ผลของเกลือสินเธาว์ที่มีต่อพัฒนาการและสารพฤกษเคมีในใบมะนาวโห่ (*Carissa carandas*)

วิทยานิพนธ์

ของ

สุพัตรา สารแสน

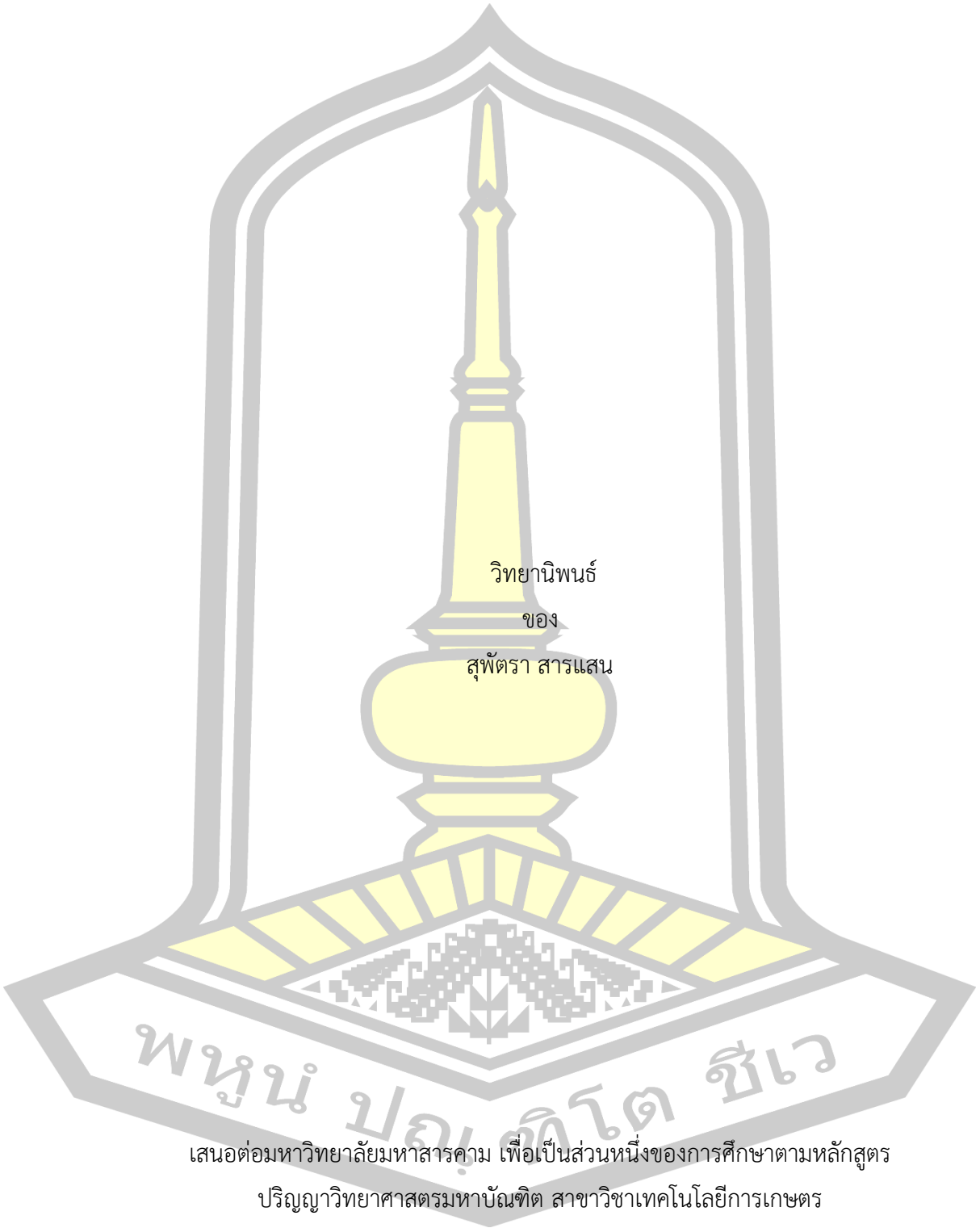
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

กันยายน 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลของเกลือสินเธาว์ที่มีต่อพัฒนาการและสารพฤกษเคมีในใบมะนาวโห่ (*Carissa carandas*)



วิทยานิพนธ์

ของ

สุพัตรา สารแสน

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

กันยายน 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Effect of rock salt on development and phytochemical contents in Karanda leaves (*Carissa carandas*)

Suputtra Sarasaen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Science (Agricultural Technology)

September 2019

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวสุพัตรา สารแสน แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. นริศ สินศิริ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผศ. ดร. สกุลกานต์ สิมลา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผศ. ดร. เบ็ญจพร กุลนิตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อ. ดร. สุรศักดิ์ บุญแต่ง)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. พีระยศ แข็งขัน)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. วรรทณา สินศิริ)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ศ. ดร. กมล เลิศรัตน์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....	.....
(รศ. ดร. อนุชิตา มุ่งงาม)	(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีคณะเทคโนโลยี	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ชื่อเรื่อง ผลของเกลือสินเธาว์ที่มีต่อพัฒนาการและสารพฤกษเคมีในใบมะนาวโห่ (*Carissa carandas*)

ผู้วิจัย สุพัตรา สารแสน

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สกุลกานต์ สิมลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบ็ญจพร กุลนิตย์
อาจารย์ ดร. สุรศักดิ์ บุญแต่ง

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2562

บทคัดย่อ

การปลูกพืชทนเค็ม หรือพืชชอบเกลือ เป็นวิธีการแก้ไขฟื้นฟูดินเค็มให้กลับมาใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืชได้ จึงได้ทำการประเมินผลของเกลือสินเธาว์ที่มีต่อพัฒนาการของใบมะนาวโห่ ซึ่งใบเป็นชิ้นส่วนที่มีตลอดทั้งปี และมีสรรพคุณที่เป็นประโยชน์ทางการแพทย์ คือ มีฤทธิ์ในการต้านมะเร็ง ต้านอาการอักเสบและลดไข้ และมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยทำการประเมินความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ 6 ระดับ คือ 0, 25, 50, 75, 100 และ 125 mM ที่ 4 ระยะพัฒนาการของใบ คือใบอ่อน ใบเพสลาด ใบเจริญเต็มที่ และใบแก่ ผลการศึกษาพบว่า ต้นมะนาวโห่สามารถทนความเค็มได้ถึงความเข้มข้น 50 mM โดยเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น (50 mM) ไม่ส่งผลให้ระยะเวลาการเกิดยอดใหม่ และระยะเวลาในการพัฒนาใบ 4 ระยะแตกต่างกัน และไม่ส่งผลให้ลักษณะความกว้าง ความยาว ขนาดพื้นที่ใบ น้ำหนักสด ค่าพื้นที่ผิวเฉพาะ และค่าความสว่างของใบแตกต่างกัน แต่มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของใบและค่า SCMR ลดลง ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ที่ 25 mM เป็นระดับที่ส่งเสริมให้มีการสะสมสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด ระยะพัฒนาการของใบส่งผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาใบ โดยใบเจริญเต็มที่เป็นใบที่มีขนาดใหญ่มากที่สุด ในขณะที่ใบแก่เป็นใบที่มีความเขียวของใบมากที่สุด ระยะพัฒนาการของใบส่งผลต่อการสะสมปริมาณสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสสระของใบ ใบอ่อนเป็นใบที่มีผลผลิตไตรเตอพีน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสสระแบบ DPPH มากที่สุด ใบเพสลาดเป็นใบที่มีปริมาณวิตามินซี และไตรเทอพีนมากที่สุด ใบเจริญเต็มที่เป็นใบที่มีผลผลิตเทอพีนอยด์มากที่สุด และใบแก่เป็นใบที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารแอนโธไซยานินทั้งหมด สารประกอบแทนนินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสสระแบบ ABTS มากที่สุด ซึ่งผลการศึกษาสามารถใช้เป็นทางเลือกในการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินเค็ม และยังเป็นการเพิ่มพื้นที่การเพาะปลูกมะนาวโห่ให้มากขึ้นอีกด้วย

คำสำคัญ : ความเค็ม, ความเครียดจากเกลือ, สัณฐานวิทยาของใบ, ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

TITLE Effect of rock salt on development and phytochemical contents in Karanda leaves (*Carissa carandas*)

AUTHOR Suputtra Sarasaen

ADVISORS Assistant Professor Sakunkan Simla , Ph.D.

Assistant Professor Benjapon Kunlanit , Ph.D.

Surasak Boontang , Ph.D.

DEGREE Master of Science **MAJOR** Agricultural Technology

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2019

ABSTRACT

Growing salt-tolerant or salt-preference crops were a good way to rehabilitation saline soils in crop production. The effect of rock salt on development of Karanda leaves were evaluated. Karanda leaves are available throughout the year. It also had the medical properties such as anti-cancer, anti-inflammatory and anti-microbial. Six concentration of rock salt consisting of 0, 25, 50, 75, 100 and 125 mM with four leaves developing stages such as leaflet, early mature, mature and late mature leaf were examined. The result founded that Karanda plant could tolerate to salinity from rock salt concentration at 50 mM High concentrations of rock salt (50 mM) was not effected to the days to bud burst and four stages of leaves unfolding and some morphological traits such as leaf width, leaf length, leaf area, leaf fresh weight, specific leaf area and L* value but it effected to leaf dry weight and SCMR. The concentration of rock salt at 25 mM is a level that promotes the highest accumulation of phytochemicals and antioxidant activity. The development of leaves effected on leaf morphology. The mature leaves had the largest leaf size, while the late mature leaves had the most greenness leaves. The development stages of leaves effected on the accumulation of phytochemicals and antioxidant activity. Leaflet had the highest triterpen yield and DPPH antioxidant activity. Immature leaves had the highest vitamin C and triterpene content. Mature leaves had the highest terpenoid yield. And late mature leaves had the highest content of chlorophyll, phenolic compounds, flavonoid compounds, anthocyanins and tannins, and ABTS antioxidant activity. The results of this study can be used as an alternative way for salinity soil utilization of farmers and also increasing the planting area of Karandas.

Keyword : sanility, salt stress, leaf morphology, antioxidant activity

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนานิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2562 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และได้รับทุนสนับสนุนเพิ่มเติมจากทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณรายได้ ประจำปี 2562 ประเภทนิสิตระดับปริญญาโท คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก

ผศ.ดร.สกุลกานต์ สิมลา ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เบ็ญจพร กุลนิตย์ และอาจารย์ ดร.สุรศักดิ์ บุญแต่ง กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ และใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.นริศ สินศิริ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.วรรทณา สินศิริ และ ผศ.ดร.พีระยศ แข็งขัน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ศ.ดร.กมล เลิศรัตน์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่กรุณาเสียสละเวลาและให้ข้อเสนอแนะจนการสอบสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 4 และสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 กรมพัฒนาที่ดิน และคุณสุรีรัตน์ โตสิรภัทร นักวิชาการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช และขอขอบคุณคุณอรุณทิพย์ เหมะธุลิน นักวิชาการเกษตร ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรร้อยเอ็ด ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการจัดเตรียมต้นพืชสำหรับทำวิทยานิพนธ์ และให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอนเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคุณจิราภรณ์ กระแสเทพ นักวิทยาศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีการเกษตร คุณอริสรา ผาสุข และคุณพงษ์สุดา ชาญวิชัยพจน์ นิสิตร่วมรุ่นระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการเกษตร คุณณัฐ พลนามอินทร์ และคุณจิรวดี บุตรโคตร นิสิตระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการเกษตร ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอนเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ และคำแนะนำในการเรียนและการดำเนินงานวิทยานิพนธ์

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และข้อชี้แนะสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุพัตรา สารแสน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ณ

สารบัญรูปภาพ ..... ต

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย 2

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 3

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร 5

2.1 มะนาวโห่ 5

2.1.1 การจำแนกมะนาวโห่ (Morton J, 1987) 5

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ 5

2.1.3 การกระจายพันธุ์ 5

2.1.4 การขยายพันธุ์มะนาวโห่ 6

2.1.5 การเพาะปลูกมะนาวโห่ 6

1) การให้น้ำ 6

2) การใส่ปุ๋ย 6

2.1.6 การเก็บเกี่ยวผลผลิต 6
2.1.7 ประโยชน์ของมะนาวโห่ 7
2.1.8 องค์ประกอบทางเคมีของมะนาวโห่ 7
1) สารประกอบฟีนอลิก 7
2) สารประกอบฟลาโวนอยด์ 9
3) สารแอนโทไซยานิน 9
4) กรดและน้ำตาล 9
5) วิตามินซี 9
2.2 ใบและการใช้ประโยชน์จากใบมะนาวโห่ 10
2.2.1 กายวิภาคศาสตร์ของใบมะนาวโห่ 10
1) ผิวใบด้านบน 10
2) ผิวใบด้านล่าง 10
2.2.2 การใช้ประโยชน์จากใบมะนาวโห่ 10
1) สรรพคุณพื้นบ้าน 10
2) ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา (สกุลกานต์ สิมลา, 2559) 10
2.3 การเจริญเติบโตและพัฒนาการของใบ 11
2.3.1 การเจริญเติบโตของพืช 11
2.3.2 พัฒนาการของพืช 11
2.3.3 ผลของพัฒนาการที่มีต่อลักษณะทางสัณฐานในใบ 13
2.3.4 ผลของพัฒนาการที่มีต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในใบ 13
2.4 ดินเค็ม 14
2.4.1 การจำแนกดินเค็ม 15
2.4.2 สาเหตุของการเกิดดินเค็ม มี 2 ประการ (วิชิตพล มีแกว ณัฐพล ขันธปราบ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ, 2553) คือ 16

2.4.3 การวัดค่าความเค็มดิน 16
2.4.4 หน่วยของความเค็ม 16
2.4.5 แนวทางการแก้ปัญหาความเค็ม 17
2.4.6 การทนเค็มของพืช 17
2.4.7 การจำแนกพืชทนเค็ม 18
2.4.8 กลไกการทนเค็มของพืช 22
2.4.9 ผลของความเค็มที่มีต่อพืช 23
1) ผลของความเค็มต่อระยะงอกของพืช 24
2) ผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืช 24
2.4.10 สภาวะเครียดเกลือในพืช 25
1) ความเครียดออสโมติก 26
2) ความเครียดจากการสะสมไอออนที่เป็นพิษ 27
3) ความเครียดที่เกิดจากการสร้างและสะสมสารอนุมูลอิสระ 27
2.4.11 การศึกษาการทนเค็มในพืช 27
1) การศึกษาผลของความเค็มที่มีต่อการงอกของพืช 27
2) การศึกษาผลของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช 28
2.5 ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 29
2.6 ศักยภาพการทนเค็มในไม้ยืนต้นบางชนิด 31
2.6.1 มะนาวโห่ (*Carissa carandas* L.) 31
2.6.2 องุ่น (*Vitis vinifera* L.) 34
2.6.3 ทับทิม (*Punica granatum* L.) 35
2.6.4 หม่อน (*Morus alba* L.) 36
2.6.5 พุทรา (*Zizyphus mauritiana* Lam.) 36
2.6.6 มะขาม (*Tamarindus indica* Linn.) 37

2.6.7 ฝรั่ง (*Psidium guajava* Linn.) 37
2.6.8 สบู่ดำ (*Jatropha curcas* L.) 38
2.6.9 ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus globulus* Labill.) 39
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 41
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ 41
3.2 การวางแผนการทดลอง 43
3.3 วิธีการดำเนินงาน 43
3.3.1 การปลูกและดูแลรักษา 43
3.3.2 การประเมินลักษณะทางกายภาพของดินปลูก 43
3.3.3 การให้ความเค็มกับต้นมะนาวโห่ 43
3.3.4 การเก็บตัวอย่างใบ 43
3.3.5 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ 45
3.3.6 การวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีในตัวอย่าง 45
1) การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ ตามวิธีของ (Sumanta Nayek Haque Choudhury Imranu Jaishee Nishika and Roy Suprakash, 2014) 45
2) การวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซี ประยุกต์ตามวิธีของ (AOAC, 2000) 45
3) การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยประยุกต์ตามวิธีการของ (จิราภรณ์ กระแสเทพ, 2559) 47
4) การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ดัดแปลงจากวิธีการของ (Krasaetep J Nakornriab M Puangpronpitag D, 2011) 49
5) การวิเคราะห์แอนโทไซยานินทั้งหมด ตามวิธีการของ (Giusti MM Wrolstad RE, 2001) 50
6) การวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน ตามวิธีการของ (Hou WC Lin RD Cheng KT Hung YT Cho CH Chen CH Hwang SY Lee MH, 2003) 51
7) การวิเคราะห์ปริมาณเทอพีนอยด์ทั้งหมด 53

8) การวิเคราะห์ผลผลิตและปริมาณไตรเทอพีน ประยุกต์ตามวิธีของ (Ke Z-C Zhu Z-P Xu Z-Y Fang C Hu Shang, 2014) 53
3.3.7 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 55
1) วิธีดักจับอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ประยุกต์ตามวิธีของ (จิราภรณ์ กระแสเทพ, 2559) 55
2) วิธีดักจับอนุมูลอิสระ 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) ประยุกต์ตามวิธีของ (Kriengsak T Unaro JB Kevin C, 2006) 56
3) การวัดความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กของสารต้านอนุมูลอิสระ (Ferric reducing antioxidant power : FRAP) ประยุกต์วิธีของ (จิราภรณ์ กระแสเทพ, 2559) 57
3.3.8 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ในตัวอย่างดิน 59
3.3.9 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ในตัวอย่างพืช 59
1) การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมในตัวอย่างพืช 59
2) การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างพืช ตามวิธีการของ (มงคล ต๊ะอุ่น, 2548) 59
3.4 การบันทึกข้อมูล 60
3.4.1 อัตราการรอดชีวิต 60
3.4.2 ค่าความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการตาย 50% (50% lethal dose: LD_{50}) 60
3.4.3 ระยะเวลาการเกิดยอดใหม่ และระยะเวลาในการพัฒนาใบ 4 ระยะ 60
3.4.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบ 60
3.4.5 ลักษณะองค์ประกอบทางเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบ 61
3.4.5 ปริมาณโซเดียมและปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างดินและพืช 61
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 61
3.6 สถานที่ดำเนินงาน 62
3.6.1 แปลงทดลองการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 62

3.6.2 ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 62
3.6.3 ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 62
3.7 ระยะเวลาดำเนินงาน 63
3.7.1 ระยะเวลาที่ศึกษาในแปลงทดลอง 63
3.7.2 ระยะเวลาที่ศึกษาในห้องปฏิบัติการ 63
3.8 กรอบแนวความคิดการศึกษา 63
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล 64
4.1 อัตราการรอดชีวิตของต้นมะนาวโห่หลังการให้สารละลายเกลือสินเธาว์ 64
4.2 ผลของความเค็มต่อระยะเวลาการเกิดยอดใหม่ และระยะเวลาในการพัฒนาใบ 4 ระยะ 67
4.3 ผลของความเค็มและระยะพัฒนาการต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาในใบมะนาวโห่ 67
4.3.1 ความกว้างและความยาวใบ (leaf width and length) 67
4.3.2 พื้นที่ใบ (leaf area) 68
4.3.3 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ (leaf fresh and dry weight) 68
4.3.4 ค่าน้ำหนักใบเฉพาะ (specific leaf weight) 70
4.3.5 ค่าสีใบ 70
1) ค่าความสว่างของใบ (ค่า L*) 70
2) ค่าความเป็นสีเขียวของใบ (ค่า a*) 70
3) ค่าความเป็นสีเหลืองของใบ (ค่า b*) 71
4.3.6 ค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) 71
4.4 ผลของความเค็มและระยะพัฒนาการต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะปริมาณสารพฤกษเคมีในใบมะนาวโห่ 72
4.4.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ b (chlorophyll b content) 73

4.4.2 ปริมาณวิตามินซี (vitamin C content) 73
4.4.3 ผลผลิตของเทอพีนอยด์ (terpenoids yield) 75
4.4.4 ผลผลิตของไตรเทอพีน (triterpene yield) 75
4.4.5 ปริมาณไตรเทอพีนทั้งหมด (total triterpene content) 75
4.4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) 76
4.4.7 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoid content) 76
4.4.8 ปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมด (total anthocyanin content) 78
4.4.9 ปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมด (total tannin content) 78
4.5 ผลของความเค็มและระยะพัฒนาการต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบมะนาวโห่ 78
4.5.1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS 78
4.5.2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH 79
4.5.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP 79
4.6 อภิปรายผลการทดลอง 81
4.6.1 ผลของความเค็มต่ออัตราการรอดชีวิต ระยะเวลาการเกิดยอดใหม่ และระยะเวลาในการพัฒนาใบ 4 ระยะของต้นมะนาวโห่หลังการให้เกลือสินเธาว์ 81
4.6.2 ผลของความเข้มข้นของเกลือต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบมะนาวโห่ 83
1) ลักษณะทางสัณฐานวิทยา 83
2) ปริมาณสารพฤกษเคมี 84
3) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 86
4.6.3 ผลของระยะพัฒนาการต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบมะนาวโห่ 87
1) ลักษณะทางสัณฐานวิทยา 87
2) ปริมาณสารพฤกษเคมี 88

3) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 89
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ 90
5.1 สรุปผล 90
5.2 ข้อเสนอแนะ 90
บรรณานุกรม 91
ภาคผนวก 102
ภาคผนวก ก ต้นมะนาวโห่ที่ทำการศึกษาหลังได้รับเกลือ 2 สัปดาห์ 103
ประวัติผู้เขียน 109

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ผลของระยะการสุกต่อปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ 8

ตาราง 2 การจำแนกประเภทดินเค็ม 15

ตาราง 3 การจำแนกระดับความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช 16

ตาราง 4 กลุ่มพืชที่มีความทนเค็มในระดับความเค็มต่างๆ 19

ตาราง 5 ชนิดพืชที่ตรวจพบในฤดูฝนและฤดูแล้ง 21

ตาราง 6 ศักยภาพการทนเค็มในไม้ยืนต้นบางชนิด 40

ตาราง 7 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างและบันทึกข้อมูล 41

ตาราง 8 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 42

ตาราง 9 ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ที่ทำการปลูกทดสอบ ระหว่างเดือนมกราคม - เดือนธันวาคม 2561 62

ตางราง 10 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ที่มีต่อค่าการนำไฟฟ้าของดินปลูก 66

ตาราง 11 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ที่มีต่อปริมาณโซเดียมและปริมาณคลอไรด์ในดินและในตัวอย่างพืชหลังให้ความเค็ม 66

ตาราง 12 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ต่อการเปลี่ยนแปลงระยะพัฒนาการของใบมะนาวโห่ .. 67

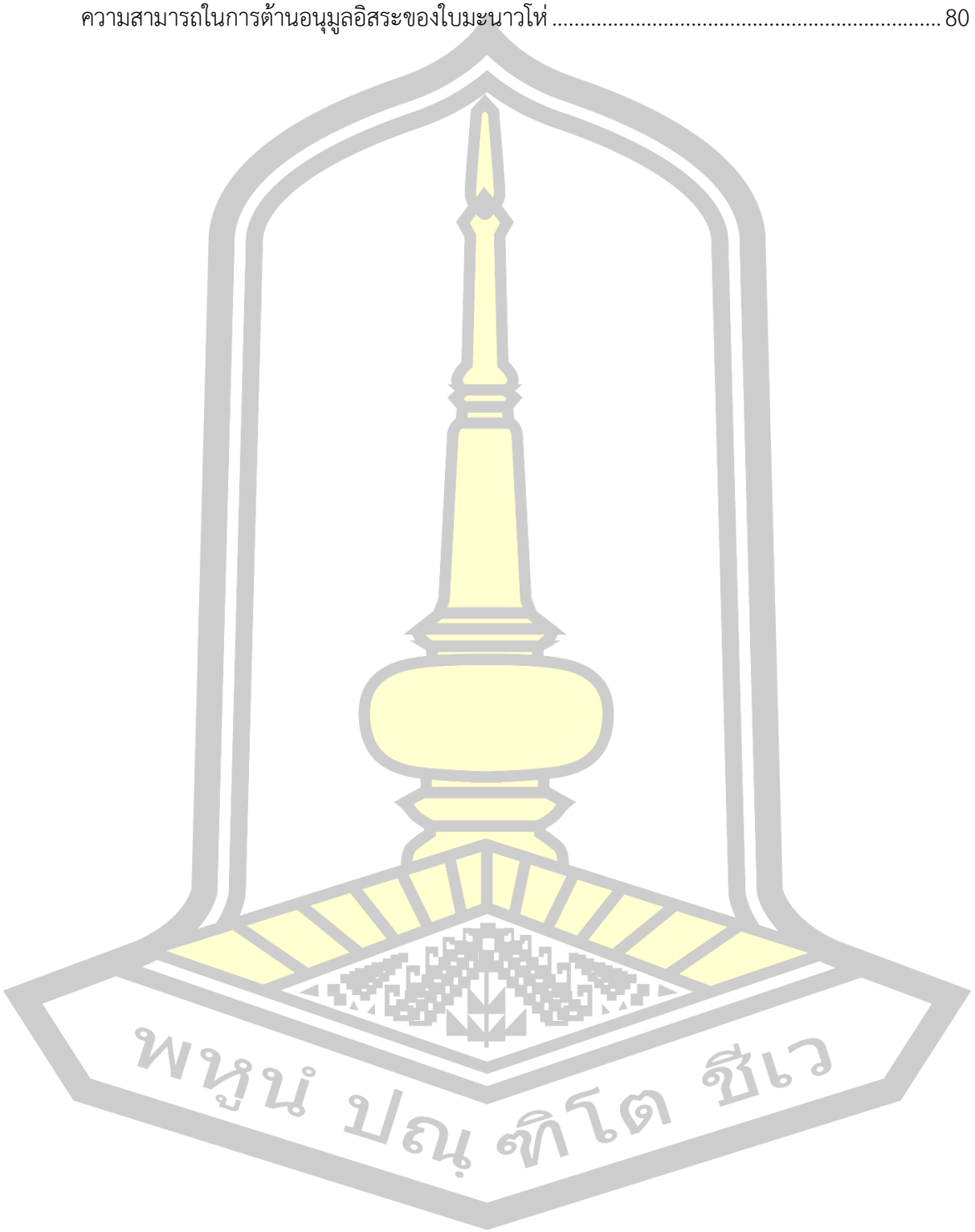
ตาราง 13 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 3 ระดับและระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะที่มีต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบมะนาวโห่ 69

ตาราง 14 ผลของเกลือ 3 ระดับและระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะที่มีต่อสีของใบมะนาวโห่ 72

ตาราง 15 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 3 ระดับ (มิลลิโมล์) และระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ b ปริมาณวิตามินซี ผลผลิตเทอพีนอยด์ ผลผลิตของไตรเทอพีน และปริมาณไตรเทอพีนในใบมะนาวโห่ 74

ตาราง 16 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 3 ระดับ (มิลลิโมล์) และระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะที่มีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมด และสารประกอบแทนนินทั้งหมดในใบมะนาวโห่ 77

ตาราง 17 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 3 ระดับและระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะที่มีต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของใบมะนาวโห่ 80



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ฟีนอลลิกทั้งหมด แอนโทไซยานิน วิตามินซี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH ในผล Carissa carandas L. 8

ภาพประกอบ 2 การตอบสนองต่อความเค็ม 2 ระยะของพืช คือ การตอบสนองต่อความเครียดจากแรงดันออสโมติก (osmotic stress) และความเครียดจากการสะสมไอออน (ionic stress) จึงทำให้สามารถแบ่งพืชตามการตอบสนองออกเป็น 4 กลุ่ม คือ (A) กลุ่มที่ไวต่อแรงดันออสโมติกและการสะสมไอออน (osmotic and ionic sensitivity) (B) กลุ่มที่ไวต่อแรงดันออสโมติกแต่ทนต่อการสะสมไอออน (osmotic sensitivity and ionic tolerrance) (C) กลุ่มที่ทนต่อแรงดันออสโมติกแต่ไวต่อการสะสมไอออน (osmotic tolerrance and ionic sensitivity) และ (D) กลุ่มที่ทนต่อแรงดันออสโมติกและการสะสมไอออน (osmotic and ionic tolerrance) 26

ภาพประกอบ 3 การเจริญเติบโตของความสูงต้นและปริมาตรทรงพุ่มของมะนาวโห่ ในสภาพการให้น้ำเค็มที่ต่างกัน 30 เดือน (เดือนมิถุนายน – ธันวาคม 2554)..... 32

ภาพประกอบ 4 ปริมาณของคลอโรฟิลล์ a และ b ในใบ และอัตราส่วนของแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของมะนาวโห่ ในสภาพการให้น้ำเค็มที่ต่างกัน 32

ภาพประกอบ 5 ปริมาณโปรตีนทั้งหมด ปริมาณน้ำตาล และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ของมะนาวโห่ในสภาพการให้น้ำเค็มที่ต่างกัน 33

ภาพประกอบ 6 การเจริญเติบโตของจำนวนดอกและจำนวนผล การหลุดร่วงของดอก ขนาดของผล น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผล ของมะนาวโห่ ในสภาพการให้น้ำเค็มที่ต่างกัน 34

ภาพประกอบ 7 ตัวอย่างลำดับใบที่เก็บในงานทดลอง 44

ภาพประกอบ 8 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก 48

ภาพประกอบ 9 กราฟมาตรฐานของเควอซิติน 50

ภาพประกอบ 10 กราฟมาตรฐานของกรดแทนนิก 52

ภาพประกอบ 11 กราฟมาตรฐานของกรดยูโซลิก 55

ภาพประกอบ 12 กราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต 58

ภาพประกอบ 13 กรอบแนวความคิดการศึกษา 63

ภาพประกอบ 14 ผลของความเค็มจากเกลือสินเธาว์ 6 ระดับที่มีผลต่ออัตราการรอดชีวิตของ ต้นมะนาวโห่..... 64

ภาพประกอบ 15 ลักษณะของต้นมะนาวโห่หลังได้รับสารละลายเกลือสินเธาว์ 2 สัปดาห์ 65

ภาพประกอบ 16 การแสดงอาการเหี่ยวในต้นมะนาวโห่หลังให้เกลือ 2 สัปดาห์ A) ใบอ่อนแสดงอาการเหี่ยว B) ใบอ่อนเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และ C) อาการปลายใบไหม้ 81

ภาพประกอบ 17 ผลึกสีขาวที่มีลักษณะคล้ายผลึกเกลือที่พบบนในมะนาวโห่หลังจากให้เกลือสินเธาว์ 82

ภาพประกอบ 18 ผลึกสีขาวที่มีลักษณะคล้ายผลึกเกลือที่พบบริเวณเซลล์คุมของใบมะนาวโห่หลังจากให้เกลือสินเธาว์ 83

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ดินเค็ม (saline soil) เป็นดินที่มีปริมาณเกลือสูง ดินเค็มเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่แห้งแล้งหรือพื้นที่ชุ่มชื้น ทั้งในเขตชลประทานและเขตอาศัยน้ำฝน (ณัฏฐ์สิริ ลักษณะอารีย์ มะลิวัลย์ หฤทัยธนาสันติ ยุทธนา บรรจง เอกพงษ์ ธนะวัติ, 2557)แก้ไขฟื้นฟูดินเค็มให้กลับมาใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจได้ ด้วยวิธีการลดระดับความเค็มดินลง และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดินด้วยวิธีการต่างๆ นั้น ต้องลงทุนสูงและใช้เวลานาน (อรุณี ยูวะนิยม, 2536) แต่ยังมีอีกทางเลือกที่เกษตรกรที่มีพื้นที่ดินเค็มสามารถฟื้นฟูสภาพเสื่อมโทรมของพื้นที่ได้เอง ด้วยวิธีการไม่ยุ่งยาก โดยควรใช้ประโยชน์พื้นที่ดินเค็มตามสภาพที่เป็นอยู่ ไม่ปล่อยให้พื้นดินว่างเปล่า ด้วยการคลุมดิน หรือมีการเพิ่มผลผลิตพืชโดยเปลี่ยนเป็นพืชที่เหมาะสมกับระดับความเค็มและสภาพพื้นที่ ได้แก่ การปลูกพืชทนเค็ม หรือพืชชอบเกลือ (วันชัย วงษา, 2555) จากการศึกษาศักยภาพการทนเค็มของพืช สามารถแบ่งศักยภาพการทนเค็มได้ 4 ระดับ คือ พืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มน้อย (EC เท่ากับ 2-4 เดซิซีเมนต่อเมตร) ได้แก่ ฝรั่ง (Cavalcante ÍHL Cavalcante LF Hu Y Beckmann-Cavalcante MZ, 2007) และหม่อน (Agastian P Kingsley SJ Vivekanandan M, 2000) พืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มปานกลาง (EC เท่ากับ 4-8 เดซิซีเมนต่อเมตร) ได้แก่ ทับทิม (Karimi HR Hasanpour Z, 2014) พุทรา (Abdel-Hameed AA and Ali FS, 2015) และมะขาม (Gebauer J and Ebert G, 2005) พืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มมาก (EC เท่ากับ 8-15 เดซิซีเมนต่อเมตร) ได้แก่ มะนาวโห่ (Tayyab Azeem M Qasim M and Ahmad R, 2016) สบู่ดำ (ณัฐวุฒิ ไชยวุฒิ วีระพันธุ์ สรีดอกจันทร อรุณศิริ กำลัง แอนนา สายมณีรัตน์, 2553) และยูคาลิปตัส (สุริยันต์ ฉะอุ่ม กัลป์ยาณี สามิภักดิ์ เกรียงไกร โมสาลียานนท์ รื่นฤดี วนัสสกุล กัณยารัตน สุไพบูลย์ วัฒน เฉลิมพล เกิดมณี, 2542) และพืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มจัด (EC >15 เดซิซีเมนต่อเมตร) ได้แก่ องุ่น (Mohammadkhani N Heidari R Abbaspour N Rahmani F, 2012) จะเห็นได้ว่ามะนาวโห่เป็นพืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มมาก เนื่องจากสามารถทนเค็มที่ EC เท่ากับ10 เดซิซีเมนต่อเมตร มะนาวโห่ หรือหนามแดง เป็นผลไม้พื้นบ้านของไทย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Carissa carandas* Linn. อยู่ในวงศ์ Apocynaceae นิยมปลูกเป็นไม้ประดับ เนื่องจากเวลาออกดอกและผลมีลักษณะสวยงาม มะนาวโห่เป็นไม้พุ่มยืนต้น สูง 2-5 เมตร ลำต้นและกิ่งก้านมีหนามแหลมยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร ทุกส่วนของต้นมีน้ำยางสีขาว ใบเป็นใบเดี่ยว เรียงตรงข้าม รูปไข่รี กว้าง 2-4 เซนติเมตร ยาว 4-9 เซนติเมตร ปลายและโคนมน ขอบใบเรียบ แผ่นใบปิดเป็นคลื่นเล็กน้อย ผิวใบด้านบนสีเขียวเป็นมัน ดอกสีขาวออกเป็นช่อแบบช่อกระจุกตามซอกใบและที่ปลายกิ่ง กลีบเลี้ยง 5 กลีบ มีขน โคนกลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นหลอดเล็ก ปลายแยก 5 แฉก บิดเวียนเล็กน้อย ดอกบานเต็มที่กว้าง 2-3 เซนติเมตร มีกลิ่นหอมอ่อนๆ ตลอดวัน ออกดอกตลอดปี (ณัฏฐินี อนันตโชค, 2554) ผลอ่อนจะมีสี

ชมพูอ่อนๆ และค่อยๆ เข้มขึ้นเป็นสีแดง จนกระทั่งสุกจึงกลายเป็นสีดำ เนื่องด้วยผลสุกของมะนาวโห่มีสีเข้มมากจนถึงดำ จึงจัดเป็นแหล่งของแอนโทไซยานินที่สำคัญ และจากรายงานวิจัย

ทางวิทยาศาสตร์พบว่าแอนโทไซยานินเป็นหนึ่งในกลุ่มของรงควัตถุที่มีศักยภาพในการป้องกันโรคไม่ติดต่อเรื้อรังดังที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งปัจจุบันผู้บริโภคเริ่มรู้จัก และต้องการผลมะนาวโห่มากขึ้น เพราะทางวิชาการระบุว่ามีประโยชน์ต่อร่างกาย สามารถต้านทานอาการหวัดได้ดี วงการแพทย์ได้นำไปใช้รักษาโรคควบคู่กับยาแผนปัจจุบันเพราะมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ มากตามไปด้วยและเป็นตัวช่วยป้องกันการเกิดโรคหลายโรค เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคเบาหวาน โรคเก๊าท์ เป็นต้น และในมะนาวโห่อาจจะมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าในผักและผลไม้ตามท้องตลาดทั่วไปอีกด้วย (สกุลกานต์ สิมลา สุรศักดิ์ บุญแต่ง พัชรี สิริตระกูลศักดิ์, 2556) โดยต้นมะนาวโห่มีส่วนต่างๆที่นำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย ได้แก่ ราก เปลือกลำต้น เนื้อไม้ ใบ ผล เมล็ด น้ำยาง และยอดอ่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งใบที่มีตลอดทั้งปีมีสรรพคุณที่เป็นประโยชน์ทางการแพทย์ คือ มีฤทธิ์ในการต้านมะเร็ง ต้านอาการอักเสบและลดไข้ในหนู มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น (สกุลกานต์ สิมลา, 2559)

ด้วยมะนาวโห่เป็นพืชที่มีสรรพคุณมากมายดังที่กล่าวไว้ข้างต้น อีกทั้งยังมีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มซึ่งมีมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงได้ทำการศึกษาผลของความเค็มจากเกลือสินเธาว์ที่มีต่อพัฒนาการและสารพฤกษเคมีในใบมะนาวโห่ โดยผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นทางเลือกในการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินเค็มได้ และยังเป็นการเพิ่มพื้นที่การเพาะปลูกมะนาวโห่ให้มากขึ้น เพื่อให้เป็นที่รู้จักและนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายมากขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของความเค็มของเกลือสินเธาว์ต่อพัฒนาการในใบมะนาวโห่

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความเค็มจากเกลือสินเธาว์ต่อสารพฤกษเคมีในใบมะนาวโห่

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ในระดับของความเค็มจากเกลือสินเธาว์ที่มากที่สุดอาจทำให้พัฒนาการในใบมะนาวโห่ต่ำ

1.3.2 ในระดับของความเค็มจากเกลือสินเธาว์อาจทำให้มีปริมาณสารพฤกษเคมีในใบที่ระยะการเจริญเติบโตต่างกันแตกต่างกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงระดับความเค็มของเกลือสินเธาว์ที่ทำให้การเจริญเติบโตของใบมะนาวโห่ไม่ต่างจากการให้น้ำในสภาพปกติ

1.4.2 ทราบถึงระดับความเค็มของเกลือสินเธาว์มีการสะสมสารพฤกษเคมี ในใบมะนาวโห่มากที่สุด

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ขอบเขตของงานวิจัยการศึกษานี้ผู้วิจัยทำการประเมินระดับของความเค็ม 6 ระดับ ได้แก่ 0, 25, 50, 75, 100 และ 125 mM และทำการประเมินการเปลี่ยนแปลงของระยะพัฒนาการต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบมะนาวโห่ 4 ระยะ ได้แก่ ระยะใบอ่อน ระยะใบเพสลาด ระยะใบเจริญเต็มที่ และใบแก่

1.5.2 ขอบเขตของระยะเวลาในการทำงานวิจัย ใช้ระยะเวลาในการศึกษาตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2560 ถึง เมษายน 2562

1.5.3 ขอบเขตของสถานที่ศึกษางานวิจัย ทำการศึกษา ณ แปลงทดลองการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี และศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.5.4 สถานที่ทำการศึกษา: ทำการปลูกมะนาวโห่เพื่อทำการทดสอบความเค็มที่แปลงทดลองการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม (ละติจูดที่ 16°00 ลองติจูดที่ 103°30′ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 130 เมตร) และวิเคราะห์คุณสมบัติของดินและมะนาวโห่ที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี อำเภอกันทรวิชัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม และศูนย์เครื่องมือกลางมหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

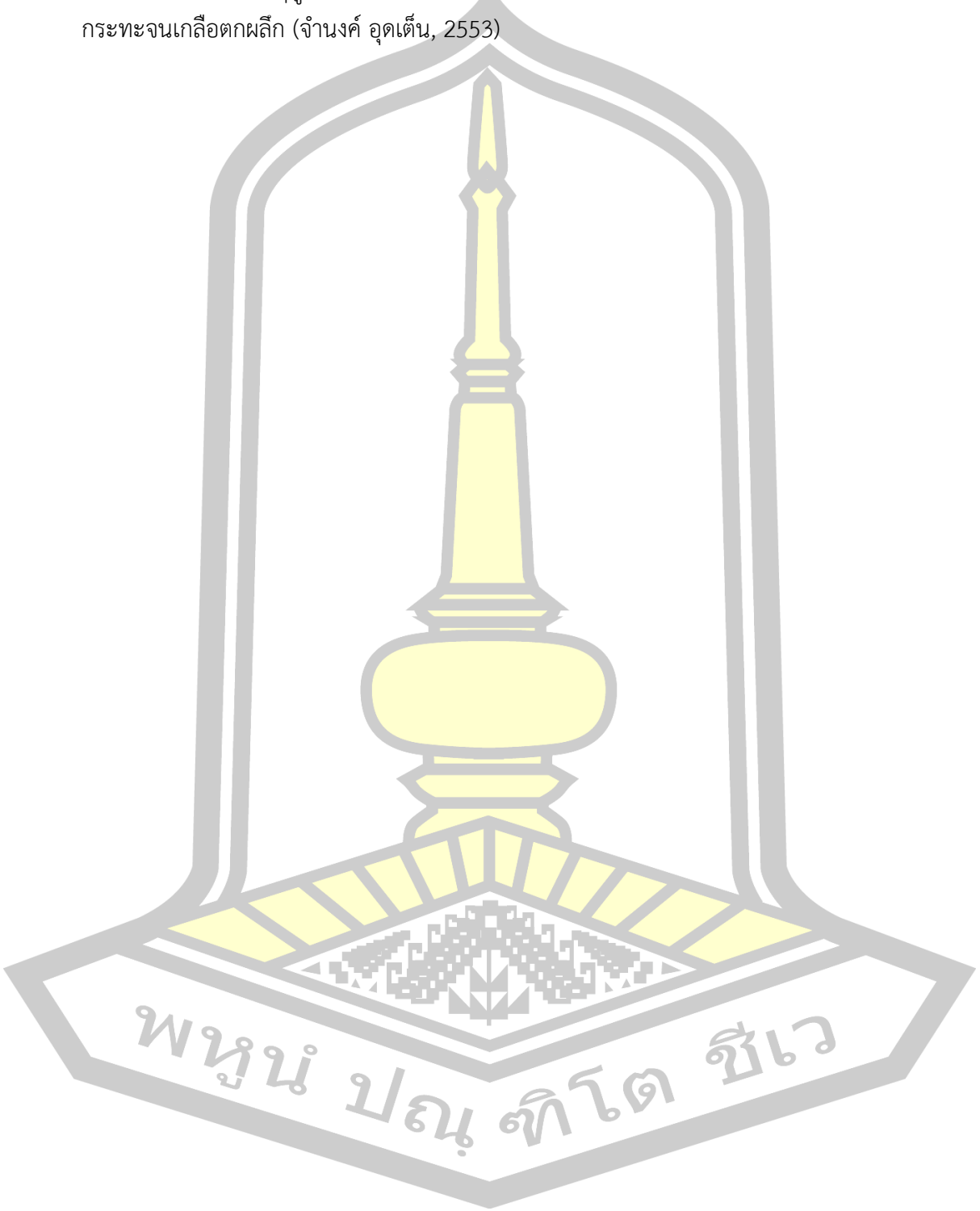
1.6.1 มะนาวโห่ (*Carissa carandas* L.) เป็นไม้พุ่ม ลำต้นขนาดเล็ก มีน้ำยางสีขาว เปลือกสีเทา มีหนามแหลมตามกิ่งและลำต้น ใบเป็นใบเดี่ยว โคนใบมน ขอบใบเรียบ ช่อดอกแบบช่อกระจุก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีกลีบเลี้ยง 5 กลีบ กลีบดอก 5 กลีบ มีกลีบดอกสีขาว ผลเป็นผลสด รูปกลมรีหรือรูปไข่ ผลดิบมีสีชมพู ผลห่ามมีสีแดง และผลสุกมีสีดำ

1.6.2 สารพฤกษเคมี (Phytochemical) หรือ ไฟโตนิวเทรียนท์ (Phytonutrients) คือสารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบเฉพาะในพืช สารกลุ่มนี้อาจเป็นสารที่ทำให้พืชผักชนิดนั้นๆ มีสี กลิ่นหรือรสชาติที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว สารพฤกษเคมีเหล่านี้หลายชนิดมีฤทธิ์ต่อต้านหรือป้องกันโรคบางชนิดและโรคสำคัญ ซึ่งปัจจุบันพบสารพฤกษเคมีแล้วมากกว่า 15,000 ชนิด ในการศึกษานี้ ได้แก่ ฟีนอลิก แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ และไตรเทอร์พีน

1.6.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ในการศึกษานี้คือการทดสอบการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดด้วยวิธี DPPH, TEAC และ FARP

