*: Bangkok : P.S.Print (in thai).

- Vander, P., Vårum, K. M., Domard, A., El Gueddari, N. E., and Moerschbacher, B. M. (1998). Comparison of the ability of partially N-acetylated chitosans and chitooligosaccharides to elicit resistance reactions in wheat leaves. *Plant physiology*, 118(4), 1353-1359.
- Verma, N., and Shukla, S. (2015). Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. *Journal of applied research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4), 105-113.
- Wahid, A., and Ghazanfar, A. (2006). Possible involvement of some secondary metabolites in salt tolerance of sugarcane. *Journal of plant physiology*, 163(7), 723-730.
- XU, Q.-j., NIAN, Y.-g., JIN, X.-c., YAN, C.-z., Jin, L., and Jiang, G.-m. (2007). Effects of chitosan on growth of an aquatic plant (*Hydrilla verticillata*) in polluted waters with different chemical oxygen demands. *Journal of Environmental Sciences*, 19(2), 217-221.
- Yang, F., Hu, J., Li, J., Wu, X., and Qian, Y. (2009). Chitosan enhances leaf membrane stability and antioxidant enzyme activities in apple seedlings under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 58(2), 131-136.
- Yuan, G., Wang, X., Guo, R., and Wang, Q. (2010). Effect of salt stress on phenolic compounds, glucosinolates, myrosinase and antioxidant activity in radish sprouts. *Food chemistry*, 121(4), 1014-1019.
- Zeng, D., and Luo, X. (2012). Physiological effects of chitosan coating on wheat growth and activities of protective enzyme with drought tolerance. *Open Journal of Soil Science*, 2(03), 282.
- Zou, P., Li, K., Liu, S., Xing, R., Qin, Y., Yu, H., . . . Li, P. (2015). Effect of chitooligosaccharides with different degrees of acetylation on wheat seedlings under salt stress. *Carbohydrate polymers*, 126, 62-69.



ภาคผนวก

ตารางแสดงค่าการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตาราง (1) ข้อมูลทางสถิติแสดงอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อความยาว และน้ำหนักสดลำต้นของต้นอ่อนทานตะวัน

พรีทรีเมนต์	ความยาวลำต้น				น้ำหนักสดลำต้น				
	df	SS	MS	F	Sig.	SS	MS	F	Sig.
NaCl	3	57.895	19.298	9.958	0.000*	0.294	0.098	9.370	0.000*
ไคโตซาน	2	3.792	1.896	0.978	0.381	0.003	0.001	0.120	0.887
NaCl x ไคโตซาน	6	26.278	4.380	2.260	0.048*	0.089	0.915	1.422	0.219
Error		129.839	1.938			0.732	0.010		

ตัวเลขที่ตามด้วย* แสดงระดับนัยสำคัญ ($p < .05$)

ตาราง (2) ข้อมูลทางสถิติแสดงอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อความยาว และน้ำหนักสดราก และน้ำหนักสดรากของต้นอ่อนทานตะวัน

พหุเมเนต	ความยาวราก					น้ำหนักสดราก				
	df	SS	MS	F	Sig.	SS	MS	F	Sig.	
NaCl	3	0.003	0.001	1.086	0.361	2.245	0.748	0.903	0.444	
ไคโตซาน	2	0.012	0.006	6.352	0.003*	3.879	1.939	2.340	0.104	
NaCl x ไคโตซาน	6	0.005	0.001	0.960	0.459	1.527	0.255	0.307	0.931	
Error		0.058	0.001			57.182	0.829			

ตัวเลขที่ตามด้วย* แสดงระดับนัยสำคัญ ($p < .05$)



ตาราง (3) ข้อมูลทางสถิติแสดงอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และโคโคซานต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ ของต้นอ่อนทานตะวัน

พรีพเมเนต์	คลอโรฟิลล์เอ			คลอโรฟิลล์บี			แคโรทีนอยด์		
	df	SS	MS	F	Sig.	SS	MS	SS	Sig.
NaCl	3	0.285	0.095	1.904	0.139	1.254	0.418	0.141	0.001*
โคโคซาน	2	0.162	0.081	1.627	0.206	0.339	0.170	0.067	0.078
NaClxโคโคซาน	6	2.699	0.450	9.023	0.000*	1.658	0.276	0.137	0.001*
Error		2.841	0.050			3.225	0.063	0.695	