1.6.4 ดินเค็ม (saline soil) มี 5 ระดับ ได้แก่ ดินไม่เค็ม มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร ดินเค็มน้อย มีค่าการนำไฟฟ้า 2-4 เดซิซีเมนต่อเมตร ดินเค็มปานกลาง มีค่าการนำไฟฟ้า 4-8 เดซิซีเมนต่อเมตร ดินเค็มมาก มีค่าการนำไฟฟ้า 8-15 เดซิซีเมนต่อเมตร และดินเค็มจัด มีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 15 เดซิซีเมนต่อเมตร

1.6.5 เกลือสินเธาว์ คือ การผลิตทำโดยการขุดเอาดินขี้เทา (ดินที่มีส่าหรือคราบเกลือ) ที่พบตามธรรมชาติในช่วงฤดูแล้ง มาล้างในรางไม้ เพื่อละลายเกลือในดินออก นำน้ำเค็มที่ได้ไปต้มในกระทะจนเกลือตกผลึก (จำนงค์ อุดเต็น, 2553)



บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 มะนาวโห่

มะนาวโห่เป็นไม้พุ่มยืนต้น ใบมีสีเขียว ไม่ผลัดใบ เป็นผลไม้ที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งจัดเป็นผลไม้และพืชสมุนไพรมากกว่าที่จะเป็นไม้ประดับ มะนาวโห่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carissa carandas* L. เรียกว่า kerenda ในแหลมมาลายู karaunda ในแหลมมาลายูและประเทศอินเดีย Bengal และ Christ's ในภาคใต้ของอินเดีย หนามพงหรือ หนามแดง ในประเทศไทย และ Caramba, Caranda และ perunkila ในประเทศฟิลิปปินส์ (Morton J, 1987)

2.1.1 การจำแนกมะนาวโห่ (Morton J, 1987)

Kingdom: Plantae

Class: Angiosperms

Order: Gentianales

Family: Apocynaceae

Genus: *Carissa*

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เป็นไม้พุ่ม มีลำต้นขนาดเล็ก สูง 3-5 เมตร มีน้ำยางสีขาว เปลือกสีเทา มีหนามแหลมตามกิ่งและลำต้น **ใบ** เป็นใบเดี่ยว เรียงตรงข้ามสลับตั้งฉาก ใบรูปรีหรือรูปไข่ กว้าง 1.5-4 เซนติเมตร ยาว 3-7 เซนติเมตร ปลายใบมนหรือเว้าบุ๋ม โคนใบมน ขอบใบเรียบ **ช่อดอก** แบบช่อกระจุก 3-7 ดอก ดอกสมบูรณ์เพศ กลีบเลี้ยง 5 กลีบ รูปถ้วย โคนเชื่อมติดกันปลายแยกเป็น 5 แฉก กลีบดอก 5 กลีบ โคนกลีบเชื่อกันเป็นหลอดรูปดอกเข็ม salverform ปลายแยกเป็น 5 แฉก ยาว 1.5-2.5 เซนติเมตร กลีบดอกสีขาว **เกสรเพศผู้** มี 5 อัน ติดบนหลอดกลีบดอก อับเรณูติดที่ฐาน แตกตามยาว **เกสรเพศเมีย** รังไข่ติดเหนือวงกลีบ รังไข่รูปรี มี 2 คาร์เพล เชื่อมติดกัน มีออวุล 2 เม็ดต่อห้อง ก้านเกสรเพศเมียเรียวยาว ยอดเกสรเพศเมียปลายแยกเป็น 2 แฉก ผล เป็นผลสด รูปกลมรีหรือรูปไข่ กว้าง 1.2-1.7 เซนติเมตร ยาว 1.5-2.5 เซนติเมตร สีชมพู แดงและดำ ระยะการออกดอกและติดผลช่วงมกราคมถึงมิถุนายน (กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม, 2558); (Kumar S Gupta P Virupaksha GK, 2013); (Morton J, 1987)

2.1.3 การกระจายพันธุ์

มะนาวโห่เป็นผลไม้ที่มีขนาดเล็กสามารถพบได้ทั่วไปในประเทศไทยและทวีปเอเชีย มีการค้นพบในแถบเทือกเขาหิมาลัย แต่นักพฤกษศาสตร์บางส่วนกล่าวว่า ต้นกำเนิดของผลไม้ชนิดนี้เกิดที่ประเทศเนปาล อัฟกานิสถาน และทั่วภูมิภาคของประเทศอินเดียและศรีลังกา โดยมีการเจริญเติบโตตามเทือกเขาหิมาลัย พบได้ตั้งแต่ 300-1,800 เมตร จากระดับน้ำทะเล ในประเทศอินเดียและเนปาลและอัฟกานิสถาน หรือตามธรรมชาติของศรีลังกา (Kumar S Gupta P Virupaksha GK, 2013) มะนาวโห่เป็นพืชพื้นเมืองของประเทศอินเดีย พม่า มะละกา และพื้นที่แห้งแล้งของประเทศ

ศรีลังกา โดยพบทั่วไปในพื้นที่ต่างๆ และในทางตอนเหนือของทวีปเอเชีย นิยมปลูกในประเทศไทย กัมพูชา เวียดนาม และในแอฟริกาตะวันออก และมีการนำเข้ามาปลูกในจาการ์ตา ประเทศอินโด-นิเซีย มะนาวโห่เป็นผลไม้ที่นำเข้ามาในประเทศฟิลิปปินส์ครั้งแรกในปี 1912 และภายในปีต่อมากรมวิชาการเกษตรสหรัฐอเมริกาได้รับเมล็ดพันธุ์จากสวนพฤกษศาสตร์ในประเทศอียิปต์ ในปี 1915 มีการปลูกทดลองที่ฟลอริด้าและแคลิฟอร์เนีย และในศูนย์การทดลองในประเทศตรินิแดด และเปอร์โตริโก (Morton J, 1987)

2.1.4 การขยายพันธุ์มะนาวโห่

มะนาวโห่เป็นพืชมีลักษณะทนต่อสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง และฝนตกชุก สามารถเจริญเติบโตในดินที่เป็นด่างและกรดได้ดี การขยายพันธุ์ส่วนใหญ่จะขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด หรือปักชำ เนื่องจากเป็นพืชที่มีรากเกิดได้ง่าย งานทดลองในอินเดียได้แสดงให้เห็นว่าการปักชำในมะนาวโห่ สามารถนำยอดพันธุ์ต่างๆ ในตระกูลเดียวกัน ทาบลงบนต้นตอมะนาวโห่ได้เนื่องจากเป็นต้นตอที่ดี (Morton J, 1987)

2.1.5 การเพาะปลูกมะนาวโห่

1) การให้น้ำ

มะนาวโห่มีลักษณะชอบพื้นที่แห้งแล้ง ต้องการน้ำน้อย หลังจากปลูกและใส่ปุ๋ยไม่ควรให้น้ำมากเกินไปเพราะอาจทำให้ให้รากเน่าและตายได้ (Morton J, 1987) มะนาวโห่เป็นไม้พุ่มสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน แต่ไม่ชอบสภาพฝนตกหนักและสภาพเปียกชุ่มชื่นอาจทำให้รากเน่าและโคนต้นเน่าได้ สำหรับการเพาะปลูก สามารถปลูกได้ในดินทุกประเภท ยกเว้นดินที่เป็นด่างมาก แต่ดินที่เจริญเติบโตได้ดี คือดินร่วนปนทราย (Chandy KT, 2014)

2) การใส่ปุ๋ย

มะนาวโห่ควรใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมัก 10 กิโลกรัมต่อต้น ควรใส่ปุ๋ยก่อนระยะออกดอก (Kumar S Gupta P Virupaksha GK, 2013) และในช่วงแรกของการปลูกจำเป็นต้องตรวจสอบความอุดมสมบูรณ์ของดิน ควรใส่ปุ๋ย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และปุ๋ยโพแทสเซียม หลังจากเตรียมดิน (Chandy KT, 2014) นอกจากการใช้ปุ๋ยคอกแล้วยังมีรายงานการใช้ปุ๋ยฉีดพ่นทางใบเพื่อเพิ่มผลผลิตในมะนาวโห่

2.1.6 การเก็บเกี่ยวผลผลิต

มะนาวโห่สามารถออกดอกเก็บผลผลิตได้ตลอดทั้งปี โดยจากระยะติดผลไปจนถึงระยะผลสุกของมะนาวโห่ใช้ระยะเวลาประมาณ 100-110 วันหลังจากติดผล สามารถเก็บผลผลิตได้ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม ช่วงที่มะนาวโห่สุกเป็นจำนวนมากคือเดือนสิงหาคม-กันยายน ผลสุกมีสีแดงเข้มหรือสีม่วง เนื้อนิ่ม สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิปกติได้นาน 3-4 วันหลังจากเก็บผลผลิตจากต้น (Morton J, 1987)

ในส่วนของระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคนั้น ควรเป็นระยะที่มีปริมาณสารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมากที่สุด จึงได้มีการศึกษาผลของระยะการเก็บเกี่ยว 3 ระยะ คือ ผลดิบ (ผลสีแดง) ผลห่าม (ผลสีแดงอมดำ) และผลสุก (ผลสีดำ) ที่มีต่อสารสำคัญในผล

พบว่า ปริมาณสารพฤกษเคมีชนิดต่างๆ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อผลมีการสุกมากขึ้น (สกุลกานต์ สิมลา สุรศักดิ์ บุญแต่ง พัชรี สิริตระกูลศักดิ์, 2556) (วชิราภรณ์ ผิวล่อง สุรศักดิ์ สัจจบุตร ศิริลักษณ์ สิงห์เพชร จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ, 2556) นอกจากนี้ยังพบว่าผลที่ระยะพัฒนาการต่างกันยังมีความสามารถในการต้านเชื้อราและแบคทีเรียได้ต่างกันอีกด้วย(นพดล หงส์สุวรรณ แคทรียา สุทธานุช ดวงกมล ศักดิ์เลิศสกุล, 2558)

2.1.7 ประโยชน์ของมะนาวโห่

แก่น บำรุงไขมัน เหมาะสำหรับคนผอม บำรุงธาตุ

ใบสด ต้มน้ำดื่มแก้ท้องร่วง แก้ปวดหู แก้ไข้ แก้เจ็บปากและคอ

ผลสุกและดิบ รักษาโรคเลือดออกตามไรฟัน แก้ท้องเสีย พบว่าคุณค่าทางอาหารในผลสุกประกอบด้วยแคลอรี่ 745-753 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม ความชื้น ร้อยละ 83.17-83.24 ปริมาณโปรตีน ร้อยละ 0.39-0.66 ปริมาณไขมัน ร้อยละ 2.57-4.63 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 0.51-0.94 ปริมาณน้ำตาล ร้อยละ 7.35-11.58 ปริมาณเส้นใย ร้อยละ 0.62-1.81 และปริมาณวิตามินซี 9-11 มิลลิกรัม/100 กรัม โดยผลสุกนิยมนำมาทำเป็นน้ำผลไม้เนื่องจากมีวิตามินซีสูงและมีรสเปรี้ยว นอกจากนี้ผลสุกยังประกอบด้วยสารเพคตินและมีสีแดงเข้มจึงสามารถนำมาทำเป็นวุ้น แยมผลไม้ ใช้ในการแต่งสีและแต่งรสของเครื่องดื่มและอาหารได้

รากสด ต้มน้ำดื่ม ขับพยาธิ บำรุงธาตุ เจริญอาหาร ตำให้ละเอียดผสมกับเหล้าทาหรือพอกรักษาบาดแผลและแก้คัน ในรากมีสารกลุ่ม salicylic acid และ glycoside ซึ่งมีฤทธิ์กระตุ้นหัวใจให้ทำงานมากขึ้น และทำให้ความดันโลหิตลดลง

2.1.8 องค์ประกอบทางเคมีของมะนาวโห่

มะนาวโห่เป็นพืชที่มีสารประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วเป็นสารประกอบในกลุ่มสารฟีนอลิก และอัลคาลอยด์ โดยพบได้ทั้งในส่วนของลำต้น เปลือก ราก ใบ ผล และเมล็ด ดังมีรายละเอียดดังนี้

1) สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในมะนาวโห่เป็นสารที่มีประโยชน์อย่างมาก เนื่องจากมีฤทธิ์ช่วยในการต้านอนุมูลอิสระและรักษาโรค จากผลการศึกษาปริมาณและชนิดของสารประกอบฟีนอลิกในผลมะนาวโห่ พบว่า มี 143.94 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยสารประกอบฟีนอลิกที่มีในผลมะนาวโห่แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ Hydrobenzoic acids ได้แก่ gallic acid (GA) และ p-hydroxy benzoic acid (P-HO) มีปริมาณ 6.49 และ 4.18 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และในกลุ่มของ Hydrocinnamic acids ได้แก่ chorogenic acid (CHA), caffeic acid (CFA), syringic acid (SYA), p-cormaric acid (P-CA), ferulic acid (FA) และ sinapicnic acid (SNA) มีปริมาณเท่ากับ 10.19, 7.41, 9.43, 9.91, 80.04 และ 16.29 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Kubola J Siriamornpun S, 2011) ในส่วนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในแต่ละระยะการสุกของผลพบว่าที่ระยะต่างกันทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกต่างกัน โดยเมื่อผลมีการพัฒนาจากผลดิบไปเป็นผลสุก จะมีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น (วชิราภรณ์ ผิวล่อง สุรศักดิ์ สัจจบุตร ศิริลักษณ์ สิงห์

เพชร จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ, 2556) (สกุลกานต์ สิมลา สุรศักดิ์ บุญแต่ง พัชรี สิริตระกูลศักดิ์, 2556) (**ตาราง 1** และ **ภาพประกอบ 1**) และในใบมะนาวโห่ยังพบสารฟีนอลิกในรูปของ gallic acid (GA) ประมาณ 8.02 มิลลิกรัมต่อกรัม (Sadek YB Naiyyum C Mohammad S, 2013)

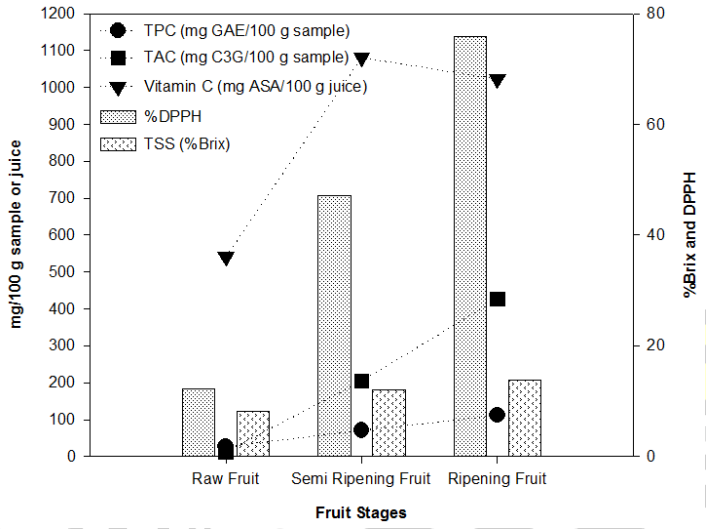
ตาราง 1 ผลของระยะการสุกต่อปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

ระยะการสุก	Total phenolics (mg GAE/g)	DPPH assay (mg AAE/g)	FRAP (µmol/g)	Total anthocyanins[1] (mg/L)	Vitamin C (mg/100g)
ผลดิบ	1.25 a	0.85 a	25.94 a	0.33 a	300.75 b
ผลห่าม	3.60 b	1.96 b	35.49 b	2.55 a	307.20 b
ผลสุก	4.67 c	2.42 c	37.81 c	54.8 b	180.40 a

[1]ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

[2]GAE=gallic acid equivalent. AAE=ascorbic acid equivalent. [1]expressed as cyanidin-3-glucoside

ที่มา: (วชิราภรณ์ ผิวล่อง สุรศักดิ์ สัจจบุตร ศิริลักษณ์ สิงห์เพชร จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ, 2556)



ภาพประกอบ 1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ฟีนอลลิกทั้งหมด แอนโทไซยานิน วิตามินซี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH ในผล Carissa carandas L.

ที่มา: (สกุลกานต์ สิมลา สุรศักดิ์ บุญแต่ง พัชรี สิริตระกูลศักดิ์, 2556)

2) สารประกอบฟลาโวนอยด์

ในส่วนของลำต้น เปลือก ใบ ผล และรากของมะนาวโห่มีสารอัลคาลอยและฟลาโวนอยด์ อยู่เป็นจำนวนมาก (Morton J, 1987) ผลจากการประเมินปริมาณและชนิดของสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในผลมะนาวโห่ พบว่ามีปริมาณ 418.78 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยพบ 5 ชนิด คือ rutin, myricetin, luteolin, quercetin และ apigenin มีปริมาณเท่ากับ 85.47, 38.88, 112.04, 28.36 และ 154.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Kubola J Siriamornpun S, 2011) และในการสกัดสารฟลาโวนอยด์ในผลมะนาวโห่ ยังพบว่ามีปริมาณสารสารฟลาโวนอยด์ประมาณ 0.346, 0.013, 0.4457 และ 0.256 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Prakash R Itankar SJ Lokhande PR Verma SK Arora RA Sahu AT, 2011)

3) สารแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ให้สีม่วง และสีแดง เป็นสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ในผลสุกของมะนาวโห่เป็นระยะที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงมากที่สุด ซึ่งปริมาณแอนโทไซยานินที่เพิ่มขึ้นนี้มีความสัมพันธ์กับระยะการสุกของผลมะนาวโห่ โดยระยะการสุกที่เพิ่มขึ้น จะมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น (วชิราภรณ์ ผิวล่อง สุรศักดิ์ สัจจบุตร ศิริลักษณ์ สิงห์เพชร จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ, 2556); (สกุลกานต์ สิมลา สุรศักดิ์ บุญแต่ง พัชรี สิริตระกูลศักดิ์, 2556) (**ภาพประกอบ 1**)

4) กรดและน้ำตาล

ปริมาณกรดและน้ำตาลเป็นลักษณะที่ใช้บ่งบอกถึงความเปรี้ยวและความหวานในผลไม้ โดยผลมะนาวโห่เป็นผลไม้ที่มีรสชาติเปรี้ยว และหวานขึ้นเมื่อผลสุกมากขึ้น ซึ่งการให้ปุ๋ยก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณกรดและน้ำตาลในมะนาวโห่ โดยพบว่าการพ่นยูเรีย ร้อยละ 1 ที่ระยะติดผล ร่วมกับการพ่นโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต ร้อยละ 0.5 หลังติดผล 20 วัน ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด ทั้งในเดือนที่ 1 เดือนที่ 2 และระยะเก็บเกี่ยว (Mukadam SJ and Haldankar PM, 2013) และเมื่อผลมีอายุเพิ่มมากขึ้นก็จะมีการสะสมปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน (สกุลกานต์ สิมลา สุรศักดิ์ บุญแต่ง พัชรี สิริตระกูลศักดิ์, 2556)

5) วิตามินซี

จากการที่ผลมะนาวโห่มีรสชาติเปรี้ยว จึงเป็นแหล่งของวิตามินซีที่สำคัญ มีรายงานการศึกษาปริมาณวิตามินซีของผลไม้ไทย 20 ชนิด พบว่ามีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 1.32 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งเป็นอันดับ 2 รองจากมะขามป้อม และม่อนไข่ (Kubola J Siriamornpun S Meeso N, 2011) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณวิตามินซีจะเพิ่มขึ้นในระยะผลห่ามจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเป็นผลสุก ปริมาณวิตามินซีพบในผลดิบมากกว่าในผลสุกเกือบ 2 เท่า (**ภาพประกอบ 1**) (วชิราภรณ์ ผิวล่อง สุรศักดิ์ สัจจบุตร ศิริลักษณ์ สิงห์เพชร จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ, 2556); (สกุลกานต์ สิมลา สุรศักดิ์ บุญแต่ง พัชรี สิริตระกูลศักดิ์, 2556) และในใบมะนาวโห่ยังพบวิตามินซีที่ละลายน้ำได้ในรูปของ ascorbic acid ปริมาณ 4.88 มิลลิกรัมต่อกรัม (Sadek YB Naiyyum C Mohammad S, 2013)

การลดลงของวิตามินซีนั้นอาจเกิดจากการถูกนำไปใช้เป็นสารประกอบการหายใจ และการนำไปเป็นโครงสร้างคาร์บอนของการสังเคราะห์สารชนิดใหม่ในระหว่างการสุก (สังคม เตชะวงค์เสถียร, 2535)

2.2 ใบและการใช้ประโยชน์จากใบมะนาวโห่

2.2.1 กายวิภาคศาสตร์ของใบมะนาวโห่

การศึกษากายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบและแผ่นใบของมะนาวโห่มีดังนี้

1) ผิวใบด้านบน

เนื้อเยื่อชั้นผิว เซลล์มีลักษณะเป็นหยักตื้น ไม่พบลวดลายคิวทิน ไม่พบขน ไม่พบผลึก และไม่พบปากใบเนื้อเยื่อชั้นผิว

2) ผิวใบด้านล่าง

เนื้อเยื่อชั้นผิว เซลล์มีลักษณะเป็นหยักตื้น ไม่พบลวดลายคิวทิน ไม่พบขน ไม่พบผลึกในเนื้อเยื่อชั้นผิว มีปากใบแบบพาราไซติก เซลล์ข้างเซลล์คุม 2 เซลล์ แต่ละเซลล์วางตัวขนานตามความยาวของเซลล์คุมและปากใบ เซลล์คุมเป็นรูปไต ยาว 16.04-20.20 ไมโครเมตร กว้าง 11.53-16.46 ไมโครเมตร (นิตจารีย์ อำคา, 2557)

2.2.2 การใช้ประโยชน์จากใบมะนาวโห่

1) สรรพคุณพื้นบ้าน

น้ำต้มจากใบใช้บรรเทาอาการไข้ อาการท้องเสีย อาการปวดหู อาการเจ็บคอ เจ็บในปาก อาการเจ็บจากโรคซิฟิลิส และยังสามารถบรรเทาอาการไข้เป็นๆ หายๆ

2) ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา (สกุลกานต์ สิมลา, 2559)

2.1) ฤทธิ์ในการต้านมะเร็ง พบว่าสาร สกัดจากใบมะนาวโห่ด้วย chloroform สามารถต้าน กิจกรรมของเซลล์มะเร็ง Caov-3 ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีการค้นพบสารตัวใหม่ที่มีอยู่ในใบของมะนาวโห่ชื่อสาร carandinol ซึ่งเป็นสาร ในกลุ่มของ triterpene ซึ่งเมื่อนำมาประเมินความเป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxicity) การสร้างภูมิคุ้มกัน (immunomodulatory) สารต่อต้านไกลเคชั่น (antiglycation) ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และความ สามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ในสภาพ ปลอดเชื้อ พบว่า สารชนิดนี้สามารถก่อความเป็นพิษ กับเซลล์มะเร็งทุกชนิดที่ทำการทดสอบ ทั้ง HeLa, PC-3 และ 3T3 โดยจะมีความเป็นพิษกับเซลล์มะเร็งคอมดลูก (HeLa) มากที่สุด

2.2) ฤทธิ์ในการต้านอาการอักเสบ อาการปวด และอาการไข้ นำสารสกัดจากใบมะนาวโห่มาใช้เพื่อต้านอาการอักเสบและลดไข้ในหนูพบว่า สารสกัดที่ให้กับหนูที่ความเข้มข้น 200 มก./น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม สามารถต้านอาการอักเสบจากการบวมที่อุ้งเท้าของหนู ได้สูงถึงร้อยละ 72.10 ในส่วนของความสามารถในการลดอาการไข้ พบว่าที่ความเข้มข้น100 และ 200 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม สามารถลดอุณหภูมิที่เกิดจากอาการไข้ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ และสามารถลดอาการได้นานถึง 4 ชั่วโมงหลังจากให้สาร

2.3) ฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ ใช้สารสกัดจากใบมะนาวโห่ พบว่าสารสกัดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถต้านการเจริญของเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะ Tetracycline

2.3 การเจริญเติบโตและพัฒนาการของใบ

2.3.1 การเจริญเติบโตของพืช

เป็นกระบวนการที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตและการขยายพันธุ์ของพืช ในพืชชั้นสูง กระบวนการดังกล่าวสังเกตุได้ตั้งแต่ การพัฒนาไซโกตเป็นเอ็มบริโอ เมล็ดงอกและมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา สัณฐานวิทยา และชีวเคมี อย่างต่อเนื่องเป็นลำดับ การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นได้ตั้งแต่ระดับเซลล์ และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับเนื้อเยื่อ อวัยวะและส่วนประกอบต่างๆของพืช เพื่อเกิดเป็นต้นอ่อน กิ่งก้าน มีการออกดอก ติดผล สุกแก่ และระยะที่ต้นพืชตายไป การเติบโตและการพัฒนาของพืชจะดำเนินไปเช่นนี้ในลักษณะเป็นวงจรที่เรียกว่า วัฏจักรชีวิต สามารถแบ่งออกตามการเติบโตและการพัฒนาเป็น 2 ระยะ คือ

1) การเจริญเติบโตทางด้านกิ่งใบ เป็นระยะที่พืชมีการเติบโตและการพัฒนาของราก ลำต้น ใบ และกิ่ง การเติบโตและการพัฒนาของโครงสร้างพืชส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นหลังจากสิ้นสุดการกำเนิดเอ็มบริโอและการสร้างเมล็ดซึ่งจะได้แก่การเจริญของต้นพืชที่มีขนาดเล็กและยังไม่มีการพัฒนาเป็นอวัยวะ ประกอบด้วยเนื้อเจริญปลายราก และเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด

2) การเจริญเติบโตด้านการสืบพันธุ์ เป็นระยะที่พืชมีการเจริญเติบโตและการพัฒนาของอวัยวะที่มีหน้าที่ในการสืบพันธุ์ คือ ดอก ผล และเมล็ด พัฒนาการด้านการสืบพันธุ์เป็นการสร้างดอกและส่วนสืบพันธุ์ ต่อมาสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ภายในเรณู และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียภายในออวุล เพื่อการผสมเกสรต่อไป และ 3) การแก่ชราหรือเสื่อมสภาพ เป็นระยะที่พืชเริ่มเสื่อมสภาพและหลุดร่วง เช่น ในกรณีของใบ ดอก ผล หรือเมล็ด (ลิลลี่ กาอีต๊ะ มาลี ณ นคร ศรีสม สุวรรณวงศ์ สุรียา ตันติวิวัฒน์ ณรงค์ วงศ์กันทรากร, 2556)

2.3.2 พัฒนาการของพืช

พัฒนาการของพืช คือ สิ่งที่เกิดขึ้นเป็นลำดับ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาหรือช่วงอายุของสิ่งมีชีวิตนั้น ซึ่งรวมถึงการเติบโตและการเปลี่ยนสภาพ นอกจากนี้พัฒนาการของพืชเกิดขึ้นเห็นชัดเจนคือ การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงเพื่อก่อกำเนิดอวัยวะและส่วนต่างๆ ของพืช โดยมีการจัดเรียงลำดับของการเกิดและขั้นตอนของการพัฒนาอย่างเป็นระบบ (ลิลลี่ กาอีต๊ะ มาลี ณ นคร ศรีสม สุวรรณวงศ์ สุรียา ตันติวิวัฒน์ ณรงค์ วงศ์กันทรากร, 2556)

1) พัฒนาการทางใบ (leaf development) เป็นช่วงที่พืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่เจริญออกไปทางด้านข้าง โดยมีตำแหน่งอยู่ที่ข้อของลำต้นหรือกิ่ง ใบส่วนใหญ่มีสีเขียวจากคลอโรฟิลล์ มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ใบมีหน้าที่ทำการสังเคราะห์แสง หายใจ และคายน้ำ ใบแบ่งออกเป็น 4 ชนิด (มานิตย์ อัญญะโพธิ์, 2552) ได้แก่

1.1) ใบเลี้ยงเป็นใบของเอ็มบริโอในเมล็ด เป็นใบแรกที่งอกออกจากเมล็ดช่วยสะสมหรือสร้างอาหาร เพื่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ในระยะที่เมล็ดเริ่มงอกและใบแท้ยังไม่เกิด ในใบเลี้ยงเดี่ยวจะมีใบเดียว แต่ถ้าเป็นพืชใบเลี้ยงคู่จะมี 2 ใบ

1.2) ใบเกล็ด เป็นใบที่เจริญมาเพื่อทำหน้าที่คอยห่อหุ้มป้องกันตาและใบอ่อนไม่ให้ได้รับอันตราย โดยทั่วไปไม่มีสีเขียว บางชนิดมีขนาดใหญ่ทำหน้าที่สะสมอาหาร

1.3) ใบดอก เป็นใบที่เปลี่ยนไปเป็นส่วนของดอก เพื่อทำหน้าที่ล่อแมลงในการผสมเกสร หรือการสืบพันธุ์

1.4) ใบแท้ คือใบที่มีสีเขียวทำหน้าที่หลักในการสังเคราะห์แสง หายใจ และคายน้ำ นอกจากนี้ยังมีใบที่เปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่พิเศษ เช่น มือเกาะ เป็นใบที่เปลี่ยนไปทำหน้าที่ยึดเกาะและพยุงลำต้นให้ไต่ขึ้นที่สูงได้ หนาม เป็นใบที่เปลี่ยนไปเป็นหนาม อาจเกิดจากส่วนแผ่นใบ หูใบ ขอบใบ หรือส่วนอื่นๆ ของใบ เป็นต้น ใบในพืชต่างชนิดกันจะมีการพัฒนาแตกต่างกัน

2) พัฒนาของดอก (flower development) การออกดอกเป็นผลมาจากการพัฒนาของเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด จากการเติบโตและการพัฒนาทางลำต้นไปสู่การเจริญเติบโตและการพัฒนาทางการสืบพันธุ์โดยเกิดการพัฒนาการอย่างเป็นลำดับและต่อเนื่องของเนื้อเยื่อเจริญของดอก เพื่อสร้างโครงสร้างดอก การออกดอกสามารถแบ่งได้ 3 ระยะ (Gardner FP Pearce RB and Mitchell RL, 1985) คือ

2.1) ระยะ induction เป็นระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนในส่วนปลายยอด ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดดอก

2.2) ระยะ evocation เป็นระยะที่เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด เกิดการเปลี่ยนแปลงพืช มีการสร้างตาดอกเกิดขึ้น

2.3) ระยะ floral development เป็นระยะที่มีการเจริญต่อจากตาดอกของพืชไปเป็นดอกหรือช่อดอกที่สมบูรณ์ หลังจากนั้นจะได้โครงสร้างที่เป็นดอก ได้แก่ กลีบเลี้ยง และ กลีบดอก กับโครงสร้างที่จำเป็นต่อการสืบพันธุ์ ได้แก่ เกสรเพศผู้ และเกสรเพศเมีย

3) พัฒนาการของผล (fruit development) เป็นระยะสุดท้ายของการพัฒนาด้านการสืบพันธุ์ โดยเป็นส่วนของรังไข่ที่เปลี่ยนสภาพและเจริญเติบโตหลังการปฏิสนธิ แล้วพัฒนาเป็นส่วนของผล ซึ่งอาจมีส่วนประกอบอื่นของดอกเจริญร่วมกันขึ้นมาเป็นส่วนของผลด้วย เช่น ฐานรองดอกซึ่งห่อหุ้มรังไข่ของดอกชนิด inferior ovary ติดมาเป็นส่วนของผลด้วย นอกจากผลที่เกิดจากรังไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิแล้วยังมีผลบางชนิดเกิดขึ้นจากการกระตุ้นของฮอร์โมนพืชทำให้รังไข่มีการพัฒนาเป็นผล เรียกผลชนิดนี้ว่า ผลเทียม ผลชนิดนี้เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะไม่พบเมล็ด ในทางพฤกษศาสตร์ ผลหมายถึง ส่วนของรังไข่ที่พัฒนาเจริญเต็มที่แล้ว (ลิลลี่ กาอีต๊ะ มาลี ณ นคร ศรีสมสุวรรณวงศ์ สุรียา ตันติวิวัฒน์ ณรงค์ วงศ์กันทรากร, 2556)

4) การเติบโต (growth) คือ การเพิ่มของขนาด ซึ่งอาจเป็นด้านความกว้าง ความยาว และความหนา การเพิ่มความสูง มวล ปริมาตร หรือน้ำหนัก เช่นการเพิ่มจำนวนของเซลล์ การเพิ่มปริมาตรของโพรโทพลาซึม การขยายขนาดของเซลล์ การยืดตัวของเซลล์ ข้อ ปล้อง และการเพิ่ม

ขนาดของต้นพืช เป็นต้น การเติบโตเป็นการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาณที่สามารถชั่ง ตวง หรือวัด เป็นตัวเลขได้ โดยปกติแล้วการเจริญเติบโตจะเกิดขึ้นพร้อมกับการแบ่งเซลล์ และการขยายตัวของเซลล์ (ลิลลี่ กาอีต๊ะ มาลี ณ นคร ศรีสม สุวรรณวงศ์ สุรียา ตันติวิวัฒน์ ณรงค์ วงศ์กันทรากร, 2556)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนา มี 2 ปัจจัย (มานิตย์ อัญญะโพธิ์, 2552) ได้แก่ ปัจจัยภายใน เกิดจากการควบคุมหรือกระตุ้นของสารที่สร้างจากเซลล์หรืออวัยวะที่สร้างมาก่อน และปัจจัยภายนอก ได้แก่ สภาพดิน ฟ้า อากาศ แสง อุณหภูมิ และแร่ธาตุอาหารในดิน นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโต ในปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น แสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก พืชบางชนิดเจริญโตได้ในร่มเงา พืชบางชนิดจะออกดอกในช่วงแสงที่เหมาะสม

พืชทั่วไปจะออกดอกได้เมื่อมีอายุเหมาะสม อาหารสะสมเพียงพอ และสภาพแวดล้อมเหมาะสม นอกจากนี้พืชแต่ละชนิดยังสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าและปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ โดยเริ่มตั้งแต่การงอกของเมล็ด พืชจะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและสัณฐานวิทยา จนกระทั่งได้ต้นกล้าซึ่งมีการเจริญเติบโตและการพัฒนาไปเป็นต้นพืชที่เจริญเต็มที่ สามารถผลิตดอก ผล และเมล็ด ทำให้พืชแพร่พันธุ์และดำรงพันธุ์อยู่ได้ (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544)

2.3.3 ผลของพัฒนาการที่มีต่อลักษณะทางสัณฐานในใบ

ใบ ผลของระยะพัฒนาการต่อลักษณะทางสัณฐานของใบ ส่งผลให้ลักษณะทางสัณฐานมีการเปลี่ยนแปลง ดังจะเห็นได้จากรายงานการศึกษาของ (Rajaei H Yazdanpanah P, 2015) ที่ทำการศึกษาโครงสร้างและการพัฒนาของตาใบและใบในทับทิม พบว่า ระยะการพัฒนาในใบทับทิมมี 7 ระยะ ได้แก่ 1 ระยะใบในตางัน 2 ระยะใบในตาโป่ง 3 ระยะใบในตารูปเงี่ยงใบหอก 4 ระยะใบโผล่พ้นตา 5 ระยะใบสีแดง 6 ระยะใบสีแดงแกมเขียว และ 7 ระยะใบสีเขียวที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ (Fadon E Herrero M and Rodrigo J, 2015) ที่ได้ศึกษาการพัฒนาของใบเชอร์รี่หวาน โดยใช้เวลา 4 เดือน ในการศึกษาการพัฒนาของใบ พบว่าการพัฒนาของใบเริ่มต้นจากระยะใบในตางัน จนกระทั่งถึงระยะใบสีเขียวที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่เช่นกัน ระยะพัฒนาการเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นหรือปริมาณของคลอโรฟิลล์เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีความสามารถในการดูดซับพลังงานแสงได้มากขึ้น และทำให้เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหารได้มากยิ่งขึ้น (สิริมาส วงศ์สุบรรณ กฤษณา กฤษณพุกต์ ลพ ภวภูตานนท์, 2555) ใบที่มีอายุมากขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ และค่า SCMR สูงตามไปด้วย (Arunyanark *et al*., 2009) คลอโรฟิลล์ที่เป็นองค์ประกอบในใบพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชจะมีมากที่สุดในช่วงใบเจริญเต็มที่ และจะลดลงเมื่อเข้าสู่ภาวะร่วงโรย (Lefsrud M Kopsell D Wenzel A Sheehan J, 2007) ดังนั้นจึงทำให้ใบแก่มีสีเขียวเข้มกว่าใบเพสลาดและใบอ่อน (Lee J Hwang YS Kang IK Choung MG, 2015)

2.3.4 ผลของพัฒนาการที่มีต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในใบ

ปริมาณสารพฤกษเคมีมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละระยะพัฒนาการของใบ ดังจะเห็นในรายงานการศึกษาผลของระยะพัฒนาการในใบข้าวต่อปริมาณสารพฤกษเคมี พบว่า พัฒนาการของใบข้าวเหนียวระยะแตกกอมีสารประกอบฟีนอลิกและกรดแกลลิค (gallic acid) สูงที่สุดอยู่ในช่วง

3.67-4.89 และ 2.65-3.71 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิคต่อกรัม (Krasaetep J Nakornriab M Puangpronpitag D, 2011) และยังพบ Gallic acid ในใบเม่าตัวผู้พันธุ์ SKM13 ถึง 17,883.68 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (สุดารัตน์ สกุลคู เมวิกา ชัยฤทธิ์, 2557) และยังมีการศึกษาผลของระยะพัฒนาการต่อปริมาณวิตามินซีในใบทุเรียน โดยทำการศึกษาในยอด ใบอ่อน และใบแก่ของทุเรียน พบว่า ระยะใบแก่ของทุเรียนพันธุ์กำปั่นตาเพ็งมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด (นิภาพร ยลสวัสดิ์ มณทินี ธีรารักษ์ จำรูญ เล้าสินวัฒนา, 2557) และยังมีในรายงานการศึกษาของ (Shiow YW and Lin HS, 2000) ที่ทำการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในระยะใบอ่อน และระยะใบแก่ของแบล็กเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ และสตรอว์เบอร์รี่ พบว่า ชนิดพืชและระยะของใบที่ต่างกัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังพบรายงานประเมินสารพฤกษเคมีจากใบหว้าด้วยเครื่องโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) พบว่า สารสกัดจากใบหว้ามีสารประกอบฟีนอลิก เช่น กรดเฟอรูลิก (ferulic acid) ที่มีส่วนในการต้านอนุมูลอิสระด้วย (Ruan ZP Zhang LL Lin YM, 2008)

2.4 ดินเค็ม

ดินเค็ม (saline soil) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือละลายอยู่ในสารละลายดินมากเกินไป มีกระทบต่อการเจริญเติบโต ปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ซึ่งอาจรุนแรงถึงขั้นทำให้พืชตายได้ เนื่องจากเกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช พืชเกิดอาการขาดน้ำและมีการสะสมไอออนที่เป็นพิษในพืชมากเกินไป (วันชัย วงษา, 2555) โดยทั่วไปจะใช้วิธีการวัดความเค็มจากค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดิน ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเกินกว่า 2 เดซิซีเมน/เมตร (decisemen/meter: เดซิซีเมนต่อเมตร) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และสมาคมปฐพีศาสตร์แห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดขอบเขตของดินเค็มไว้ โดยพิจารณาระดับความเค็มที่วัดจากค่าการนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity: EC) อัตราส่วนของโซเดียมที่ถูกดูดซับ (sodium adsorption ratio: SAR) ที่วัดจากสารละลายที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil pH) (รังสรรค์ อิ่มเอิบ, 2547)

ธรณีวิทยาทั่วไปของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หรือรู้จักกันทั่วไปอีกชื่อหนึ่งว่า ที่ราบสูงโคราช (The Khorat Plateau) ประกอบด้วยหินตะกอนของกลุ่มหินโคราช (Khorat Group) ซึ่งเป็นตะกอนหินสีแดงของมหายุคมีโซโซอิก (Mezosoic red bed) สะสมตัวบนภาคพื้นทวีป ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินทราย หินโคลนและหินกรวดมน ความหนาของชั้นหินทั้งสิ้นอาจหนาถึง 4,000 เมตร

หมวดหินโคราชวางตัวแบบไม่ต่อเนื่องบนยุคหินยุคที่มีอายุมากกว่า โดยส่วนล่างสุดมักพบชั้นหินกรวดมน ปัจจุบันกลุ่มหินโคราชแบ่งออกเป็น 9 หมวดหิน โดยมีลำดับหมวดหินจากล่างไปหาบนดังนี้ 1) หมวดหินห้วยหินลาด 2) หมวดหินน้ำพอง 3) หมวดหินภูกระดึง 4) หมวดหินพระวิหาร 5) หมวดหินเสาขัว 6) หมวดหินภูพาน 7) หมวดหินโคกกรวด 8) หมวดหินมหาสารคาม และ9) หมวดหินภูทอก ในหมวดหินทั้งหมดที่พบในกลุ่มหินโคราชนี้ หมวดหินมหาสารคามเป็นหมวดหินที่

ประกอบด้วยหินเกลือและถูกพิจารณาว่าเป็นแหล่งของเกลือในดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (บุปผา โตภาคงาม, 2549)

2.4.1 การจำแนกดินเค็ม

การจำแนกดินเค็มมีหลายระบบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานในแต่ละประเทศ โดยในประเทศไทยนิยมจำแนกดินเค็มตามคุณสมบัติทางเคมี แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท (**ตาราง 2**) (รังสรรค์ อิ่มเอิบ, 2547) ได้แก่

1) ดินเค็ม (saline soil) หมายถึง ดินที่มีเกลือละลายได้ในดินมากเกินไป จนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

2) ดินโซดิก (sodic soil) หมายถึง ดินที่มีโซเดียมแลกเปลี่ยนได้มาก จนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

3) ดินเค็มโซดิก (saline sodic soil) หมายถึง ดินที่มีเกลือละลายได้ และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มาก จนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

ตาราง 2 การจำแนกประเภทดินเค็ม

ประเภทดินเค็ม	ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (เดซิซีเมนต่อเมตร)	ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (Soil pH)	ค่าการแลกเปลี่ยนโซเดียมของดิน (ร้อยละ)	อัตราส่วนของโซเดียมที่ถูกดูดซับ
ดินเค็ม	>2	<8.5	<15	<13
ดินโซอิก	<2	>8.5	>15	>13
ดินเค็มโซอิก	>2	>8.5	>15	>13

ที่มา: (อรุณี ยูวะนิยม, 2547)

นอกจากนี้ยังมีการจำแนกระดับความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช สามารถจำแนกได้ 4 ระดับ คือ ดินไม่เค็ม ดินเค็มน้อย ดินเค็มปานกลาง ดินเค็มมาก และดินเค็มจัด (**ตาราง 3**)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 3 การจำแนกระดับความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช

ระดับความเค็ม	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต่อเมตร)	เปอร์เซ็นต์เกลือในดิน (ร้อยละ)	การตอบสนองของพืช
ดินไม่เค็ม	< 2	< 0.1	ไม่มีผลกระทบต่อพืช
ดินเค็มน้อย	2-4	0.1-0.2	มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่ทนเค็ม
ดินเค็มปานกลาง	4-8	0.2-0.4	มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด
ดินเค็มมาก	8-15	0.4-0.8	พืชทนเค็มเท่านั้นจึงจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้
ดินเค็มจัด	> 15	>0.8	พืชทนเค็มสูงจึงจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้

ที่มา: ดัดแปลงจาก(สุมาลี ชูกำแพง, 2555) และ(สมศรี อรุณินท์, 2539)

2.4.2 สาเหตุของการเกิดดินเค็ม มี 2 ประการ (วิชิตพล มีแกว ณัฐพล ขันธปราบ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ, 2553) คือ

1) มาจากการแพร่ของน้ำเค็มจากทะเลหรือน้ำเค็มใต้ดิน เช่น ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2) มาจากพาหะที่พาเกลือแพร่กระจายไปสู่ที่ต่างๆ เช่น มนุษย์ ลม และ น้ำ

สำหรับในประเทศไทยมีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ ลักษณะของดินเค็มที่สังเกตได้ชัดเจนจะปรากฏคราบเกลือขึ้นตามผิวดิน

2.4.3 การวัดค่าความเค็มดิน

โดยทั่วไปใช้วิธีวัดจากค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งค่าของความเค็มขึ้นอยู่กับปริมาณหรือความเข้มข้นของเกลือที่ละลายได้ นิยมวัดจากค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation) เพื่อความสะดวกและรวดเร็วอาจใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำในอัตราส่วน 1: 5 แต่ต้องมีการระบุอัตราส่วนนี้ไว้ด้วย นอกจากความเข้มข้นของเกลือที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าแล้ว อุณหภูมิก็มีผลเช่นเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส จะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 2 ต่ออุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ดังนั้นการวัดความเค็มด้วยวิธีการวัดจากค่าการนำไฟฟ้าจึงใช้ค่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเกณฑ์ (รังสรรค์ อิ่มเอิบ, 2547)

2.4.4 หน่วยของความเค็ม

ค่าของความเค็มที่วัดได้เรียกว่า EC ซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิซีเมนต่อเมตร (desi Siemen/meter, dS/m) หรือมิลลิโมล์/เซนติเมตร (millimoh/centimeter, mmho/cm) โดย 1000 µS/cm มีค่าเท่ากับ 1 เดซิซีเมนต่อเมตร เท่ากับ 1 mS/เซนติเมตร หรือเท่ากับ 640 มิลลิกรัม/ลิตร โดยค่า EC_e ที่ 4 เดซิซีเมนต่อเมตร มีค่าเท่ากับโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 40 มิลลิโมล์ (Munns R Cramer GR Ball MC, 1999)

2.4.5 แนวทางการแก้ปัญหาความเค็ม

วิธีการป้องกันไม่ให้เกิดการแพร่กระจายดินเค็มเพิ่มมากขึ้นต้องพิจารณาจากสาเหตุการเกิด ดำเนินการได้โดยวิธีการทางวิศวกรรม วิธีทางชีววิทยา และวิธีผสมผสานระหว่างทั้ง 2 วิธี (วันชัย วงษา, 2555) ดังนี้

1) วิธีทางวิศวกรรม ต้องมีการออกแบบพิจารณาเพื่อลดหรือตัดกระแสการไหลของน้ำใต้ดินให้อยู่ในสมดุลของธรรมชาติมากที่สุด ไม่ให้มีการเพิ่มระดับน้ำใต้ดินเค็มในพื้นที่ลุ่ม

2) วิธีทางชีววิทยา โดยใช้วิธีการทางพืช เช่น การปลูกป่าเพื่อป้องกันการแพร่กระจายดินเค็ม มีการกำหนดพื้นที่รับน้ำที่จะปลูกป่า ปลูกไม้ยืนต้น หรือไม้โตเร็วมีรากลึกใช้น้ำมากบนพื้นที่รับน้ำที่กำหนด เพื่อทำให้เกิดสมดุลการใช้น้ำบนดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่ สามารถแก้ไขลดความเค็มของดินในพื้นที่ลุ่มที่เป็นพื้นที่ให้น้ำได้

3) วิธีผสมผสาน การแก้ไขลดระดับความเค็มของดินลงให้สามารถปลูกพืชได้ โดยการใช้น้ำชะล้างเกลือจากดินและการปรับปรุงดิน ดินที่มีเกลืออยู่สามารถกำจัดออกไปได้โดยการชะล้างด้วยน้ำ การให้น้ำสำหรับล้างดินมีทั้งแบบต่อเนื่องและแบบขังน้ำเป็นช่วงเวลา แบบต่อเนื่องใช้เวลาในการแก้ไขดินเค็มได้รวดเร็วกว่าแต่ต้องใช้ปริมาณน้ำมาก ส่วนแบบขังน้ำเวลาในการแก้ไขดินเค็มช้ากว่าแต่ประหยัดน้ำ นอกจากนี้ควรมีการใช้พื้นที่ดินเค็มให้เกิดประโยชน์ตามสภาพที่เป็นอยู่ ไม่ปล่อยให้พื้นดินว่างเปล่า ด้วยการคลุมดินหรือเปลี่ยนพืชปลูกให้เหมาะกับพื้นที่ เช่น พืชทนเค็ม หรือพืชชอบเกลือ

2.4.6 การทนเค็มของพืช

การทนเค็มของพืช หมายถึง ความสามารถของพืชที่จะทนต่อเกลือในปริมาณมากบริเวณรากพืช พืชต่างชนิดกันมีความสามารถในการทนเค็มต่างกัน มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับการทนเค็มของพืช เช่น ชนิดของเกลือ สภาพฟ้าอากาศ สภาพของดิน และอายุพืช ส่วนใหญ่พืชมีผลผลิตลดลงเมื่อสารละลายดินมีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร พืชบางชนิดทนเค็มได้ถึง 4-8 เดซิซีเมนต่อเมตร แต่เมื่อระดับความเค็มสูงถึง 16 เดซิซีเมนต่อเมตร พืชเกือบทุกชนิดแสดงอาการที่ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง (ธวัชชัย ลีหน้าน้อย ภูวดล โกมณเฑียร, 2557) เมื่อพืชไม่ทนเค็มหรือทนเค็มน้อยได้รับผลกระทบจากความเค็มจะแสดงอาการคล้ายกับการที่พืชขาดน้ำ เช่น ชะงักการเจริญเติบโต พืชมีขนาดเล็กกว่าพืชที่ปลูกในดินธรรมดา แต่จะไม่แสดงอาการผิดปกติทางใบ ใบห่อลงเพื่อลดการคายน้ำทางปากใบ พืชบางชนิดอาจมีสีเขียวเข้มแกมน้ำเงิน (bluish green) มากกว่าพืชที่ขึ้นในดินปกติที่ปลูกในสภาพคล้ายคลึงกัน สีของใบพืชเข้มกว่าเนื่องจากใบมีคลอโรฟิลล์มากและมีสารเคลือบใบ (cuticle) หนาเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ในบางครั้งอาจพบอาการปลายใบไหม้ (tip burn) เกิดจุดประ (mottles) บนใบ ใบม้วนและใบเหลืองเนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์ ใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลปลายใบและขอบใบแห้งกรอบ การทนเค็มในช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืชก็แตกต่างกัน ผันแปรไปตามระยะการเจริญเติบโตตั้งแต่งอกจนกระทั่งสุกแก่ และอาจผันแปรตามระยะของการพัฒนาด้วย พืชที่ปลูกส่วนใหญ่ได้รับความเสียหายตั้งแต่ระยะงอกหรือในการเจริญเติบโตช่วงแรก ทำให้มีพืชขึ้น

ไม่ได้เป็นหย่อมๆ ในแปลงปลูก เมื่อพ้นระยะกล้าไปแล้วพืชจะทนเค็มได้ดีขึ้น (อรุณี ยูวะนิยม, 2536)

กลไกการทนเค็มของพืชมีดังนี้

1. หลีกเลี่ยงการสะสมเกลือในไซโตพลาสซึม ในปริมาณที่เป็นพิษ โดยการมี Salt gland หรือเคลื่อนย้ายเกลือไปสะสมใน Vacuole

2. สร้างเอนไซม์ (enzyme) ต่างๆ มีความสามารถในการทนเค็มต่อความเข้มข้นของเกลือสูง และสร้างเอนไซม์ให้ทำปฏิกิริยาต่างๆเพื่อทนความเค็มได้

3. โดยการดูดเกลือเข้ามาสะสมในบริเวณรากหรือลำต้น

4. โดยการเพิ่มปริมาณน้ำภายในเซลล์ ทำให้ความเข้มข้นของเกลือภายในเซลล์ลดลง

5. รากพืชสามารถที่จะแทรกตัวในดินที่เป็นแผ่นดินทึบได้

6. รากพืชกันเกลือ (exclude) ออกไปและดูดเอาเฉพาะน้ำเข้าไปได้

สร้างสารเคลือบใบ สร้างใบให้หนาขึ้นเพื่อเก็บน้ำไว้ใช้

2.4.7 การจำแนกพืชทนเค็ม

พืชเป็นดัชนีบอกสภาพความเค็มหรือโซดิกของดินได้ พืชมีความสามารถในการทนเค็มและการทนดินโซดิกได้ต่างกัน การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชลดลง เนื่องจากพืชนำพลังงานที่จะนำไปใช้ใน การเจริญเติบโตมาปรับตัวต่อสภาพความเครียดออสโมติกที่เกิดขึ้น สามารถจำแนกพืชออกได้เป็น 3 จำพวก คือ

1) พืชทนเค็ม (salt tolerance) ได้แก่ พืชที่มีความสามารถเจริญเติบโตได้ครบวงจรชีวิตใน สภาพเค็มเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้นการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง (**ตาราง 4**) การทนเค็มของ พืชแตกต่างกันในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พืชส่วนใหญ่ทนเค็มได้ในระยะที่พืชงอกจากเมล็ด แต่ความสามารถทนเค็มลดลงเมื่อเลยระยะงอกไปแล้ว เช่น ผักกาดหัวจัด เป็นพืชทนเค็มปานกลาง ไม้ทนเค็มในช่วงงอก ข้าวโพดจัดอยู่ในพวกทนเค็มน้อยแต่งอกได้ดีกว่าผักกาดหัว ดังนั้นจึงไม่ควรปลูกพืชไม่ทนเค็ม (**ตาราง 4**) เช่น ถั่ว แครอท และหอมใหญ่ เป็นต้น ควรปลูกบล็อคโคลีและมะเขือเทศ ซึ่งเป็นพืชทนเค็มน้อย หรือพืชทนเค็มปานกลาง เช่น หัวไชเท้า แตงกวาญี่ปุ่น ซูกินี

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 4 กลุ่มพืชที่มีความทนเค็มในระดับความเค็มต่างๆ

ระดับความเค็ม	เค็มน้อย	เค็มปานกลาง	เค็มมาก		เค็มจัด
อาการของพืช	พืชบางชนิดแสดงอาการ	พืชบางชนิดแสดงอาการ	พืชทนเค็มบางชนิดเจริญเติบโตให้ผลผลิต		
พืชผัก					
หมายเหตุ: ในระดับความเค็มที่กำหนดไว้ในตาราง พืชสามารถเจริญเติบโตและมีผลผลิตลดลงไม่เกินร้อยละ 50	ถั่วฝักยาว ผักกาดคื่นใช่ พริกไทย แตงร้าน แตงไทย แตงกวา มะเขือ	บวบ พริกยักษ์ ถั่วลันเตา น้ำเต้า หอมใหญ่ ข้าวโพดหวาน ผักกาดหอม แตงกวาญี่ปุ่น บล็อกโคลี่	กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี มันฝรั่ง กระเทียม หอมแดง แตงโม แคนตาลูป สับปะรด หน่อไม้ฝรั่ง ผักชี	ผักโขม ผักกาดหัว มะเขือเทศ ถั่วพุ่ม ชะอม คะน้า กระเพรา ผักบุ้งจีน	
ไม้ดอก					
	เยอบีรา	กุหลาบ		บานบุรี บานไม่รู้โรย เล็บมือนาง ชบา เฟื่องฟ้า	คุณนายตื่นสาย เข็ม เขียวหมื่นปี แพรเซี่ยงไฮ้
พืชไร่และพืชอาหารสัตว์					
	ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วแดง ถั่วแขก ถั่วดำ ถั่วปากอ้า งา	ข้าว โสนอินเดีย ป่าน โสนพื้นเมือง ทานตะวัน ปอแก้ว ข้าวโพด หม่อน ข้าวฟ่าง หญ้าเจ้าชู้ อัญชัน มัน สำปะหลัง ถั่วพุ่ม ถั่วพร้า	หญ้านวลน้อย โสนคางคก ข้าวทนเค็ม คำฝอย โสนอัฟริกัน มันเทศ หญ้าขน หญ้ากินนี	ฝ้าย หญ้าแพรก หญ้าเนเปียร์ หญ้าซันกาศ หญ้าแห้วหมู ป่าน ศรนารายณ์	หญ้าดิกซี หญ้าสเมียร์นา หญ้าซีบรูค หญ้าจอเจีย หญ้าคาลา
ไม้ผลและต้นไม้					
	อาโวกาโด กล้วย ลิ้นจี่ มะนาว ส้ม มะม่วง	ทับทิม ปาล์มน้ำมัน ชมพู่ มะกอก แค มะเดื่อ องุ่น	กระถินณรงค์ ขี้เหล็ก ฝรั่ง ยูคาลิปตัส มะม่วงหิมพานต์ มะยม สมอ	ละมุด พุทรา มะขาม มะพร้าว อินทผลัม สน สะเดา	โกงกาง ชะคราม หนามแดง สะเม็ด แสม กระถินออสเตรเลีย

ที่มา: (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562)

2) พืชชอบเกลือ (halophyte) ได้แก่ พืชที่สามารถปรับตัวเจริญเติบโตได้ในความเค็มระดับสูง รอดตายได้มากกว่าร้อยละ 75 ในสารละลาย 540 mol/m^3 NaCl (40 ppt) พืชชอบเกลือ เจริญเติบโตได้ดีในสารละลายที่มีเกลือมากกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ miohalophyte ขึ้นได้ในความเค็มระดับน้ำกร่อย และ euhalophyte ขึ้นได้ในความเค็มระดับน้ำทะเล พืชพวกนี้ดูดเกลือเข้ามาสะสมในต้นเพื่อปรับความเข้มข้นสารละลายในเซลล์ ทำให้สามารถดูดน้ำจากดินได้

3) พืชไม่ทนเค็ม (glycophytes) ได้แก่ พืชที่ไม่ได้มีกำเนิดในสภาพเค็ม แต่มีกลไกที่พัฒนาให้สามารถเจริญ เติบโตในดินเค็มได้ในสภาพเค็มรอดตายได้มากกว่าร้อยละ 75 ในสารละลาย 180 mol/m^3 NaCl (10 ppt) หรือในน้ำกร่อย พืชพวกนี้ไม่สะสมเกลือในต้น แต่จะผลิตน้ำตาลหรือกรดอินทรีย์ บางชนิดขึ้นมาเพื่อเพิ่มความเข้มข้นในเซลล์ของราก ซึ่งต้องใช้พลังงานมากทำให้การเจริญเติบโตและ ผลผลิตลดลง

นอกจากนี้ (Yuvaniyama A, 1994) ได้สำรวจพันธุ์พืชในพื้นที่ดินเค็ม 5 จังหวัด ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดกาฬสินธุ์ พบพืชชนิดรวม 42 ชนิด ได้แก่ *Adenosma ineianum*, *Althernanthera sesilis*, *Amaranthus visidis*, *Bacopa monnieri*, *Bothriochloa pertusa*, *Choloris barbata*, *Chrysopogon aciculatus*, *Comelina sp.*, *Crotolaria linifolia*, *Cynodon dactylon*, *Cyperus compressa*, *Fimbristylis semarangensis*, *Fimbristylis sp.*, *Grangea maderaspatana*, *Ischaemum rugosum*, *Jussiaea linifloria*, *Lindemia viatica*, *Ludwidia hyssopifolia*, *Maytenus mekongensis*, *Merremia tridenta*, *Ocimum sanctum*, *Cyperus sp.*, *Dactyloctenium aegypteum*, *Murdannia sp. Murdannia sp.*, *Dicanthium annulatum*, *Digitaria timoreussis*, *Echinochloa oryzoides*, *Eclipta prostrata*, *Eragrostis elongate*, *Eriochloa procera*, *Fimbristylis dichotoma*, *Fimbristylis monostachyos*, *Panicum repens*, *Pluchea indica*, *Portulaca sp.*, *Roala diversifolia*, *Sporobolus coromandelianus*, *Synostemon bacciformis*, *Trianthema portulacustrum*, *Tragus racemosus*, *Trianthema triqueta* และ *Trianthema sp.*

และยังมีในรายงานของ (Nemoto M. and S. Panchaban, 1987) ที่ได้ทำการสำรวจพืชพรรณในดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือและตรวจวัดคุณสมบัติดินบริเวณที่พบพันธุ์พืชชนิดต่างๆ ในจังหวัดขอนแก่น จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดนครราชสีมา พบว่า ในพื้นที่ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในฤดูแล้งความเข้มข้นของเกลือที่ผิวดินจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ในฤดูฝนความเค็มของดินจะลดลงและเกิดน้ำท่วมขัง (water logging) และมีการกัดกร่อนของดิน (erosion) เกิดขึ้นในที่ลุ่ม พืชที่พบในฤดูฝน คือ หญ้านิ้วหนู (*Fimbristylis dichotoma*) หญ้าไข่เขียด (*F. miliaceae*), *Cyperus rotundus*, หญ้าแพรก (*Cynodon dactylon*) หญ้าชันกาศ (*Panicum repens*), *Eriocaulon sp.* และไม้พุ่มที่อวบน้ำ เช่น หนามแดง (*Maytenus mekongensis*) พืชเหล่านี้พบอยู่ทั่วไปในดินที่มีความเค็มสูง (high salt affected soil) พืชที่ขึ้นอยู่ในที่ลุ่มความเค็มสูงนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 พืชอายุหลายปี (perennial grass) มีความ

ทนทานต่อความเค็มได้สูงและทนต่อสภาพน้ำขัง พืชประเภทนี้ ได้แก่ หญ้าแพรก หญ้าชันกาศ และประเภทที่ 2 พืชอายุปีเดียว ซึ่งสามารถอยู่ข้ามปีได้ในสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม ในรูปเมล็ด เช่น หญ้านิ้วหนู และหญ้าไข่เขียด และในปี 2535 (บุปผา โตภาคงาม อเนก โตภาคงาม เกษสุดา เดชภิมล และสถาพร ไพบูลย์ศักดิ์, 2535) ได้สำรวจพันธุ์พืชในฤดูฝนและฤดูแล้งบริเวณบ้านเป็ด ตำบลบ้านเป็ด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น พบว่าในฤดูฝนจะพบพืชถึง 24 ชนิด ได้แก่ แต่ในฤดูแล้ง จะพบพืชเหลือเพียง 15 ชนิด ดัง**ตาราง 5**

ตาราง 5 ชนิดพืชที่ตรวจพบในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
หญ้าหนวดปลาดุก	หญ้าหนวดปลาดุก
สร้อยนกขา หรือมะไฟเดือนห้า	สร้อยนกขา หรือมะไฟเดือนห้า
ขลู่	ขลู่
ถั่วลิสงนา	-
หญ้ารังนก	หญ้ารังนก
หญ้าไข่ปู	หญ้าไข่ปู
หญ้าแพรก	หญ้าแพรก
หญ้าปากควาย	-
หญ้าเอียงนา	-
หนามแดง	หนามแดง
หญ้าไข่เหา	หญ้าไข่เหา
เงียงปลาดุก	-
ผักปราบ	-
กก	กก
หญ้าเกร็ดหอย	-
หญ้าเจ้าชู้	หญ้าเจ้าชู้
กระตืดแมว	กระตืดแมว
เอ็นอ้า	-
โคลงเคลง	โคลงเคลง
เปราะ	-
หญ้าตีนนก	หญ้าตีนนก
ขี้อ้น	ขี้อ้น
สาบเสือ	สาบเสือ
ผักปราบเล็ก	-

ที่มา: (บุปผา โตภาคงาม, 2549)

2.4.8 กลไกการทนเค็มของพืช

กลไกการทนเค็มของพืช คือ ความสามารถของพืชที่ปรับตัวต่อความเค็ม เพื่อให้อยู่รอดและเจริญเติบโตอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีความเค็มสูง ซึ่งพืชได้รับผลกระทบจากความเครียดเนื่องจากความเค็มด้วยผลของแรงดันออสโมติก และผลของไอออนที่มีมากเกินไปจนก่อให้เกิดความเป็นพิษ ได้แก่ Na^+ และ Cl^- เป็นต้น (อธิภัทร เงินหมื่น, 2556)

การตอบสนองของพืชบางชนิดเพื่อแก้ไขปัญหาเนื่องจากผลของแรงดันออสโมติก โดยการดูด Na^+ และ Cl^- ในอัตราที่สูง และนำไปสะสมในใบ เพื่อปรับแรงดันออสโมติกให้มีความต่างศักย์ของน้ำต่ำกว่าในดิน ทำให้พืชสามารถดูดน้ำจากสารละลายดินเข้าสู่รากได้ สิ่งสำคัญสำหรับการปรับแรงดันออสโมติก คือ การสะสมเกลือในแวคิวโอลของเซลล์ใบ เพื่อทำให้ความเข้มข้นของเกลือหรือไอออนต่ำในไซโทพลาซึม จึงไม่เกิดความเป็นพิษของไอออน พืชที่มีการสะสม Na^+ และ Cl^- มากในแวคิวโอลของเซลล์พืชจะตรวจพบ Na^+ มีความเข้มข้นสูงในใบ แต่ใบยังคงความปกติไว้ได้ (อรุณี ยูวะนิยม, 2547) ซึ่งการขนส่ง Na^+ เข้าสู่แวคิวโอลมีความเกี่ยวข้องกับแรงผลักดันโปรตอน (proton motive force) ซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ H^+-ATPase (V-ATPase) และ H^+-pyrophosphatase (V-PPiase) ซึ่งอยู่ที่โทโนพลาสต์ การทำงานของเอนไซม์เหล่านี้จะทำงานมากขึ้นในภาวะที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มากขึ้น กระบวนการแลกเปลี่ยนโซเดียม และไฮโดรเจนไอออน ในเวสเคิลที่สร้างขึ้นในส่วนของใบก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงการสะสม Na^+ ในแวคิวโอลของเซลล์ในใบพืช

พืชทนเค็มหลายชนิดสามารถสังเคราะห์สารละลายซึ่งเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอื่นๆ (compatible solute) ได้แก่ โพรลีน ซูโครส ไกลซีนบีเทน เป็นต้น สะสมอยู่ในไซโทพลาซึมเพื่อรักษาสมดุลแรงดันออสโมติกระหว่างไซโทพลาซึมกับไอออนที่อยู่ในแวคิวโอล เพื่อทำให้พืชยังคงสามารถดูดซึมน้ำผ่านทางรากได้ สารละลายดังกล่าวยังสามารถช่วยลดความเสียหายเนื่องจากภาวะการถูกออกซิไดซ์ (oxidative damage) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสร้าง ROS (Reactive oxygen species) ภายใต้สภาวะเครียดจากความเค็ม นอกจากนี้ยังพบว่าโปรตีนที่ช่วยในการขนส่งน้ำเข้าสู่เซลล์ คือ Aquaporin ยังมีส่วนช่วยในการรักษาสมดุลของแรงดันออสโมติก และคงความเต่งของเซลล์พืชไว้ ขณะที่อยู่ในสภาวะเค็ม สำหรับกลไกของพืชที่ใช้สำหรับการแก้ไขปัญหาปริมาณไอออนที่มากเกินไปที่เข้าสู่พืช ได้แก่ การจำกัดการนำเข้าเกลือเข้าสู่ราก การดูดซึมไอออนเข้าสู่รากอย่างจำเพาะ (ion selectivity) โดยการเพิ่มความจำเพาะในการนำเข้า K^+ และจำกัดการนำเข้าของ Na^+ และ Cl^- ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการทนต่อความเค็มของพืช ดังนั้นพืชที่มีอัตราส่วน K^+/Na^+ หรือ Ca^{2+}/Na^+ ที่มากกว่าในเนื้อเยื่อ จึงเป็นพืชที่มีคุณสมบัติในการทนต่อความเค็ม เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวเคมีและสรีรวิทยาที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและเมตาบอลิซึม การเพิ่มความอวบน้ำของพืชทั้งในส่วนของใบและลำต้น ช่วยเพิ่มพื้นที่สำหรับการระบายไอออนที่สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษภายในลำต้นพืช และเพิ่มปริมาณน้ำภายในพืช เพื่อช่วยลดความเป็นพิษของไอออนได้ รวมไปถึงกลไกการขับเกลือเป็นกลไกที่มีความสำคัญในการควบคุมปริมาณของเกลือที่อยู่ภายในส่วนของพืช และขับเกลือผ่านทางชั้นคิวติเคิล หรือผ่านทาง

ของเหลวจากกระบวนการคายน้ำเป็นหยดได้ พืชทนเค็มบางชนิดสามารถใช้โพแทสเซียมไอออนในการรักษาแรงดันเต่งของเซลล์คุมไว้ให้ปกติ โดยโพแทสเซียมไอออนจะแทนที่โซเดียมไอออนที่มีปริมาณมากเกินไปที่ถูกลำเลียงมาสู่เซลล์คุม เนื่องจากโซเดียมไอออนสามารถส่งผลเสียต่อการทำงานของเซลล์คุมตามปกติได้ (อธิภัทร เงินหมื่น, 2556)

กลไกบรรเทาความเป็นพิษของเกลือ อาจแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ (สมศรี อรุณินท์, 2539) คือ

1) การไม่ดูดเกลือเข้าไป พืชที่จัดอยู่ในประเภทที่ไม่ดูดเกลือเข้าไป หรือการหลีกเลี่ยงหรือการหนีความเค็ม พืชจะพยายามปรับตัวเองให้เข้ากับสภาพดินเค็ม ได้แก่ การปรับระบบโครงสร้างของรากให้แผ่กระจายไปยังจุดที่เค็มน้อยกว่า หรือปรับตัวเองให้มีการออกดอกช้าหรือเร็วกว่าปกติ เพื่อหนีช่วงที่เค็มจัดหรืออาจมีการฟื้นตัวอย่างรวดเร็วในขณะที่ความเค็มลดลง

2) การดูดเกลือเข้าไปแล้วสะสมเอาไว้ สำหรับพืชทนเค็มประเภทที่ดูดเกลือเข้าไป เมื่อดูดเกลือเข้าไปอาจจะนำไปสะสมอยู่ในส่วนที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช เช่น สะสมในแวคิวโอล เพิ่มความหนาของใบ มีกลไกอวบน้ำเพิ่มปริมาณของน้ำในเซลล์เพื่อให้ความเข้มข้นของเกลือลดลง เพิ่มความเครียดของปากใบ ใบมีขนาดเล็กลงเพื่อให้คายน้ำน้อยลง นอกจากนี้มีการเลือกดูดธาตุโพแทสเซียมเข้าไปมากขึ้นหรือดูดธาตุโซเดียมน้อยลง มีการขนย้ายธาตุโซเดียมจากใบอ่อนไปใบแก่หรือสามารถสะสมธาตุโซเดียมไว้ตามลำต้น และราก เป็นต้น

3) การคายเกลือออกมา พืชบางประเภทมีต่อมเกลือ (salt gland) เพื่อคายเกลือออกมาได้

ลักษณะต่างๆ ดังกล่าวเป็นกลไกของพืชที่สามารถปรับตัวเองให้เข้ากับสภาพความเค็มเพื่อความอยู่รอด โดยพืชชนิดหนึ่งๆ อาจจะใช้กลไกเดียวหรือหลายกลไกรวมกันก็ได้

2.4.9 ผลของความเค็มที่มีต่อพืช

พืชเจริญภายใต้ภาวะที่มีความเค็มได้ไม่ดีเนื่องจากความดันออสโมติกที่รากพืชสัมผัสกับสารละลายที่มีเกลือในความเข้มข้นที่สูงทำให้เกิดความแตกต่างของค่าศักย์ของน้ำ (water potential) จึงเป็นผลให้พืชนำน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลงตามความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของเกลือมากขึ้นทำให้ค่าศักย์ของสารละลายในดินต่ำกว่าในต้นพืช จึงทำให้น้ำในเซลล์พืชเคลื่อนย้ายจากภายในเซลล์ออกสู่ภายนอก ส่งผลให้พืชแสดงอาการขาดน้ำ และเกิดความเป็นพิษเนื่องจากไอออนบางชนิด (toxic effect) เมื่อสารละลายในดินมีความเข้มข้นของไอออนสูง พืชจะดูดและสะสมไอออนเหล่านั้นจนถึงระดับเป็นพิษและมีผลโดยตรงต่อสรีรวิทยาของพืช เมื่อพืชได้รับโซเดียมคลอไรด์ ความเค็มของเกลือจะทำให้พืชดูดสะสมไอออน ผลที่เกิดส่วนใหญ่เกิดจากความเป็นพิษของโซเดียมและคลอไรด์ที่มีมากเกินไปหรือทำให้พืชขาดน้ำเนื่องจากเกลือเข้าไปมากเกินไป แต่พืชก็จะมีกรรมวิธีในการบรรเทาอาการเป็นพิษจากเกลือโดยการขับเกลือออกทางรากหรือเก็บไว้ในแวคิวโอล นอกจากนี้การงอกของรากจะลดลง เมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงขึ้น (วิชิตพล มีแกว ณัฐพล ขันธปราบ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ, 2553)

1) ผลของความเค็มต่อระยะงอกของพืช

พืชส่วนใหญ่จะมีความอ่อนแอต่อความเค็มในช่วงที่เกิดการงอกมากกว่าในช่วงเวลาอื่นๆ เนื่องจากความเค็มของดินมีผลต่อการงอกของเมล็ด 2 ประการ คือ ลดอัตราการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดและการมีไอออนในสารละลายของดินมากจนเป็นพิษต่อความงอก เมื่อมีการระเหยน้ำจากดินทำให้มีการนำเกลือขึ้นมาสะสมไว้ที่ดินชั้นบน ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับที่มีเมล็ดพืชอยู่การได้รับเกลือที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้อัตราการงอกลดลงหรืออาจจะใช้ระยะเวลาในการงอกนานขึ้น และเมื่อเมล็ดเริ่มงอกการเจริญเติบโตของรากและการยืดของลำต้นจะล่าช้า การใช้อาหารสะสมในเมล็ดเพื่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าเกิดขึ้นได้ไม่ดีทำให้ต้นอ่อนไม่แข็งแรงเป็นผลให้อัตราการงอก ลดลงโดยเมล็ดพืชที่กำลังงอกในความเค็มที่ไม่สูงเกินไปอาจปรับแรงดันออสโมติกได้โดยการดึงดูดไอออนต่างๆ ในดินเค็มนั้นเข้าไป ทำให้เซลล์เข้าสู่ภาวะสมดุล แต่ถ้าพืชชนิดใดที่กำลังงอกไม่สามารถดูดไอออนเหล่านั้นเข้าไปได้เพียงพอ เมล็ดพืชดังกล่าวก็ไม่สามารถปรับแรงดันออสโมติกได้ (วิชิตพล มีแกว ณัฐพล ขันธปราบ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ, 2553)การดูดซึม Na และ Cl^+ ในระหว่างการงอกของเมล็ดที่สูงขึ้นเป็นผลทำให้เกิดความเป็นพิษของเซลล์ ส่งผลให้ยับยั้งหรือชะลออัตราการงอกและลดอัตราการงอกของเมล็ดลง

2) ผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของพืช

ความเค็มมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นการเจริญเติบโตของพืชจะลดลง เนื่องจากความเค็มจะมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืชในหลายๆ ด้าน เช่น มีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง นอกจากนี้ความเค็มยังมีผลต่อการหายใจทำให้การเจริญเติบโตขถูกจำกัดเพราะมีการหายใจมากขึ้นหรือมีการใช้สารจากกระบวนการสังเคราะห์แสงมากขึ้น และยังพบว่าความเค็มจะทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมเปลี่ยนแปลงไป คือ ยับยั้งการดูดธาตุอาหารอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อสมดุลของประจุที่ทำให้เกิดความเค็ม โดยพบว่าความสมดุลระหว่างธาตุโซเดียมกับโพแทสเซียมในสภาพที่มีความเค็มสูงจะเป็นแบบหักล้างกัน คือ เมื่อปริมาณประจุชนิดหนึ่งเพิ่มขึ้นจะทำให้การดูดซึมประจุอีกชนิดหนึ่งลดลง เมื่อพืชมีการดูด โซเดียมเข้าไปมากจึงทำให้พืชไม่สามารถใช้โพแทสเซียมได้เต็มที่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562) โดยในระยะก่อนออกดอกเป็นระยะที่ต้นพืชมีความสามารถในการทนเค็มได้สูง พืชมีการเจริญเติบโตน้อยมาก และจะแสดงอาการให้เห็นคือปลายใบไหม้และม้วน ส่วนในระยะออกดอก ความเค็มมีผลต่อการเจริญของเกสรตัวผู้ ทำให้การผสมเกสรติดลดลง เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบสูง เป็นผลให้ผลผลิตลดลง และในระยะเก็บเกี่ยวซึ่งเป็นระยะที่ไม่ได้รับผลกระทบต่อดินเค็มมากนัก ผลส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นเป็นผลที่เกิดต่อเนื่องมาจากระยะอื่นๆ (สมศรี อรุณินท์, 2539)

สามารถสรุปได้ว่า ดินที่มีความเค็มสูงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ด้วย 2 สาเหตุหลัก (อธิภัทร เงินหมื่น, 2556) คือ

2.1) ผลของแรงดันออสโมติก (osmotic effect) เนื่องจากปริมาณของไอออนที่มีมากเกินไปในสารละลายดิน จะลดความต่างศักย์ของน้ำของน้ำในสารละลายดิน ทำให้น้ำและแร่ธาตุสามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของรากได้ยาก ดังนั้นอัตราการนำเข้าน้ำและแร่ธาตุเข้าสู่รากจึงเกิดขึ้นช้า

พืชจึงขาดน้ำ มีผลยับยั้งกระบวนการขยายของเซลล์ (cell expansion) และการแบ่งเซลล์ (cell division) ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชลดลง

2.2) ผลของปริมาณไอออนที่มากเกินไป (ion-excess effect) ปริมาณของเกลือที่มากเกินไปเมื่อเข้าสู่พืชจะยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่างๆ ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การนำเข้าธาตุอาหารและการนำไปใช้ประโยชน์ และทำให้เกิดความเสียหายต่อเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้พืชเกิดความผิดปกติ สามารถสังเกตได้จากส่วนของใบ ได้แก่ ปลายของใบมีลักษณะไหม้ (tip-burn) และขอบใบแห้ง (marginal necrosis) เป็นต้น เมื่อเกลือสะสมในใบที่แก่จนกระทั่งถึงระดับที่ทำให้เกิดความเป็นพิษ จะทำให้ใบร่วงเร็วกว่าปกติ

การตอบสนองของการเจริญเติบโตต่อความเค็ม แบ่งออกเป็น 2 ระยะ (two-phase growth response to salinity) ซึ่งเป็นการตอบสนองในการเติบโตของพืชต่อความเค็มในเชิงเวลา (**ภาพประกอบ 2**) ในระยะแรก เมื่อมีความเข้มข้นเกลือรอบรากพืชสูง การเจริญเติบโตของพืชจะลดลงอย่างรวดเร็วทันที เนื่องจากการดูดซึมน้ำผ่านทางรากลดลง พืชจึงได้รับผลกระทบคล้ายกับความเครียดที่เกิดจากการขาดน้ำ เรียกระยะนี้ว่า osmotic stress ส่วนในระยะที่ 2 พืชได้รับผลกระทบช้ากว่า ใช้เวลาเป็นวัน สัปดาห์ หรือเป็นเดือน เนื่องจากการสะสมของเกลือในใบในระยะนี้ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช ลดพื้นที่ในการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเริ่มเกิดในใบที่แก่กว่า และทำให้ตาย เรียกระยะนี้ว่า ionic stress ซึ่งในระยะแรกการเจริญเติบโตของพืชจะเริ่มลดลงทั้งในพืชที่ทนเค็มและไม่ทนเค็ม แต่จะแตกต่างกันในระยะที่ 2 ตรงที่พืชที่ไม่ทนเค็มจะไม่สามารถป้องกันการสะสมของเกลือในใบได้ ทำให้มีปริมาณเกลือสะสมมากจนถึงระดับความเป็นพิษในใบ (อธิภัทร เงินหมื่น, 2556)

พืชมีการตอบสนองต่อความเค็มในหลายรูปแบบ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งกลุ่มพืชตามการตอบสนองต่อความเค็มออกเป็น 4 กลุ่ม (**ภาพประกอบ 2**) คือ

A) กลุ่มที่ไวต่อแรงดันออสโมติกและการสะสมไอออน (osmotic and ionic sensitivity)

B) กลุ่มที่ไวต่อแรงดันออสโมติกแต่ทนต่อการสะสมไอออน (osmotic sensitivity and ionic tolerrance)

C) กลุ่มที่ทนต่อแรงดันออสโมติกแต่ไวต่อการสะสมไอออน (osmotic tolerrance and ionic sensitivity)

D) กลุ่มที่ทนต่อแรงดันออสโมติกและการสะสมไอออน (osmotic and ionic tolerrance)

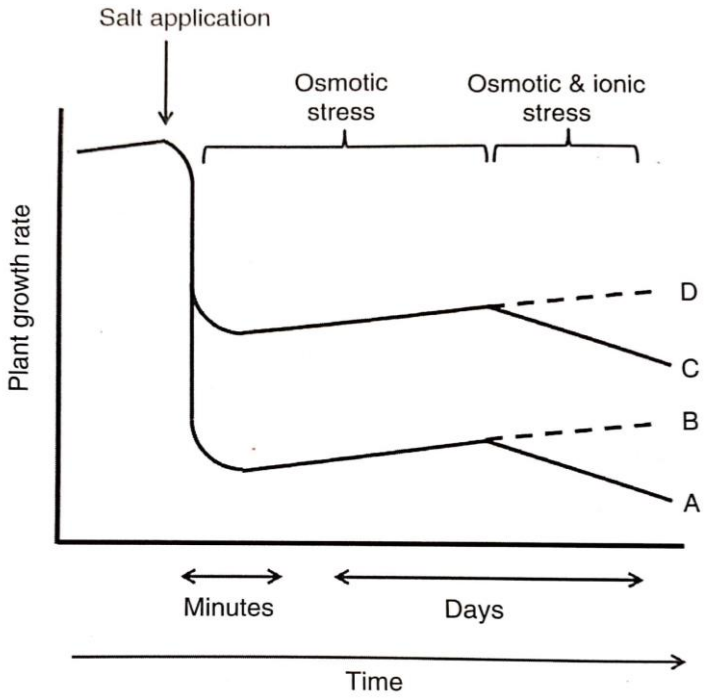
2.4.10 สภาวะเครียดเกลือในพืช

พืชที่ขึ้นในดินเค็มโดยมากมักตายเป็นหย่อมๆ ต้นแคระแกร็น การเจริญเติบโตของพืชที่อยู่ในแปลงไม่สม่ำเสมอกัน อาการที่พบส่วนใหญ่ ขนาดใบลดลงและใบมีสีเขียวเข้มกว่าปกติ ใบหนาหรืออวบน้ำ ใบกรอบกระด้าง ใบไหม้จากปลายใบมายังโคนใบ และใบแก่ไหม้ก่อนใบอ่อน(สมศรี

อรุณินท์, 2539) พืชที่ปลูกในพื้นที่ดินเค็มจะเกิดสภาวะเครียดเกลือ 3 รูปแบบ (สุมาลี ชูกำแพง, 2555) คือ

1) ความเครียดออสโมติก

เมื่อพืชได้รับเกลือโซเดียม (sodium: Na^+) จะเกิดการแข่งขันกับโพแทสเซียม (potassium: K^+) ในการเข้าสู่รากพืช ทำให้พืชได้รับโพแทสเซียมลดลง ซึ่งส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากโพแทสเซียมมีผลต่อแรงดันเต่งในเซลล์พืชและการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด ดังนั้นพืชจึงพยายามรักษาระดับของโพแทสเซียมให้สูง และควบคุมปริมาณโซเดียมให้ต่ำในไซโทพลาสซึม นอกจากนี้ดินเค็มยังส่งผลให้ความต่างศักย์ของน้ำในดินลดลง และทำให้ค่าความดันออสโมซิสเพิ่มขึ้นจากการที่มีไอออนในดินสูง ทำให้พืชดูดน้ำได้น้อยลงและลดแรงดันเต่งของเซลล์พืช การเจริญเติบโตของพืชจึงลดลง ผลผลิตของพืชก็ลดลงด้วย



ภาพประกอบ 2 การตอบสนองต่อความเค็ม 2 ระยะของพืช คือ การตอบสนองต่อความเครียดจากแรงดันออสโมติก (osmotic stress) และความเครียดจากการสะสมไอออน (ionic stress) จึงทำให้สามารถแบ่งพืชตามการตอบสนองออกเป็น 4 กลุ่ม คือ (A) กลุ่มที่ไวต่อแรงดันออสโมติกและการสะสมไอออน (osmotic and ionic sensitivity) (B) กลุ่มที่ไวต่อแรงดันออสโมติกแต่ทนต่อการสะสมไอออน (osmotic sensitivity and ionic tolerrance) (C) กลุ่มที่ทนต่อแรงดันออสโมติกแต่ไวต่อการสะสมไอออน (osmotic tolerrance and ionic sensitivity) และ (D) กลุ่มที่ทนต่อแรงดันออสโมติกและการสะสมไอออน (osmotic and ionic tolerrance)

ที่มา: (Tilbrook J Roy S, 2014**)**

2) ความเครียดจากการสะสมไอออนที่เป็นพิษ

พืชจำเป็นต้องรักษาสมดุลไอออน โดยเซลล์จะสะสมไอออนที่จำเป็นและกำจัดไอออนที่เป็นพิษเพื่อป้องกันไม่ให้เซลล์ได้รับอันตราย ในสภาวะเครียดเกลือสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและโซเดียมในไซโทพลาสซึมยิ่งมีความสำคัญมาก ปกติในเซลล์พืชจะมีปริมาณโพแทสเซียมสูง (100-200 มิลลิโมล์) และมีปริมาณโซเดียมต่ำ (1-10 มิลลิโมล์) ดังนั้นพืชจึงพยายามกำจัดโซเดียมส่วนเกินไปออกจากไซโทพลาสซึม เพื่อทำให้สัดส่วนของโพแทสเซียมและโซเดียมสูงขึ้น

3) ความเครียดที่เกิดจากการสร้างและสะสมสารอนุมูลอิสระ

เมื่อพืชเครียดจะชักนำให้เกิดการสร้างสารอนุมูลอิสระ เช่น superoxide radicals (O_2^-), hydrogen peroxide (H_2O_2) และ hydroxyl radicals (OH^-) ซึ่งจะทำลายส่วนต่างๆ ของเซลล์ เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก ไขมันบริเวณต่างๆ เช่น เยื่อหุ้มเซลล์

นอกจากความเค็มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางการเจริญเติบโตและผลผลิตแล้ว ความเค็มยังมีผลทำให้พืชเกิดอาการขาดน้ำ ถึงแม้มีน้ำเพียงพอ แต่พืชดูดไปใช้ไม่ได้ เนื่องจากมีแรงดันออสโมติกที่ผันแปรตามความเค็ม ถ้าความเค็มสูงขึ้นแรงดันออสโมติกก็สูงด้วย พืชก็ดูดน้ำได้น้อยลง ผลกระทบอีกประการหนึ่งคือ เกิดความเป็นพิษของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของเกลือที่ละลายออกมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุโซเดียมและคลอไรด์ นอกจากนี้ธาตุโซเดียมยังมีผลทำให้โครงสร้างของดินเลวดินแน่น และรากพืชชอนไชได้ยาก (สมศรี อรุณินท์, 2539)

2.4.11 การศึกษาการทนเค็มในพืช

เห็นได้ว่าความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตในพืชหลากหลายชนิด อีกทั้งพื้นที่ดินเค็มยังมีมากถึงร้อยละ 20 ของพื้นที่ทางการเกษตร และคิดเป็นร้อยละ 50 ของพื้นที่เพาะปลูกทั่วโลก (สุมาลี ชูกำแพง, 2555) จึงทำให้มีการศึกษาถึงผลของความเค็มที่มีต่อพืชจำนวนมาก ซึ่งวิธีการศึกษาผลของความเค็มที่มีต่อพืชสามารถทำได้ดังนี้

1) การศึกษาผลของความเค็มที่มีต่อการงอกของพืช

พืชส่วนใหญ่แล้วจะความอ่อนแอต่อความเค็มในช่วงที่เกิดการงอกมากกว่าในช่วงเวลาอื่นๆ เนื่องจากความเค็มมีผลต่อการงอกของเมล็ด 2 ประการ คือ ลดอัตราการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดและการมีไอออนในสารละลายของดินมากจนเป็นพิษต่อความงอก การดูดซึม Na และ Cl^+ ในระหว่างการงอกของเมล็ดที่สูงขึ้นเป็นผลทำให้เกิดความเป็นพิษของเซลล์ ส่งผลให้ยับยั้งหรือชะลออัตราการงอกและลดอัตราการงอกของเมล็ดลง ดังนั้นจึงทำให้มีการศึกษาผลของความเค็มที่มีต่อการงอกของเมล็ด เนื่องจากหากเมล็ดสามารถงอกได้ในสภาวะที่มีความเค็มแล้ว ก็จะสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ การศึกษาในลักษณะนี้ทำได้โดยการให้ความเค็มแก่เมล็ดพืชที่ทำการทดสอบความงอกของเมล็ด วิธีการทดสอบที่นิยมใช้ คือ

1.1) การทดสอบความงอกด้วยการเพาะบนกระดาษ (top paper seed testing) นิยมเพาะบนกระดาษเพาะเมล็ด หรือกระดาษกรองที่วางอยู่ในจานเพาะเชื้อ (petri dish) เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถควบคุมความเค็มที่ให้แก่เมล็ดพืชได้ ดังรายงานการทดสอบในเมล็ดของพืชตระกูลพริกและกะหล่ำ (Bojovic B Delic G Topuzovic M and Stankovic M, 2010) โทงเทง

ฝรั่ง (*Physalis peruviana* L.) (Cebeci E and Hanci F, 2015) ถั่ว (*Pisum sativum*) (Henandez J Jimenez A Mullineaux P and Sevilla F, 2000) ข้าวสาลี (Maghsoudi K and Arvin MJ, 2009); (Mirzeai A Naseri R Emami T and Jozeyan A, 2012); (Shahi C Vibhut Bargali K and Bargali SS, 2015) (Carpici EC Celik N and Bayram G, 2009) ; (Khodarahmpour Z Ifar M and Motamedi M, 2012); (Ahmed R Howlader MHK Shila A Haque MA, 2017) เป็นต้น