ตัวเลขที่ตามด้วย* แสดงระดับนัยสำคัญ ($p < .05$)

ตาราง (4) ข้อมูลทางสถิติแสดงอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อปริมาณ MDA ในรากและลำต้น ของต้นอ่อนทานตะวัน

พรีทรีเมนต์	ปริมาณ MDA ในราก					ปริมาณ MDA ในลำต้น				
	df	SS	MS	F	Sig.	SS	MS	F	Sig.	
NaCl	3	0.000	0.002	3.314	0.015*	0.003	0.001	3.415	0.024*	
ไคโตซาน	2	0.005	0.002	16.487	0.000*	0.001	0.000	1.849	0.167	
NaCl x ไคโตซาน	6	0.003	0.001	3.644	0.005*	0.005	0.001	2.903	0.015*	
Error		0.007	0.002			0.014	0.000			

ตัวเลขที่ตามด้วย* แสดงระดับนัยสำคัญ ($p < .05$)

ตาราง (5) ข้อมูลทางสถิติแสดงอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน

ทรัพยากร	DPPH					FRAP			
	df	SS	MS	F	Sig.	SS	MS	F	Sig.
NaCl	3	767.134	255.711	11.347	0.000*	5.520	1.840	2.093	0.113
ไคโตซาน	2	47.612	23.806	1.056	0.036*	0.000	0.000	11.604	0.000*
NaCl x ไคโตซาน	6	336.897	56.149	2.492	0.036*	0.000	2.367	2.692	0.024*
Error		1059.198	22.536			0.000	8.792		

ตัวเลขที่ตามด้วย* แสดงระดับนัยสำคัญ ($p < .05$)

ตาราง (6) ข้อมูลทางสถิติแสดงอิทธิพลร่วมระหว่าง NaCl และไคโตซานต่อปริมาณฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และโพลีฟีนอล ของต้นอ่อนทานตะวัน

พรีทรีเมนต์	ฟีนอล				ฟลาโวนอยด์				โพลีฟีน				
	df	SS	MS	F	Sig.	SS	MS	F	Sig.	SS	MS	F	Sig.
NaCl	3	0.000	0.000	41.529	0.000*	6.029	2.010	2.174	0.100	2563.102	85.367	5567.534	0.000*
ไคโตซาน	2	1.886	9.431	3.656	0.031*	0.001	0.000	28.242	0.000*	39.005	19.503	127.091	0.000*
NaClxไคโตซาน	6	0.001	8.910	34.542	0.000*	0.001	5.528	5.980	0.000*	407.881	67.980	442.997	
Error		0.000	2.580			0.001	9.245			1.841	0.153		

ตัวเลขที่ตามด้วย* แสดงระดับนัยสำคัญ ($p < .05$)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นางสาวสุชาวดี สมลำราญ

วัน เดือน ปี เกิด

8 มีนาคม 2534

สถานที่เกิด

จังหวัดสุราษฎร์ธานี

วุฒิการศึกษา

พ.ศ. 2551

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

จาก โรงเรียนสุราษฎร์พิทยา อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

พ.ศ. 2557

การศึกษาระดับบัณฑิต (กศ.บ.) สาขาวิชาชีววิทยา

จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

พ.ศ. 2561

การศึกษาระดับบัณฑิต (กศ.ม.) สาขาวิชาชีววิทยา

จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ที่อยู่ปัจจุบัน

35/1 หมู่ 3 ตำบลตะกุกเหนือ อำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84370

ผลงานตีพิมพ์

1. สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, เฉลิมชัย วงศ์วัฒน์, กฤติณ ทิพย์มณฑียร, และสุชาวดี สมลำราญ. (2560). การพัฒนาความเข้าใจในโมเดลเรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงานโดยใช้แนวทางสะเต็มศึกษาสำหรับผู้เรียนระดับ ปริญญาตรี. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ "วิทยาศาสตร์วิจัย" ครั้งที่ 9, 110-117.
2. สุชาวดี สมลำราญ, สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, และ เฉลิมชัย วงศ์วัฒน์. (2561). ผลของไซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตและการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ "วิทยาศาสตร์วิจัย" ครั้งที่ 10, 155-163.