1.2) การทดสอบความงอกในสภาพแปลง (field seed testing) เป็นการทดสอบความงอกในสภาพแปลงปลูกจริง วิธีการนี้จะทำการเพาะเมล็ดในสภาพที่มีการให้ความเค็มแก่วัสดุเพาะ มีรายงานการศึกษาในฝรั่ง ที่ทำการเพาะเมล็ดในวัสดุเพาะที่ประกอบด้วยทรายที่ล้างน้ำแล้ว อินทรียวัตถุ และปุ๋ยคอก อัตราส่วน 1: 1: 1 เพื่อให้มีอัตราส่วนของ C: N เท่ากับ 12: 1 ใส่วัสดุเพาะลงในกระถางโพลีเอทิลีนสีดำขนาด 5 ลิตร (ความสูง 25 เซนติเมตร และความกว้าง 18 เซนติเมตร) ซึ่งวัสดุเพาะมีค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 4.9 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ล้างวัสดุเพาะด้วยน้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้า 0.5 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ให้มีค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุเพาะต่ำกว่า 2 เดซิซีเมนต์ต่อเมตรก่อนทำการเพาะเมล็ด จากนั้นทำการเพาะเมล็ดฝรั่งในวัสดุเพาะ และให้น้ำตามความเค็มที่ต้องการทดสอบ ซึ่งใช้น้ำเค็มในธรรมชาติที่มีค่าการนำไฟฟ้า 27 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เหลือความเค็มที่ 0.5, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร โดยมีการให้น้ำทุก 48 ชั่วโมง ตามปริมาตรของน้ำที่สูญเสียไปจากการคายน้ำของปากใบ ทำการบันทึกการงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Cavalcante ÍHL Cavalcante LF Hu Y Beckmann-Cavalcante MZ, 2007)

1.3) การทดสอบการงอกในสภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เป็นการทดสอบการงอกของเมล็ดเพื่อจำลองสภาพดินเค็ม ด้วยการใส่ความเค็มลงในอาหารเพาะเลี้ยง ดังเช่นการศึกษาในปาล์มโดยเพาะเมล็ดในอาหารสูตร Murashige and Skoog ที่มีการใส่อาหารเสริมที่เหมาะสมกับการงอกของเมล็ดปาล์ม ร่วมด้วยการใส่สาร NaCl ความเข้มข้น 4, 8 และ 16 กรัม/ลิตร เพื่อศึกษาการงอกของเม็ด และการเจริญเติบโตของต้นกล้าเมื่อได้รับความเค็มที่ต่างกัน (Djibril S Mohamed OK Diaga D Diégane D Abaye BF Maurice S and Alain B, 2005)

2) การศึกษาผลของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

การศึกษาในลักษณะนี้เป็นการศึกษาถึงการตอบสนองของพืชเมื่อได้รับความเค็ม โดยทำการศึกษาในต้นพืชที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ซึ่งมีรูปแบบการศึกษา 3 รูปแบบ คือ

2.1) การศึกษาในสภาพปกติ

การทดสอบความเค็มในลักษณะนี้ เริ่มจากการปลูกพืชในกระถางที่มีวัสดุปลูกชนิดเดียวกัน ซึ่งนิยมใช้ดินเพียงอย่างเดียว ไม่มีการผสมปุ๋ยทุกชนิด เพื่อป้องกันการแลกเปลี่ยนค่าการนำไฟฟ้าระหว่างเกลือที่ใช้ในการศึกษากับปุ๋ยที่มีอยู่ในดินปลูก หากเป็นการทดสอบที่ใช้พืชพันธุ์เดียวกัน จะใช้ต้นพืชที่มีอายุใกล้เคียงกัน มีขนาดต้นสม่ำเสมอกัน จากนั้นทำการรดสารละลายเกลือตามความเข้มข้นที่ระบุในการศึกษาลงในต้นพืช ปริมาตรของสารละลายที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความจุสนามของดินปลูกชนิดนั้น ดังเช่นการศึกษาในหม่อน ที่ทำการศึกษาในหม่อน 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ M-5,

BC2-59 และ S-30 โดยทำการตัดกิ่งหม่อนที่มีจำนวนตา 3 ตา เพื่อชำในดินปลูกก่อนให้ความเค็มที่ 6 ระดับ คือ 0, 1, 2, 4, 8 และ 12 เดซิซีเมนต่อเมตร โดยให้ตามค่าความจุสนามของดินในกระถาง สัปดาห์ละ 2 ครั้ง (Agastian P Kingsley SJ Vivekanandan M, 2000) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาโดยการเกลือทะเล เช่นการศึกษาในมะนาวโห่ มีการศึกษาผลการใช้น้ำเค็มต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพในการให้ผลผลิตของมะนาวโห่ในประเทศปากีสถาน โดยปลูกต้นมะนาวโห่อายุ 6 เดือนลงในกระถางที่มีดินร่วนปนทรายผสมกับปุ๋ยคอก อัตราส่วน 9: 1 น้ำหนัก 300 กิโลกรัม ซึ่งมีค่าความจุสนามของดินปลูก 45 ลิตร มีการให้น้ำกับพืช 3 รูปแบบ คือ การใช้น้ำประปา (ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเท่ากับ 0.6 เดซิซีเมนต่อเมตร) การใช้เกลือ ทะเลที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.6 (ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเท่ากับ 10 เดซิซีเมนต่อเมตร) และร้อยละ 0.8 (ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ เท่ากับ 13 เดซิซีเมนต่อเมตร) ในอัตรา 20 ลิตร/กระถาง โดยให้ทุกสัปดาห์ในฤดูฝน และให้ทุก 4 วันในฤดูหนาว (Tayyab Azeem M Qasim M and Ahmad R, 2016)

2.2) การศึกษาในสภาพไฮโดรโปนิกส์

การศึกษาในองุ่น ทำโดยปลูกต้นองุ่นในแปลงปลูกขนาด 20 ลิตรที่มีถาดรอง วัสดุปลูกคือทราย เพอไรท์ และเวอมิคูไลท์ อัตราส่วน 1: 1: 1 จากนั้นทำการให้สารละลาย Hoagland ซึ่งเป็นสารละลายธาตุอาหารพืชสำหรับการปลูกแบบไฮโดรโพนิกส์ ร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตามระดับความเค็มที่ต้องการ คือ 0, 50, 100, 150, 200 และ 250 mM โดยใส่สารละลาย Hoagland และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 1: 1 จากนั้นทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายแล้วทำการบันทึกลักษณะการเจริญเติบโตที่ต้องการศึกษา (Bybordi A, 2012) การศึกษาใน *Prosopis alba* ทำการศึกษาโดยย้ายต้นกล้าอายุ 7 วันลงในสารละลาย Hoagland (1/2 Hoagland solution) หลังจากนั้น 6 วันจึงเริ่มให้ความเค็มโดยการให้สารละลาย NaCl ความเข้มข้น 50 mmol/L เพิ่มขึ้นทุก 24 ชั่วโมง จนว่าจะได้ความเข้มข้น 0, 300 และ 600 mmol/L แล้วจึงบันทึกผลการตอบสนองต่อความเค็ม (Meloni Diego Ariel Gulotta Marta Rosalía Martínez Carlos Alberto Oliva1 Marco Antonio, 2004)

2.5 ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือครอบคลุมพื้นที่ 19 จังหวัดของประเทศ มีพื้นที่ประมาณ 106 ล้านไร่ หรือประมาณ 1 ใน 3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ ตอนกลางของภาคนี้มีเทือกเขาภูพานเป็นเส้นแบ่งพื้นที่รับน้ำ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ตอนเหนือ เรียกว่าแอ่งสกลนคร ประกอบด้วยพื้นที่จังหวัดสกลนคร นครพนม หนองคาย มุกดาหาร อุดรธานี และส่วนตอนใต้เรียกว่าแอ่งโคราช ประกอบด้วย พื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ สุรินทร์ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ อุบลราชธานี อำนาจเจริญ ร้อยเอ็ด ยโสธร มหาสารคาม ขอนแก่น กาฬสินธุ์ โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแม่น้ำสำคัญหลายสาย แต่เป็นภาคที่มีความแห้งแล้งมากกว่าภาคอื่นของประเทศ ทั้งๆ ที่ปริมาณน้ำฝนใกล้เคียงกับภาคเหนือและภาคกลาง การเพาะปลูกมักได้รับความกระทบจากความแห้งแล้งและ

น้ำท่วมบ่อย และมักเกิดขึ้นทุกปี ซึ่งอาจมีสาเหตุจากปัจจัยอื่นๆ นอกจากสภาพภูมิประเทศ เช่น สภาพป่าไม้ และดิน เป็นต้น

การเกิดดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากหินเกลือ การสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินทราย และหินดินดานที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบ น้ำใต้ดินเค็มที่อยู่ระดับตื้นใกล้ผิวดิน และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำนาเกลือ การสร้างอ่างเก็บน้ำบนพื้นที่ดินเค็ม การตัดไม้ทำลายป่าบนพื้นที่รับน้ำ เป็นต้น ซึ่งจะพบการแพร่กระจายของดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เกือบทุกจังหวัดมีพื้นที่ประมาณ 17.8 ล้านไร่ เกลือที่พบจะคล้ายกับดินเค็มชายทะเล แต่ดินเค็มภาคตะวันอออกเฉียงเหนือจะมีเกลือคลอไรด์และซัลเฟตของแมกนีเซียมน้อยกว่าดินเค็มชายทะเล (รังสรรค์ อิ่มเอิบ, 2547)

ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเกลือหินชั้นล่างสุดจะมีความหนามากที่สุด และจากการที่ชั้นเกลือมีความหนาแน่นต่ำ (1.8-2.1 ตัน/ลูกบาศก์เมตร) ในขณะที่ชั้นหินที่ปิดทับมีความหนาแน่นสูงกว่า (2.5-2.7 ตัน/ลูกบาศก์เมตร) จึงเกิดความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างมวลทั้งสองขึ้น ดังนั้น มวลเกลือจึงสามารถดันตัวเองให้ลอยขึ้นมา เกิดเป็นเนินเกลือ (salt pillow) โดมเกลือ (dome) หรือแท่งเกลือ (salt diapir) ขนาดต่างๆ ได้ และจากการเจาะสำรวจพบว่า แท่งเกลือบางแห่งทางตอนกลางแอ่งโคราช มีความสูงถึง 1 กิโลเมตรจากระดับชั้นเกลือ กรมทรัพยากรธรณีเรียกหน่วยหินที่มีชั้นเกลือหินแทรกสลับว่า หมวดหินมหาสารคาม (Maha Sarakham Formation) ซึ่งลำดับชั้นดั้งเดิมประกอบด้วย ชั้นเกลือหิน (rock salt) 3 ชั้นแทรกสลับกับหินตะกอนสีน้ำตาลแดง มีความหนารวมกันประมาณ 300-400 เมตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

ความเค็มของดินมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช พืชจะเกิดอาการขาดน้ำและได้รับพิษจากธาตุที่เป็นส่วนประกอบของเกลือที่ละลายออกมามาก เช่น โซเดียมและคลอไรด์ นอกจากนี้ความเค็มยังมีผลทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารบางชนิด เช่น โบรอน สังกะสี เป็นต้น ดินเค็มมีองค์ประกอบของเกลือที่เกิดจากการรวมตัวของไอออนของโซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม และคลอไรด์ ซัลเฟต ไบคาร์บอเนตและไนเตรต ความเค็มมีผลในการลดการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากพืชลดการดูดน้ำและธาตุอาหารและลดขบวนการเมแทบอลิซึมโดยตรง ส่วนผลโดยอ้อมจะทำให้โครงสร้างของดินไม่ดี น้ำซึมช้า การถ่ายเทอากาศลดลง การใช้พื้นที่ดินเค็มปลูกข้าว พบว่าเกลือต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของดินเค็มเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดยมีผลทำให้ผลผลิตลดลง พืชที่มีระบบรากตื้น เช่น ข้าว หญ้า จะได้รับผลกระทบมากกว่าพืชที่มีระบบรากที่ลึกกว่า อาการของพืชที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มของดิน ใบจะมีลักษณะสีน้ำเงินอมเขียว เนื่องจากมีวัตถุคล้ายขี้ผึ้งมาเคลือบให้หนาขึ้นและมองเห็นได้ง่ายกับพืชพวกผักกาด ถั่วและหญ้า พวกธัญพืชจะมีสีออกสีแดงที่ใบ ไม้ยืนต้นจะพบขอบใบไหม้ การไหม้เกิดจากมีโซเดียมและคลอไรด์มาสะสมอยู่ที่ใบ

การทำเกลือสินเธาว์ ทำโดยการขุดเอาดินขี้เทา (ดินที่มีส่าหรือคราบเกลือ)ที่พบตามธรรมชาติในช่วงฤดูแล้ง มาล้างในรางไม้ เพื่อละลายเกลือในดินออก นำน้ำเค็มที่ได้ไปต้มในกระทะจนเกลือตกผลึก เกลือสินเธาว์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ได้มาจากชั้นเกลือหินที่รองรับอยู่ใต้ดิน ซึ่งเป็นชั้นเกลือหินถูกบีบอัดยกตัวขึ้นมาอยู่ในระดับความลึกประมาณ 300 – 800 เมตร ซึ่ง ณ

ความลึกระดับนี้ชั้นเกลือหินจะสัมผัสกับชั้นน้ำบาดาล เกิดการละลายเป็นชั้นน้ำเค็ม บางพื้นที่ชั้นน้ำเค็มจะสัมผัสกับผิวดินจะพุไหลขึ้นออกมา แต่บางบริเวณที่ชั้นน้ำเค็มอยู่ตื้นไม่สัมผัสผิวดินอนุภาคเกลือสามารถถูกนำมาขึ้นสู่ผิวดินโดยกระการแพร่ (diffusion) และกระบวนการแรงดึงดูดของน้ำผ่านช่องว่างขนาดเล็ก (capillary force) ระหว่างเม็ดดิน เมื่อน้ำเกลือซึมขึ้นถึงผิวดินที่มีอุณหภูมิสูงจะเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วทิ้งผลึกเกลือเล็กๆ อยู่บนผิวดินเป็นคราบสีขาว พื้นที่ที่ถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นดินเค็มโดยดินที่มีคราบเกลือ ที่คนท้องถิ่นนำไปผลิตเกลือสินเธาว์ (จำนงค์ อุดเต็น, 2553)

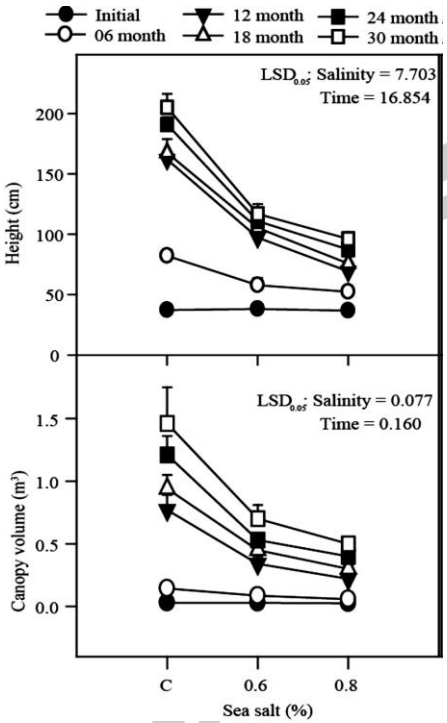
2.6 ศักยภาพการทนเค็มในไม้ยืนต้นบางชนิด

ความเค็มมีผลทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของพืชลดลง การใช้พืชทนเค็มจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง และเป็นวิธีการที่เกษตรกรยอมรับและนำไปใช้ได้ ดังนั้นการวิจัยพืชทนเค็มจึงมีความสำคัญเพื่อหาพืชที่เหมาะสมและทนเค็มได้สูงที่มีศักยภาพในอนาคตนั้นคือให้ผลตอบแทนสูงด้วย พืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มที่รวบรวมได้มีรายละเอียดดังนี้

2.6.1 มะนาวโห่ (*Carissa carandas* L.)

เป็นพืชปลูกง่ายทนต่อสภาพแล้ง มีประโยชน์และสรรพคุณหลากหลาย เพื่อเพิ่มรูปแบบในการผลิตมะนาวโห่ จึงมีการศึกษาผลการใช้น้ำเค็มต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพในการให้ผลผลิตของมะนาวโห่ โดยมีการให้น้ำกับพืช 3 รูปแบบ คือ การใช้น้ำประปา (ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ เท่ากับ 0.6 เดซิซีเมนต่อเมตร) การใช้เกลือทะเลที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.6 (ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ เท่ากับ 10 เดซิซีเมนต่อเมตร) และร้อยละ 0.8 (ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ เท่ากับ 13 เดซิซีเมนต่อเมตร) พบว่าเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น ทำให้ความสูงต้นและปริมาตรทรงพุ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยความสูงต้นเริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัดในเดือนที่ 6 หลังจากใช้น้ำเค็ม ส่วนปริมาตรทรงพุ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการใช้น้ำเค็มนาน 12 เดือน (**ภาพประกอบ 3**)

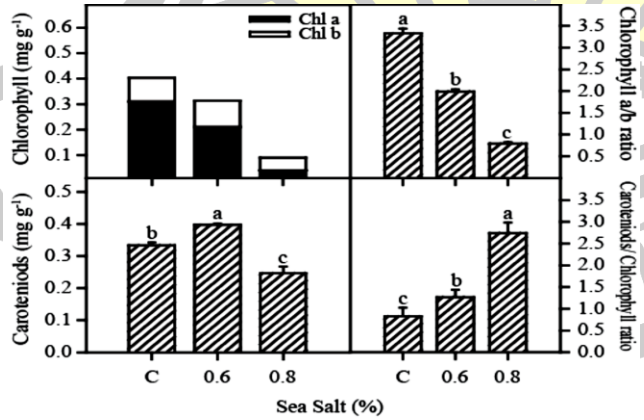
พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 3 การเจริญเติบโตของความสูงต้นและปริมาตรทรงพุ่มของมะนาวโห่ ในสภาพการให้น้ำเค็มที่ต่างกัน 30 เดือน (เดือนมิถุนายน – ธันวาคม 2554)

ที่มา: Tayyab Azeem M Qasim M and Ahmad R, 2016

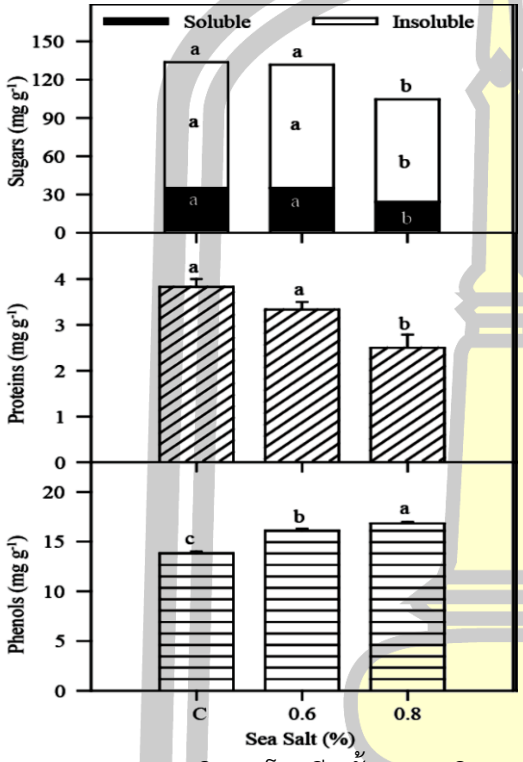
ในส่วนปริมาณของคลอโรฟิลล์ a และ b ในใบ อัตราส่วนของคลอโรฟิลล์ a ต่อ b และอัตราส่วนของแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ พบว่าเมื่อระดับความเค็มเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณแคโรทีนอยด์กลับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการให้เกลือทะเลที่ร้อยละ 0.6 (**ภาพประกอบ 4**)



ภาพประกอบ 4 ปริมาณของคลอโรฟิลล์ a และ b ในใบ และอัตราส่วนของแคโรทีนอยด์ต่อคลอโรฟิลล์ของมะนาวโห่ ในสภาพการให้น้ำเค็มที่ต่างกัน

ที่มา: Tayyab Azeem M Qasim M and Ahmad R, 2016

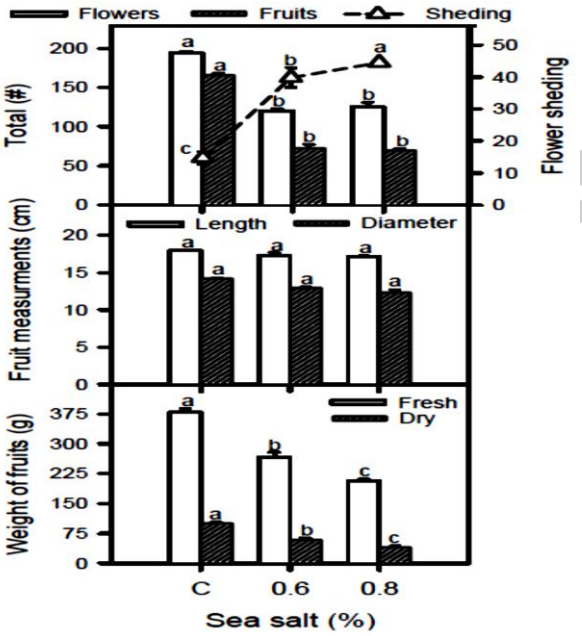
ในส่วนของปริมาณของน้ำตาล และโปรตีนก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เมื่อมีความเค็มมากขึ้น ทำให้มีปริมาณลดลง ในขณะที่สารประกอบฟีนอลกลับมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความเค็มสูงขึ้น (**ภาพประกอบ 5**)



ภาพประกอบ 5 ปริมาณโปรตีนทั้งหมด ปริมาณน้ำตาล และปริมาณสารประกอบฟินอลิก ของมะนาวโห่ในสภาพการให้น้ำเค็มที่ต่างกัน

ที่มา: Tayyab Azeem M Qasim M and Ahmad R, 2016

และนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อระดับความเค็มเพิ่มสูงขึ้น ทำให้จำนวนดอกและผลต่อต้น น้ำหนักผลต่อต้น (สดและแห้ง) และขนาดผล (ความกว้างและความยาว) ลดลง และมีการหลุดร่วงของดอกเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (**ภาพประกอบ 6**)



ภาพประกอบ 6 การเจริญเติบโตของจำนวนดอกและจำนวนผล การหลุดร่วงของดอก ขนาดของผล น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผล ของมะนาวโห่ ในสภาพการให้น้ำเค็มที่ต่างกัน

ที่มา: (Tayyab Azeem M Qasim M and Ahmad R, 2016**)**

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น ศักยภาพในการให้ผลผลิตของมะนาวโห่มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังมีการให้ผลผลิตอยู่มากกว่าร้อยละ 60 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามะนาวโห่เป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มได้

2.6.2 องุ่น (*Vitis vinifera* L.)

องุ่นเขียวมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น catechin และ petrostilbene ส่วนในองุ่นแดงมี resveratrol ที่สามารถช่วยป้องกันมะเร็ง และยังมีสาร saponin ซึ่งเป็นสารช่วยลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด นอกจากนี้ยังมีสารฟลาโวนอยด์ที่ช่วยเพิ่มระดับไขมันดี (HDL) ที่มีสาร pholyphenols ที่เป็นตัวลดระดับไขมันเลว (LDL) และมีสาร anthocyanin ช่วยชะลอความแก่และควบคุมการทำงานของระบบประสาท (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2560) เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตองุ่น จึงได้มีการศึกษาผลของความเค็มต่อสรีรวิทยาและสัณฐานวิทยาในองุ่น 2 สายพันธุ์ ที่ความเค็ม 6 ระดับ คือ 0, 50, 100, 150, 200 และ 250 มิลลิโมล์ พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้นทำให้ความสูง น้ำหนักสดและแห้งของลำต้น ปริมาณโพรลีน ปริมาณคลอโรฟิลล์ a และ b อัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการหายใจ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยองุ่นทั้งสองสายพันธุ์มีการตอบสนองต่อความเค็มต่างกัน องุ่นสายพันธุ์ Soltanin ตอบสนองดีกว่าองุ่นสายพันธุ์ Fakhri แสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ Soltanin มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มได้มากกว่า (Bybordi, 2012)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับผลของระดับความเค็ม 5 ระดับ คือ 0 , 25, 50, 75 และ 100 มิลลิโมล์ ในองุ่นไร้เมล็ด 2 สายพันธุ์ คือ Askari และ Yaghuti พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น

ความยาวต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและแห้งใบ น้ำหนักแห้งราก ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ขององุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณโพรลีน และปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยพันธุ์ Yaghuti มีความสามารถในการทนความเค็มได้ดีกว่าพันธุ์ Askari ในส่วนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเค็มและพันธุ์ พบว่า ในองุ่นทั้ง 2 พันธุ์ เมื่อมีระดับความเค็มเพิ่มขึ้นทำให้ความยาวต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง แต่มีปริมาณโพรลีน และปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น (Alirezanezhad A Mohammadi A and Mohammadi N, 2013) การตอบสนองลักษณะเช่นนี้ยังพบในการศึกษาของ (Mohammadkhani N Heidari R Abbaspour N Rahmani F, 2012) ที่ศึกษาการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตขององุ่นรับประทานสด 2 พันธุ์ คือ Shirazi และ Gharashani ภายใต้สภาวะความเค็มที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 4 ระดับ คือ 0, 25, 50 และ 100 มิลลิโมล์ พบว่าเมื่อความเค็มเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความยาวและน้ำหนักแห้งราก ความยาวและน้ำหนักแห้งยอด และจำนวนและขนาดใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และยังมีในรายงานการศึกษาของ(ภัทราภรณ์ คันธภูมิ, 2548) ที่ทำการศึกษาเพื่อคัดเลือกหาต้นตออุ่นที่ทนต่อสภาพดินเค็มของโซเดียมคลอไรด์ 5 ระดับ คือ 0, 2, 4, 6 และ 8 เดซิซีเมนต่อเมตร ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณความเขียวใบ (ปริมาณคลอโรฟิลล์) ขององุ่น 10 พันธุ์ เพื่อคัดเลือกต้นตออุ่นที่เหมาะสม 3 พันธุ์สำหรับประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักแห้งราก ลำต้นและใบ พบว่าทุกลักษณะลดลงตามความเค็มที่เพิ่มสูงขึ้น จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบของธาตุอาหารในใบของต้นตออุ่น เมื่ออายุ 20 วันหลังได้รับเกลือ พบว่าเมื่อมีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส แคลเซียม โซเดียม และคลอไรด์สูงขึ้น

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น ศักยภาพในการเจริญเติบโตขององุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยองุ่นเป็นพืชที่มีกลไกการปรับตัวต่อสภาพเค็มด้วยการสร้างสารโพรลีน ซึ่งเป็นสาร osmoprotectants ทำหน้าที่ในการรักษาสมดุลของน้ำและแรงดันออสโมติกภายในเซลล์กับสิ่งแวดล้อม ช่วยลดแรงดันออสโมติก และส่งเสริมให้พืชเจริญได้ภายใต้ภาวะที่มีความเครียดจากเกลือ (เจนนี่ เจา, สายสุณีย์ ลิ้มชูวงศ์, สมเกียรติ พรพิมลสุทธิมาศ, 2553)และยังมีการสร้างปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ เพื่อเพิ่มความเข้มข้นภายในเซลล์ให้สูงขึ้น ทำให้รากพืชสามารถดูดน้ำเข้ามาใช้ประโยชน์ได้ แสดงให้เห็นว่าองุ่นเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มได้มากในระดับหนึ่ง

2.6.3 ทับทิม (*Punica granatum* L.)

ทับทิมเป็นผลไม้เพื่อสุขภาพ มีประโยชน์และสรรพคุณมากมาย มีวิตามินซีและเกลือแร่ต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณเป็นยารักษาโรคได้ เพื่อศึกษาความสามารถในการทนเค็มของทับทิม จึงมีการทดสอบในทับทิม 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธ์ Wounderful และพันธุ์ Manfalouty ต่อสภาวะความเค็มภายใต้ระบบไฮโดรโปนิกส์ ที่ระดับความเค็ม 6 ระดับ คือ 500, 750, 1,000, 1,250, 1,500 และ 1,750 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น ทำให้ความยาวยอด และพื้นที่ใบของทับทิม 2 สายพันธุ์ ทั้งในปี 2014 และ 2015 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่

ความเข้มข้น 1,250 ppm เป็นระดับที่เริ่มทำให้ความยาวยอดและพื้นที่ใบลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยสายพันธุ์ Wounderful มีศักยภาพในการทนเค็มดีกว่าสายพันธุ์ Manfalouty (Ibrahim HIM, 2016)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบจากภัยแล้งและความเค็มต่อผลผลิตของทับทิม โดยพบว่าเมื่อปริมาณของความเค็มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตของทับทิมมีแนวโน้มลดลง หากพิจารณาร่วมกับระดับการให้น้ำ พบว่า ที่การให้น้ำในระดับปกติ เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น ผลผลิตมีเปอร์เซ็นต์ลดลงในอัตราที่มากกว่าการให้น้ำในระดับขาดน้ำ ในส่วนของปัจจัยแต่ละปัจจัย พบว่าระดับความเค็มที่ต่างกัน ไม่ทำให้ผลผลิตทับทิมแตกต่างกันทางสถิติ แต่ระดับการให้น้ำที่ต่างกัน ทำให้ผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้น้ำระดับปกติและระดับที่ขาดน้ำร้อยละ 10 ให้ผลผลิตไม่ต่างกัน แต่เมื่อเริ่มขาดน้ำร้อยละ 20-40 ปริมาณผลผลิตเริ่มลดลง ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับการให้น้ำแบบปกติ (Tavousi Kaveh F Alizadeh, 2015) จะเห็นได้ว่าทับทิมเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มได้ เนื่องจากเมื่อมีความเค็มมากถึง 5.8 เดซิซีเมนต่อเมตร ทับทิมยังมีการให้ผลผลิตไม่ต่างกับสภาพที่ไม่มีความเค็ม จึงจัดได้ว่าทับทิมเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในดินเค็มระดับปานกลาง

2.6.4 หม่อน (*Morus alba* L.)

เป็นพืชปลูกได้ง่าย มีสารแอนโธไซยานินในปริมาณมาก ช่วยในการต้านอนุมูลอิสระ มีวิตามิน แร่ธาตุ และกรดอะมิโนหลายชนิดที่เป็นประโยชน์ เนื่องจากหม่อนเป็นพืชที่ปลูกง่าย ได้มีการศึกษาผลของความเค็มต่อการสังเคราะห์แสงของหม่อน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ M-5, BC2-59 และ S-30 ที่ความเค็ม 6 ระดับ คือ 0, 1, 2, 4, 8 และ 12 เดซิซีเมนต่อเมตร พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มสูงขึ้น จาก 0-4 เดซิซีเมนต่อเมตร ทำให้ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ กรดอะมิโนอิสระ ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ น้ำตาลซูโครส แป้ง ฟีนอล โพรลีน ไกลซีน และเบทาอีนเพิ่มสูงขึ้น และจะลดลงเมื่อระดับความเค็มสูงที่ระดับ 8 และ 12 เดซิซีเมนต่อเมตร โดยหม่อนพันธุ์ BC2-59 เป็นพันธุ์ที่ทนเค็มได้ดีกว่าพันธุ์ S-30 และพันธุ์ M-5 ตามลำดับ (Agastian P Kingsley SJ Vivekanandan M, 2000) จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับความเค็มสูงขึ้น องค์ประกอบทางเคมีจะลดลง ส่งผลให้ศักยภาพในการเจริญเติบโตของหม่อนลดลง แต่ยังสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ดินเค็มระดับปานกลาง เห็นได้จากปริมาณของโพรลีนที่เพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเค็มสูงขึ้นในระดับปานกลาง แสดงให้เห็นว่าหม่อนเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มน้อย

2.6.5 พุทรา (*Zizyphus mauritiana* Lam.)

พุทราเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ ปลูกง่าย และอายุยืน (พรชัย ฝนทิพย์, 2559) ถ้าสามารถเพิ่มพื้นที่ในการปลูกพุทราได้มากขึ้นผลผลิตก็ย่อมเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของความเครียดจากเกลือและน้ำในต้นพุทรา ศึกษาในแหล่งน้ำ 2 แหล่ง แหล่งที่ 1 มีค่า การนำไฟฟ้าของน้ำ ปริมาณโซเดียม และปริมาณแคลเซียม เท่ากับ 3.68 เดซิซีเมนต่อเมตร, 30.27 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 6.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และแหล่งที่ 2 มีค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ปริมาณโซเดียม และปริมาณแคลเซียม เท่ากับ 6.80 เดซิซีเมนต่อเมตร, 58.13 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เห็นได้ว่าแหล่งที่ 2 มีความเค็ม มากกว่าแหล่งที่ 1 ผล

การศึกษาพบว่า ต้นพุทราที่ได้รับน้ำในแหล่งที่ 2 มีการเจริญเติบโตของต้น (ความสูงต้น ความยาวยอด เส้นผ่านศูนย์กลางยอด ขนาดลำต้น จำนวนยอด/ต้น และพื้นที่ใบ) และคุณภาพของผล (ขนาด อายุการเก็บรักษา ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนัก ปริมาตร น้ำหนักเนื้อ และความชื้น) น้อยกว่าต้นพุทราที่ได้รับน้ำจากแหล่งที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ (Abdel-Hameed AA and Ali FS, 2015) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น ศักยภาพในการให้ผลผลิตของพุทรามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีการเจริญเติบโตลดลง แต่ยังมีการให้ผลผลิตอยู่ซึ่งอาจจะมากถึงร้อยละ 50 เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักผล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพุทราเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มได้ในระดับปานกลาง

2.6.6 มะขาม (*Tamarindus indica* Linn.)

มะขามเป็นไม้ผลที่มีประโยชน์และมีสรรพคุณมากมาย กำลังเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศเป็นอย่างมาก ซึ่งหากเราสามารถเพิ่มพื้นที่ปลูกได้จะทำให้เพิ่มผลผลิตได้อีกมาก จากการศึกษาเปรียบเทียบการทนเค็มของมะขามในระยะต้นกล้า ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 5 ระดับ ได้แก่ 0, 20, 40, 60 และ 80 มิลลิโมล์ พบว่าพื้นที่ใบ ความยาวยอด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้ามะขามลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นจาก 0 ไปเป็น 80 มิลลิโมล์ ทำให้พื้นที่ใบ ความยาวยอด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้าลดลง 3-4 เท่า (Gebauer J and Ebert G, 2005) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น ศักยภาพในการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะขามลดลงในระดับหนึ่ง ซึ่งในระยะต้นกล้า หรือระยะที่เมล็ดงอกเป็นระยะที่พืชส่วนใหญ่อ่อนแอต่อความเค็มมากที่สุด เมื่อพืชสามารถทนความเค็มและเจริญเติบโตผ่านช่วงระยะนี้ไปได้ พืชก็จะมีความสามารถในการทนต่อความเค็มในระยะการเจริญเติบโตต่อไปเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อมะขามเจริญเติบโตผ่านระยะต้นกล้าได้ ก็จะสามารถเจริญต่อไปจนถึงขั้นให้ผลผลิตได้ ในการศึกษานี้มะขามสามารถทนเค็มได้ถึงความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ 80 มิลลิโมล์ ซึ่งเทียบเป็นค่า EC เท่ากับ 8 เดซิซีเมนต่อเมตร (Munns R Cramer GR Ball MC, 1999) แสดงให้เห็นว่ามะขามเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มปานกลางได้

2.6.7 ฝรั่ง (*Psidium guajava* Linn.)

ฝรั่งเป็นไม้ผลที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเกือบทุกชนิด สามารถบังคับให้ออกดอกได้ง่ายด้วยการตัดแต่งกิ่งและการโน้มกิ่ง โดยไม่ต้องใช้สารเคมี และยังมีคุณค่าทางอาหารสูง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3 ระดับ คือ 0, 30 และ 90 มิลลิโมล์ ต่อการเจริญเติบโตและการสะสม Na^+ และ Cl^- ในส่วนราก ลำต้นและใบของฝรั่ง 2 พันธุ์ คือ พันธุ์กลมสาลี และพันธุ์ พจ.13-10 พบว่า ฝรั่งพันธุ์ พจ.13-10 สามารถทนความเค็มได้ดีกว่าพันธุ์กลมสาลี่ ฝรั่งทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้รับโซเดียมคลอไรด์ 30 มิลลิโมล์ แสดงอาการไม่แตกต่างจากต้นที่ไม่ได้รับเกลือ ฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่แสดงอาการใบไหม้หลังจากได้รับโซเดียมคลอไรด์ 17 วัน และมีความเสียหายเพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับเกลือต่อเนื่อง แต่ไม่พบอาการใบไหม้ในพันธุ์ พจ.13-10 น้ำหนักแห้งใบ พื้นที่ใบ และค่าความเขียวใบของฝรั่งทั้ง 2 พันธุ์ลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น ในพันธุ์กลมสาลี่มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อได้รับเกลืออย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน การสะสม Na^+ และ Cl^- เพิ่มขึ้นเมื่อ

ได้รับโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นสูงขึ้น ที่ความเข้มข้นของโซเดียวคลอไรด์ 90 มิลลิโมล์ ฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่มีการสะสม Na^+ และ Cl^- ในใบมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 2.27 และ 2.10 ตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กับอาการใบไหม้ที่เกิดขึ้น (สุรพล ฐิติธนากุล, 2547) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับความเค็ม 5 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 เดซิซีเมนต่อเมตร ในฝรั่ง 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Pentecoste, Paluma, Surubim และ IPA B-38 ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของบราซิล พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้นถึง 4.5 เดซิซีเมนต่อเมตร ต้นกล้าฝรั่งที่อายุ 180 วันตายทุกพันธุ์ ดังนั้นจึงทำการศึกษาในความเค็มเพียง 3 ระดับ คือ 0.5, 1.5 และ 3.0 เดซิซีเมนต่อเมตร พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น ต้นกล้าฝรั่งที่อายุ 180 วันมีน้ำหนักแห้งราก ลำต้น และใบของต้นกล้าลดลงเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น โดยฝรั่งพันธุ์ Pentecoste มีความสามารถในการทนความเค็มดีกว่าพันธุ์ Surubim, Paluma และ IPA B-38 ตามลำดับ (Cavalcante ÍHL Cavalcante LF Hu Y Beckmann-Cavalcante MZ, 2007) จะเห็นได้ว่าฝรั่งเป็นพืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มต่ำ (ค่า EC ไม่เกิน 3 เดซิซีเมนต่อเมตร) โดยปกติแล้วความเค็มจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในทุกๆ ระยะ แต่ในระยะที่เมล็ดงอก ซึ่งเป็นระยะที่มีความสำคัญมากระยะหนึ่งต่อการประเมินการทนเค็ม เนื่องจากแกนต้น (embryonic axis) เป็นส่วนที่มีความอ่อนแอเมื่อสัมผัสเกลือโดยตรง นอกจากนี้ยังมีในรายงานการศึกษาของ (da Silva A Fernandes P Gheyi H Blanco F, 2008) ที่ทำการศึกษาในกิ่งปักชำฝรั่ง Paluma ในความเค็มของร้อยละ 70 ของโซเดียมคลอไรด์ และร้อยละ 30 ของแคลเซียมคลอไรด์ 5 ระดับ คือ 0, 2, 4, 6 และ 8 เดซิซีเมนต่อเมตร พบว่า เมื่อระดับความเค็มเพิ่มมากขึ้น ทำให้น้ำหนักแห้งราก ต้น ใบ และผลลดลง โดยลดลงอย่างมากเมื่อความเค็มถึง 6 และ 8 เดซิซีเมนต่อเมตร และเมื่อพิจารณาถึงการ partitioning ของน้ำหนักแห้งทั้ง 4 ส่วน พบว่า เมื่อต้นฝรั่งได้รับความเค็ม สัดส่วนของน้ำหนักแห้งรากจะลดลง ในขณะที่สัดส่วนน้ำหนักแห้งของใบเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าต้นฝรั่งมีการปรับตัวเพื่อความอยู่รอดจากการที่รากไม่สามารถดูดน้ำได้เมื่ออยู่ในสภาวะเค็ม ฝรั่งจึงเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกบนพื้นที่ดินเค็มน้อยได้

2.6.8 สบู่ดำ (*Jatropha curcas* L.)

สบู่ดำเป็นพืชน้ำมันที่ได้รับความสนใจจากทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากเมล็ดสามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ และยังใช้เป็นพืชสมุนไพรได้ด้วย ถ้าสามารถนำสบู่ดำมาปลูกในพื้นที่ดินเค็มได้จะเป็นการเพิ่มศักยภาพในด้านการผลิตเพิ่มขึ้น จึงได้มีการคัดเลือกสบู่ดำทนเค็มในระยะงอก ในสบู่ดำ 9 สายพันธุ์ได้แก่ KUBP 16, KUBP 20-4, KUBP 33-1, KUBP 34-8, KUBP 74, KUBP 78-9, KUBP 80-3, India และ Mexico ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 0.4 และ 0.8 พบว่า เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดสบู่ดำทุกพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.4 และ 0.8 โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 พันธุ์ KUBP 33-1, KUBP 74, KUBP 78-9 และ KUBP 80-3 มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าชุดควบคุม และที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 ทุกพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำกว่าชุดควบคุม ขณะที่พันธุ์ Mexico ไม่มีการงอกของเมล็ดเลย และเมื่อความเข้มข้น เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.4 เป็น 0.8 ทำให้ดัชนีการงอกลดลง และค่าเฉลี่ยเวลาของการงอกเพิ่มขึ้น ในส่วนของ

การเจริญเติบโต พบว่าพันธุ์มีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยความยาวราก ความยาวต้น และน้ำหนักสดของต้นกล้าสบู่ดำทุกพันธุ์ลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น (ณัฐวุฒิ ไชยวุฒิ วีระพันธุ์ สรีดอกจันทร อรุณศิริ กำลัง แอนนา สายมณีรัตน์, 2553) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น ศักยภาพในการงอกของเมล็ดสบู่ดำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังมีเปอร์เซ็นต์การงอกอยู่มากกว่าร้อยละ 69 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสบู่ดำเป็นพืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มสูงได้ในระยะงอก

2.6.9 ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus globulus* Labill.)

ลำต้นยูคาลิปตัสสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี เป็นที่ต้องการของตลาด หากเราสามารถคัดเลือกสายพันธุ์ยูคาลิปตัสที่มีความทนทานต่อความเค็มได้ จะสามารถเพิ่มปริมาณของต้นยูคาลิปตัสในพื้นที่ของดินเค็มได้เพิ่มขึ้น จึงมีการศึกษาผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำในใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นยูคาลิปตัสในสภาพเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยทดสอบความทนทานของต้นยูคาลิปตัสเมื่อเติมเกลือลงในอาหารเพาะเลี้ยงให้ได้ความเข้มข้น ร้อยละ 0, 2, 4, และ 6 หลังการเติมเกลือเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าความเข้มข้นของเกลือที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง พื้นที่ใบ อัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง และมีปริมาณลดลงต่ำที่สุดในอาหารที่เติมเกลือ ร้อยละ 6 (สุริยันต์ ฉะอุ่ม กัลป์ยาณี สามิภักดิ์ เกรียงไกร โมสาลียานนท์ รื่นฤดี วนัสสกุล กัณยารัตน สุไพบูลย์ วัฒน เฉลิมพล เกิดมณี, 2542) และยังพบว่ายูคาลิปตัสเป็นไม้โตเร็วที่สามารถเจริญเติบโตได้เร็วที่สุดภายใต้สภาวะที่มีความเค็ม เมื่อเทียบกับไม้โตเร็วชนิดอื่นอีก 8 ชนิด (ณัฏฐ์สิริ ลักษณะอารีย์ มะลิวัลย์ หฤทัยธนาสันติ ยุทธนา บรรจง เอกพงษ์ ธนะวัติ, 2557) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น ศักยภาพในการเจริญเติบโตของยูคาลิปตัสจะลดลง แต่ยังสามารถงอกในสภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่มีความเค็ม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายูคาลิปตัสเป็นพืชที่มีศักยภาพในการทนเค็มสูงได้ในระยะงอก

จะเห็นได้ว่าพืชต่างชนิดกันและต่างพันธุ์กันมีความสามารถในการทนเค็มได้ต่างกัน ตาราง 6 ดังนี้

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 6 ศักยภาพการทนเค็มในไม้ยืนต้นบางชนิด

ชนิดพืช	พันธุ์	ความเข้มข้นจากงานวิจัยเดิม	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ระดับการทนเค็มของพืช
มะนาวโห่	-	เกลือทะเล ร้อยละ 0.8	10 dS/m	ทนเค็มมาก
องุ่น	Soltanin, Fakhri	200 mM	20 dS/m	ทนเค็มจัด
องุ่นไร้เมล็ด	Yaghuti, Askari	100 mM	10 dS/m	ทนเค็มมาก
ทับทิม	Wounderful, Manfalouty	1,750 ppm	2.73 dS/m	ทนเค็มปานกลาง
หม่อน	S-30, M-5	8 dS/m	8 dS/m	ทนเค็มน้อย
พุทรา	-	6.8 dS/m	6.8 dS/m	ทนเค็มปานกลาง
มะขาม	-	80 mM	8 dS/m	ทนเค็มปานกลาง
ฝรั่ง	Pentecoste	3 dS/m	3 dS/m	ทนเค็มน้อย
	Paluma	8 dS/m	8 dS/m	ทนเค็มปานกลาง
สบู่ดำ	KUBP 16, KUBP 20-4, KUBP 33-1, KUBP 34-8, KUBP 74, KUBP 78-9, KUBP 80-3, India, Mexico	NaCl ร้อยละ 0.8	12.5 dS/m	ทนเค็มมาก
ยูคาลิปตัส	-	NaCl ร้อยละ 6	93.75 dS/m	ทนเค็มมาก

ที่มา: (สุริยันต์ ฉะอุ่ม กัลป์ยาณี สามิภักดิ์ เกรียงไกร โมสาลียานนท์ รื่นฤดี วนัสสกุล กัณยารัตน สุไพบูลย์ วัฒน เฉลิมพล เกิดมณี, 2542); (ณัฐวุฒิ ไชยวุฒิ วีระพันธุ์ สรีดอกจันทร อรุณศิริ กำลัง แอนนา สายมณีรัตน์, 2553); (Agastian P Kingsley SJ Vivekanandan M, 2000); Gebauer J and Ebert G, 2005; (Karimi HR Hasanpour Z, 2014)(Gebauer J and Ebert G, 2005) (Mohammadkhani N Heidari R Abbaspour N Rahmani F, 2012); (Karimi HR Hasanpour Z, 2014); (Abdel-Hameed AA and Ali FS, 2015)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 ต้นมะนาวโห่ อายุ 2 ปี

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมดิน ได้แก่ จอบ ดินร่วน แกลบดิบ แกลบเผา และปุ๋ยคอก

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการปลูกและดูแลรักษามะนาวโห่ ได้แก่ ตลับเมตร ไม้ปักแปลง ป้ายชื่อ ปุ๋ยเคมีสูตร (15-15-15) ปุ๋ยหมักเติมอากาศ กระถางพลาสติก ขนาด 17 นิ้ว

3.1.4 วัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บเกี่ยวมะนาวโห่ ได้แก่ กรรไกรตัดกิ่ง ตะกร้าพลาสติก และถุงพลาสติก

3.1.5 วัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างมะนาวโห่สำหรับวิเคราะห์ ได้แก่ มีด เขียง ถาดพลาสติก ตะกร้าพลาสติก ถุงพลาสติกชนิดหนา ป้ายชื่อ และตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

3.1.6 วัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บบันทึกข้อมูล ได้แก่ สมุดบันทึก ดินสอ ตลับเมตร กล้องถ่ายรูป ไม้บรรทัด

3.1.7 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างและบันทึกข้อมูลดังใน**ตาราง 7** ดังนี้

ตาราง 7 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างและบันทึกข้อมูล

ที่	เครื่องมือ	บริษัท/รุ่น
1	เครื่องชั่งทศนิยม 3 และ 4 ตำแหน่ง	-
2	เครื่องวัดพื้นที่ใบ (leaf area meter)	CID Bio Science รุ่น Handheld Laser Leaf Area Meter (CI-203)
3	โกร่งบดตัวอย่าง	-
4	ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)	-
5	เครื่องกลั่นระเหยระบบสุญญากาศ (Rotary evaporator)	Buchi รุ่น R-300
6	เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (centrifuge)	Hermle Laboetechnik GmbH
7	เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer)	Labnet รุ่น VX100
8	เครื่องวัดสี (colorimeter)	Minolta รุ่น Hunterlab Miniscan XE Plus
9	เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)	Eutech Instruments รุ่น pH700
10	เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-vis spectrophotometer)	Shimadzu รุ่น UV-1700 PharmaSpec UV-VIS Spectrophotometer
11	เตาเผาแบบ Electric muffle furnace	-
12	เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity Meter)	-

3.1.8 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ดังใน**ตาราง 8** ดังนี้

ตาราง 8 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ที่	สารเคมี	บริษัท/เกรด
1	เมทานอล (methanol)	HPLC
2	เอทานอล (ethanol)	HPLC
3	น้ำกลั่น (distilled water)	-
4	น้ำกลั่นปราศจากอิออน (Deionized Water (DI))	-
5	สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)	-
6	สารฟีนอร์ฟทาลีน (phenolphthalein)	-
7	กรดเมตาฟอสฟอริก (metaphosphoric acid)	-
8	กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)	-
9	สารอินโดฟีนอล (indophenol)	-
10	สารโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (sodium bicarbonate)	-
11	กรดแกลลิค (gallic acid)	
12	สารโฟลิน ซิโอแคลธู (folin-ciocalteu reagent)	-
13	สารโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate)	-
14	สารโซเดียมไนไตร์ (sodium nitrite)	-
15	สารอะลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminum chloride)	-
16	สารเควอซิทิน (quercetin)	-
17	สารโพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride)	-
18	กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)	A.R.
19	สารโซเดียมอะซิเตต (Sodium Acetate)	-
20	กรดอะซิติก (Acetic acid)	-
21	สาร DPPH	-
22	สาร ABTS	-
23	สารโพแทสเซียม เปอร์ซัลเฟต (Potassium Persulphate)	-
24	สารไอรอนคลอไรด์แอนไฮดรัส (Iron(III) chloride anhydrous)	-
25	สารทีพีทีแซด (2,4,6-tripyridyl-s-triazine)	-
26	สารเฟอร์รัสซัลเฟต เฮปตะไฮเดรต (ferrous sulfate haptahydrate)	-

3.2 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ factorial in completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 2 ต้น มี 2 ปัจจัย คือ

3.2.1 ระดับความเค็ม คือ ระดับความเค็ม 6 ระดับ ได้แก่ 0, 25, 50, 75, 100 และ 125 มิลลิโมล์

3.2.2 ระยะพัฒนาการของใบ ศึกษาใน 4 ระยะ คือ ระยะใบอ่อน ระยะใบเพสลาด ระยะใบเจริญเต็มที่ และระยะใบแก่

3.3 วิธีการดำเนินงาน

3.3.1 การปลูกและดูแลรักษา

นำดินร่วน ปุ๋ยหมักเติมอากาศ และแกลบดิบ อัตราส่วน 4:1:0.5 ผสมให้เข้ากัน แล้วใส่ในกระถางพลาสติกขนาด 17 นิ้ว น้ำหนักรวม 35 กิโลกรัมต่อกระถาง ใส่ทั้งหมด 96 กระถาง ปรับระดับดินให้สม่ำเสมอ

ทำการปลูกมะนาวโห่ ที่เพาะเมล็ดจากต้นเดียวกัน ขนาดต้นใกล้เคียงกัน อายุ 2 ปี โดยวางกระถางให้มีระยะห่างระหว่างต้น 1 เมตร และระยะห่างระหว่างแถว 0.75 เมตร ใส่ปุ๋ยหมัก ในอัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อต้น ทุก 30 วัน โดยโรยกระจายห่างจากโคนต้นประมาณ 10 เซนติเมตร พรวนดินพร้อมกำจัดวัชพืช

3.3.2 การประเมินลักษณะทางกายภาพของดินปลูก

ทำการดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ปลูกทดลอง เพื่อส่งวิเคราะห์ตัวอย่างดิน จำนวน 3 ตัวอย่าง โดยกลุ่มวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขตที่ 4 กรมพัฒนาที่ดิน พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 5.2-5.5 ปริมาณอินทรียวัตถุ ร้อยละ 0.47-0.64 ปริมาณฟอสฟอรัส 3-6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียม 6-9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทำการประเมินลักษณะทางกายภาพของดินโดยกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร พบว่า มีความสามารถในการเก็บกักน้ำที่เป็นประโยชน์ของดิน (available water capacity) 9.75-17.30 มิลลิเมตร ความจุความชื้นภาคสนาม (field capacity) ร้อยละ 24.36-35.30 จุดเหี่ยวเฉาถาวร (permanent wilting point) ร้อยละ 12.78-20.42 และความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) 0.96-1.34 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3.3 การให้ความเค็มกับต้นมะนาวโห่

ตัดแต่งกิ่งเพื่อเตรียมให้ความเค็ม หลังจากปลูกต้นมะนาวโห่นาน 1 เดือน โดยกำหนดความเค็มตามสิ่งทดลอง 6 ระดับ คือ 0, 25, 50, 75, 100 และ 125 มิลลิโมล์ โดยตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของดินเพื่อควบคุมความเค็มให้ได้ตามสิ่งทดลองทุก 7 วัน

3.3.4 การเก็บตัวอย่างใบ

หลังจากตัดยอดได้ 7 วัน ทำการเก็บ 4 ระยะ ตามวิธีการของ(ภานุวัฒน์ สีพันธ์ สกุลกานต์ สิมลา พัชรี สิริตระกูลศักดิ์ ชฎาพร เสนาคุณ, 2560) (**ภาพประกอบ 7**) ดังนี้

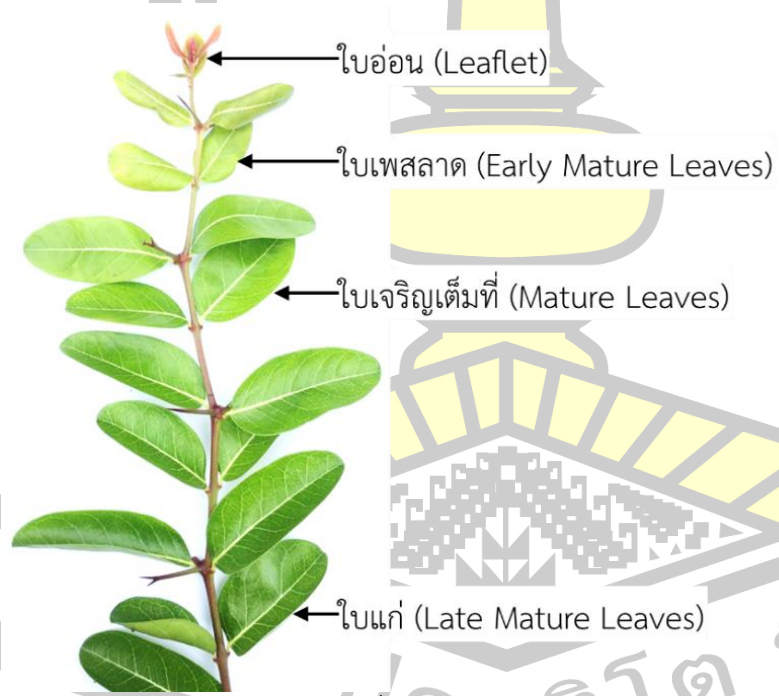
1) การเก็บใบอ่อน ทำการเก็บตัวอย่างเหมือนเก็บใบชา (เก็บ 1 ยอด 2 หรือ 3 ใบ) เนื่องจากสารประกอบทางเคมีที่สำคัญที่ส่งผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของชาจะมีอยู่มากเฉพาะในยอดชาเท่านั้น ทำการเก็บใบที่ 3 สำหรับใช้ในการหาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบอ่อน

2) การเก็บใบเพสลาด คือการเก็บใบไม่อ่อนหรือไม่แก่เกินไป เก็บช่วงในช่วงระยะใบมีการเปลี่ยนสีจากสีส้มอ่อนเป็นสีเขียวอ่อน ช่วงระยะเวลานั้น ในใบมีตัวยามากที่สุด โดยเก็บใบคู่ที่ 5 นับจากปลายยอดลงมา

3) การเก็บใบเจริญเต็มที่ ทำการเก็บตัวอย่างเหมือนการเก็บใบแก่ทุเรียนเทศ เนื่องจากระยะใบแก่มีเส้นใยที่ช่วยในกระบวนการรักษามะเร็งโดยสารประกอบของ อะซีโทจีนิน (acetogenins) โดยเก็บใบคู่ที่ 7 นับจากปลายยอดลงมา

4) การเก็บใบแก่ ทำการเก็บตัวอย่างใบแก่ โดยเก็บใบคู่ที่ 11 นับจากปลายยอดลงมา

หลังจากเก็บตัวอย่างใบเรียบร้อยแล้ว นำไปจุ่มในไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิของอากาศที่ –196 องศาเซลเซียส นาน 2-3 นาที เพื่อให้ตัวอย่างหยุดกระบวนการออกซิเดชัน จากนั้นนำไปเก็บรักษาสภาพใบ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์หาสารพฤกษเคมี ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 7 ตัวอย่างลำดับใบที่เก็บในงานทดลอง

3.3.5 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์

นำตัวอย่างใบสดมาล้างทำความสะอาด ผึ่งลมให้แห้ง หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในโกร่งบดเติมไนโตรเจนเหลว บดให้ละเอียด แล้วเก็บในถุงซิปแช่ตู้ทำความเย็นที่มีอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอวิเคราะห์ต่อไป

3.3.6 การวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีในตัวอย่าง

1) การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ ตามวิธีของ (Sumanta Nayek Haque Choudhury Imranu Jaishee Nishika and Roy Suprakash, 2014)

1.1) การเตรียมตัวอย่าง

1.1.1) ชั่งตัวอย่างใบมะนาวโห่ที่บดละเอียด จำนวน 0.25 กรัม ใส่ขวดเก็บสารเคมีขนาด 250 มิลลิลิตร

1.1.2) เติมสารละลายอะซิโตนความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

1.1.3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 155 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.1.4) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ในหลอดเซนติฟิวขนาด 50 มิลลิลิตร

1.1.5) นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

1.1.6) เทส่วนที่ใสเก็บใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิดเพื่อทำการทดลองต่อไป

1.2) การเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลายอะซิโตน ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยตวงสารละลายอะซิโตนความเข้มข้นร้อยละ 100 ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

1.3) การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์

นำส่วนใสที่ได้จากการเซนติฟิววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663.2, 646.8 และ 470 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายอะซิโตน ความเข้มข้นร้อยละ 80 เป็น blank

1.4) การคำนวณหาปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง

1.4.1) คำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ a ดังสมการ

$$\text{Chlorophyll a } (\mu g/mL) = 12.25A_{663.2} - 279A_{646.8}$$

เมื่อ $A_{663.2}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663.2 นาโนเมตร

$A_{646.8}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663.2 นาโนเมตร

1.4.2) คำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ b ดังสมการ

$$\text{Chlorophyll a } (\mu g/ml) = 21.5A_{646.8} - 5.1A_{663.2}$$

เมื่อ $A_{663.2}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663.2 นาโนเมตร

$A_{646.8}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663.2 นาโนเมตร

2) การวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซี ประยุกต์ตามวิธีของ (AOAC, 2000)

2.1) การเตรียมตัวอย่าง

2.1.1) ชั่งตัวอย่างใบมะนาวโห่ที่บดละเอียด 0.1 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร

2.1.2) เติมสารละลายกรดออกซาลิก-กรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 3 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

2.1.3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่า (vortex mixer) 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที

2.2) การเตรียมสารละลาย

2.2.1) การเตรียมสารละลายกรดออกซาลิก-กรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยชั่งกรดออกซาลิก 15 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นต้มประมาณ 200 มิลลิลิตร คนจนละลาย เติมกรดอะซิติกเข้มข้น ปริมาตร 40 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นต้ม

2.2.2) การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.010 กรัม ละลายและปรับปริมาตร ให้ครบ 10 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายกรดออกซาลิก-กรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 3

2.2.3) การเตรียมสารละลายอินโดฟีนอล ความเข้มข้นร้อยละ 0.0025 โดยชั่งโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต จำนวน 0.21 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นต้มประมาณ 200 มิลลิลิตร (สารละลาย A) ชั่งสาร 2,6-ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอล จำนวน 0.025 กรัม ละลายด้วยสารละลาย A แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นต้ม

2.3) การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

2.3.1) นำตัวอย่างจากข้อ 2.1) ไปไทเทรตด้วยสารละลายอินโดฟีนอล ความเข้มข้นร้อยละ 0.0025 จนเกิดสีชมพูอ่อนนานกว่า 15 วินาที บันทึกปริมาตรของสารละลายอินโดฟีนอล ที่ใช้ในหน่วยมิลลิลิตร

2.4) การวิเคราะห์สารมาตรฐาน

2.4.1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร

2.4.2) เติมสารละลายกรดออกซาลิก-กรดอะซิติก ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

2.4.3) นำไปไทเทรตด้วยสารละลายอินโดฟีนอล ความเข้มข้น 0.0025 เปอร์เซ็นต์ จนเกิดสีชมพูอ่อนนานกว่า 15 วินาที บันทึกปริมาตรของสารละลายอินโดฟีนอลที่ใช้ในหน่วย มิลลิลิตร

2.4.4) การทำ blank ทำโดยปิเปตน้ำกลั่นต้มปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดออกซาลิก-กรดอะซิติก ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตด้วยสารละลายอินโดฟีนอล ความเข้มข้น 0.0025 เปอร์เซ็นต์ จนเกิดสีชมพูอ่อนนานกว่า 15 วินาที บันทึกปริมาตรของสารละลายอินโดฟีนอลที่ใช้ในหน่วยมิลลิลิตร

2.5) การคำนวณหาปริมาณวิตามินซีที่มีอยู่ในตัวอย่าง

คำนวณปริมาณวิตามินซี ดังสมการ

ปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/g of sample) = $\frac{(A-B)\times S\times V)}{((2\times1)\times E\times W)}$

เมื่อ A คือ ปริมาตรสารละลายอินโดฟีนอลที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรสารละลายอินโดฟีนอลที่ใช้ไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

S คือ ปริมาตรสารละลายอินโดฟีนอลที่ใช้ไทเทรตกับสารมารตฐาน (มิลลิลิตร)

V คือ ปริมาตรสารละลายกรดออกซาลิก-กรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 3 ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

E คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้ (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

รายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัมของกรดแอสคอบิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (mg GAE/g of sample)

3) การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยประยุกต์ตามวิธีการของ (จิราภรณ์ กระแสเทพ, 2559)

3.1) การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1) ชั่งตัวอย่างใบมะนาวโห่ที่บดละเอียด จำนวน 2 กรัม ใส่ขวดเก็บสารเคมีขนาด 250 มิลลิลิตร

3.1.2) เติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 99.9 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

3.1.3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 155 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.1.4) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ในหลอดเซนติฟิวขนาด 15 มิลลิลิตร

3.1.5) นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

3.1.6) เทส่วนที่ใสเก็บใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิดหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอย เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอทำการทดลองต่อไป

3.2) การเตรียมสารละลาย

3.2.1) การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

(1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิค ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยชั่งกรดแกลลิกมา 0.0255 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 25 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 99.9

(2) เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิคความเข้มข้น 0.05, 0.10, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยปิเปตสารละลายที่ได้จากข้อ 3.2.1) มา 0.25, 0.50, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล

3.2.2) การเตรียมสารละลายโฟลิน ซิโอแคลธู ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยตวงสารละลาย โฟลิน ซิโอแคลธู 10 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน

3.2.3) การเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยชั่งสารโซเดียมคาร์บอเนต 10 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

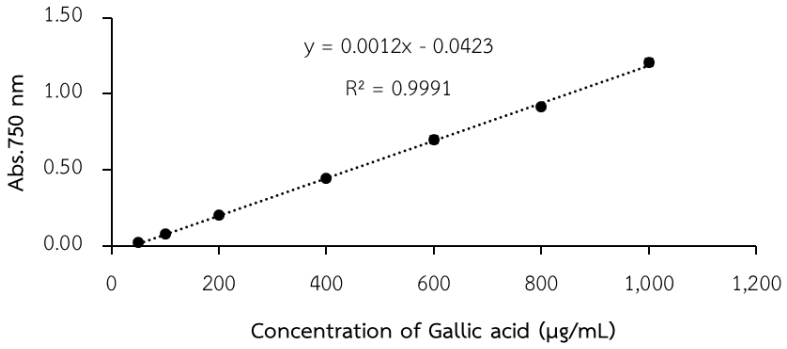
3.3) การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

3.3.1) ปิเปตสารเอทานอล (blank) สารมาตรฐานกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้นและสารสกัดตัวอย่าง ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มา 50 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

3.3.2) เติมสารละลายโฟลิน ซิโอแคลธู ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที

3.3.3) เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที

3.3.4) นำสารละลายจากข้อ 3.3.3) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานแกลลิก (**ภาพประกอบ 8**) แล้วรายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (mg GAE/100 g of sample)



ภาพประกอบ 8 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

3.4) การคำนวณหาปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง

จากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (**ภาพประกอบ 8**) ได้สมการเส้นตรง

$$y = 0.0012x - 0.0423$$

แทนค่า y ในสมการด้วยค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างแล้วย้ายข้างสมการ และทำการเปลี่ยนหน่วยให้อยู่ในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (mg GAE/g of sample) ดังสมการ

$$x = [(y + 0.0423)/0.0012] \times (5/100)$$

4) การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ดัดแปลงจากวิธีการของ (Krasaetep J Nakornriab M Puangpronpitag D, 2011)

4.1) การเตรียมตัวอย่าง ทำการสกัดเช่นเดียวกับการสกัดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

4.2) การเตรียมสารละลาย

4.2.1) การเตรียมตัวสารละลายมาตรฐาน

(1) การเตรียมสารละลายเควอซิทิน ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยชั่งสารเคอซิทินมา 0.0263 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 25 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล

(2) เตรียมสารละลายมาตรฐานเควอซิทินความเข้มข้น 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.40 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยปิเปตสารละลายที่ได้จากข้อ (1) มา 0.25, 0.50, 1.0 และ 2.0 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล

4.2.2) เตรียมสารละลายโซเดียมไนไตร์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยชั่งโซเดียม-ไนไตร์ มา 2.551 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4.2.3) เตรียมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยชั่งอะลูมิเนียมคลอไรด์ มา 10 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล ตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

4.2.4) เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 10.101 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

4.3) การวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

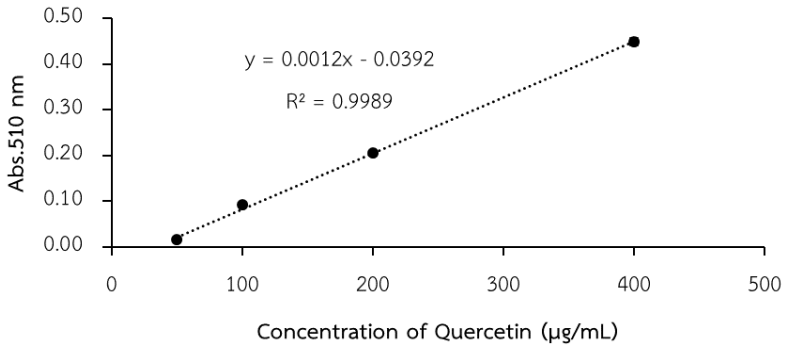
4.3.1) ปิเปตสารเอทานอล สารมาตรฐานเควอซิทินแต่ละความเข้มข้น และสารสกัดตัวอย่าง ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มา 250 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

4.3.2) เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไนไตร์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 75 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที

4.3.3) เติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 150 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 6 นาที

4.3.4) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 775 ไมโครลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน

4.3.5) นำสารไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานเควอซิทิน (**ภาพประกอบ 9**) แล้วรายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของเควอซิทินต่อตัวอย่าง 1 กรัม (mg QE/g of sample)



ภาพประกอบ 9 กราฟมาตรฐานของเควอซิติน

4.4) การคำนวณหาปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง

จากกราฟมาตรฐานเควอซิติน (**ภาพประกอบ 9**) ได้สมการเส้นตรง

$y = 0.0012x - 0.0392$

แทนค่า y ในสมการด้วยค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างแล้วย้ายข้างสมการ และทำการเปลี่ยนหน่วยให้อยู่ในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของเควอซิตินต่อตัวอย่าง 1 กรัม (mg QE/g of sample) ดังสมการ

$x = [(y + 0.0392)/0.0012] \times (1/100)$

5) การวิเคราะห์แอนโทไซยานินทั้งหมด ตามวิธีการของ (Giusti MM Wrolstad RE, 2001)

5.1) การเตรียมตัวอย่าง ทำการสกัดเช่นเดียวกับการสกัดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

5.2) การเตรียมสารละลาย

5.2.1) เตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 โดยการชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ 1.8675 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับความเป็นกรดด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จนกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะเท่ากับ 1.0 จากนั้นเทลงในขวดปรับปริมาตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

5.2.2) เตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.40 โมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.5 โดยการชั่งสารโซเดียมอะซิเตต 19.31 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับความเป็นกรดด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น จนกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะเท่ากับ 4.5 จากนั้นเทลงในขวดปรับปริมาตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

5.3) การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด โดยวิธีการค่าความเป็นกรด-ด่าง (differential method) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ตามวิธีของ (Giusti MM Wrolstad RE, 2001)

5.3.1) ปิเปตสารสกัดตัวอย่างความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 30 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จำนวน 2 หลอด

5.3.2) หลอดที่ 1 เติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ปริมาตร 2.970 มิลลิลิตร และหลอดที่ 2 เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.40 โมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.5 ปริมาตร 2.970 ไมโครลิตร

5.3.3) นำหลอดทดลองไปเขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า แล้วนำไปเก็บในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที

5.3.4) นำไปวัดหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 510 และ 700 นาโนเมตร โดยใช้ blank ของค่าการดูดกลืนแสงของค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 คือสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ส่วน blank ของค่าการดูดกลืนแสงของค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.5 คือสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.40 โมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.5

5.4) การคำนวณหาปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0}} - (A_{510} - A_{700})_{\text{ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.5}}$$

เมื่อ A_{510} และ A_{700} คือ ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโต-มิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 510 และ 700 นาโนเมตร ตามลำดับ

จากนั้นนำค่า A คำนวณหาปริมาณสารแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในตัวอย่างจากสูตร

Monomeric anthocyanin pigment (mg/liter) = $(A \times MW \times DF \times 1000)/(\varepsilon \times l)$

เมื่อ MW คือ มวลโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside (เท่ากับ 449.2)
DF คือ dilution factor ของตัวอย่าง (เท่ากับ 100)
ε คือ ค่า molar absorptivity (เท่ากับ 26,900) และ
l คือ ระยะทางที่แสงส่องผ่าน

6) การวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน ตามวิธีการของ (Hou WC Lin RD Cheng KT Hung YT Cho CH Chen CH Hwang SY Lee MH, 2003)

6.1) การเตรียมตัวอย่าง ทำการสกัดเช่นเดียวกับการสกัดเพื่อวิเคราะห์ฟีนอลิก

6.2) การเตรียมสารละลาย

6.2.1) การเตรียมตัวสารละลายมาตรฐาน

(1) การเตรียมสารละลายกรดแทนนิก ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยชั่งกรดแทนนิกมา 0.0250 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 25 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล

(2) เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแทนนิก ความเข้มข้น 5, 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยปิเปตสารละลายที่ได้จากข้อ (1) มา 0.025, 0.050, 0.100, 0.200, 0.300, 0.400 และ 0.500 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล

6.2.2) เตรียมสารละลายโฟลิน ซิโอแคลธู ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยตวงสารละลายโฟลิน ซิโอแคลธู 50 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน

6.2.3) เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยชั่งสารโซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

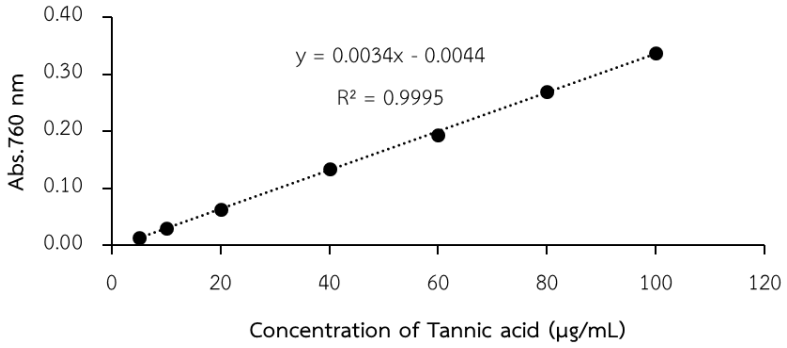
6.3) การวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน

6.3.1) ปิเปตสารเอทานอล (blank) สารมาตรฐานกรดแทนนิกแต่ละความเข้มข้น และสารสกัดตัวอย่าง ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มา 120 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

6.3.2) เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร และสารละลายโฟลิน ซิโอแคลธู ความเข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 120 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที

6.3.3) เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที

6.3.4) นำสารละลายจากข้อ 6.3.3) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานแทนนิก (**ภาพประกอบ 10**) แล้วรายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (mg TTE/g of sample)



ภาพประกอบ 10 กราฟมาตรฐานของกรดแทนนิก

3.4) การคำนวณหาปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง

จากกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก (**ภาพประกอบ 10**) ได้สมการเส้นตรง

$y = 0.0034x - 0.0044$

แทนค่า y ในสมการด้วยค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างแล้วย้ายข้างสมการ และทำการเปลี่ยนหน่วยให้อยู่ในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (mg TTE/g of sample) ดังสมการ

$$x = [(y+0.0034)/0.0044] \times (1/100)$$

7) การวิเคราะห์ปริมาณเทอพีนอยด์ทั้งหมด

7.1) การวิเคราะห์ปริมาณเทอพีนอยด์ ประยุกต์ตามวิธีของ **(Malik s.k. Ahmad M. Khan F., 2017)**

7.1.1) ชั่งตัวอย่างใบมะนาวโห่ที่บดละเอียด จำนวน 0.10 กรัม ใส่ขวดเก็บสารเคมีขนาด 100 มิลลิลิตร

7.1.2) เติมสารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 99.9 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร

7.1.3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 155 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

7.1.4) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร

7.1.5) เติมสารปิโตรเลียมอีเทอร์เข้มข้น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

7.1.6) ปิดฝาค่อยๆ หมุนกรวยแยกเป็นเลขแปด เพื่อผสมสารละลายให้เข้ากัน

7.1.7) นำกรวยแยกไปตั้งในแนวดิ่งบนที่ยึดวงแหวน เปิดฝาเพื่อระบายก๊าซที่เกิดขึ้น รอจนกว่าสารจะแยกชั้น

7.1.8) เมื่อสารละลายแยกชั้นกันสมบูรณ์และ ให้เปิดก๊อกเพื่อทิ้งสารในชั้นล่างให้หมด

7.1.9) ชั่งขวดเก็บสารเคมีขนาด 100 มิลลิลิตร เพื่อให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปรองด้านล่างของกรวยแยกเพื่อเก็บสารละลายชั้นบน

7.1.10) เปิดฝาวางไว้ในตู้ดูดควัน 6 ชั่วโมงเพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออกจนหมด

7.1.11) นำขวดสารในข้อ 7.1.10) ไปอบในตู้อบลมร้อน 12 ชั่วโมง

7.1.12) เมื่อครบกำหนดปิดฝารอให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณสารที่ติดในขวด

7.2) การคำนวณหาปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง

คำนวณปริมาณเทอพีนอยด์ทั้งหมด ดังสมการ

$$\% \text{ yield of total terpenoide content} = (W_f)/W_i) \times 100$$

เมื่อ W_i คือ ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ก่อนสกัด (กรัม)

W_f คือ ปริมาณตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

8) การวิเคราะห์ผลผลิตและปริมาณไตรเทอพีน ประยุกต์ตามวิธีของ **(Ke Z-C Zhu Z-P Xu Z-Y Fang C Hu Shang, 2014)**

8.1) การเตรียมตัวอย่าง

8.1.1) ชั่งตัวอย่างใบมะนาวโห่ที่บดละเอียด จำนวน 1 กรัม ใส่ขวดก้นกลมขนาด 1000 มิลลิลิตร

8.1.2) เติมสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 99.9 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

8.1.3) สกัดด้วยวิธีการ Reflux เป็นเวลา 15 นาที

8.1.4) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร

8.1.5) แยกไขมันด้วยการเติมสารปิโตรเลียมเบนซินเข้มข้น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

8.1.6) ปิดฝาค่อยๆ หมุนกรวยแยกเป็นเลขแปด เพื่อผสมสารละลายให้เข้ากัน และขณะที่ผสมสารจะต้องมีการเปิดฝากรวยแยกเป็นระยะเพื่อลดแรงดันภายใน

8.1.7) นำกรวยแยกไปตั้งในแนวดิ่งบนที่ยึดวงแหวน เปิดฝาเพื่อระบายก๊าซที่เกิดขึ้น รอจนกว่าสารจะแยกชั้น

8.1.8) เมื่อสารละลายแยกชั้นกันสมบูรณ์และ ให้เปิดก๊อกเพื่อเก็บสารสกัดในชั้นล่างใส่ลงในขวดแก้วที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

8.1.9) นำขวดสารสกัดตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าตัวทำละลายจะแห้งจนหมด

8.1.10) ปิดฝารอให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณสารที่ติดในขวด

8.1.11) การคำนวณหาปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง

คำนวณผลผลิตไตรเทอพีน ดังสมการ

$$\% \text{ yield of triterpene} = (W_f)/W_i) \times 100$$

เมื่อ W_i คือ ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ก่อนสกัด (กรัม)

W_f คือ ปริมาณตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

8.1.12) ละลายและเจือจางสารสกัดตัวอย่างด้วยเมทานอลให้มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

8.2) การเตรียมสารละลาย

8.2.1) การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

(1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดยูโซลิก ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยละลาย กรดยูโซลิก ความเข้มข้น 98.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 5 มิลลิกรัม ในเมทานอล ปริมาตร 492.5 ไมโครลิตร

(2) เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดยูโซลิก ความเข้มข้น 0.005, 0.010, 0.015, 0.020 และ 0.025 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยปิเปตสารละลายที่ได้จากข้อ (1) มา 10, 20, 30, 40 และ 50 ไมโครลิตร แล้วเติมเมทานอลเข้มข้น ปริมาตร 190, 180, 170, 160 และ 150 ไมโครลิตร ตามลำดับ

8.2.2) เตรียมสารละลายวานิลิน ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งสารวานิลิน จำนวน 5 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยกรดอะซิติกเข้มข้นจนครบ 100 มิลลิลิตร

8.3) การวิเคราะห์ปริมาณกรดไตรเทอร์พีนทั้งหมด

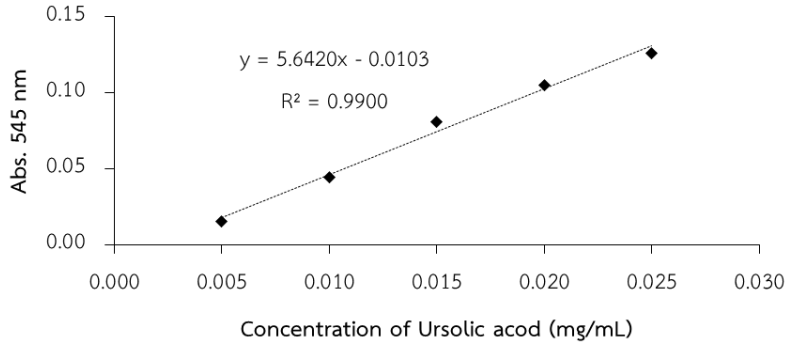
8.3.1) ปิเปตสารเมทานอล (blank) สารมาตรฐานกรดยูโซลิกแต่ละความเข้มข้น และสารสกัดตัวอย่าง ความเข้มข้น 0.010 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

8.3.2) เติมกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น ปริมาตร 800 ไมโครลิตร และสารละลายวานิลิน ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 400 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน

8.3.3) นำไปต้มในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

8.3.4) เมื่อครบกำหนด นำหลอดทดลองจากข้อ 9.3.3) ออกจากอ่างน้ำร้อน ตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

8.3.5) เติมกรดอะซิติกเข้มข้น ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 545 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดยูโซลิก (**ภาพประกอบ 11**) แล้วรายงานผลในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของกรดยูโซลิกต่อสารสกัด 1 กรัม (mg Ursolic acid equivalent/g extract)



ภาพประกอบ 11 กราฟมาตรฐานของกรดยูโซลิก

8.4) การคำนวณหาปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง

จากกราฟมาตรฐานกรดยูโซลิก (**ภาพประกอบ 11**) ได้สมการเส้นตรง

$$y = 5.6420x - 0.0103$$

แทนค่า y ในสมการด้วยค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างแล้วย้ายข้างสมการ และทำการเปลี่ยนหน่วยให้อยู่ในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของกรดยูโซลิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (mg Ursolic acid equivalent/g sample) ดังสมการ

$$x = [(y + 0.0103)/5.6420] \times (1/0.01)$$

3.3.7 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

1) วิธีดักจับอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ประยุกต์ตามวิธีของ **(จิราภรณ์ กระแสเทพ, 2559)**

1.1) การเตรียมตัวอย่าง ทำการสกัดเช่นเดียวกับการสกัดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

1.2) การเตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยชั่งสารละลาย DPPH มา 0.0394 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที เก็บในขวดสีชา (ควรใช้สารละลายให้หมดภายใน 24 ชั่วโมง)

1.3) การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH

1.3.1) ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

1.3.2) เติมสารละลาย DPPH จากข้อ 1.2) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที

1.3.3) สำหรับหลอด control เติมเฉพาะสารละลาย DPPH จากข้อ 1.2) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที

1.3.4) นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้สารละลายเอทานอลเป็น blank

1.3.5) นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ คำนวณหา เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (% inhibition) อนุมูล DPPH

1.4) การคำนวณหาปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง

สามารถคำนวณได้โดยแทนค่าในสมการ

$$\% \text{ inhibition} = [1 - (A_{sample}/A_{control})] \times 100$$

เมื่อ A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายในหลอดตัวอย่าง และ

$A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายในหลอด control

2) วิธีดักจับอนุมูลอิสระ 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) ประยุกต์ตามวิธีของ (Kriengsak T Unaro JB Kevin C, 2006)

2.1) การเตรียมตัวอย่าง ทำการสกัดเช่นเดียวกับการสกัดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

2.2) การเตรียมสารละลาย

2.2.1) เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต มา 0.0267 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ครบ 100 มิลลิลิตร

2.2.2) เตรียมสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง ABTS มา 0.3676 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล

2.2.3) การเตรียมสารละลาย $ABTS^{\cdot+}$

(1) นำสารละลาย ABTS ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟส ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมเข้าด้วยกัน เก็บในขวดสีชาไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง

(2) ทำการเจือจางด้วยเอทานอล ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ให้อยู่ในช่วง 0.70 ± 0.05 (0.65-0.75) (ใช้เป็นค่า absorbance initial)

2.3) การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูล $ABTS^{\cdot+}$

2.3.1) ปิเปตสารสกัดตัวอย่างความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

2.3.2) เติมสารละลาย ABTS ปริมาตร 2.85 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที

2.3.3) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลเป็น Blank แล้วคำนวณหา %inhibition

2.5) การคำนวณหาปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง สามารถคำนวณได้โดยแทนค่าในสมการ

$$\% = \frac{[Abs_{initial} - Abs_{final}] \times 100}{Abs_{initial}}$$

เมื่อ $Abs_{initial}$ คือ ค่าดูดกลืนแสงเริ่มต้น และ

Abs_{final} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

3) การวัดความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กของสารต้านอนุมูลอิสระ (Ferric reducing antioxidant power : FRAP) ประยุกต์วิธีของ **(จิราภรณ์ กระแสเทพ, 2559)**

3.1) การเตรียมตัวอย่าง ทำการสกัดเช่นเดียวกับการสกัดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

3.2) การเตรียมสารละลาย

3.2.1) การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

(1) เตรียมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสารเฟอร์รัสซัลเฟต เฮปตะไฮเดรต มา 0.0070 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน

(2) เตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟตความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.10, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยปิเปตสารละลายที่ได้จากข้อ (1) มา 0.05, 0.25, 0.50, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.0 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน

3.2.2) การเตรียมสารละลาย FRAP

(1) เตรียมสารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.6 ความเข้มข้น 0.3 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสารโซเดียมอะซิเตตมา 15.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน ปริมาตร 800 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับความเป็นกรดด้วยกรดกรดอะซิติกเข้มข้น จนกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะเท่ากับ 3.6 จากนั้นเทลงในขวดปรับปริมาตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

(2) เตรียมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสารเฟอร์ริกคลอไรด์แอนไฮดรัสมา 0.3277 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนให้ครบ 100 มิลลิลิตร

(3) เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ โดยปิเปตกรดไฮโดรคลอริกมา 0.33 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่บรรจุน้ำกลั่นปราศจากไอออนอยู่ประมาณ 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนครบ 100 มิลลิลิตร

(4) เตรียมสารละลายทีพีทีแซด ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสารทีพีทีแซดมา 0.3154 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ในข้อ (3) จนครบ 100 มิลลิลิตร

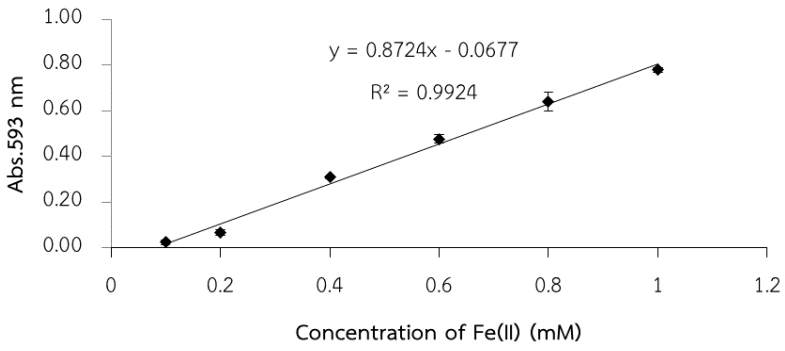
(5) เตรียมสารละลาย FRAP โดยใช้สารละลายในข้อ (1),(2),(4) ในอัตราส่วน 10:1:1 ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

3.3) การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กของสารต้านอนุมูลอิสระ

3.3.1) ปิเปตเอทานอลเข้มข้น (blank) สารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟตแต่ละความเข้มข้นและสารสกัดตัวอย่าง ความเข้มข้น 11.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มา 150 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

3.3.2) เติมสารละลาย FRAP ปริมาตร 2.850 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที

3.3.3) นำสารไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต (**ภาพประกอบ 12**) แล้วรายงานผลในหน่วยของมิลลิโมลาร์ของเฟอร์รัสซัลเฟตต่อตัวอย่าง 1 กรัม (mM Fe(II)/100 g of sample)



ภาพประกอบ 12 กราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต

3.4) การคำนวณหาปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง

จากกราฟมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต (**ภาพประกอบ 12**) ได้สมการเส้นตรง

y = 0.8724x - 0.0677

แทนค่า y ในสมการด้วยค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างแล้วย้ายข้างสมการ และทำการเปลี่ยนหน่วยให้อยู่ในหน่วย มิลลิโมลาร์ เฟอร์รัสซัลเฟตต่อตัวอย่าง 1 กรัม (mM Fe(II)/g of sample) ดังสมการ

$x = [(y-0.0677)/0.8724] \times (100{,}000/1125)$

3.3.8 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ในตัวอย่างดิน

วิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ในตัวอย่างดินที่สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 กรมพัฒนาที่ดิน เนื่องจากสำนักงานพัฒนาที่ดินเขตที่ 5 มีวัสดุและอุปกรณ์ครบถ้วนและมีเจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์

3.3.9 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ในตัวอย่างพืช

1) การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมในตัวอย่างพืช

วิเคราะห์ปริมาณโซเดียมในตัวอย่างพืชที่สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 กรมพัฒนาที่ดิน เนื่องจากสำนักงานพัฒนาที่ดินเขตที่ 5 มีวัสดุและอุปกรณ์ครบถ้วนและมีเจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์

2) การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างพืช ตามวิธีการของ **(มงคล ต๊ะอุ่น, 2548)**

2.1) การเตรียมตัวอย่างพืช

2.1.1) ชั่งตัวอย่างใบมะนาวโห่ที่บดละเอียด จำนวน 1 กรัม ใส่ Crucible

2.1.2) เติมสารแคลเซียมออกไซด์ 0.15 กรัม คนให้เข้ากันแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

2.1.3) เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

2.1.4) เทใส่ Hot Plate แล้วนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

2.1.5) เทใส่ขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร ล้าง Crude ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง

2.1.6) ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.1.7) กรองผ่านด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำตัวอย่างใส่ขวดพลาสติก

2.2) การเตรียมสารละลาย

2.2.1) การเตรียมสารโพแทสเซียมโครเมต โดยชั่งสารมา 20 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน

2.2.2) การเตรียมสารซิลเวอร์ไนเตรท โดยชั่งสารมา 0.8494 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน

2.2.3) การเตรียมสารโพแทสเซียมคลอไรด์ โดยชั่งสารมา 0.0746 กรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน

2.3) การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในใบพืช

2.3.1) ดูดสารละลายจากตัวอย่างพืช ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

2.3.2) หยดสารโพแทสเซียมโครเมต จำนวน 1 หยด เขย่าให้เข้ากัน

2.3.3) นำตัวอย่างจากข้อ 2.1) ไปไทเทรตด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (0.01N) จนเกิดสีส้ม บันทึกปริมาตรของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ในหน่วย มิลลิลิตร

3.4 การบันทึกข้อมูล

3.4.1 อัตราการรอดชีวิต

โดยนับจำนวนต้นที่รอดชีวิตหลังให้สารละลายเกลือนาน 1 เดือน แล้วนำมาหาค่าอัตราการรอดชีวิตเทียบกับจำนวนต้นทั้งหมด มีหน่วยเป็นร้อยละ

3.4.2 ค่าความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการตาย 50% (50% lethal dose: LD_{50})

โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงถดถอย ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเกลือและจำนวนต้นที่รอดชีวิต แล้วคำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression: $y = a+bx$ โดย y คืออัตราการรอดชีวิต และ x คือความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์) จากนั้นแทนค่าอัตราการรอดชีวิต (ค่า y) ด้วย 50 เพื่อหาค่าความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ (ค่า x) ที่ทำให้มีอัตราการรอดชีวิตร้อยละ 50 ได้เป็นค่า LD_{50}

3.4.3 ระยะเวลาการเกิดยอดใหม่ และระยะเวลาในการพัฒนาใบ 4 ระยะ

1) ระยะเวลาการแตกตายอดใหม่หลังการตัดแต่งกิ่ง โดยนับจำนวนวันที่แตกตายอดใหม่หลังการตัดแต่งกิ่ง มีหน่วยเป็นวันหลังการตัดแต่งกิ่ง

2) ระยะเวลาการพัฒนาจากจากตายอดไปเป็นใบอ่อน โดยนับจำนวนวันที่ใบอ่อน (ใบคู่ที่ 3) คลี่เต็มที่หลังการตัดแต่งกิ่ง มีหน่วยเป็นวันหลังการตัดแต่งกิ่ง

3) ระยะเวลาการพัฒนาจากจากตายอดไปเป็นใบเพสลาด โดยนับจำนวนวันที่ใบเพสลาด (ใบคู่ที่ 5) คลี่เต็มที่หลังการตัดแต่งกิ่ง มีหน่วยเป็นวันหลังการตัดแต่งกิ่ง

4) ระยะเวลาการพัฒนาจากจากตายอดไปเป็นใบเจริญเต็มที่ โดยนับจำนวนวันที่ใบเจริญเต็มที่ (ใบคู่ที่ 7) คลี่เต็มที่หลังการตัดแต่งกิ่ง มีหน่วยเป็นวันหลังการตัดแต่งกิ่ง

5) ระยะเวลาการพัฒนาจากจากตายอดไปเป็นใบแก่ โดยนับจำนวนวันที่ใบแก่ (ใบคู่ที่ 11) คลี่เต็มที่หลังการตัดแต่งกิ่ง มีหน่วยเป็นวันหลังการตัดแต่งกิ่ง

3.4.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบ

1) ขนาดใบ ทำการบันทึกความกว้าง และความยาวใบ โดยวัดในส่วนที่กว้างและยาวที่สุด จำนวน 5 ใบ ต่อซ้ำ นำมาหาค่าเฉลี่ย มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

2) พื้นที่ใบ ทำการบันทึกขนาดทั้งหมดของแผ่นใบ โดยทำการวัดพื้นที่ใบ ด้วยเครื่อง Product Category วัดจำนวน 5 ใบ ต่อซ้ำ นำมาหาค่าเฉลี่ย มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

3) น้ำหนักใบ ทำการบันทึกน้ำหนักใบสด และน้ำหนักใบแห้ง โดยชั่งจำนวน 5 ใบ ต่อซ้ำ นำมาหาค่าเฉลี่ย มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม

4) ค่าน้ำหนักใบเฉพาะ คำนวณจากอัตราส่วนของน้ำหนักใบสดต่อพื้นที่ใบ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร

5) สีใบ ทำการบันทึก ค่าสี L*, a* และ b* โดยวัดแผ่นใบทั้งหมด ด้วยเครื่อง colorimeter โดยวัดจำนวน 5 ใบ ต่อซ้ำ จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย

6) ค่า SPAD ทำการบันทึกค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) ของใบที่สัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟลล โดยวัดแผ่นใบทั้งหมดจำนวน 5 ใบ ต่อซ้ำ จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.4.5 ลักษณะองค์ประกอบทางเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบ

1) ปริมาณคลอโรฟิลล์

2) วิตามินซี ทำการบันทึกโดยมีหน่วยเป็น mg/100 g FW

3) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ทำการบันทึกโดยมีหน่วยเป็น mg GE/100 g FW

4) สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ทำการบันทึกโดยมีหน่วยเป็น mg QE/100 g FW

5) สารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมด ทำการบันทึกโดยมีหน่วยเป็น mg CGE/100 g FW

6) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ FRAP assay ทำการบันทึกโดยมีหน่วยเป็น mM Fe(II)/100g FW

7) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH assay ทำการบันทึกโดยมีหน่วยเป็นร้อยละของการยับยั้ง

8) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS assay ทำการบันทึกโดยมีหน่วยเป็นร้อยละของการยับยั้ง

3.4.5 ปริมาณโซเดียมและปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างดินและพืช

1) ลักษณะปริมาณคลอไรด์ในใบและตัวอย่างดิน

2) ลักษณะปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของลักษณะระยะเวลาการเกิดยอดใหม่ และระยะเวลาในการพัฒนาใบ 4 ระยะ ตามแผนการทดลองแบบ completely randomized design จำนวน 4 ซ้ำ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณของสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ วางแผนการทดลองแบบ 6×4 factorial in completely randomized design จำนวน 4 ซ้ำ มี 2 ปัจจัย คือ ระดับความเค็ม 6 ระดับ ได้แก่ 0, 25, 50, 75, 100 และ 125 มิลลิโมล์ และระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะ คือ ระยะใบอ่อน ระยะใบเพสลาด ระยะใบเจริญเต็มที่ และระยะใบแก่

3.6 สถานที่ดำเนินงาน

3.6.1 แปลงทดลองการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ตั้งอยู่ที่ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม (ละติจูดที่ 16°00 ลองติจูดที่ 103°30′ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 130 เมตร) โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,233.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิต่ำสุด 26.27 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 38.92 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 87.87 (**ตาราง 6**)

3.6.2 ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

3.6.3 ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

ตาราง 9 ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ที่ทำการปลูกทดสอบระหว่างเดือนมกราคม - เดือนธันวาคม 2561

เดือน	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)
ม.ค.	1.9	16.1	30.4	71.14
ก.พ.	7.3	19.4	32.8	70.09
มี.ค.	59.9	22.3	35.1	67.92
เม.ย.	188.8	24.6	36.2	68.85
พ.ค.	217.7	24.8	34.6	77.35
มิ.ย.	149.3	24.9	33.2	76.02
ก.ค.	245.3	24.5	32.7	79.82
ส.ค.	153.9	24.3	32.0	78.65
ก.ย.	158.4	23.8	31.6	77.64
ต.ค.	23.6	22.7	31.0	73.92
พ.ย.	27.4	19.4	30.4	70.99
ธ.ค.	0	15.9	29.2	66.31
เฉลี่ย	**1233.5**	**26.27**	**38.92**	**87.87**

ที่มา: (กรมอุตุนิยมวิทยา,2562)

3.7 ระยะเวลาดำเนินงาน

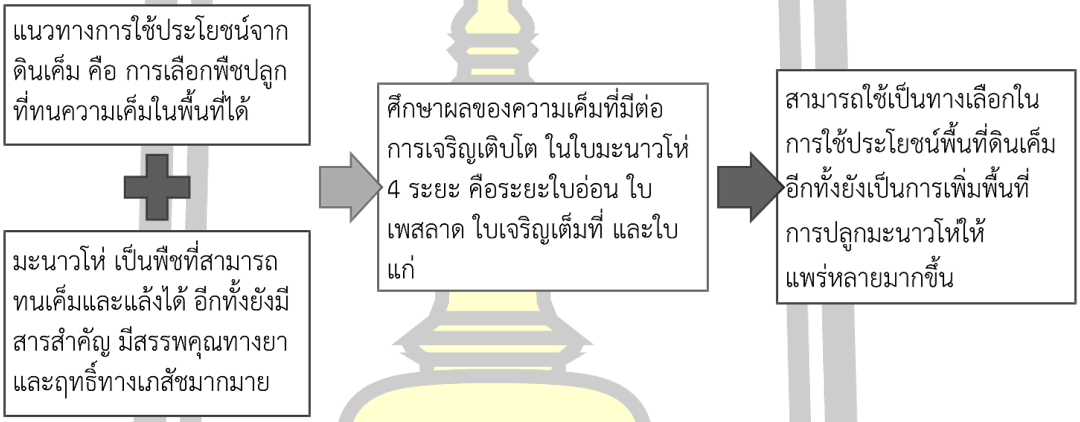
3.7.1 ระยะเวลาที่ศึกษาในแปลงทดลอง

ทำการปลูกมะนาวโห่เพื่อทดสอบความเค็ม ระหว่างเดือนมีนาคม 2560 ถึงเดือนธันวาคม 2561

3.7.2 ระยะเวลาที่ศึกษาในห้องปฏิบัติการ

วิเคราะห์คุณสมบัติของดินและมะนาวโห่ ระหว่างเดือนสิงหาคม 2561 ถึงเดือนพฤษาคม 2562

3.8 กรอบแนวความคิดการศึกษา



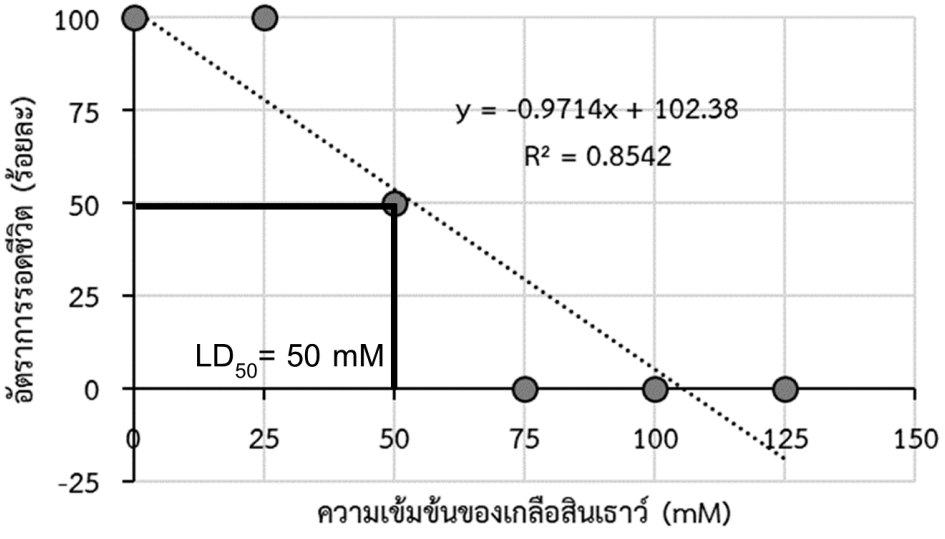
ภาพประกอบ 13 กรอบแนวความคิดการศึกษา

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

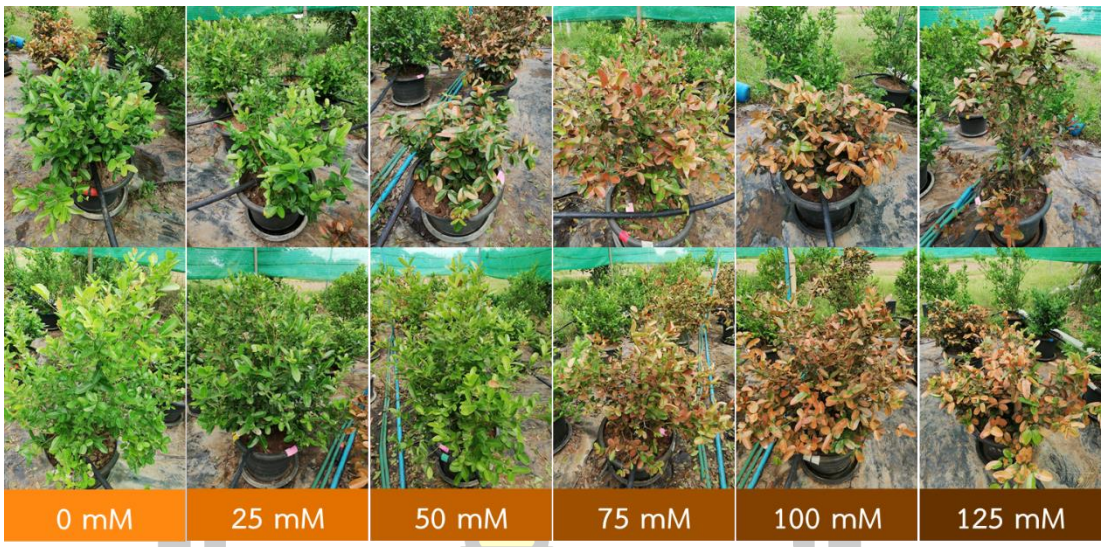
การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลของความเค็มและระยะพัฒนาการต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบมะนาวโห่ ภายใต้สภาพแวดล้อมของแปลงทดลอง ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในระหว่างเดือนมีนาคม 2559 – ธันวาคม 2561 ผลการศึกษามีดังนี้

4.1 อัตราการรอดชีวิตของต้นมะนาวโห่หลังการให้สารละลายเกลือสินเธาว์

จากการประเมินผลของเกลือสินเธาว์ที่มีต่อการพัฒนาใบมะนาวโห่ พบว่า เมื่อให้เกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้นมากขึ้นทำให้มีอัตราการรอดชีวิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ต้นมะนาวโห่สามารถทนความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ได้ที่สูงที่สุดที่ 50 มิลลิโมล์ ซึ่งมีอัตราการรอดชีวิต ที่ร้อยละ 50 ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 75-125 มิลลิโมล์ต้นมะนาวโห่ไม่สามารถรอดชีวิตได้ มีอัตราการตาย ร้อยละ 100 ของจำนวนต้นทั้งหมด (**ภาพประกอบ 14** และ**ภาพประกอบ 15**) ดังนั้นผลการศึกษาในส่วนที่เหลือจึงทำการประเมินผลของเกลือสินเธาว์ที่ 3 ระดับ คือ 0, 25 และ 50 มิลลิโมล์ เท่านั้น ซึ่งเมื่อประเมินจากสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้จากอัตราการรอดชีวิต พบว่า ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ทำให้มีค่าอัตราการตายร้อยละ 50 (lethal dose 50, LD_{50}) คือความเข้มข้นที่ 50 มิลลิโมล์ (**ภาพประกอบ 14** และ**ภาพประกอบ 15**) แสดงให้เห็นว่าถ้ามีการให้เกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ ทำให้ต้นมะนาวโห่มีอัตราการตายร้อยละ 50



ภาพประกอบ 14 ผลของความเค็มจากเกลือสินเธาว์ 6 ระดับที่มีผลต่ออัตราการรอดชีวิตของต้นมะนาวโห่



ภาพประกอบ 15 ลักษณะของต้นมะนาวโห่หลังได้รับสารละลายเกลือสินเธาว์ 2 สัปดาห์

และเมื่อทำการประเมินค่าการนำไฟฟ้าของดินปลูกหลังจากการให้สารละลายเกลือสินเธาว์นาน 2 สัปดาห์ พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินปลูกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังจากให้สารละลายเกลือสินเธาว์ โดยที่ระดับความเข้มข้น 125 มิลลิโมล์ เป็นระดับที่มีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุด ที่ 3.32 เดซิซีเมนต่อเมตร (**ตาราง 10**) และเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและปริมาณคลอไรด์ในดินหลังได้รับสารละลายเกลือสินเธาว์เฉพาะในต้นที่ยังมีชีวิตอยู่ พบว่า มีการสะสมปริมาณโซเดียมและปริมาณ คลอไรด์ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ระดับความเค็ม 50 มิลลิโมล์ เป็นระดับที่มีปริมาณโซเดียมและปริมาณคลอไรด์ในดินมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ 0.68 และ 49.78 มิลลิโมล์ต่อลิตร (**ตาราง 10**)

ส่วนปริมาณโซเดียมในตัวอย่างใบพืชที่ร่วงหลังได้รับสารละลายเกลือสินเธาว์ พบว่า เมื่อมีความเข้มข้นของสารละลายเกลือเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีปริมาณโซเดียมเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ระดับความเข้มข้น 125 มิลลิโมล์ เป็นระดับที่มีปริมาณโซเดียมมากที่สุดที่ ร้อยละ 4.06 ซึ่งมากกว่าใบในสภาพปกติ ถึง 12 เท่า ส่วนปริมาณโซเดียมในใบสด ซึ่งทำการวิเคราะห์ในใบเจริญเต็มที่ของต้นที่รอดชีวิต พบว่า ใบสดที่ได้รับสารละลายเกลือสินเธาว์ 50 มิลลิโมล์มีการสะสมปริมาณโซเดียมในใบที่ร้อยละ 1.53 ซึ่งมีมากกว่าใบในสภาพปกติถึง 7 เท่า (**ตาราง 11**) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างใบ พบว่า ตัวอย่างใบร่วงมีการสะสมปริมาณคลอไรด์เพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ที่เพิ่มขึ้น โดยมีการสะสมปริมาณคลอไรด์เพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด เมื่อความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์เพิ่มขึ้นจาก 50 เป็น 75 มิลลิโมล์ ที่ร้อยละ 5.04 เป็น 47.33 ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นถึงเกือบ 10 เท่า ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ที่ 125 มิลลิโมล์ เป็นระดับที่มีการสะสมปริมาณคลอไรด์มากที่สุด ที่ร้อยละ 78.43 ซึ่งมีการสะสมมากกว่าใบปกติถึง 26 เท่า (**ตาราง 11**) ในส่วนของการสะสมปริมาณคลอไรด์ในใบสดที่ 3 ระดับความเข้มข้นก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับการสะสมปริมาณโซเดียม โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ 50 มิลลิโมล์ เป็นระดับที่มีการสะสมปริมาณโซเดียมในใบมากที่สุด ที่ร้อยละ 20.85 ซึ่งมากกว่าการสะสมในใบปกติถึงเกือบ 10 เท่า (**ตาราง 11**)

ตางราง 10 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ที่มีต่อค่าการนำไฟฟ้าของดินปลูก

ความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ (มิลลิโมล์)	**ค่าการนำไฟฟ้าของดินปลูกหลังให้เกลือ 1 เดือน** (เดซิซีเมนต่อเมตร)	**ปริมาณโซเดียมในดินหลังให้เกลือ** (มิลลิโมล์ต่อลิตร)	**ปริมาณคลอไรด์ในดินหลังให้เกลือ** (มิลลิโมล์ต่อลิตร)
0	0.26 d	0.29 b	4.98 b
25	0.88 c	0.06 c	10.74 b
50	2.02 b	0.68 a	49.78 a
75	2.25 b	ต้นพืชตาย	ต้นพืชตาย
100	2.94 a	ต้นพืชตาย	ต้นพืชตาย
125	3.32 a	ต้นพืชตาย	ต้นพืชตาย
F-Test	**	**	**
CV (%)	21.14	20.21	18.55

**: แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ p≤0.01
ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น p≤0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

ตาราง 11 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ที่มีต่อปริมาณโซเดียมและปริมาณคลอไรด์ในดินและในตัวอย่างพืชหลังให้ความเค็ม

ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ (มิลลิโมล์)	**ปริมาณโซเดียม** (ร้อยละ)		**ปริมาณคลอไรด์** (ร้อยละ)	
	ใบร่วง[1/]	**ใบสด**[2/]	**ใบร่วง**	**ใบสด**
0	0.33 d[3/]	0.21 b	3.00 d	2.17 c
25	0.47 d	0.61 b	5.01 d	4.10 b
50	1.40 c	1.53 a	5.04 d	20.85 a
75	2.46 b	ต้นพืชตาย	47.33 c	ต้นพืชตาย
100	2.52 b	ต้นพืชตาย	55.47 b	ต้นพืชตาย
125	4.06 a	ต้นพืชตาย	78.43 a	ต้นพืชตาย
F-Test	**	**	**	**
CV (%)	15.25	30.97	7.00	5.51

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ p≤0.01
[1/] ใบร่วง คือ ใบที่ร่วงหลังจากได้รับสารละลายเกลือสินเธาว์ 1 เดือน
[2/] ใบสด คือ ใบเจริญเต็มที่หลังจากได้รับสารละลายเกลือสินเธาว์ 6 เดือน
[3/] ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น p≤0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

4.2 ผลของความเค็มต่อระยะเวลาการเกิดยอดใหม่ และระยะเวลาในการพัฒนาใบ 4 ระยะ

หลังจากให้เกลือสินเธาว์นาน 2 สัปดาห์ พบว่าใบของต้นมะนาวโห่ที่ได้รับสารละลายเกลือเริ่มเปลี่ยนสี และร่วง และเกิดยอดใหม่ขึ้น โดยพบว่าระยะเวลาการเกิดยอดใหม่ของต้นมะนาวโห่ที่ได้รับสารละลายเกลือทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ความเข้มข้น 0, 25 และ 50 มิลลิโมล์ มีจำนวนวันที่เกิดยอดใหม่เท่ากับ 10.5, 14.2 และ 10.5 วันหลังตัดแต่งกิ่ง ตามลำดับ (**ตาราง 13**) ส่วนระยะพัฒนาการของใบทั้ง 4 ระยะ คือระยะใบอ่อน ระยะใบเพสลาด ระยะใบเจริญเต็มที่ และระยะใบแก่ พบว่าการให้เกลือไม่มีผลต่อระยะพัฒนาการของใบมะนาวโห่ โดยมีระยะเวลาพัฒนาไปเป็นใบอ่อน ระยะเวลาพัฒนาไปเป็นใบเพสลาด ระยะเวลาพัฒนาไปเป็นใบเจริญเต็มที่ และระยะเวลาพัฒนาไปเป็นใบแก่ ที่ 11.7, 19.5, 44.5, 53.5 และ 68.2 วันหลังตัดแต่งกิ่ง ตามลำดับ แต่มีแนวโน้มว่าระยะพัฒนาจากตายอดไปเป็นใบอ่อนจะยาวนานกว่าเดิม(**ตาราง 12**)

ตาราง 12 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ต่อการเปลี่ยนแปลงระยะพัฒนาการของใบมะนาวโห่

ความเข้มข้น	**ระยะพัฒนาการเป็น (วันหลังตัดแต่งกิ่ง)**				
เกลือสินเธาว์ (มิลลิโมล์)	**ตายอด**	**ใบอ่อน**	**ใบเพสลาด**	**ใบเจริญเต็มที่**	**ใบแก่**
0	10.5	16.3	37.9	51.0	66.2
25	14.2	26.7	44.6	54.4	70.5
50	10.5	15.5	51.0	55.0	68.0
ค่าเฉลี่ย	**11.7**	**19.5**	**44.5**	**53.5**	**68.2**
F-Test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	25.1	33.0	24.1	11.0	4.5

ns: ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

4.3 ผลของความเค็มและระยะพัฒนาการต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาในใบมะนาวโห่

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของใบอ่อน ใบเพสลาด ใบเจริญเต็มที่ และใบแก่ ทำการศึกษาในลักษณะความกว้าง และความยาวใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดใบ น้ำหนักแห้งของใบ ค่าพื้นที่ผิวใบเฉพาะ ค่าน้ำหนักใบเฉพาะ ค่าสี L* a* และ b* และค่า SCMR ของใบ รายละเอียดในแต่ละลักษณะมีดังนี้

4.3.1 ความกว้างและความยาวใบ (leaf width and length)

เมื่อมีการให้สารละลายเกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ความเข้มข้นของเกลือจาก 0-50 มิลลิโมล์ ไม่มีผลต่อความกว้างและความยาวใบของต้นมะนาวโห่ โดยมีความกว้างและความยาวใบระหว่าง 2.17-2.19 และ 3.53-3.64 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่เมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไปจากระยะใบอ่อนไปเป็นระยะใบเจริญเต็มที่ พบว่า ความกว้างและความยาวใบมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยมีความกว้างใบ 1.64, 2.24 และ 2.50 เซนติเมตร และความยาวใบ 2.91, 3.83 และ 4.32 เซนติเมตร ที่ใบระยะใบอ่อน ใบเพสลาด และใบเจริญเต็มที่ ตามลำดับ

จากนั้นเมื่อเข้าสู่ระยะใบแก่ความกว้าง (2.36 เซนติเมตร) มีค่าคงที่ ส่วนความยาวใบลดลง (3.27 เซนติเมตร) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและพัฒนาการของใบพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ($p>0.05$) โดยมีความกว้างใบ ระหว่าง 1.45-2.71 เซนติเมตร และมีความยาวใบระหว่าง 2.57-4.81 เซนติเมตร (**ตาราง 13**)

4.3.2 พื้นที่ใบ (leaf area)

ต้นมะนาวโห่ที่ได้รับความเข้มข้นของเกลือแตกต่างกันมีพื้นที่ใบไม่ต่างกัน โดยมีพื้นที่ใบระหว่าง 6.63-7.23 ตารางเซนติเมตร แต่ระยะพัฒนาการที่ต่างกันทำให้ขนาดพื้นที่ใบแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.01$) โดยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะพัฒนาการจากระยะใบอ่อนไปเป็นระยะใบเจริญเติมที่ใบมีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นจาก 4.42 ตารางเซนติเมตร ไปเป็น 9.53 ตารางเซนติเมตร (**ตาราง 13**) และพื้นที่ใบลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะใบแก่ (6.69 ตารางเซนติเมตร) และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์และระยะพัฒนาการของใบในลักษณะพื้นที่ใบ ($p\leq0.01$) โดยพบว่าใบมะนาวโห่ที่ระยะใบเจริญเต็มที่เมื่อได้รับเกลือความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ มีพื้นที่ใบมากที่สุด ที่ 13.20 ตารางเซนติเมตร ส่วนใบอ่อนที่ไม่ได้รับเกลือมีพื้นที่ใบน้อย คือ 3.71 ตารางเซนติเมตร (**ตาราง 13**)

4.3.3 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ (leaf fresh and dry weight)

ความเค็มที่ต่างกันมีผลทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยใบของต้นที่ได้รับความเค็ม 50 มิลลิโมล์ เป็นใบที่มีน้ำหนักสดของใบมากที่สุด ที่ 145.80 มิลลิกรัมต่อใบ แต่กลับเป็นระดับที่มีน้ำหนักแห้งของใบน้อยที่สุดเท่ากับ 38.06 มิลลิกรัมต่อใบ โดยจะเห็นได้ว่าความเค็มที่เพิ่มมากขึ้นทำให้น้ำหนักสดของใบเพิ่มขึ้น ในขณะที่น้ำหนักแห้งของใบกลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (**ตาราง 13**) และเมื่อระยะพัฒนาการของใบเปลี่ยนแปลงจากระยะใบอ่อนไปเป็นระยะใบแก่ พบว่า ทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.01$) โดยน้ำหนักสดของใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 91.01 ไปเป็น 149.21 มิลลิกรัมต่อใบเมื่อใบมีพัฒนาการจากระยะใบอ่อนเป็นระยะใบเพสลาด ตามลำดับ จากนั้นน้ำหนักสดของใบคงที่เมื่อมีพัฒนาการเป็นระยะใบเจริญเต็มที่จนถึงระยะใบแก่ ที่ 155.59 และ 140.20 มิลลิกรัมต่อใบตามลำดับ ส่วนในลักษณะน้ำหนักแห้งของใบพบว่าน้ำหนักแห้งของใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใบมีพัฒนาการเพิ่มขึ้นจากระยะใบอ่อนไปเป็นระยะใบเพสลาด และใบเจริญเต็มที่ ที่ 27.09, 46.83 และ 56.30 มิลลิกรัม ตามลำดับ จากนั้นน้ำหนักแห้งของใบคงที่เมื่อพัฒนาการเป็นใบแก่ ที่ 47.95 มิลลิกรัม (**ตาราง 13**) และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์และระยะพัฒนาการของใบเฉพาะในลักษณะน้ำหนักแห้งของใบเท่านั้น ($p\leq0.01$) โดยใบเจริญเต็มที่ที่ไม่ได้รับเกลือสินเธาว์เป็นระยะที่มีน้ำหนักแห้งของใบมากที่สุด คือ 63.02 มิลลิกรัมต่อใบ ในขณะที่ใบอ่อนที่ไม่ได้รับความเค็มเป็นใบที่มีน้ำหนักแห้งของใบน้อยที่สุด ที่ 19.95 มิลลิกรัมต่อใบ (**ตาราง13**)

ตาราง 13 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 3 ระดับและระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะที่มีต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบมะนาวโห่

สิ่งทดลอง	ความกว้างใบ (เซนติเมตร)	ความยาวใบ (เซนติเมตร)	พื้นที่ใบ (ตาราง เซนติเมตร)	น้ำหนักสดของใบ (มิลลิกรัม)	น้ำหนักแห้งของใบ (มิลลิกรัม)	ค่าน้ำหนักใบสด/พื้นที่ใบ (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์						
0 mM	2.19	3.58	6.63	116.52 b	47.44 a	7.57 a
25 mM	2.17	3.53	7.00	139.69 ab	48.13 a	6.81 ab
50 mM	2.19	3.64	7.23	145.80 a	38.06 b	5.95 b
ระยะพัฒนาการของใบ						
ใบอ่อน	1.64 b	2.91 c	4.42 c	91.01 b	27.09 c	6.48
ใบเพสลาด	2.24 a	3.83 ab	7.19 b	149.21 a	46.83 b	6.68
ใบเจริญเต็มที่	2.50 a	4.32 a	9.53 a	155.59 a	56.30 a	6.60
ใบแก่	2.36 a	3.27 bc	6.69 b	140.20 a	47.95 ab	7.35
สิ่งทดลอง						
0 mM ที่ระยะใบอ่อน	1.45	2.57	3.71 e	63.71	19.95 g	6.96 abc
ที่ระยะใบเพสลาด	2.48	4.02	8.32 b	147.59	59.69 abc	7.81 abc
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	2.44	4.16	8.04 b	147.79	63.02 a	8.08 ab
ที่ระยะใบแก่	2.40	3.56	6.47 bcd	106.97	47.11 bcd	7.44 abc
25 mM ที่ระยะใบอ่อน	1.60	2.88	5.05 cde	97.52	32.33 efg	6.00 bc
ที่ระยะใบเพสลาด	2.28	3.65	7.38 bc	141.38	41.31 def	5.50 cd
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	2.34	3.99	7.36 bc	161.64	60.88 ab	8.32 a
ที่ระยะใบแก่	2.44	3.59	8.23 b	158.23	58.00 abc	7.41 abc
50 mM ที่ระยะใบอ่อน	1.87	3.28	4.49 de	111.78	29.00 fg	6.47 abc
ที่ระยะใบเพสลาด	1.96	3.81	5.88 b-e	158.65	39.50 def	6.72 abc
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	2.71	4.81	13.20 a	157.35	45.00 cde	3.41 d
ที่ระยะใบแก่	2.23	2.67	5.37 cde	155.40	38.75 def	7.22 abc
F-Test: NaCl	ns	ns	ns	*	*	*
Stage	**	**	**	**	**	ns
NaCl*Stage	ns	ns	**	ns	*	**
CV (%)	16.70	21.09	25.45	26.33	23.82	24.57

ns: ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * และ **: แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ p≤0.05 และ p≤0.01 ตามลำดับ
ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งเดียวกันในแต่ละปัจจัยและสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น p≤0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

4.3.4 ค่าน้ำหนักใบเฉพาะ (specific leaf weight)

เมื่อมีการให้สารละลายเกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า มีผลทำให้ค่าน้ำหนักใบเฉพาะมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้นทำให้ค่าน้ำหนักใบเฉพาะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ มีค่าน้ำหนักใบเฉพาะน้อยที่สุด ที่ 5.95 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในขณะที่เกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้น 0 มิลลิโมล์ มีค่าน้ำหนักใบเฉพาะมากที่สุด ที่ 7.57 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (**ตาราง 13**) และเมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไปจากระยะใบอ่อนไปเป็นระยะใบเจริญเต็มที่ พบว่าระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกันไม่ได้ทำให้ค่าน้ำหนักใบเฉพาะแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าน้ำหนักใบเฉพาะ ระหว่าง 6.48-7.35 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (**ตาราง 13**) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบ พบว่าความเข้มข้นของเกลือที่ต่างกันมีผลทำให้ค่าน้ำหนักใบเฉพาะของแต่ละระยะพัฒนาการของใบแตกต่างกัน ($p \leq 0.01$) โดยใบเจริญเต็มที่ที่ได้รับเกลือความเข้มข้น 25 มิลลิโมล์ มีค่าน้ำหนักใบเฉพาะมากที่สุด ที่ 8.32 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในขณะที่ใบเจริญเต็มที่ที่ได้รับเกลือความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ มีค่าน้ำหนักใบเฉพาะน้อยที่สุด ที่ 3.41 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (**ตาราง 13**)

4.3.5 ค่าสีใบ

1) ค่าความสว่างของใบ (ค่า L*)

เมื่อมีการให้สารละลายเกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ไม่มีผลทำให้ค่าความสว่างของหลังใบและท้องใบแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าความสว่างของส่วนหลังใบและท้องใบระหว่าง 38.16-40.07 และ 46.61-48.48 ตามลำดับ (**ตาราง 14**) แต่เมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไปพบว่าทำให้ค่าความสว่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยค่าความสว่างของหลังใบลดลงเมื่อมีระยะพัฒนาการเพิ่มขึ้น ในใบแก่เป็นระยะที่ใบมีความสว่างน้อยที่สุด หรือมีสีใบเข้มมากที่สุด ที่ 37.68 ส่วนใบอ่อนเป็นใบที่มีความสว่างของใบมากที่สุด ที่ 41.28 แต่ในส่วนของท้องใบพบว่าใบเพสลาดเป็นใบที่มีความสว่างมากที่สุด ที่ 50.24 ส่วนในระยะพัฒนาการอื่นๆ มีความสว่างของใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ ที่ 46.67, 47.42 และ 46.62 ในใบระยะใบอ่อน ใบเจริญเต็มที่ และใบแก่ตามลำดับ (**ตาราง 14**) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบ พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ในลักษณะค่าความสว่างของหลังใบ ($p \leq 0.01$) โดยใบเจริญเติบโตเต็มที่ที่ได้รับเกลือสินเธาว์ความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ มีค่าความสว่างของใบน้อยที่สุด คือ 33.20 ส่วนใบอ่อนที่ไม่ได้รับความเค็ม ใบมีความสว่างมากที่สุด ที่ 42.89 แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ของค่าความสว่างของท้องใบ โดยมีค่าความสว่างของใบ ระหว่าง 43.56-50.71 (**ตาราง 14**)

2) ค่าความเป็นสีเขียวของใบ (ค่า a*)

ความเค็มไม่มีผลทำให้ค่าความเป็นสีเขียวของหลังใบแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าความเป็นสีเขียวของใบของหลังใบ ระหว่าง -8.45 ถึง -8.91 แต่มีผลทำให้ค่าความเป็นสีเขียวของส่วนท้องใบมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้นกลับทำให้ค่าความเป็นสีเขียวของท้องใบลดลง เกลือสินเธาว์ความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ มีค่าความเป็นสีเขียวของใบน้อยที่สุด ที่

-8.04 (**ตาราง 14**) เมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไปจากระยะใบอ่อนไปเป็นระยะใบแก่ พบว่า ระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกันทำให้มีค่าความเป็นสีเขียวของใบทั้งในส่วนท้องใบและหลังใบแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ระยะใบแก่เป็นระยะที่ใบมีค่าความเป็นสีเขียวทั้งในส่วนหลังใบและท้องใบมากที่สุด ที่ -9.77 และ -9.72 (**ตาราง 14**) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบในค่าความเป็นสีเขียวของหลังใบ ($p \leq 0.01$) โดยใบแก่ที่ได้รับเกลือสินเธาว์ความเข้มข้นที่ 50 มิลลิโมล์ เป็นใบที่มีค่าความเป็นสีเขียวหลังใบมากที่สุด ที่ -10.17 ในขณะที่ใบเจริญเต็มที่ที่ความเข้มข้นเดียวกัน กลับมีค่าความเป็นสีเขียวของใบน้อยที่สุด ที่ -5.87 แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ในลักษณะค่าความเป็นสีเขียวของท้องใบ โดยมีค่าระหว่าง -7.01 ถึง -10.62 (**ตาราง 14**)

3) ค่าความเป็นสีเหลืองของใบ (ค่า b*)

เกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ไม่มีผลทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองของหลังใบและท้องใบแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าความเป็นสีเหลืองของหลังใบกับท้องใบ ระหว่าง 19.92-22.58 และ 24.94-25.15 ตามลำดับ (**ตาราง 14**) แต่เมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไป พบว่า ระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกันไม่ทำให้มีค่าความเป็นสีเหลืองของหลังใบแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าระหว่าง 19.92-22.76 แต่มีผลทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองของท้องใบแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยเมื่อใบมีระยะพัฒนาการเพิ่มมากขึ้นทำให้มรค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น และใบเพสลาดเป็นระยะที่มีค่าความเป็นสีเหลืองของท้องใบมากสุด ที่ 26.66 ส่วนใบอ่อนเป็นระยะที่มีค่าความเป็นสีเหลืองของท้องใบน้อยที่สุด ที่ 22.27 (**ตาราง 14**) และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบ พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันในลักษณะความเป็นสีเหลืองของหลังใบ โดยมีค่าความเป็นสีเหลืองระหว่าง 17.67-25.32 แต่มีปฏิสัมพันธ์ในลักษณะความเป็นสีเหลืองของท้องใบ ($p \leq 0.01$) โดยใบเพสลาดที่ได้รับเกลือสินเธาว์ความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ มีค่าความเป็นสีเหลืองของท้องใบมากที่สุด ที่ 28.23 ส่วนใบอ่อนที่ได้รับความเค็ม 25 มิลลิโมล์ มีค่าความเป็นสีเหลืองของท้องใบน้อยที่สุด ที่ 20.59 (**ตาราง 14**)

4.3.6 ค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR)

ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า SCMR ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยความเข้มข้นที่ระดับ 50 มิลลิโมล์ เป็นระดับที่มีค่า SCMR น้อยที่สุด ที่ 30.87 SPAD unit (**ตาราง 14**) แต่เมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไป ทำให้มีค่า SCMR เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยใบแก่ เป็นใบที่มีค่า SCMR มากที่สุด ที่ 39.67 SPAD unit ส่วนใบอ่อนเป็นใบที่มีค่า SCMR น้อยที่สุด ที่ 23.56 SPAD unit (**ตาราง 14**) และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบในค่า SCMR โดยใบแก่ที่ไม่ได้รับเกลือเป็นใบที่มีค่า SCMR มากที่สุด ที่ 45.31 SPAD unit ส่วนใบอ่อนที่ได้รับเกลือความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ เป็นใบที่มีค่า SCMR น้อยที่สุด ที่ 18.49 SPAD unit (**ตาราง 14**)

ตาราง 14 ผลของเกลือ 3 ระดับและระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะที่มีต่อสีของใบมะนาวโห่

สิ่งทดลอง	ค่าความสว่าง (ค่าสี L*)		ค่าความเป็นสีเขียว (ค่าสี a*)		ค่าความเป็นสีเหลือง (ค่าสี b*)		ค่า SCMR (SPAD Unit)
	หลังใบ	ท้องใบ	หลังใบ	ท้องใบ	หลังใบ	ท้องใบ	
ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์							
0 mM	40.07	48.47	-8.45	-9.08 b	19.92	24.94	35.32 a
25 mM	38.91	48.14	-8.91	-9.13 b	20.62	25.15	34.80 a
50 mM	38.16	46.61	-8.48	-8.04 a	22.58	24.98	30.87 b
ระยะพัฒนาการของใบ							
ใบอ่อน	41.28 a	46.67 b	-8.18 a	-7.65 a	19.92	22.27 b	23.56 c
ใบเพสลาด	39.42 ab	50.24 a	-9.32 b	-8.96 b	22.76	26.66 a	35.70 b
ใบเจริญเต็มที่	37.81 b	47.42 b	-7.18 a	-8.66 ab	20.39	25.15 a	35.75 b
ใบแก่	37.68 b	46.62 b	-9.77 b	-9.72 b	21.09	26.01 a	39.64 a
สิ่งทดลอง							
0 mM ที่ระยะใบอ่อน	42.89 a	48.93	-6.60 ab	-7.82	21.06	22.09 de	24.93 d
ที่ระยะใบเพสลาด	40.05 ab	50.12	-9.92 e	-9.02	22.09	25.72 abc	35.73 b
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	41.54 ab	49.00	-7.75 bc	-8.88	18.09	24.21 bcd	35.33 b
ที่ระยะใบแก่	35.80 cd	45.82	-9.51 de	-10.62	18.42	27.73 a	45.31 a
25 mM ที่ระยะใบอ่อน	39.49 ab	46.02	-9.48 cde	-8.12	17.67	20.59 e	27.26 cd
ที่ระยะใบเพสลาด	38.58 bc	49.89	-8.60 cde	-9.33	20.87	26.04 abc	37.93 b
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	38.69 bc	49.69	-7.92 bcd	-9.66	21.63	27.35 ab	34.52 b
ที่ระยะใบแก่	38.87 bc	46.94	-9.62 de	-9.39	22.32	26.62 abc	39.47 ab
50 mM ที่ระยะใบอ่อน	41.46 ab	45.07	-8.45 cde	-7.01	21.02	24.12 bcd	18.49 e
ที่ระยะใบเพสลาด	39.62 ab	50.71	-9.45 cde	-8.54	25.32	28.23 a	33.45 bc
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	33.20 d	43.56	-5.87 a	-7.45	21.46	23.87 cd	37.39 b
ที่ระยะใบแก่	38.38 bc	47.09	-10.17 e	-9.14	22.52	23.69 cde	34.14 b
F-Test: NaCl	ns	ns	ns	*	ns	ns	**
Stage	**	**	**	**	ns	**	**
NaCl*Stage	**	ns	**	ns	ns	**	*
CV (%)	6.35	6.99	-14.11	-14.51	17.87	9.05	13.11

ns: ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, **: แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ p≤0.01.
ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งเดียวกันในแต่ละปัจจัยและสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น p≤0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

4.4 ผลของความเค็มและระยะพัฒนาการต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะปริมาณสารพฤกษเคมีในใบมะนาวโห่

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการผลของความเค็มและระยะพัฒนาการต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะปริมาณสารพฤกษเคมีในใบมะนาวโห่ 10 ชนิด ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.4.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ b (chlorophyll b content)

ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ที่ต่างกันมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ b มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยการให้เกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้น 0 และ 25 มิลลิโมล์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ b ไม่แตกต่างกัน คือที่ 9.88 และ 9.93 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัม แต่เมื่อให้เกลือสินเธาว์ถึงระดับความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ b ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ 9.70 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 15)** และเมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไป พบว่ามีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ b แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยระยะใบเจริญเต็มที่และใบแก่เป็นระยะที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ b มากที่สุด คือ 10.06 และ 10.03 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ ส่วนระยะใบอ่อนมีปริมาณคลอโรฟิลล์ b น้อยที่สุด คือ 9.41 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 15**) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบ พบว่า มีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยใบเจริญเต็มที่ที่ได้รับเกลือความเข้มข้น 25 มิลลิโมล์ เป็นใบที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ b มากที่สุด คือ 10.32 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัม ส่วนใบอ่อนที่ไม่ได้รับความเค็ม และได้รับความเค็มที่ 25 และ 50 มิลลิโมล์ เป็นใบที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ b น้อยที่สุด คือ 9.36, 9.39 และ 9.49 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ (**ตาราง 15**)

4.4.2 ปริมาณวิตามินซี (vitamin C content)

ความเข้มข้นของเกลือที่ต่างกัน มีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยการให้ความเค็มที่ 25 มิลลิโมล์ เป็นระดับที่ส่งเสริมให้มีการสะสมปริมาณวามินซีมากที่สุด ที่ 198.71 มิลลิกรัมของกรดแอสคอบิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม ส่วนการให้ความเค็มที่ 50 มิลลิโมล์ กลับทำให้มีปริมาณวิตามินซีลดลง ที่ 114.03 มิลลิกรัมของกรดแอสคอบิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 15**) และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะพัฒนาการของใบ พบว่า มีผลทำให้มีปริมาณวิตาสินซีแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยระยะใบเพสลาดเป็นระยะที่ใบมีปริมาณวิตามินซีมากที่สุด ที่ 206.42 มิลลิกรัมของกรดแอสคอบิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม ในขณะที่ใบอ่อนเป็นระยะที่มีวิตามินซีน้อยที่สุด ที่ 120.37 มิลลิกรัมของกรดแอสคอบิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับในระยะใบแก่ ที่ 129.32 มิลลิกรัมของกรดแอสคอบิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 15**) และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์กับระยะพัฒนาการของใบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยใบเจริญเต็มที่ที่ได้รับความเค็ม 25 มิลลิโมล์ เป็นใบที่มีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด ที่ 33.74 มิลลิกรัมของกรดแอสคอบิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม ในขณะที่ใบเจริญเต็มที่ที่ได้รับความเค็มเพิ่มขึ้นเป็น 50 มิลลิโมล์ กลับเป็นใบที่มีปริมาณวิตามินซีน้อยที่สุด ที่ 74.11 มิลลิกรัมของกรดแอสคอบิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 15**)

ตาราง 15 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 3 ระดับ (มิลลิโมล์) และระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ b ปริมาณวิตามินซี ผลผลิตเทอพีนอยด์ ผลผลิตของไตรเทอพีน และปริมาณไตรเทอพีนในใบมะนาวโห่

สิ่งทดลอง	**คลอโรฟิลล์ b** (มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัม)	**วิตามินซี** (มิลลิกรัมของกรดแอสคอบิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม)	**ผลผลิตเทอพีนอยด์** (ร้อยละ)	**ผลผลิตไตรเทอพีน** (ร้อยละ)	**ไตรเทอพีน** (มิลลิกรัมสมมูลของกรดอัลโซลิกต่อสารสกัด 1 กรัม)
ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ (mM)					
0 mM	9.88 a	175.21 b	3.35 b	12.22 a	7.84 a
25 mM	9.93 a	198.71 a	3.93 a	10.67 b	6.32 b
50 mM	9.70 b	114.03 c	1.78 c	8.68 c	6.28 b
ระยะพัฒนาการของใบ					
ใบอ่อน	9.41 c	120.37 b	3.40 b	14.67 a	3.63 c
ใบเพสลาด	9.85 b	206.42 a	3.04 c	9.73 b	8.70 a
ใบเจริญเต็มที่	10.06 a	194.48 a	3.82 a	8.87 b	8.13 a
ใบแก่	10.03 a	129.32 b	1.81 d	8.82 b	6.79 b
สิ่งทดลอง					
0 mM ที่ระยะใบอ่อน	9.36 e	159.17 d	3.77 b	17.04	2.80 f
ที่ระยะใบเพสลาด	9.91 cd	241.24 b	3.63 b	11.94	10.57 a
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	10.07 bc	172.60 cd	4.73 a	10.46	10.34 a
ที่ระยะใบแก่	10.17 ab	127.83 e	1.25 d	9.42	7.64 bc
25 mM ที่ระยะใบอ่อน	9.39 e	83.07 f	4.77 a	14.55	3.56 ef
ที่ระยะใบเพสลาด	9.86 d	200.95 c	4.13 b	9.26	6.88 cd
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	10.32 a	336.74 a	4.03 b	9.08	7.92 bc
ที่ระยะใบแก่	10.16 ab	174.09 cd	2.78 c	9.78	6.91 cd
50 mM ที่ระยะใบอ่อน	9.49 e	118.88 e	1.67 d	12.41	4.53 e
ที่ระยะใบเพสลาด	9.78 d	177.07 cd	1.37 d	8.00	8.64 b
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	9.78 d	74.11 f	2.70 c	7.06	6.13 d
ที่ระยะใบแก่	9.75 d	86.05 f	1.40 d	7.25	5.81 d
F-Test: NaCl	**	**	**	**	**
Stage	**	**	**	**	**
NaCl*Stage	**	**	**	ns	**
CV (%)	1.30	12.93	11.81	10.84	12.39

ns: ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, **: แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ p≤0.01

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งเดียวกันในแต่ละปัจจัยและสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น p≤0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

4.4.3 ผลผลิตของเทอพีนอยด์ (terpenoids yield)

การให้ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ที่ต่างกันมีผลทำให้มีผลผลิตของเทอพีนอยด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยเมื่อเกลือมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 25 มิลลิโมล์ ทำให้มีผลผลิตเทอร์พีนอยด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นลดลงที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ ที่ร้อยละ 3.35, 3.93 และ 1.78 ตามลำดับ (**ตาราง 15**) และเมื่อระยะพัฒนาการของใบแตกต่างกัน ทำให้มีผลผลิตของเทอพีนอยด์แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยใบเจริญเต็มที่เป็นระยะที่มีผลผลิตของเทอพีนอยด์มากที่สุดที่ร้อยละ 3.82 ส่วนใบแก่เป็นระยะที่มีผลผลิตของเทอพีนอยด์น้อยที่สุด ที่ร้อยละ 1.81 (**ตาราง 15**) พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเค็มกับระยะพัฒนาการในผลผลิตของเทอพีนอยด์ โดยใบอ่อนที่ได้รับความเค็ม 25 มิลลิโมล์ และใบเจริญเต็มที่ที่ไม่ได้รับความเค็มให้ผลผลิตเทอพีนอยด์มากที่สุดที่ร้อยละ 4.77 และ 4.73 ตามลำดับ (**ตาราง 15**)

4.4.4 ผลผลิตของไตรเทอพีน (triterpene yield)

การให้ความเค็มที่ความเข้มข้นต่างกัน มีผลให้ผลผลิตของไตรเทอพีนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีการสะสมไตรเทอพีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ใบที่ไม่ได้รับความเค็มมีการสะสมไตรเทอพีนมากที่สุดที่ร้อยละ 12.22 ส่วนใบที่ได้รับความเค็ม 50 มิลลิโมล์ มีการสะสมไตรเทอพีนน้อยที่สุด เพียงร้อยละ 8.68 (**ตาราง 15**) ในส่วนของระยะพัฒนาการพบว่า เมื่อใบมีพัฒนาการเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ผลผลิตไตรเทอพีนลดลงทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ระยะใบอ่อนเป็นระยะที่มีการสะสมไตรเทอพีนมากที่สุด ที่ร้อยละ 14.67 ส่วนระยะใบเพสลาด ใบเจริญเต็มที่ และใบแก่ เป็นระยะที่ไตรเทอพีนมีการสะสมในใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่ร้อยละ 9.73, 8.87 และ 8.82 ตามลำดับ (**ตาราง 15**) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเค็มกับระยะพัฒนาการในลักษณะผลผลิตของไตรเทอพีน โดยมีผลผลิตอยู่ระหว่างร้อยละ 7.06-17.04 (**ตาราง 15**)

4.4.5 ปริมาณไตรเทอพีนทั้งหมด (total triterpene content)

การให้เกลือสินเธาว์ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันมีผลทำให้ปริมาณไตรเทอพีนลดลงทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยในสภาพปกติที่ไม่ได้รับความเค็มทำให้มีปริมาณไตรเทอพีนสูงที่สุด ที่ 7.84 มิลลิกรัมสมมูลของกรดอัลโซลิกต่อสารสกัด 1 กรัม (**ตาราง 15**) เมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไป พบว่า ระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกันมีผลทำให้ปริมาณไตรเทอพีนแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยใบเพสลาดและใบเจริญเต็มที่เป็นใบที่มีปริมาณไตรเทอพีนมากที่สุด ที่ 8.70 และ 8.13 มิลลิกรัมสมมูลของกรดอัลโซลิกต่อสารสกัด 1 กรัม ส่วนใบอ่อนเป็นใบที่มีปริมาณไตรเทอพีนน้อยที่สุด (**ตาราง 15**) และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบ โดยใบเพสลาดและใบเจริญเต็มที่ที่ไม่ได้รับความเค็มเป็นระยะที่มีปริมาณไตรเทอพีนมากที่สุด ที่ 10.57 และ 10.34 มิลลิกรัมสมมูลของกรดอัลโซลิกต่อสารสกัด 1 กรัม ในขณะที่ใบอ่อนที่ไม่ได้รับความเค็มเป็นใบที่มีปริมาณไตรเทอพีนน้อยที่สุด ที่ 2.80 มิลลิกรัมสมมูลของกรดอัลโซลิกต่อสารสกัด 1 กรัม (**ตาราง 15**)

4.4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content)

การให้เกลือสินเธาว์ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยการให้เกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้นระดับ 25 มิลลิโมล์ ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ที่ 12.89 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม แต่เมื่อความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์เพิ่มขึ้นเป็น 50 มิลลิโมล์ กลับทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยที่สุด ที่ 6.60 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 16**) เมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไป พบว่า ระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกันมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยใบแก่เป็นใบที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ที่ 11.92 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม แต่มีปริมาณต่างกับใบในระยะใบเพสลาดและใบเจริญเต็มที่ ที่ 11.63 และ 10.81 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม ส่วนใบอ่อนเป็นใบที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด (**ตาราง 16**) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบ พบว่า ความเข้มข้นของเกลือมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนิลิกทั้งหมดในใบมะนาวโห่ทั้ง 4 ระยะ โดยใบแก่ที่ได้รับเกลือสินเธาว์ความเข้มข้น 25 มิลลิโมล์ มีปริมาณสารประกอบฟีนิลิกทั้งหมดมากที่สุด ที่ 18.04 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม ส่วนใบแก่ที่ได้รับเกลือสินเธาว์ความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ มีปริมาณสารประกอบฟีนิลิกทั้งหมดน้อยที่สุด ที่ 4.90 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 16**)

4.4.7 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoid content)

ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ที่ต่างกันทำให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยการให้เกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้นระดับ 25 มิลลิโมล์ ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงสุด 19.10 มิลลิกรัมสมมูลของเควอซิทินต่อตัวอย่าง 1 กรัม แต่เมื่อความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์เพิ่มขึ้นเป็น 50 มิลลิโมล์ กลับมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอย์ทั้งหมดลดลงต่ำที่สุด ที่ 8.27 มิลลิกรัมสมมูลของเควอซิทินต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 16**) และเมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไปมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยพบว่าเมื่อมีระยะพัฒนาการเพิ่มมากขึ้น ใบมีการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เพิ่มมากขึ้น ใบแก่เป็นระยะที่มีปริมาณของสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด ที่ 18.38 มิลลิกรัมสมมูลของเควอซิทินต่อตัวอย่าง 1 กรัม ในขณะที่ใบอ่อนเป็นระยะปริมาณของสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดน้อยที่สุด ที่ 8.51 มิลลิกรัมสมมูลของเควอซิทินต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 16**) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยใบแก่ที่ได้รับเกลือสินเธาว์ความเข้มข้น 25 มิลลิโมล์ ที่มีสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด ที่ 31.39 มิลลิกรัมสมมูลของเควอซิทินต่อตัวอย่าง 1 กรัม ในขณะที่ใบแก่ที่ได้รับความเค็มที่ 50 มิลลิโมล์ มีสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 6.44 มิลลิกรัมสมมูลของเควอซิทินต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 16**)

ตาราง 16 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 3 ระดับ (มิลลิโมล์) และระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะที่มีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมด และสารประกอบแทนนินทั้งหมดในใบมะนาวโห่

สิ่งทดลอง		**สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด** (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิคต่อตัวอย่าง 1 กรัม)	**สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด** (มิลลิกรัมสมมูลของเควอซิทินต่อตัวอย่าง 1 กรัม)	**สารประกอบแอนโท-ไซยานินทั้งหมด** (มิลลิกรัมสมมูลของ cyanidin 3-glucoside ต่อตัวอย่าง 100 กรัม)	**สารประกอบแทนนินทั้งหมด** (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม)
ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ (mM)					
0 mM		10.85 b	14.74 b	0.97 b	11.26 b
25 mM		12.89 a	19.10 a	1.02 b	13.13 a
50 mM		6.60 c	8.27 c	1.45 a	7.14 c
ระยะพัฒนาการของใบ					
ใบอ่อน		6.10 b	8.51 c	0.71 b	5.97 c
ใบเพสลาด		11.63 a	14.59 b	1.28 a	10.85 b
ใบเจริญเต็มที่		10.81 a	14.66 b	1.22 a	11.74 ab
ใบแก่		11.92 a	18.38 a	1.38 a	13.48 a
สิ่งทดลอง					
0 mM	ที่ระยะใบอ่อน	7.20 ef	11.05 de	0.37	6.14 g
	ที่ระยะใบเพสลาด	13.06 bc	15.22 cd	1.16	11.84 cde
	ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	10.33 cd	15.36 cd	1.11	10.86 de
	ที่ระยะใบแก่	12.81 bc	17.32 bc	1.25	16.19 b
25 mM	ที่ระยะใบอ่อน	5.07 ef	6.68 ef	0.83	5.41 g
	ที่ระยะใบเพสลาด	14.21 b	17.80 bc	1.16	13.21 bcd
	ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	14.24 b	20.54 b	0.94	14.56 bc
	ที่ระยะใบแก่	18.04 a	31.39 a	1.16	19.37 a
50 mM	ที่ระยะใบอ่อน	6.03 ef	7.81 ef	0.94	6.36 g
	ที่ระยะใบเพสลาด	7.63 def	10.73 ef	1.51	7.52 fg
	ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	7.84 de	8.09 ef	1.62	9.80 ef
	ที่ระยะใบแก่	4.90 f	6.44 f	1.72	4.89 g
F-Test:	NaCl	**	**	**	**
	Stage	**	**	**	**
	NaCl*Stage	**	**	ns	**
CV (%)		19.88	21.63	32.52	20.02

ns: ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, **: แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ p≤0.01

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันในแต่ละปัจจัยและสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น p≤0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

4.4.8 ปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมด (total anthocyanin content)

เกลือสินเธาว์ความเข้มข้นที่ต่างกันทำให้มีปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยการให้เกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ ทำให้มีปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมดมากที่สุด ที่ 1.45 มิลลิกรัมสมมูลของ cyaniding-3-glucoside ต่อตัวอย่าง 100 กรัม (**ตาราง 16**) และเมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไป พบว่าระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกันทำให้ปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยพบว่าระยะใบอ่อนเป็นระยะที่มีปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินน้อยที่สุด ที่ 0.71 มิลลิกรัมสมมูลของ cyaniding-3-glucoside ต่อตัวอย่าง 100 กรัม แต่เมื่อมีพัฒนาการจากระยะใบเพสลาดไปเป็นระยะใบแก่ พบว่ามีปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมดไม่แตกต่างกัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.22-1.38 มิลลิกรัมสมมูลของ cyaniding-3-glucoside ต่อตัวอย่าง 100 กรัม (**ตาราง 16**) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบพบว่าความเข้มข้นของเกลือ พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน โดยมีปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.37-1.72 มิลลิกรัมสมมูลของ cyaniding-3-glucoside ต่อตัวอย่าง 100 กรัม (**ตาราง 16**)

4.4.9 ปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมด (total tannin content)

การให้เกลือสินเธาว์ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยการให้เกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้น 25 มิลลิโมล์ ทำให้มีปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดมากที่สุด ที่ 13.13 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 16**) และพบว่าระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกัน ทำให้มีปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยระยะใบแก่เป็นระยะที่มีปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดมากที่สุด ที่ 13.48 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อตัวอย่าง 100 กรัม ในขณะที่ใบอ่อนเป็นระยะที่มีปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดน้อยที่สุด ที่ 5.97 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อตัวอย่าง 100 กรัม (**ตาราง 16**) เมื่อพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบ โดยใบแก่ที่ได้รับความเค็ม 25 มิลลิโมล์ เป็นใบที่มีปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดมากที่สุด ที่ 19.37 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม ในขณะที่ใบแก่ที่ได้รับความเค็ม 50 มิลลิโมล์ เป็นระยะที่มีปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดน้อยที่สุด ที่ 4.89 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 16**)

4.5 ผลของความเค็มและระยะพัฒนาการต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบมะนาวโห่

4.5.1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS

การให้เกลือสินเธาว์ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยเมื่อมีระดับความเค็มเพิ่มขึ้นเป็น 25 มิลลิโมล์ ทำให้ใบมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS เพิ่มขึ้นสูงที่สุด

สามารถยับยั้งได้ร้อยละ 34.21 (**ตาราง 17**) และพบว่าระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกันมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยเมื่อใบมีพัฒนาการเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย จึงทำให้ในใบแก่เป็นใบที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS มากที่สุด สามารถยับยั้งได้ร้อยละ 36.21 (**ตาราง 17**) และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบ โดยใบแก่ที่ได้รับเกลือสินเธาว์ความเข้มข้น 25 มิลลิโมล์ เป็นใบที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS มากที่สุด สามารถยับยั้งได้ร้อยละ 61.17 ส่วนใบอ่อนที่ได้รับเกลือสินเธาว์ที่ความเข้มข้น 25 มิลลิโมล์ เป็นใบที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS น้อยที่สุด สามารถยับยั้งได้ร้อยละ 9.61 (**ตาราง 17**)

4.5.2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH

การให้เกลือสินเธาว์ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยความเค็มที่ 25 มิลลิโมล์ เป็นระดับที่ทำให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลแบบ DPPH มากที่สุด สามารถยับยั้งได้ร้อยละ 38.84 (**ตาราง 17**) เมื่อใบมีระยะพัฒนาการเปลี่ยนไปจากระยะใบอ่อนไปเป็นระยะใบเพสลาด พบว่าระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกันมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) โดยใบอ่อนเป็นใบที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH มากที่สุด สามารถยับยั้งได้ร้อยละ 32.35 แต่เมื่อใบมีพัฒนาการจากระยะใบเพสลาดไปเป็นระยะใบแก่ พบว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไม่แตกต่างกัน (**ตาราง 17**) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบ พบว่าความเข้มข้นของเกลือมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบมะนาวโห่ทั้ง 4 ระยะ โดยในใบอ่อนที่ไม่ได้รับเกลือสินเธาว์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH มากที่สุด สามารถยับยั้งได้ร้อยละ 53.66 ส่วนใบแก่ที่มีการให้เกลือสินเธาว์ความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH น้อยที่สุด สามารถยับยั้งได้ร้อยละ 9.27 (**ตาราง 17**)

4.5.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP

การให้เกลือสินเธาว์ในความเข้มข้นที่ต่างกัน ทำให้ใบมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ FRAP ลดลงทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) (**ตาราง 17**) และพบว่าระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกันมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP แตกต่างกัน โดยใบเพสลาดและใบเจริญเต็มที่เป็นระยะพัฒนาการของใบที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ FRAP มากที่สุด ที่ 0.81 มิลลิโมลล์ของ Fe(II) ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 17**) และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือและระยะพัฒนาการของใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยในใบแก่ที่มีการให้เกลือสินเธาว์ความเข้มข้น 25 มิลลิโมล์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ FRAP มากที่สุด ที่ 0.91 มิลลิโมล์ของ Fe(II) ต่อตัวอย่าง 1 กรัม ในขณะที่ใบแก่ที่ได้รับเกลือสินเธาว์ความ

เข้มข้น 50 มิลลิโมล์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP น้อยที่สุด ที่ 0.41 มิลลิโมล์ของ Fe(II) ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (**ตาราง 17**)

ตาราง 17 ผลของความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 3 ระดับและระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะที่มีต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของใบมะนาวโห่

สิ่งทดลอง	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS (ร้อยละของการยับยั้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH (ร้อยละของการยับยั้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ FRAP (มิลลิโมลล์ของ Fe(II) ต่อกรัม)
ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ (mM)			
0 mM	27.64 b	33.05 b	0.82 a
25 mM	34.21 a	38.84 a	0.78 a
50 mM	21.20 c	14.17 c	0.59 b
ระยะพัฒนาการของใบ			
ใบอ่อน	16.97 c	32.35 a	0.58 c
ใบเพสลาด	28.55 b	25.39 b	0.81 a
ใบเจริญเต็มที่	29.00 b	26.30 b	0.81 a
ใบแก่	36.21 a	30.71 ab	0.73 b
สิ่งทดลอง			
0 mM ที่ระยะใบอ่อน	20.57 def	53.66 a	0.68 b
ที่ระยะใบเพสลาด	25.15 bcde	25.75 cd	0.87 a
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	32.37 bc	21.56 de	0.87 a
ที่ระยะใบแก่	32.47 bc	31.23 bcd	0.88 a
25 mM ที่ระยะใบอ่อน	9.61 f	32.58 bc	0.44 c
ที่ระยะใบเพสลาด	35.47 b	35.21 bc	0.88 a
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	30.59 bcd	35.94 b	0.89 a
ที่ระยะใบแก่	61.17 a	51.63 a	0.91 a
50 mM ที่ระยะใบอ่อน	20.74 def	10.82 f	0.62 b
ที่ระยะใบเพสลาด	25.02 bcde	15.20 ef	0.67 b
ที่ระยะใบเจริญเต็มที่	24.05 cde	21.39 de	0.67 b
ที่ระยะใบแก่	15.00 ef	9.27 f	0.41 c
F-Test: NaCl	**	**	**
Stage	**	*	**
NaCl*Stage	**	**	**
CV (%)	28.35	24.01	11.76

ns: ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * และ **: แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ p≤0.05 และ p≤0.01 ตามลำดับ
ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งเดียวกันในแต่ละปัจจัยและสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น p≤0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

4.6 อภิปรายผลการทดลอง

4.6.1 ผลของความเค็มต่ออัตราการรอดชีวิต ระยะเวลาการเกิดยอดใหม่ และระยะเวลาในการพัฒนาใบ 4 ระยะของต้นมะนาวโห่หลังการให้เกลือสินเธาว์

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า เมื่อให้ความเค็มจากเกลือสินเธาว์แก่ต้นมะนาวโห่ตั้งแต่ความเข้มข้น 75 มิลลิโมล์ ขึ้นไป ต้นมะนาวโห่ไม่สามารถรอดชีวิตได้ แสดงอาการใบร่วง และตายในที่สุด (**ภาพประกอบ 15**) ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากการที่ดินที่มีความเค็มสูงจะส่งผลต่อพืช ด้วย 2 สาเหตุหลัก คือ ผลจากแรงดันออสโมติก ที่เกิดขึ้นจากปริมาณของไอออนที่มีมากเกินไปในสารละลายดิน ทำให้ลดความต่างศักย์ของน้ำในสารละลายดินลง น้ำและแร่ธาตุจึงสามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของรากได้ยาก อัตราการนำเข้าน้ำและแร่ธาตุสู่รากจึงเกิดขึ้นช้า พืชจึงแสดงอาการขาดน้ำ และผลจากการที่มีปริมาณไอออนที่มากเกินไป ที่เกิดจากปริมาณของเกลือที่มีมากเกินไป เมื่อเข้าสู่พืชจะยับยั้งกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่างๆ ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การนำเข้าธาตุอาหารและการนำไปใช้ประโยชน์ ทำให้เกิดความเสียหายต่อเยื่อหุ้มเซลล์ พืชเกิดความผิดปกติ โดยสังเกตได้จากใบพืช คือ ปลายของใบมีลักษณะไหม้ และขอบใบแห้ง เมื่อเกลือสะสมในใบที่แก่จนกระทั่งถึงระดับที่ทำให้เกิดความเป็นพิษ จึงทำให้ใบร่วงเร็วกว่าปกติ ซึ่งเมื่อสังเกตจากพฤติกรรมของมะนาวโห่ที่เกิดขึ้นในช่วงแรกหลังการให้เกลือสินเธาว์นาน 1 สัปดาห์ ต้นพืชไม่แสดงอาการเหี่ยวเฉาทันที แต่เริ่มแสดงอาการในสัปดาห์ที่ 2 คือ อาการเหี่ยวปลายใบในใบอ่อน และใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล หลังจากผ่านไป 1 เดือน ใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งต้น และตายในที่สุด (**ภาพประกอบ 16**)

ภาพประกอบ 16 การแสดงอาการเหี่ยวในต้นมะนาวโห่หลังให้เกลือ 2 สัปดาห์ A) ใบอ่อนแสดงอาการเหี่ยว B) ใบอ่อนเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และ C) อาการปลายใบไหม้

นอกจากนี้ยังพบผลึกคล้ายเกลืออยู่บนใบมะนาวโห่ (**ภาพประกอบ 17**) และผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ในตัวอย่างใบพืชสดและใบที่ร่วง ให้ผลไปในแนวทางเดียวกันคือ

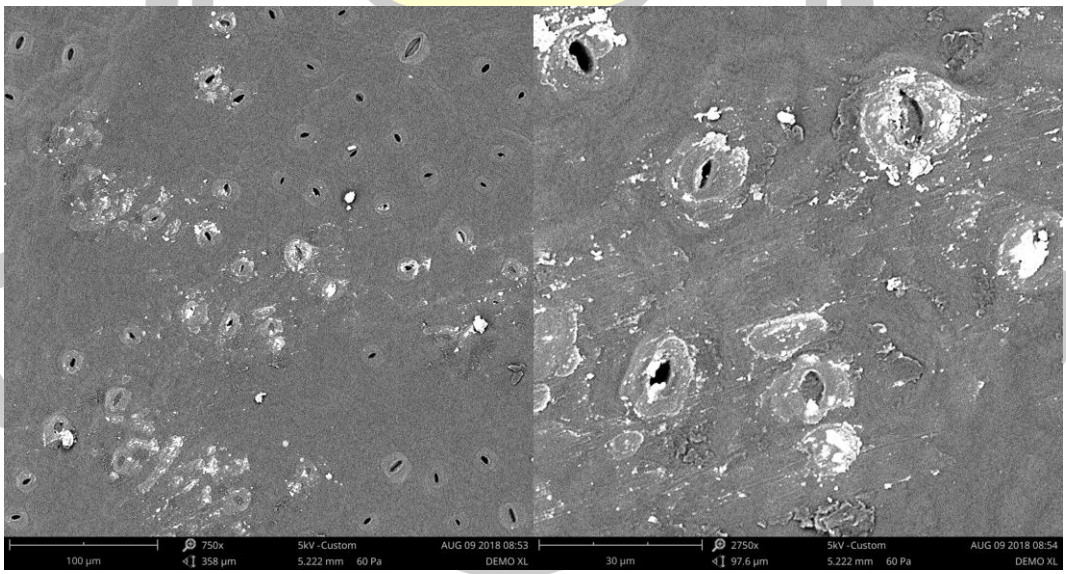
เมื่อต้นพืชได้รับความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์เพิ่มมากขึ้นจาก 0-125 มิลลิโมล์ ในใบร่วงมีปริมาณโซเดียมและคลอไรด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 12 และ 26 เท่า ตามลำดับ ส่วนในใบพืชที่สดในต้นที่รอดชีวิต คือต้นที่ได้รับเกลือสินเธาว์ความเข้มข้น 0-50 มิลลิโมล์ พบว่า ในใบที่ได้รับความเข้มข้นของเกลือเพิ่มมากขึ้น ก็มีการสะสมโซเดียมและคลอไรด์เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นได้ว่า มะนาวโห่มีการดูดเกลือไปสะสมไว้ในใบพืช ซึ่งเป็นการตอบสนองเพื่อแก้ไขปัญหาเนื่องจากผลของแรงดันออสโมติก โดยการดูด Na^+ และ Cl^- ในอัตราที่สูง และนำไปสะสมในใบ เพื่อปรับแรงดันออสโมติกให้มีความต่างศักย์ของน้ำต่ำกว่าในดิน ทำให้พืชสามารถดูดน้ำจากสารละลายดินเข้าสู่รากได้ สิ่งสำคัญสำหรับการปรับแรงดันออสโมติก คือ การสะสมเกลือในแวคิวโอลของเซลล์ใบ เพื่อทำให้ความเข้มข้นของเกลือหรือไอออนต่ำในไซโทพลาซึม จึงไม่เกิดความเป็นพิษของไอออน พืชที่มีการสะสม Na^+ และ Cl^- มากใน แวคิวโอลของเซลล์จะตรวจพบ Na^+ มีความเข้มข้นสูงในใบ แต่ใบยังคงความปกติไว้ได้ (อรุณี ยูวะนิยม, 2547) ลักษณะเช่นนี้พบได้ในผรั่งพันธุ์กลมสาลี่ที่ทำการศึกษาการสะสมของโซเดียมและคลอไรด์ใน 4 ชิ้นส่วน คือ ราก โคนต้น ลำต้น และใบ ก็พบว่า ใบเป็นชิ้นส่วนที่มีการสะสมโซเดียมและคลอไรด์มากกว่าชิ้นส่วนอื่น โดยเมื่อได้รับความเค็มเพิ่มขึ้นจาก 30 ไปเป็น 90 มิลลิโมล์ พบว่ามีการสะสมปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ในใบใหม่เพิ่มมากขึ้นถึง 12 เท่า คือมีการสะสมโซเดียมและคลอไรด์ที่ร้อยละ 2.27 และ 2.10 ตามลำดับ (สุรพล ฐิติธนากุล, 2547) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตขององุ่นที่พบเช่นเดียวกันว่า ใบขององุ่นมีการสะสมโซเดียมและคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น (ภัทราภรณ์ คันธภูมิ, 2548) ดังนั้นจึงอาจสันนิษฐานในเบื้องต้นได้ว่า กลไกการทนเค็มที่มะนาวโห่ใช้ คือ การดูดเกลือเข้าไปแล้วสะสมเอาไว้ในส่วนที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช มีการขนย้ายธาตุโซเดียมจากใบอ่อนไปใบแก่ และยังมีการคายเกลือออกมาด้วย (สมศรี อรุณินท์, 2539)

ภาพประกอบ 17 ผลึกสีขาวที่มีลักษณะคล้ายผลึกเกลือที่พบบนในมะนาวโห่หลังจากให้เกลือสินเธาว์

4.6.2 ผลของความเข้มข้นของเกลือต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบมะนาวโห่

1) ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

สัณฐานวิทยาของใบ หมายถึง การศึกษารูปร่างและโครงสร้างของใบทั้งภายนอกและภายใน หรือการศึกษาเกี่ยวกับรูปพรรณสัณฐานส่วนประกอบต่างๆ ของใบที่เห็นและโครงสร้างภายใน ตลอดจนศึกษาการเจริญซึ่งเป็นผลมาจากการเติบโต และการเปลี่ยนสภาพของใบ (จารุวัตร จันทร์ประดิษฐ์, 2552) จากการศึกษา พบว่า ความเค็มมีผลทำให้มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ ค่าน้ำหนักใบเฉพาะ ค่าความเขียวของท้องใบ และค่า SCMR มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยใบที่ได้รับความเค็มมากที่สุด คือ ที่ 50 มิลลิโมล์ เป็นใบที่มีน้ำหนักสดใบมากที่สุด ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากต้นพืชมีการปรับตัวโดยการดูดน้ำเข้าไป ซึ่งเป็นการเพิ่มความอวบน้ำของพืชทั้งในส่วนของใบและลำต้นจะช่วยเพิ่มพื้นที่สำหรับการระบายไอออนที่สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษภายในพืช และเพิ่มปริมาณน้ำภายในพืชเพื่อช่วยลดความเป็นพิษของไอออนได้ รวมไปถึงมะนาวโห่ยังใช้กลไกการขับเกลือเป็นกลไกในการควบคุมปริมาณของเกลือที่อยู่ภายในต้น โดยขับเกลือผ่านทางชั้นคิวติเคิล หรือผ่านทางของเหลวจากกระบวนการคายน้ำเป็นหยดได้ โดยพบว่าพืชทนเค็มบางชนิดสามารถใช้โพแทสเซียมไอออนในการรักษาแรงดันเต่งของเซลล์คุมไว้ให้ปกติ โดยโพแทสเซียมไอออนจะแทนที่โซเดียมไอออนที่มีปริมาณมากเกินไปที่ถูกลำเลียงมาสู่เซลล์คุม เนื่องจากโซเดียมไอออนสามารถส่งผลเสียต่อการทำงานของเซลล์คุมตามปกติได้ (อธิภัทร เงินหมื่น, 2556) เห็นได้จากการที่ใบมะนาวโห่มีผลึกคล้ายเกลือปรากฏอยู่บนผิวใบบริเวณเซลล์คุม (**ภาพประกอบ 18**)



ภาพประกอบ 18 ผลึกสีขาวที่มีลักษณะคล้ายผลึกเกลือที่พบบริเวณเซลล์คุมของใบมะนาวโห่หลังจากให้เกลือสินเธาว์

เมื่อมะนาวโห่อยู่ในสภาวะเครียดเกลือ ความเค็มจะส่งผลต่อกระบวนการสำคัญต่างๆ ภายในเซลล์พืช ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลง ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชถูกจำกัด พืชเกิดการขาดน้ำ เนื่องจากต้องใช้พลังงานมากกว่าปกติเพื่อดูดน้ำและธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโต ในขณะที่เกลือในดินนั้นยังทำให้น้ำในดินมีแรงดันออสโมติกเพิ่มขึ้น และความต่างศักย์ของน้ำลดลง และเมื่อค่าความต่างศักย์ของน้ำในดินลดต่ำลงกว่าในราก จะส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชช้าลง ซึ่งเห็นได้จากในส่วนของน้ำหนักแห้งของใบ และค่าน้ำหนักใบเฉพาะ ที่พบว่าเมื่อใบได้รับความเค็มเพิ่มมากขึ้น ใบมีน้ำหนักแห้งใบและค่าน้ำหนักเฉพาะของใบน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังพบอีกว่าเมื่อต้นมะนาวโห่ได้รับความเค็มเพิ่มมากขึ้น ยังทำให้มีค่าความเป็นสีเขียวของท้องใบ และค่า SCMR ลดลงอย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย สิ่งเหล่านี้เป็นเหตุผลสำคัญที่แสดงให้เห็นได้ว่า เมื่อต้นพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากเกลือ ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตน้อยลง (มีน้ำหนักแห้งใบและค่าน้ำหนักเฉพาะของใบที่น้อยลง) และมีอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย (มีค่าความเป็นสีเขียวและค่า SCMR ลดลง) ลักษณะเช่นนี้พบได้เช่นเดียวกับการศึกษาของ(สุรพล ฐิติธนากุล, 2547) ที่ทำการศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของฝรั่ง 2 สายพันธุ์ ที่พบว่า เมื่อต้นฝรั่งได้รับความเค็มเพิ่มมากขึ้นทำให้มีน้ำหนักแห้งใบ และค่าความเขียวของใบลดลงทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ในส่วนของพื้นที่ใบก็พบเช่นเดียวกัน คือความเค็มที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้มีพื้นที่ใบลดลงทางสถิติ แต่มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับในการศึกษานี้ นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตขององุ่นที่พบเช่นเดียวกันว่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของใบองุ่นลดลงตามระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มสูงขึ้น และยังพบว่าความเค็มมีผลต่อค่าความเขียวของใบ เมื่อความเค็มเพิ่มมากขึ้นเท่าใด มีผลทำให้ค่าความเขียวของใบลดลงเท่านั้น การลดลงของค่าความเขียวของใบเป็นผลมากจากโซเดียมคลอไรด์ไปลดความสามารถในการสร้างคลอโรฟิลล์ลง เมื่อในดินปลูกมี Na^+ และ Cl^- เพิ่มมากขึ้น ไอออนทั้ง 2 ชนิดนี้จึงมีโอกาสเข้าสู่พืชได้มากขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูด Mg^+ และ NO_3^- ซึ่งมีประจุเหมือนกับ Na^+ และ Cl^- และธาตุอาหารอื่นๆ ได้น้อยลง เป็นผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์หรือค่าความเขียวของใบลดลง เนื่องจากทั้ง N และ Mg เป็นส่วนประกอบสำคัญในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ (ภัทราภรณ์ คันธภูมิ, 2548) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มไม้ผลลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งนอกจากในมะนาวโห่ องุ่น และฝรั่งแล้ว ยังพบได้ในทับทิม (Ibrahim HIM, 2016) หม่อน (Agastian P Kingsley SJ Vivekanandan M, 2000) มะขาม (Munns R Cramer GR Ball MC, 1999) สบู่ดำ (ณัฐวุฒิ ไชยวุฒิ วีระพันธุ์ สรีดอกจันทร อรุณศิริ กำลัง แอนนา สายมณีรัตน์, 2553) และยูคาลิปตัส (สุริยันต์ ฉะอุ่ม กัลป์ยาณี สามิภักดิ์ เกรียงไกร โมสาลียานนท์ รื่นฤดี วนัสสกุล กัณยารัตน สุไพบูลย์ วัฒนเฉลิมพล เกิดมณี, 2542) ที่เมื่อต้นพืชได้รับความเค็มเพิ่มขึ้นแล้วทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง

2) ปริมาณสารพฤกษเคมี

สารพฤกษเคมี คือ สารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบเฉพาะในพืช สารกลุ่มนี้อาจเป็นสารที่ทำให้พืชผักชนิดนั้นๆ มีสี กลิ่นหรือรสชาติที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว สารพฤกษเคมีเหล่านี้หลาย

ชนิดมีฤทธิ์ต่อต้านหรือป้องกันโรคที่สำคัญบางชนิด ปัจจุบันพบสารพฤกษเคมีแล้วมากกว่า 15,000 ชนิด (Kumar S Gupta P Virupaksha GK, 2013) มะนาวโห่เป็นพืชที่มีสารประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่แล้วสารพฤกษเคมี พบได้ทั้งในส่วนของลำต้น เปลือก ราก ใบ ผล และเมล็ด (Chandy KT, 2014) ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ความเค็มมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ b วิตามินซี ผลผลิตของเทอพีนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณสารประกอบแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของปริมาณคลอโรฟิลล์ b พบว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้นมีปริมาณคลอโรฟิลล์ b ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากการที่มีปริมาณไอออนของ Na^+ และ Cl^- มากในดินปลูก ที่ให้รบกวนการดูดธาตุอาหารชนิดอื่น โดยเฉพาะ Mg^+ และ NO_3^- ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ เป็นผลให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง โดยลักษณะเช่นนี้พบได้ในการศึกษาของ (Tayyab Azeem M Qasim M and Ahmad R, 2016) ที่ทำการศึกษาการให้น้ำทะเลแก่ต้นมะนาวโห่ที่พบว่าเมื่อมีระดับความเค็มเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีค่าคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และยังพบได้ในรายงานการศึกษาในองุ่น (Bybordi A, 2012); (Mohammadkhani N Heidari R Abbaspour N Rahmani F, 2012) และยูคาลิปตัส (สุริยันต์ ฉะอุ่ม กัลป์ยาณี สามิภักดิ์ เกรียงไกร โมสาลียานนท์ รื่นฤดี วนัสสกุล กัณยารัตน สุไพบูลย์ วัฒน เฉลิมพล เกิดมณี, 2542) ที่พบว่าเมื่อมีความเค็มเพิ่มมากขึ้นทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง

ในส่วนของปริมาณวิตามินซี ผลผลิตเทอพีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบแทนนิน พบว่าเมื่อมีการให้ความเค็มถึงระดับ 25 มิลลิโมล์ ใบมะนาวโห่มีการสะสมปริมาณวิตามินซี ผลผลิตเทอพีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบแทนนินเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อมีการให้ความเค็มเพิ่มมากขึ้นถึงความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ สารดังกล่าวกลับมีปริมาณลดลง ลักษณะเช่นนี้พบได้ในการศึกษาในใบของอาร์ติโช๊ค (Hanen F Ksouri R Megdiche W Trabelsi N Boulaaba M and Abdelly C, 2008); (Rezazadeh A Ghasemnezhad A, 2012) ต้นอ่อนของเรพซีดส์ (Falcinelli B Sileoni V Marconi O and Perretti G, 2017) ต้นอ่อนของบัควีท (Lim JH Park KJ Kim BK Jeong JW Kim HJ, 2012) ที่พบเช่นเดียวกันว่าเมื่อมีการให้ความเค็มสูงขึ้นในระดับหนึ่ง มีการกระตุ้นในมีการสะสมสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อมีการให้ความเค็มเพิ่มมากขึ้นไปอีกสารดังกล่าวกลับมีปริมาณลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดเนื่องจากกลไกการทนเค็มกลไกหนึ่งของพืช คือ การปรับค่าแรงดันออสโมติก โดยพืชมีความพยายามในการปรับตัวเพื่อที่จะลดค่าศักย์ออสโมซิสโดยการสะสมสาร compatible osmolytes และสาร osmoprotectants หรือนำไอออนที่เป็นพิษไปเก็บไว้ในแวคิวโอล แต่มีพืชบางชนิดจะปรับเปลี่ยนกระบวนการเมแทบอลิซึมจากแบบพืช C3 ให้กลายเป็นแบบพืช CAM (crassulacean acid metabolism) เนื่องจากพืชCAM มีประสิทธิภาพการใช้น้ำในการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่าพืช C3 และจะเปิดปากใบเฉพาะตอนกลางคืนเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ในสภาวะเครียดเกลือ พืชจะสร้าง PEP (phosphoenolpyruvate) อย่างรวดเร็ว และพบกิจกรรมของ PEPCase (phosphoenolpyruvate carboxylase) สูง (สุมาลี ชูกำแพง, 2555) และ

เมื่อมีความเค็มเพิ่มขึ้นมากกว่าระดับที่มีการสะสมสารพฤกษเคมีต่างๆ สูงสุดแล้ว ปริมาณสารพฤกษเคมีมีปริมาณลดลง อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการที่มีไอออนของ Na^+ และ Cl^- อยู่ในเซลล์พืชในปริมาณมาก ทำให้รบกวนกระบวนการแมทาบอลิซึมต่างๆ ในพืชได้ พืชเมื่อเครียดมักจะสร้างสารอนุมูลอิสระ ซึ่งสารอนุมูลอิสระ เมื่อมีปริมาณมากจะทำลายระบบต่างๆ ในเซลล์รวมถึงรบกวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในคลอโรพลาสต์ด้วย พืชจึงพยายามที่จะควบคุมปริมาณของสารอนุมูลอิสระเพื่อความอยู่รอด

ในกรณีที่มีการสะสมสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้นนั้นถึงแม้ว่าจะยังไม่มีการอธิบายถึงกลไกการสร้างสารประกอบฟีนอลิกของพืชเมื่อมีการกระตุ้นด้วยความเค็ม แต่มีรายงานไว้ก่อนหน้านี้ว่าการสร้างสารในกลุ่มนี้จะสร้างโดย phenylpropanoid pathway ซึ่งกระบวนการนี้สามารถกระตุ้นได้โดยความเครียดที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต เมื่อได้รับสภาวะเครียด พืชกระตุ้นให้สร้างฮอร์โมนที่อยู่ภายในพืช รวมทั้ง jasmonic acid และ methyl jasmonic acid นำไปสู่การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับ phenylpropanoid pathway เช่น phenylalanine ammonia lyase (PAL) ส่งผลให้เกิดการสะสมสารประกอบฟีนอลิกขึ้น นอกจากนี้การสะสมสารประกอบฟีนอลิกนั้นยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชอีกด้วย (Lim JH Park KJ Kim BK Jeong JW Kim HJ, 2012)

ในกรณีของผลผลิตไตรเทอพีน และปริมาณไตรเทอพีน พบว่า เมื่อต้นมะนาวโห่ได้รับความเค็มเพิ่มมากขึ้น กลับมีการสร้างไตรเทอพีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ก็อาจเกิดเนื่องจากจากการที่มีปริมาณไอออนของ Na^+ และ Cl^- มากในเซลล์ ทำให้รบกวนกระบวนการเมทาบอลิซึมต่างๆ ในพืชได้ ซึ่งอาจรบกวนการสังเคราะห์ไตรเทอพีนได้

3) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ รวมทั้งโรคอัลไซเมอร์ (วชิราภรณ์ ผิวล่อง สุรศักดิ์ สัจจบุตร ศิริลักษณ์ สิงห์เพชร จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ, 2556) การวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีหลายวิธีการ โดยมีความแตกต่างกันตามอนุมูลอิสระที่นำมาใช้ในการทดสอบ ปัจจุบันมีการศึกษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในผักและผลไม้มากมายหลายชนิด (เจนจิรา จิรัมย์, 2554)การศึกษาในครั้งนี้ พบว่า เมื่อต้นมะนาวโห่ได้รับความเค็มถึงระดับ 25 มิลลิโมล์ ใบมะนาวโห่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อมีการให้ความเค็มเพิ่มมากขึ้นถึงความเข้มข้น 50 mM ความสามารถดังกล่าวกลับมีปริมาณลดลงเช่นเดียวกับการสะสมปริมาณสารพฤกษเคมี ซึ่งโดยปกติแล้ว เมื่อพืชเครียดจะชักนำให้เกิดการสร้างสารอนุมูลอิสระ เช่น superoxide radicals (O_2^-), hydrogen peroxide (H_2O_2) และ hydroxyl radicals (OH^-) ซึ่งจะทำลายส่วนต่างๆ ของเซลล์ เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก ไขมันบริเวณต่างๆ เช่น เยื่อหุ้มเซลล์ (สุมาลี ชูกำแพง, 2555) และความเครียดที่เกิดขึ้นนี้ทำให้กระตุ้นการสร้างสารพฤกษเคมีต่างๆ ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่พืชสร้างขึ้นมานี้ได้ สารพฤกษเคมีดังกล่าวนี้ยังสามารถช่วยลดความเสียหายเนื่องจากภาวะการถูกออกซิไดซ์ (oxidative damage) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสร้าง ROS (Reactive oxygen species) ภายใต้สภาวะเครียดจากความเค็ม (อธิภัทร เงินหมื่น, 2556) จึงอาจส่งผลให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้มากขึ้นตามไปด้วย

ลักษณะเช่นนี้พบได้ในการศึกษาในใบของอาร์ติโช๊ค (Hanen F Ksouri R Megdiche W Trabelsi N Boulaaba M and Abdelly C, 2008); (Rezazadeh A Ghasemnezhad A, 2012) ต้นอ่อนของเรพซีดส์ (Falcinelli B Sileoni V Marconi O and Perretti G, 2017) ต้นอ่อนของบัควีท (Lim JH Park KJ Kim BK Jeong JW Kim HJ, 2012) ที่พบเช่นเดียวกันว่าเมื่อมีการให้ความเค็มสูงขึ้นในระดับหนึ่ง มีการกระตุ้นในมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อมีการให้ความเค็มเพิ่มมากขึ้นไปอีก ความสามารถดังกล่าวกลับลดลง

4.6.3 ผลของระยะพัฒนาการต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบมะนาวโห่

1) ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาเห็นได้ว่าระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกันทั้ง 4 ระยะ ทำให้ความกว้างและความยาวใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใบ ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเขียวของหลังใบและท้องใบ ค่าความเป็นสีเหลืองของท้องใบ และค่า SCMR มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยพบว่าเมื่อใบมีพัฒนาการมากขึ้น ทำให้มีขนาดใบ และพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยใบเจริญเต็มที่เป็นระยะที่มีความกว้างใบ ความยาวใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใบมากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่ใบที่เจริญเต็มที่แล้ว จึงทำให้มีขนาดใหญ่ที่สุด ซึ่งลักษณะเช่นนี้พบในการศึกษาโครงสร้างและการพัฒนาของตาใบและใบในทับทิม (Rajaei H Yazdanpanah P, 2015) การศึกษาพัฒนาการของใบเชอร์รี่หวาน (Fadon E Herrero M and Rodrigo J, 2015) เมื่อใบมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ใบมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามไปด้วย การเพิ่มขึ้นของมวลและขนาดจัดเป็นการเติบโต ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาณที่สามารถชั่ง ตวง หรือวัด เป็นตัวเลขได้ ปกติแล้วการเจริญเติบโตจะเกิดขึ้นพร้อมกับการแบ่งและการขยายตัวของเซลล์ (ลิลลี่ กาอีต๊ะ มาลี ณ นคร ศรีสม สุวรรณวงศ์ สุรียา ตันติวิวัฒน์ ณรงค์ วงศ์กันทรากร, 2556)

ระยะพัฒนาการที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่า SCMR เพิ่มขึ้น โดยใบแก่เป็นระยะที่มีอายุมากที่สุด ค่า SCMR ที่เพิ่มมากขึ้นทำให้คลอโรฟิลล์มากขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากค่า SCMR เป็นค่าเฉลี่ยหนึ่งที่บอกความเข้มของสีใบ ซึ่งเป็นการคาดคะเนปริมาณคลอโรฟิลล์ในทางอ้อม (สิริมาส วงศ์สุบรรณ กฤษณา กฤษณพุกต์ ลพ ภวภูตานนท์, 2555) การที่มีการสะสมคลอโรฟิลล์เพิ่มมากขึ้นเมื่อใบมีพัฒนาการเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากใบมีอายุมาก อาจมีการเก็บสะสมคลอโรฟิลล์มากกว่าในระยะอื่น ลักษณะเช่นนี้พบในการศึกษาความแปรปรวนของค่า SCMR ในใบถั่วเขียว (Arunyanark A Jogloy S Vorasoot N Akkasaeng C Kesmala T and Patanothai A, 2009)มีค่า SCMR เพิ่มมากขึ้นเมื่อใบมีพัฒนาการมากขึ้นแล้ว การพัฒนาการเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสว่างลดลง ค่าความเป็นสีเขียวและความเป็นสีเหลืองของใบเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีใบมีพัฒนาการเพิ่มขึ้น ใบมีความสว่างน้อยและความเป็นสีเขียวเข้มเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชจะมีมากที่สุดในช่วงใบเจริญเต็มที่ และจะลดลงเมื่อเข้าสู่ภาวะร่วงโรย (Lefsrud M Kopsell D Wenzel A Sheehan J, 2007) การเปลี่ยนแปลงสีของใบ จะมีความเกี่ยวพันกับการลดความเข้มข้นหรือปริมาณของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ภายในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ในระหว่างการแก่ คลอโรพลาสต์จะมีการเปลี่ยนรูป

ไปเป็นโครโมพลาสต์ (chromoplast) โดยจะเกิดการเปลี่ยน แปลงบนผนังชั้นในของคลอโรพลาสต์ และเกิดการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ที่ทำให้เกิดเป็นสีเหลืองถึงแดง การสูญเสียคลอโรฟิลล์อาจเกิดขึ้นจากการเพิ่มกิจกรรมการย่อยสลายโมเลกุลของเอ็นไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) (สังคม เตชะวงค์เสถียร, 2535)

ส่วนในใบเพสลาด พบว่า เป็นใบที่มีค่าความเป็นสีเหลืองของใบมากที่สุด อาจเนื่องมาจากใบในระยะนี้เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนสีจากสีแดงไปเป็นสีเขียว จึงทำให้ใบในระยะนี้มีความเป็นสีเหลืองมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าสีที่เกิดขึ้นในใบมะนาวโห่ ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณเม็ดสี โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ที่เป็นองค์ประกอบในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชจะมีมากที่สุดในช่วงใบเจริญเต็มที่ และจะลดลงเมื่อเข้าสู่ภาวะร่วงโรย (Lefsrud M Kopsell D Wenzel A Sheehan J, 2007) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าใบแก่มีสีเขียวเข้มกว่าใบเพสลาดและใบอ่อน (Lee J Hwang YS Kang IK Choung MG, 2015)

2) ปริมาณสารพฤกษเคมี

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ระยะพัฒนาการของใบทั้ง 4 ระยะ ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ใบเพสลาดเป็นใบที่มีปริมาณวิตามินซี และไตรเทอพีนมากที่สุด แต่ไม่ต่างกับใบเจริญเต็มที่ ส่วนใบเจริญเต็มที่เป็นใบที่มีผลผลิตเทอพีนอยด์มากที่สุด ในส่วนของผลผลิตไตรเทอพีน พบว่าใบอ่อนเป็นใบที่มีผลผลิตไตรเทอพีนมากที่สุด และยังพบว่าเมื่อมีระยะพัฒนาการเพิ่มมากขึ้นทำให้มีการสะสมสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารแอนโทไซยานินทั้งหมด และสารประกอบแทนนินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยในใบแก่เป็นระยะที่มีการสะสมสารพฤกษเคมีดังกล่าวนี้มากที่สุด เนื่องจากพืชที่มีการสะสมสารทุติยภูมิจึงทำให้มีการสร้างสารสำคัญต่างๆ อาจเป็นสารที่ใช้ในขบวนการป้องกันตัวจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ เช่น สารปฏิชีวนะ สารหอมระเหย หรือสารที่มีฤทธิ์ทางยา ดังนั้นในใบระยะนี้จึงมีการเก็บสะสมสารสำคัญมากที่สุด (จิตรลดา เหมรา, 2558) ลักษณะเช่นนี้พบได้ในการศึกษาระยะพัฒนาการของใบข้าวต่อปริมาณสารพฤกษเคมี พบว่า พัฒนาการของใบข้าวเหนียวในระยะแตกกอมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแกลลิกสูงที่สุดอยู่ในช่วง 3.67-4.89 mg GAE/100 g DW (Krasaetep J Nakornriab M Puangpronpitag D, 2011) และยังพบในการศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในใบอ่อน และใบแก่ของแบล็กเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ และสตรอว์เบอร์รี่ พบว่า ชนิดพืชและระยะของใบที่ต่างกันทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใบแก่มีปริมาณมากกว่าในใบอ่อน (Shiow YW and Lin HS, 2000) และในใบอ่อนยังพบว่ามีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับใบในระยะอื่น ลักษณะเช่นนี้พบในรายงานการศึกษาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในระยะพัฒนาการของใบผักเบี้ยใหญ่ พบว่า ในใบเจริญเต็มที่ของผักเบี้ยใหญ่มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 49.20 mg QE/100 g (Uddin K Juraimi AS Ali E Ismail MR, 2012) จะเห็นได้ว่าใบมะนาวโห่ในแต่ละระยะจะมีการสะสมสารชนิดต่างๆ ในปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน ซึ่งกลไกการสังเคราะห์สารต่างๆ เหล่านี้ จะต้องทำการศึกษาอย่างละเอียดต่อไป

3) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

การศึกษาในครั้งนี้ พบว่าระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกันทั้ง 4 ระยะ ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS DPPH และ FRAP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยในใบแก่เป็นใบที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS และ DPPH มากที่สุด 0 อีกทั้งในระยะแก่เป็นใบที่มีอายุมากกว่าในใบอื่น และเมื่อระยะพัฒนาการจากใบอ่อน จนมาถึงใบเจริญเต็มที่ ใบมะนาวโห่มีการเก็บสะสมสารต้านอนุมูลอิสระในรูปของ FRAP สูงที่สุด การที่ใบเจริญเต็มที่เป็นระยะที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ FRAP มากที่สุด อาจมาจากการที่ใบในระยะนี้เป็นระยะที่มีสารพฤกษเคมีสะสมอยู่ในปริมาณมากพอสมควร ซึ่งสารพฤกษเคมีเหล่านี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ จึงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ FRAP ได้มากกว่าใบในระยะอื่นๆ อีกทั้งในระยะใบเจริญเต็มที่ยังเป็นระยะที่ใบมีสารทุติยภูมิมากอีกระยะหนึ่งเช่นกัน ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารที่ได้จากกระบวนการชีวสังเคราะห์ เพื่อสร้างสารชนิดต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของพืช ได้แก่ สารพวกอัลคาลอยด์ ฟีนอลิก อะซีโทจีนิน และเทอร์พีนอยด์ (ประไพรัตน์ สีพลไกร, 2555) ลักษณะเช่นนี้สอดคล้องกับการศึกษาระยะพัฒนาการของใบข้าวต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า พัฒนาการของใบข้าวเหนียวในระยะแตกกอมีสารต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH สูงที่สุดที่ร้อยละ 4.16 (Krasaetep J Nakornriab M Puangpronpitag D, 2011) แต่ขัดแย้งการศึกษาของ (นิภาพร ยลสวัสดิ์ มณทินี ธีรารักษ์ จำรูญ เล้าสินวัฒนา, 2557) ที่ทำการศึกษาความสามารถในการจับโลหะจากส่วนยอด ใบอ่อน และใบแก่ของทุเรียน 10 สายพันธุ์ พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH ในใบอ่อนทุเรียนพันธุ์กบเจ้าคุณ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด รองลงมาคือใบแก่ทุเรียนพันธุ์กบเจ้าคุณ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 381.07 ppm และ 612.35 ppm ตามลำดับ ที่มีความขัดแย้งกันเช่นนี้ เนื่องจากพืชแต่ละชนิด มีการสร้างสารสำคัญต่างๆ แตกต่างกันออกไปในแต่ละระยะขึ้นที่ปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ พันธุกรรม พื้นที่การเจริญเติบโต และชนิดของพืช และยังขัดแย้งกับการศึกษาของ (Shiow YW and Lin HS, 2000) ที่ทำการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ FRAP และ ABTS ในระยะใบอ่อน และระยะใบแก่ของแบล็กเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ และสตรอว์เบอร์รี่ พบว่า ชนิดพืชและระยะของใบที่ต่างกันทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบในระยะใบอ่อนให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ FRAP และ ABTS มากที่สุด ที่มีความขัดแย้งกันเช่นนี้ เนื่องจากพืชแต่ละชนิด มีการสร้างและสะสมสารสำคัญ แตกต่างกันออกไปในแต่ละระยะ จึงทำให้สารสำคัญบางชนิดพบมากในใบระยะหนึ่ง และพบน้อยมากในใบอีกระยะหนึ่ง

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การศึกษาผลของความเค็ม 6 ระดับ คือ 0, 25, 50, 75, 100 และ 125 มิลลิโมล์ และระยะพัฒนาการของใบ 4 ระยะ ได้แก่ ใบอ่อน ใบเพสลาด ใบเจริญเต็มที่ และใบแก่ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบ สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 ต้นมะนาวโห่สามารถทนความเค็มได้ถึงความเข้มข้น 50 มิลลิโมล์ โดยต้นที่รอดชีวิตทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น คือ 0, 25 และ 50 มิลลิโมล์ มีระยะเวลาการเกิดยอดใหม่ และระยะพัฒนาการของใบทั้ง 4 ระยะของต้นมะนาวโห่ที่ได้รับสารละลายเกลือทั้ง 3 ระดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

5.1.2 ความเค็มมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของใบและค่า SCMR ลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาอื่นๆ ของใบ

5.1.3 ความเข้มข้นของเกลือสินเธาว์ที่ 25 มิลลิโมล์ เป็นระดับที่ส่งเสริมให้มีการสะสมสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด

5.1.4 ระยะพัฒนาการของใบส่งผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาใบ โดยใบเจริญเต็มที่เป็นใบที่มีขนาดใหญ่มากที่สุด ในขณะที่ใบแก่เป็นใบที่มีความเขียวของใบมากที่สุด

5.1.5 ระยะพัฒนาการของใบส่งผลต่อการสะสมปริมาณสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของใบ ใบอ่อนเป็นใบที่มีผลผลิตไตรเตอพีน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ DPPH มากที่สุด ใบเพสลาดเป็นใบที่มีปริมาณวิตามินซี และไตรเทอพีนมากที่สุด ใบเจริญเต็มที่เป็นใบที่มีผลผลิตเทอพีนอยด์มากที่สุด และใบแก่เป็นใบที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด สารแอนโธไซยานินทั้งหมด สารประกอบแทนนินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบ ABTS มากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของความเค็มและระยะพัฒนาการของใบต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารพฤกษเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในใบ มีข้อเสนอแนะเพื่อต่อยอดดังนี้

5.2.1 ควรทำการศึกษาถึงผลของความเค็มที่มีต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต

5.2.2 ควรทำการศึกษาถึงผลของความเค็มและระยะพัฒนาการของผลที่มีต่อการสะสมปริมาณสารพฤกษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

5.2.3 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเก็บผลผลิตของใบ ได้แก่ จำนวนครั้งที่เก็บเกี่ยว ปริมาณผลผลิตที่ได้ และศึกษาวิธีเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมในระยะเวลา 1 ปี

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมทรัพยากรธรณี. (2550). ดินเค็มในภาคอีสานกับปัจจัยทางธรณีวิทยา. Retrieved from http://www.dmr.go.th/ewt_news.php?nid=1094&filename=saline_soil.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2562). ดินเค็ม. Retrieved from http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical03001.pdf

กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. (2558). ฐานข้อมูลพรรณไม้ องค์การสวนพฤกษศาสตร์.

จำนงค์ อุดเต็น. (2553). *อิทธิพลของเกลือสินเธาว์ในการควบคุมวัชพืชต่อข้าวไร่และคุณสมบัติบางประการของดิน*. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

จิตรลดา เหมรา. (2558). สารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ. Retrieved from http://www.dss.go.th/images/st-article/bsp-4-2558-Natural.pdf

จิราภรณ์ กระแสเทพ, ม. น. (2559). *ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเมล็ดข้าวทับทิมชุมแพ.*

เจนจิรา จิรัมย์, ป. ส. (2554). *อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา*. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

เจนนี่ เจา, สายสุณีย์ ลิ้มชูวงศ์, สมเกียรติ พรพิมลสุทธิมาศ, ส. ล. (2553). ผลของความเครียดจากเกลือต่อปริมาณโพรลีนในแคลลัสสละ. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 1*(2), 103–107.

ณัฏฐ์สิริ ลักษณะอารีย์ มะลิวัลย์ หฤทัยธนาสันติ ยุทธนา บรรจง เอกพงษ์ ธนะวัติ. (2557). การคัดเลือกไม้โตเร็วทนเค็มด้วยวิธีการปลูกในสารละลายอาหาร. *วารสารวนศาสตร์, 33*(1), 11–17.

ณัฏฐินี อนันตโชค. (2554). มะนาวไม่รู้โห่. *จุลสารข้อมูลสมุนไพร*, *29*(1), 1–6.

ณัฐวุฒิ ไชยวุฒิ วีระพันธุ์ สรีดอกจันทร อรุณศิริ กำลัง แอนนา สายมณีรัตน์. (2553). การคัดเลือกสบู่ดำทนเค็มในระยะงอก. *การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน*, 247–255.

ธวัชชัย ลีหน้าน้อย ภูวดล โกมณเฑียร. (2557). พืชทนเค็มและพืชชอบเกลือบางชนิดที่พบในพื้นที่ดินเค็ม. *วารสารวิจัยเพื่อชุมชน*, *4*(2), 33–37.

นพดล หงส์สุวรรณ แคทรียา สุทธานุช ดวงกมล ศักดิ์เลิศสกุล. (2558). การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น คุณค่าทางโภชนาการ และฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของผลมะนาวไม่รู้โห่ (Carissa carandas L.). *วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน*, *11*(ฉบับพิเศษ), 7–13.

นิตจารีย์ อำคา. (2557). *การศึกษากายวิภาคศาสตร์ของพืชวงศ์ลีลาวดีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย.* มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *เคมีอาหาร* (พิมพ์ครั้ง). Retrieved from http://doc2.clib.psu.ac.th/public10/274424.pdf

นิภาพร ยลสวัสดิ์ มณฑินี ธีรารักษ์ จำรูญ เล้าสินวัฒนา. (2557). การประเมินความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ และการจับโลหะ และปริมาณฟินอลิคจากใบทุเรียน 10 พันธุ์. *แก่นเกษตร*, *42*(ฉบับพิเศษ 3), 88–93.

บุปผา โตภาคงาม. (2549). *ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

บุปผา โตภาคงาม อเนก โตภาคงาม เกษสุดา เดชภิมล และสถาพร ไพบูลย์ศักดิ์. (2535). การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินที่สัมพันธ์กับพืชที่เจริญเติบโตบนดินเค็ม. In คณะเกษตรศาสตร์ (Ed.), *รายงานการวิจัย ปี พ.ศ. 2535ประเภททุนอุดหนุนทั่วไป.* ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประไพรัตน์ สีพลไกร. (2555). สารอินโดลอัลคาลอยด์และฤทธิ์ทางชีวภาพของต้นพญาสัตบรรณ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, *14*(1), 54–65.

พรชัย ฝนทิพย์. (2559). ต้นพุทรา. Retrieved from http://manmna123.blogspot.com/2016/01/zizyiphus-mauritiana-lamk.html

ภัทราภรณ์ คันธภูมิ. (2548). *ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหาร ในต้นตออ่อน*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภานุวัฒน์ สีพันธ์ สกุลกานต์ สิมลา พัชรี สิริตระกูลศักดิ์ ชฎาพร เสนาคุณ. (2560). ระยะพัฒนาการต่อปริมาณสารพฤกษเคมีและความสามารถ ในการต้านอนุมูลอิสระในใบมะนาวโห่. *วารสารวิทยาศาสตร์แก่นเกษตร*, *45*(ฉบับพิเศษ1), 336–341.

มงคล ต๊ะอุ่น. (2548). *เทคนิคและการวิเคราะห์: ในห้องปฏิบัติการดิน พืช น้ำและปุ๋ย* (ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม, Ed.). ขอนแก่น: คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มานิตย์ อัญญะโพธิ์. (2552). *พฤกษศาสตร์*. มหาสารคาม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

รังสรรค์ อิ่มเอิบ. (2547). *การศึกษาวิเคราะห์แนวทางการจัดการดินเค็มในประเทศไทย*. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ลิลลี่ กาอีต๊ะ มาลี ณ นคร ศรีสม สุวรรณวงศ์ สุรียา ตันติวิวัฒน์ ณรงค์ วงศ์กันทรากร. (2556). *สรีรวิทยาของพืช*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วชิราภรณ์ ผิวล่อง สุรศักดิ์ สัจจบุตร ศิริลักษณ์ สิงห์เพชร จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ. (2556). อิทธิพลของระยะเวลาสุกต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของมะนาวโห่. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, *44*(ฉบับพิเศษ2), 337-340.

วันชัย วงษา. (2555). ดินเค็มและการปรับปรุงแก้ไข. วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2560). อฏ่น. Retrieved from https://th.wikipedia.org/wiki/

วิชิตพล มีแกว ณัฐพล ขันธปราบ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. (2553). การปรับตัวของพืชภายใต้ภาวะที่มีความเค็ม. *ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์*, *10*(2), 28–37.

สกุลกานต์ สิมลา. (2559). มะนาวโห่: พืชในวรรณคดีไทยมากมายด้วยประโยชน์. *วารสารแก่นเกษตร*, *44*(3), 557-566.

สกุลกานต์ สิมลา สุรศักดิ์ บุญแต่ง พัชรี สิริตระกูลศักดิ์. (2556). การประเมินปริมาณสารพฤกษเคมีบางประการและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระใน Carissa carandas L. *แก่นเกษตร*, *41* (ฉบับพิเศษ 1), 602-606.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. (2544). *สรีรวิทยาของพืช* (พิมพ์ครั้ง). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศรี อรุณินท์. (2539). *ดินเค็มในประเทศไทย*. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สังคม เตชะวงค์เสถียร. (2535). *การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวน*. ขอนแก่น: คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สิริมาส วงศ์สุบรรณ กฤษณา กฤษณพุกต์ ลพ ภวภูตานนท์. (2555). การใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ประเมินระดับคลอโรฟิลล์และไนโตรเจนในใบส้มโอ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *1*(3), 40–50.

สุดารัตน์ สกุลคู เมวิกา ชัยฤทธิ์. (2557). สารต้านอนุมูลอิสระในใบและดอกเม่าหลวงตัวผู้. *แก่นเกษตร.*, *42*(3(ฉบับพิเศษ)), 141-145.

สุมาลี ชูกำแพง. (2555). พืชในสภาวะเครียดเกลือ. *วารสารพฤกษศาสตร์ไทย*, *4*(1), 15–24.

สุรพล ฐิติธนากุล. (2547). *ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต พลังงานศักดิ์ของน้ำในใบ และการสะสมโซเดียม และคลอไรด์ในส่วนต่างๆ ของฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่ และพันธุ์ พจ.13-10.* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุริยันต์ ฉะอุ่ม กัลป์ยาณี สามิภักดิ์ เกรียงไกร โมสาลียานนท์ รื่นฤดี วนัสสกุล กัณยารัตน สุไพบูลย์ วัฒน เฉลิมพล เกิดมณี. (2542). ผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำในใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นยูคาลิปตัสในสภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 205-210. กรุงเทพมหานคร.

อธิภัทร เงินหมื่น. (2556). *ผลของความเค็มต่อลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของพืชทนเค็มบางชนิดที่พบภายในพื้นที่นากุ้งทิ้งร้าง.* มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อรุณี ยูวะนิยม. (2536). กลไกความทนเค็มของพืชชอบเกลือ. Retrieved from http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Research/Full_Research_pdf/Full_Research_gr03/R3903F002.pdf

Abdel-Hameed AA and Ali FS. (2015). Effect of Salt and Water Stresses on Jujube Trees under Ras Sudr Conditions. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, *8*(1), 92–107.

Agastian P Kingsley SJ Vivekanandan M. (2000). Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, *38*(2), 287-290.

Ahmed R Howlader MHK Shila A Haque MA. (2017). Effect of salinity on germination and early seedling growth of maize. *Progressive Agriculture*, *28*(1), 18–25.

Alirezanezhad A Mohammadi A and Mohammadi N. (2013). Effect of different levels of salinity on two seedless grape cultivars ‘Askari’ and ‘Yaghuti.’ *The International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *5*(6), 632–637.

AOAC. (2000). The Effect of Maize Grain Size on the Physicochemical Properties of Isolated Starch, Crude Maize Flour and Nixtamalized Maize Flours. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Gaithersburg: An academic.

Arunyanark A Jogloy S Vorasoot N Akkasaeng C Kesmala T and Patanothai A. (2009). Stability of relationship between chlorophyll density and soil plant analysis development chlorophyll meter readings in peanut across different drought stress conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, *8*(2), 102-110.

Bojovic B Delic G Topuzovic M and Stankovic M. (2010). Effects of NaCl on seed germination in some species from families Brassicaceae and Solanaceae. *Kragujevac Journal of Science*, *32*, 83-87.

Bybordi A. (2012). No TitleStudy effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. *Life Sci. J, 9*(4), 1092-1101.

Carpici EC Celik N and Bayram G. (2009). Effects of salt stress on germination of some maize (Zea mays L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, *8*(19), 4918-4922.

Cavalcante ÍHL Cavalcante LF Hu Y Beckmann-Cavalcante MZ. (2007). Water salinity and initial development of four guavas (Psidium guajava L.) cultivars in north-eastern Brazil. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, *15*, 71-80.

Cebeci E and Hanci F. (2015). The influences of different salinity levels on germination performance of golden berry, (Physalis peruviana L.)seed. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science (DRJAFS) Vol*, *3*(2), 26–29.

Chandy KT. (2014). Karonda, Fruit Production. In *Environment & Natural Resource Management (ENRM)*. Xavier Institute of Management.

da Silva A Fernandes P Gheyi H Blanco F. (2008). Growth and yield of guava irrigated with saline water and addition of farmyard manure, Rev. Bras. *Agrar. Recife*, *3*(4), 354–359.

Djibril S Mohamed OK Diaga D Diégane D Abaye BF Maurice S and Alain B. (2005). Growth and development of date palm (Phoenix dactylifera L. *African Journal of Biotechnology*, *4*(9), 968-972.

Fadon E Herrero M and Rodrigo J. (2015). Flower development in sweet cherry framed in the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, *192*, 141–147.

Falcinelli B Sileoni V Marconi O and Perretti G. (2017). Germination under moderate salinity increases pheonlic content and antioxidant activity in rapeseed (Brassica napus var okeifera Del.) sprouts. *Molecules*, *22*, 1-13.

Gardner FP Pearce RB and Mitchell RL. (1985). *Physiology of crop plant*. Iowa State University Press.

Gebauer J and Ebert G. (2005). Comparison of the salt tolerance of the two under-utilised fruit species, baobab (Adansonia digitata L.) and tamarind (Tamarindus indica L.). *Conference on International Agricultural Research for Development*, 1–4. Stuttgart-Hohenheim.

Giusti MM Wrolstad RE. (2001). Anthocyanins. Characterization and measurement with UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, *1*(2), 1–13.

Hanen F Ksouri R Megdiche W Trabelsi N Boulaaba M and Abdelly C. (2008). Effect of salinity on growth, leaf-phenolic content and antioxidant scavenging activity in Cynara cardunculus L. In: Abdelly C, Öztürk M, Ashraf M, Grignon C (eds) Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance. *Birkhäuser Basel*, 335–343. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8554-5_31

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

Hou WC Lin RD Cheng KT Hung YT Cho CH Chen CH Hwang SY Lee MH. (2003). Freeradicalscavenging activity of Taiwanese native plant. *Phytomedicine*, *10*(2–3), 170–175.

Ibrahim HIM. (2016). Tolerance of two pomegranates cultivars (Punica granatum L.) to salinity stress under hydroponic culture conditions. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, *6*(4), 38-46.

Karimi HR Hasanpour Z. (2014). Effects of salinity and water stress on growth and macro nutrients concentration of pomegranate (Punica granatum L.). *Journal of Plant Nutrition*, *37*, 1–15.

Ke Z-C Zhu Z-P Xu Z-Y Fang C Hu Shang. (2014). “Eriobotrya japonica (Thunb) Lindl” (Loquat) Leaf and Evaluation of their “In vitro” Antioxidant Activities. *Tropical Journal of Pharmaceutical*, *13*(5), 787–792.

Khodarahmpour Z Ifar M and Motamedi M. (2012). Effects of NaCl salinity on maize (Zea mays L.) at germination and early seedling stage. *African Journal of Biotechnology*, *11*(2), 298–304.

Krasaetep J Nakornriab M Puangpronpitag D. (2011). Antioxidant activity and total phenolic contents in leaf of some thai rice cultivars. *International Journal of Applied Chemistry, 7*(3), 285–296.

Kriengsak T Unaro JB Kevin C. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, *19*(6–7), 669–675.

Kubola J Siriamornpun S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai Gac (Momordica cochinchinensis Spreng). *Food Chemistry*, *127*, 1138-1145.

Kubola J Siriamornpun S Meeso N. (2011). Phytochemicals, vitamin C and sugar content of Thai wild fruits. *Food Chemistry*, *126*, 972–981.

Kumar S Gupta P Virupaksha GK. (2013). A Critical Review on Karamarda (Carissa carandas Linn.). *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives*, *4*(4), 637–642.

Lee J Hwang YS Kang IK Choung MG. (2015). Lipophilic pigments differentially to drying methods in tea (Camellia sinensis L.) leaves. . . *LWT-Food Science and Technology*, *61*(1), 201–208.

Lefsrud M Kopsell D Wenzel A Sheehan J. (2007). Changes in kale (Brassica oleracea L. var. acephala) carotenoid and chlorophyll pigment concentration during leaf ontogeny. *Scientia Horticulturae*, *112*(2), 136–141.

Lim JH Park KJ Kim BK Jeong JW Kim HJ. (2012). Effect of salinity stress on phenolic compounds and carotenoids in buckwheat (Fagopyrum esculentum M. *Food Chemistry*, *135*, 1065–1070.

Maghsoudi K and Arvin MJ. (2009). Response of seed germination and seedling growth of wheat (Triticum aestivum L.) cultivars to interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Ecophysiology*, *2*, 91–96.

Malik s.k. Ahmad M. Khan F. (2017). QUALTITATIVE AND QUANTITATIVE ESTIMATION OF TERPENOID CONTENTS IN SOME IMPORTANT PLANTS OF PUNJAB, PAKISTAN. *Pakistan Journal of Science*, *69*, 150–154.

Meloni Diego Ariel Gulotta Marta Rosalía Martínez Carlos Alberto Olival Marco Antonio. (2004). The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in Prosopis alba. *J. Plant Physiol*, *16*(1), 39–46.

Mirzeai A Naseri R Emami T and Jozeyan A. (2012). Effect of salinity on germination and seedling growth of bread wheat (Triticum aestivum L. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *4*(15), 1089-1091.

Mohammadkhani N Heidari R Abbaspour N Rahmani F. (2012). Growth responses and aquaporin expression in grape genotypes under salinity. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *2*(4), 497–507.

Morton J. (1987). Karanda. In: Dowling CF (ed) Fruits of warm climates. In *Miami JF Morton*. Winterville, N.C: Creative Resource Systems, Inc.

Mukadam SJ and Haldankar PM. (2013). Effect of paclobutrazol and post flowering foliar sprays of nutrients for accelerating harvesting of Karonda (Carissa carandas Linn.). *Journal of Plant Studies*, *2*(1), 145–151.

Munns R Cramer GR Ball MC. (1999). Interaction between Rising CO2 soil salinity and plant growth.In: Luo Y, Mooney HA (eds). In Physiological Ecology (Ed.), *Carbon Dioxide and Environmental stress*. Retrieved from https://doi.org/10.1016/B978-012460370-7/50006-1

Nemoto M. and S. Panchaban. (1987). The influence of grazing by water buffalo on halophytes. In Coastal and inland-affected soils in Thailand. *Nodai Research Institute, Tokyo University of Agriculture*, 280.

Prakash R Itankar SJ Lokhande PR Verma SK Arora RA Sahu AT. (2011). Antidiabetic potential of unripe Carissa carandas Linn. *Fruit Extract. Journal of Ethnopharmacology*, *135*, 430–433.

Rajaei H Yazdanpanah P. (2015). Buds and leaves in pomegranate (Punica grantum L.): phenology in relation to structure and devrlopment. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, *214*, 61–69.

Rezazadeh A Ghasemnezhad A. (2012). Effect of salinity on phenolic composition and antioxidant activity of artichoke (Cynara scolymus L.) leaves. *Research Journal of Medicinal Plant*, *6*(3), 245–252.

Ruan ZP Zhang LL Lin YM. (2008). Evaluation of the antioxidant activity of Syzygium cumini leaves. *Molecules*, *13*(10), 2545–2556.

Sadek YB Naiyyum C Mohammad S. (2013). Biological investigations of the leaf extracts of Carissa carandas L. *International Journal of Pharmacy Research & Technology*, *2*, 97–105.

Shahi C Vibhut Bargali K and Bargali SS. (2015). Influence of seed size and salt stress on seed germination and seedling growth of wheat (Triticum aestivum). *Indian Journal of Agricultural Sciences, 85*(2), 1134-1137.

Shiow YW and Lin HS. (2000). Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *Journal Agricultural of Food Chemistry*, *48*(2), 140–146.

Sumanta Nayek Haque Choudhury Imranu Jaishee Nishika and Roy Suprakash. (2014). Spectrophotometric Analysis of Chlorophylls and Carotenoids from Commonly Grown Fern Species by Using Various Extracting Solvents. *J. Chem. Sci.*, *4*(9), 63–69.

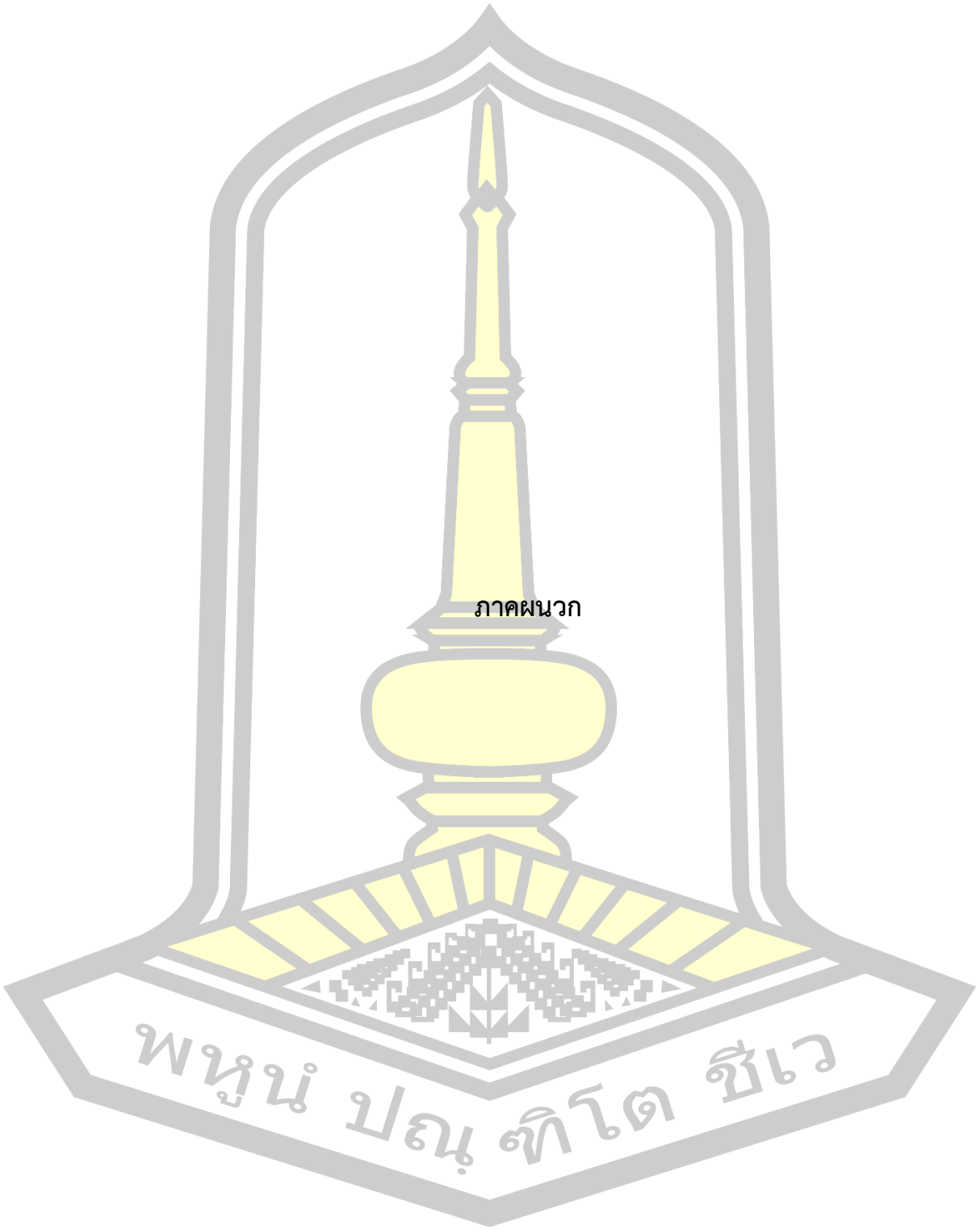
Tavousi Kaveh F Alizadeh. (2015). Effects of Drought and Salinity on Yield and Water Use Efficiency in Pomegranate Tree. *Journal of Materials and Environmental Science*, *6*(7), 1975–1980.

Tayyab Azeem M Qasim M and Ahmad R. (2016). Effect of sea salt irrigation on plant growth, yield potential and some biochemical attributes of Carissa carandas. *Pakistan Journal of Botany*, *3*, 853–859.

Tilbrook J Roy S. (2014). Salinity tolerance. In: Plant abiotic stress. *Jenks MA, Hasegawa PM (Eds), 2nd Edition, Jonh Wiley & Son*, 133–161.

Uddin K Juraimi AS Ali E Ismail MR. (2012). Evaluation of antioxidant properties and mineral composition of purslane (Portulaca oleracea L.) at different growth stages. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*, 10,257-10,267.

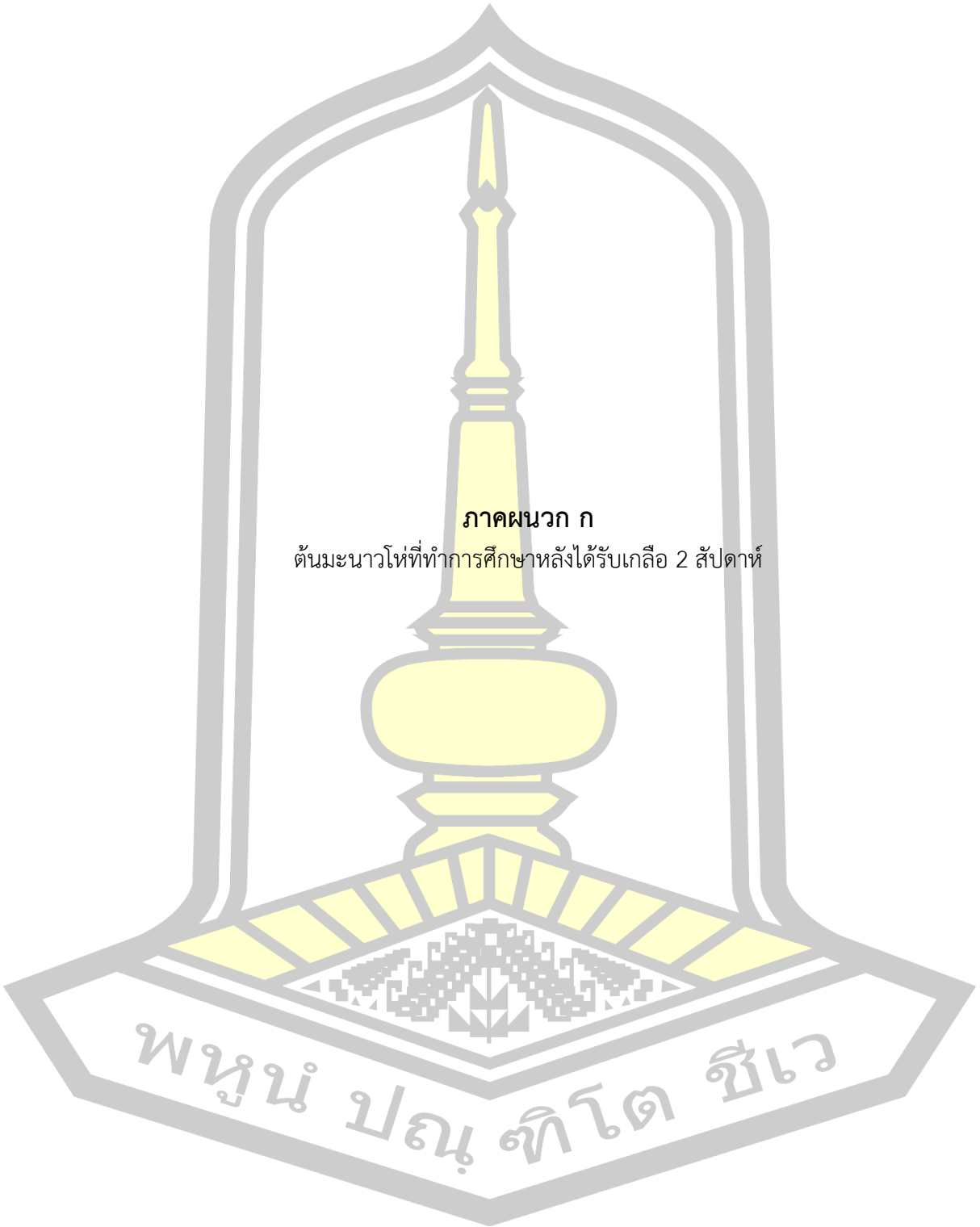
Yuvaniyama A. (1994). *Management of saline soils in the northeast of Thailand*. Tokyo University of Agriculture.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ต้นมะนาวโห่ที่ทำการศึกษาหลังได้รับเกลือ 2 สัปดาห์



25 mM

125 mM

100 mM

25 mM

125 mM

100 mM

75 mM

50 mM

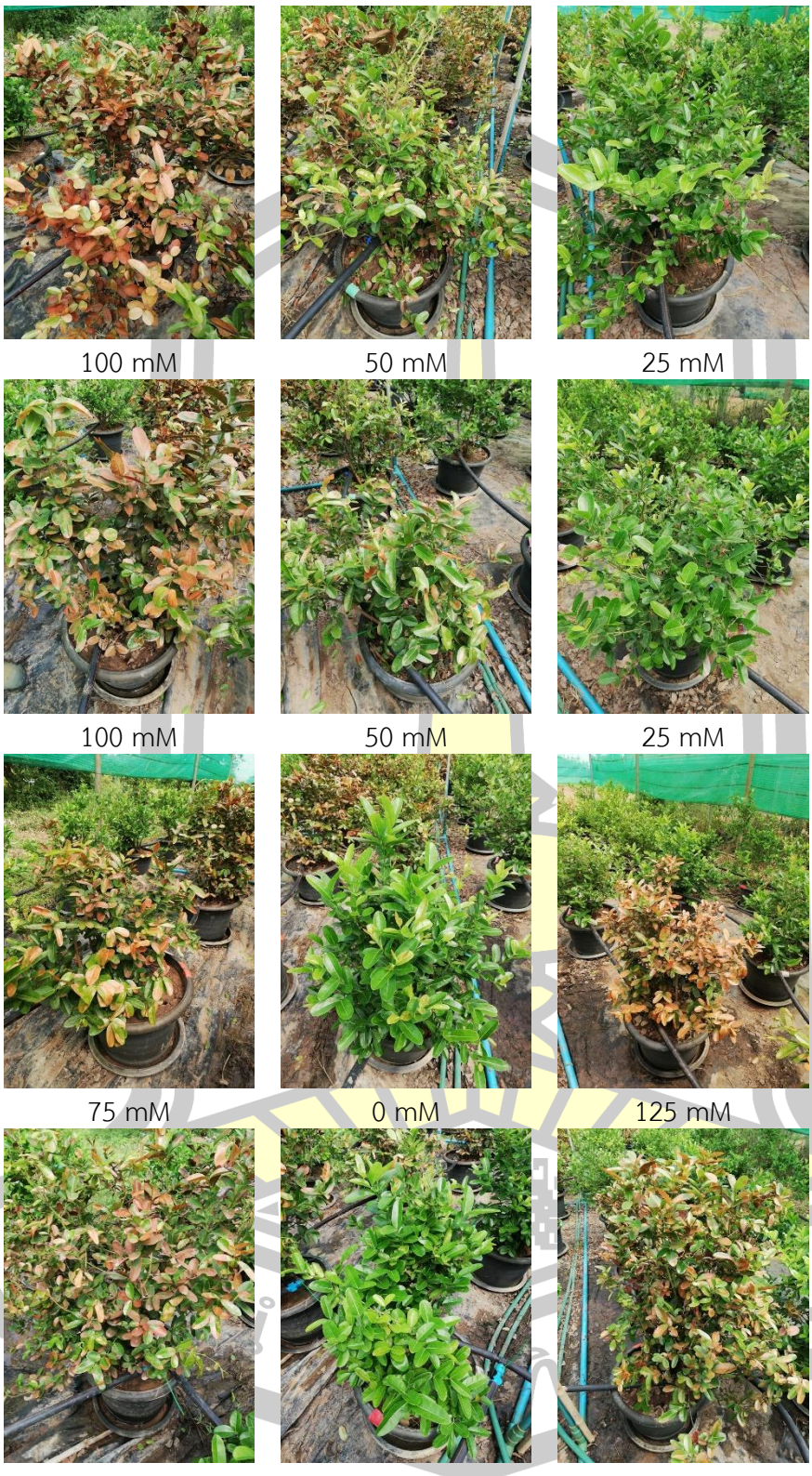
0 mM

75 mM

50 mM

0 mM

ภาพประกอบภาคผนวก 1 ต้นมะนาวโห่ในซ้ำที่ ที่ได้รับความเค็ม 6 ระดับ นาน 2 สัปดาห์



ภาพประกอบภาคผนวก 2 ต้นมะนาวโห่ในซ้ำที่ 2 ที่ได้รับความเค็ม 6 ระดับ นาน 2 สัปดาห์

25 mM 100 mM 125 mM

25 mM 100 mM 125 mM

75 mM 0 mM 50 mM

75 mM 0 mM 50 mM

ภาพประกอบภาคผนวก 3 ต้นมะนาวโห่ในซ้ำที่ 3 ที่ได้รับความเค็ม 6 ระดับ นาน 2 สัปดาห์

100 mM 50 mM 75 mM

100 mM 50 mM 75 mM

0 mM 125 mM 25 mM

0 mM 125 mM 25 mM

ภาพประกอบภาคผนวก 4 ต้นมะนาวโห่ในซ้ำที่ 4 ที่ได้รับความเค็ม 6 ระดับ นาน 2 สัปดาห์

ความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 0 mM

ความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 25 mM

ความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 50 mM

ความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 75 mM

ความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 100 mM

ความเข้มข้นเกลือสินเธาว์ 125 mM

ภาพประกอบภาคผนวก 5 ใบมะนาวโห่ที่ได้รับความเค็ม 6 ระดับ นาน 2 สัปดาห์

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวสุพัตรา สารแสน
วันเกิด	วันพุธที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2524
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 136 หมู่ 5 ตำบลกู่ทอง อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม 44160
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักงานเกษตรอำเภอเชียงยืน กรมส่งเสริมการเกษตร
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2538 มัธยมศึกษาปีที่ 3 (ม.3) โรงเรียนเชียงยืน อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2542 มัธยมศึกษาปีที่ 6 (ม.6) โรงเรียนเชียงยืน อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2546 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก พ.ศ. 2562 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบันฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนานิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2562 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณรายได้ ประจำปี 2562 ประเภทนิสิตระดับปริญญาโท คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว