



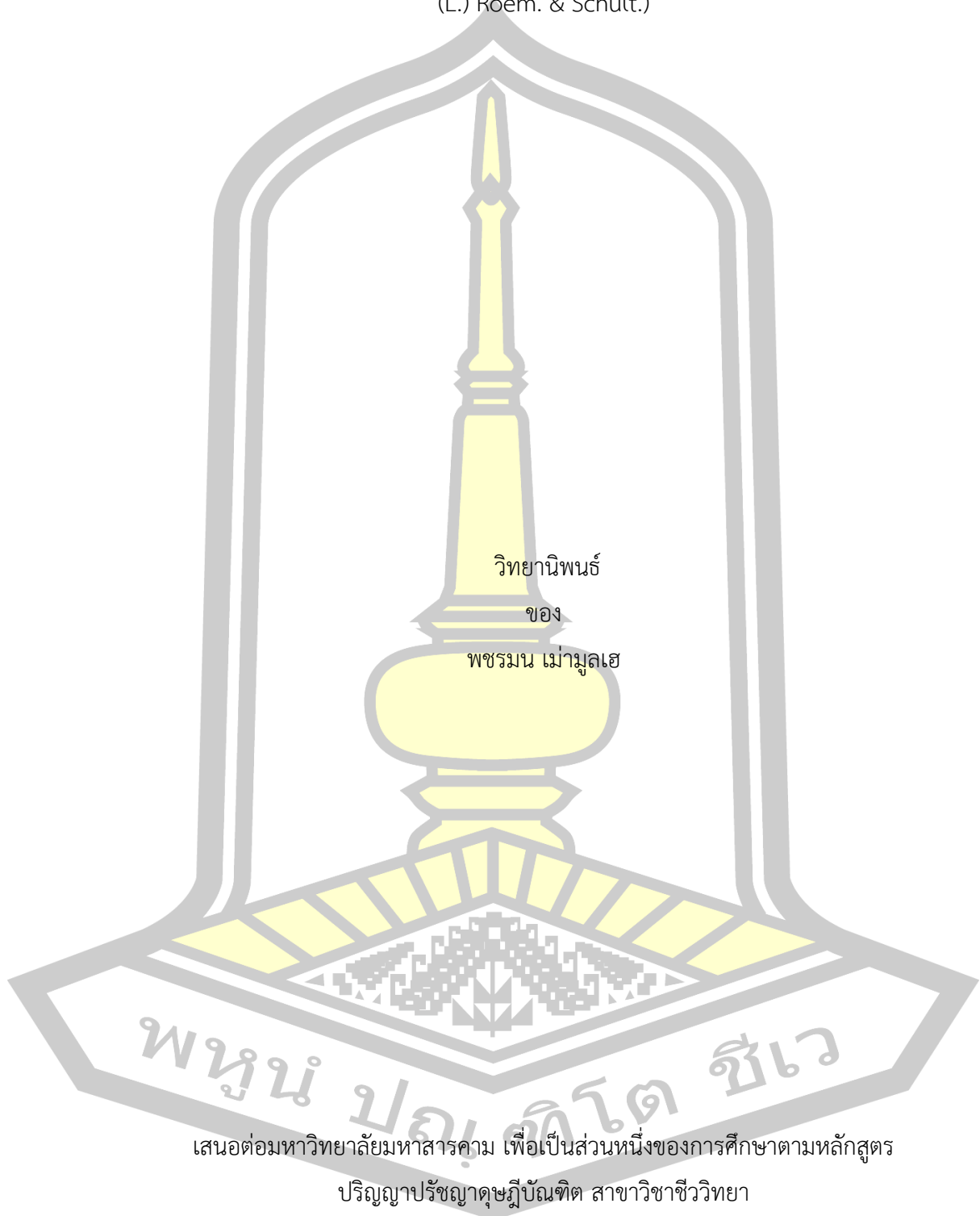
การบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวัน (*Eleocharis geniculata*  
(L.) Roem. & Schult.)

วิทยานิพนธ์  
ของ  
พชรมน แม่มูลเฮ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา  
มกราคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

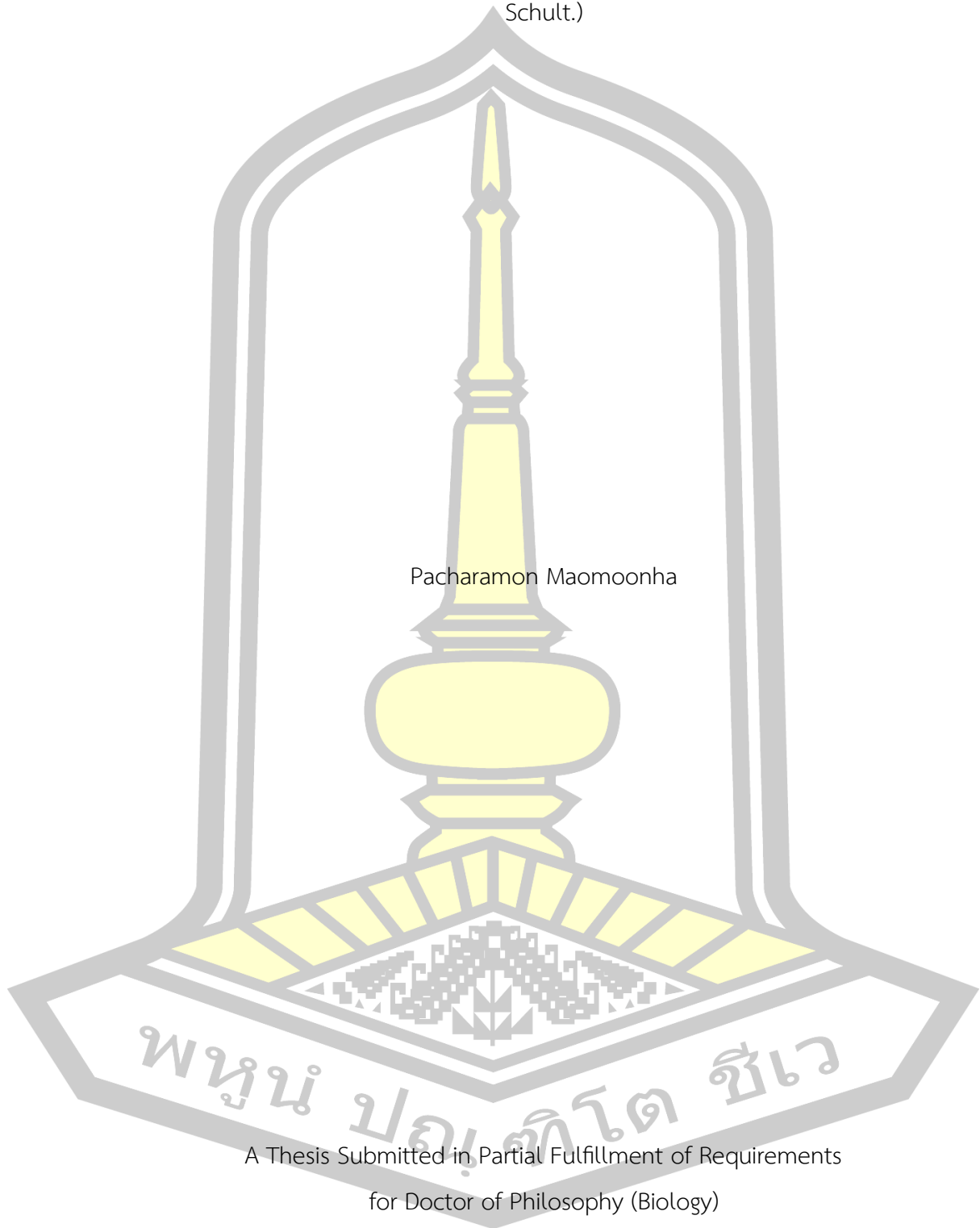
การบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน (*Eleocharis geniculata*  
(L.) Roem. & Schult.)



วิทยานิพนธ์  
ของ  
พชรมน เมามูลเฮ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา  
มกราคม 2568  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Groundwater Salinity Treatment by Spikesedge(*Eleocharis geniculata* (L.) Roem. & Schult.)



Pacharamon Maomoonha

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements  
for Doctor of Philosophy (Biology)

January 2025

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวพรรณน เม่ามูลเฮ  
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา  
ชีววิทยา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. ศิรินุช ลอยหา )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. ปิยนุช คະណะมา )

กรรมการ

(ผศ. ดร. กมลหทัย แวงวาสิต )

กรรมการ

(รศ. ดร. ขนิษฐา สมตระกูล )

กรรมการ

(ผศ. ดร. พักพล มุ่งลือ )

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(ศ. ดร. ไพโรจน์ ประมวล )

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

พหุบัณฑิต ชีวะ

ชื่อเรื่อง	การบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน ( <i>Eleocharis geniculata</i> (L.) Roem. & Schult.)		
ผู้วิจัย	พชรมน เม่ามูลเฮ		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยนุช คະណະมา		
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต	สาขาวิชา	ชีววิทยา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2568

### บทคัดย่อ

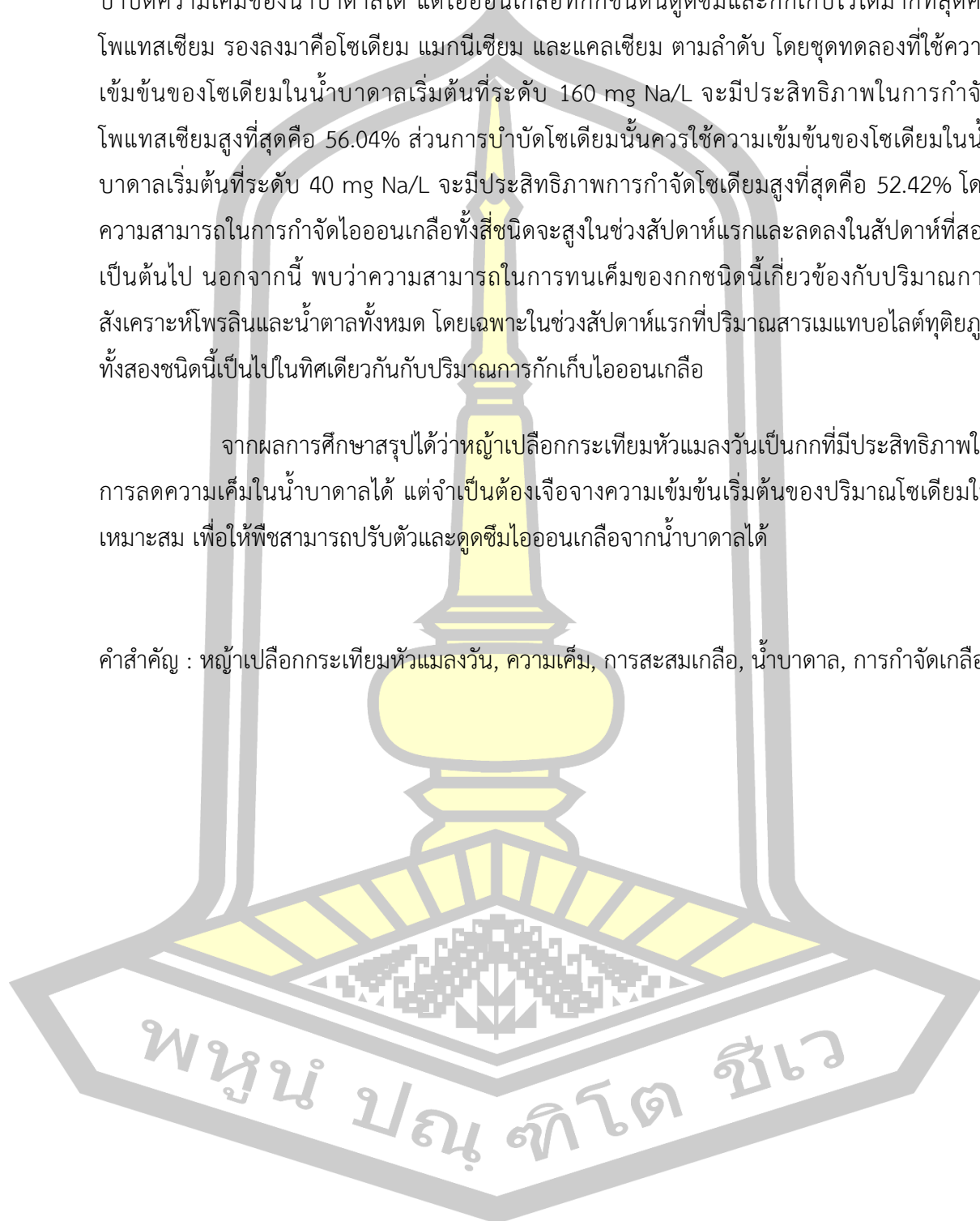
เนื่องจากในปัจจุบันมีกิจกรรมเปิดหน้าดินที่ทำให้ดินและน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีค่าความเค็มเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะน้ำบาดาลซึ่งในบางพื้นที่ได้รับผลกระทบจากการละลายใต้ของเกลือใต้ดินกระทั่งทำให้คุณภาพของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากค่ามาตรฐานการอุปโภคบริโภค วิธีการใช้พืชบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีต้นทุนต่ำ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ “หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน (*Eleocharis geniculata*)” ซึ่งเป็นกกที่พบการเจริญเติบโตในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งเป็นพื้นที่ต้มเกลือสินเธาว์ตั้งแต่ในอดีต งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน โดยตอนที่ 1 เพื่อวิเคราะห์นิเวศวิทยาและการเจริญเติบโตของกกชนิดนี้ในสภาพธรรมชาติ โดยเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ และแบ่งจุดเก็บออกเป็น 11 จุด เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างดินและพืชไปตรวจวิเคราะห์สมบัติดินและปริมาณการกักเก็บไอออนเกลือในพืช รวมถึงบันทึกวัฏจักรชีวิตต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ปี (2564 – 2566) และการทดลองตอนที่ 2 เพื่อประเมินศักยภาพของกกชนิดนี้ในการลดความเค็มของน้ำบาดาลผ่านระบบไฮโดรโปนิคส์ โดยแบ่งชุดทดลอง 5 ชุด ตามความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำบาดาลที่แตกต่างกัน 5 ระดับ (0, 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L) และทดสอบเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยในแต่ละสัปดาห์ได้สุ่มตัวอย่างน้ำและดินมาวิเคราะห์ปริมาณไอออนเกลือที่พืชกักเก็บไว้ ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนเกลือ และสารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในรูปโพรงลินและน้ำตาลทั้งหมด

ผลการศึกษาในตอนที่ 1 พบว่าหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีวัฏจักรชีวิตอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงมีนาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนที่ความเค็มของดินลดลง ความเค็มของดินที่พบการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงไม่เค็มจนกระทั่งถึงเค็มปานกลาง ค่า pH ของดินเป็นกรดอ่อนจนถึงเบสอ่อน ดินร่วนปนทราย และในสภาพธรรมชาติหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันสามารถกักเก็บโซเดียมไว้ในลำต้นได้มากที่สุด รองลงมาคือแคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม (233.79, 61.46, 30.91 และ

6.35 mg/Kg ตามลำดับ) ผลการศึกษาในตอนที 2 พบว่าหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันสามารถบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลได้ แต่ไอออนเกลือที่กษณนี้ดูดซึมและกักเก็บไว้ได้มากที่สุดคือโพแทสเซียม รองลงมาคือโซเดียม แมกนีเซียม และแคลเซียม ตามลำดับ โดยชุดทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำบาดาลเริ่มต้นที่ระดับ 160 mg Na/L จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโพแทสเซียมสูงที่สุดคือ 56.04% ส่วนการบำบัดโซเดียมนั้นควรใช้ความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำบาดาลเริ่มต้นที่ระดับ 40 mg Na/L จะมีประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมสูงที่สุดคือ 52.42% โดยความสามารถในการกำจัดไอออนเกลือทั้งสี่ชนิดจะสูงในช่วงสัปดาห์แรกและลดลงในสัปดาห์ที่สองเป็นต้นไป นอกจากนี้ พบว่าความสามารถในการทนเค็มของกษณนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณการสังเคราะห์โปรตีนและน้ำตาลทั้งหมด โดยเฉพาะในช่วงสัปดาห์แรกที่ปริมาณสารเมแทบอลิต์ทุติยภูมิทั้งสองชนิดนี้เป็นไปในทิศเดียวกันกับปริมาณการกักเก็บไอออนเกลือ

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันเป็นกษณที่มีประสิทธิภาพในการลดความเค็มในน้ำบาดาลได้ แต่จำเป็นต้องเฝ้าจางความเข้มข้นเริ่มต้นของปริมาณโซเดียมให้เหมาะสม เพื่อให้พืชสามารถปรับตัวและดูดซึมไอออนเกลือจากน้ำบาดาลได้

คำสำคัญ : หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน, ความเค็ม, การสะสมเกลือ, น้ำบาดาล, การกำจัดเกลือ



<b>TITLE</b>	Groundwater Salinity Treatment by Spikesedge( <i>Eleocharis geniculata</i> (L.) Roem. & Schult.)		
<b>AUTHOR</b>	Pacharamon Maamoonha		
<b>ADVISORS</b>	Associate Professor Piyanut Khanema , Ph.D.		
<b>DEGREE</b>	Doctor of Philosophy	<b>MAJOR</b>	Biology
<b>UNIVERSITY</b>	Maharakham University	<b>YEAR</b>	2025

### ABSTRACT

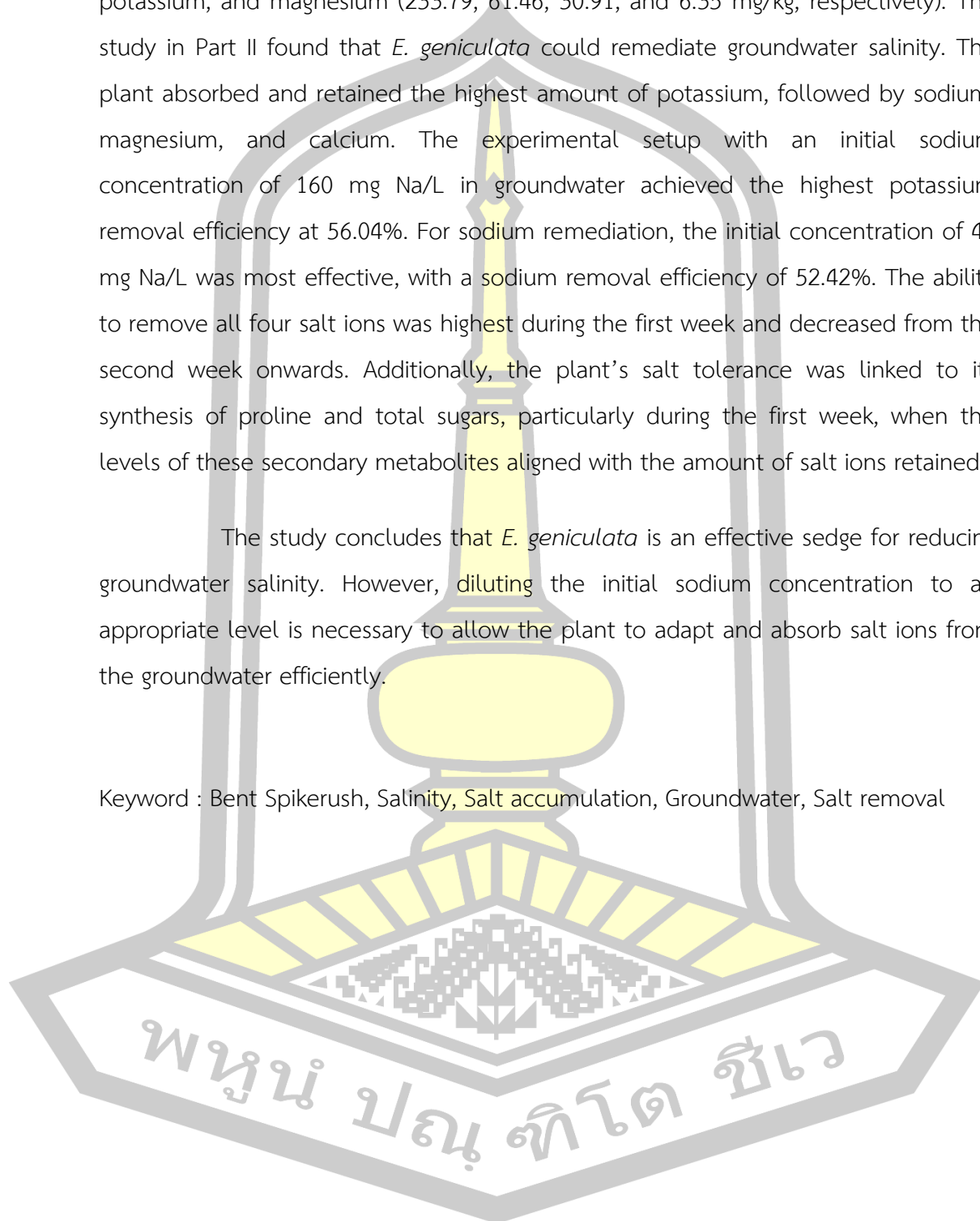
Land excavation activities have increased soil and water salinity levels in northeastern Thailand, particularly in groundwater. In some areas, the dissolution of underground salt has altered water quality beyond the standard for consumption. Phytodesalination presents an environmentally friendly and low-cost solution. This research focuses on *Eleocharis geniculata*, a sedge species growing in saline soils in Khlong Kham Sub-district, Yang Talat District, Kalasin Province, an area historically associated with rock salt production. The study was divided into two parts. Part I analyzed the ecology and growth of this sedge in its natural environment. The study area was the saline soil zone of Khlong Kham Sub-district, with samples collected from 11 sites to analyze soil properties and salt ion accumulation in plants. The plant's life cycle was recorded over three years (2021–2023). Part II evaluated the potential of the sedge to reduce groundwater salinity using a hydroponic system. Five experimental groups were established with different sodium concentrations in groundwater (0, 40, 80, 120, and 160 mg Na/L) over four weeks. Weekly, water and soil samples were analyzed for salt ion accumulation in plants, salt ion removal efficiency, and secondary metabolites, including proline and total sugars.

The study in Part I found that the life cycle of *E. geniculata* occurs from July to March, corresponding to the rainy season when soil salinity decreases. The plant thrives in non-saline to moderately saline soils, with soil pH varying from slightly acidic to slightly basic and sandy loam soil. In its natural habitat, *E. geniculata*

accumulated the highest amount of sodium in its stems, followed by calcium, potassium, and magnesium (233.79, 61.46, 30.91, and 6.35 mg/kg, respectively). The study in Part II found that *E. geniculata* could remediate groundwater salinity. The plant absorbed and retained the highest amount of potassium, followed by sodium, magnesium, and calcium. The experimental setup with an initial sodium concentration of 160 mg Na/L in groundwater achieved the highest potassium removal efficiency at 56.04%. For sodium remediation, the initial concentration of 40 mg Na/L was most effective, with a sodium removal efficiency of 52.42%. The ability to remove all four salt ions was highest during the first week and decreased from the second week onwards. Additionally, the plant's salt tolerance was linked to its synthesis of proline and total sugars, particularly during the first week, when the levels of these secondary metabolites aligned with the amount of salt ions retained.

The study concludes that *E. geniculata* is an effective sedge for reducing groundwater salinity. However, diluting the initial sodium concentration to an appropriate level is necessary to allow the plant to adapt and absorb salt ions from the groundwater efficiently.

Keyword : Bent Spikerush, Salinity, Salt accumulation, Groundwater, Salt removal



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและคำแนะนำจากรองศาสตราจารย์ ดร. ปิยนุช คะณเฆมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนวทางแก้ไขและปรับปรุง และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยในการทำวิทยานิพนธ์เสมอมากราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่เอื้อเพื่อสถานที่และ สนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบข้อบกพร่องของเล่มวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกทางด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจ เข้าใจและสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย) ที่ให้ทุนการศึกษา

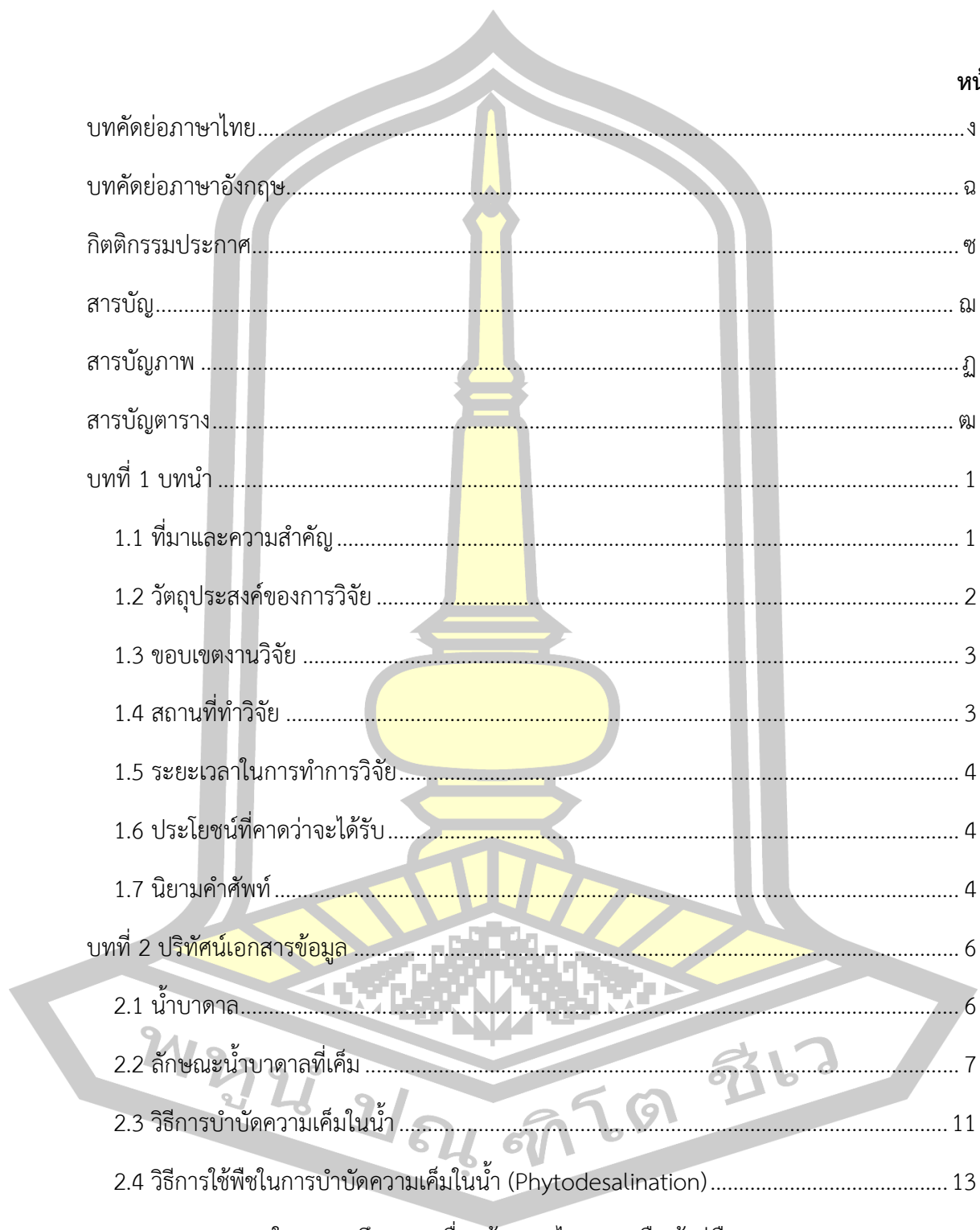
สุดท้ายนี้ขอขอบคุณน้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่าง และสนับสนุนในการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

พชรมน เม่ามูลเฮ

พูน ปณ ทิโต ชีเว

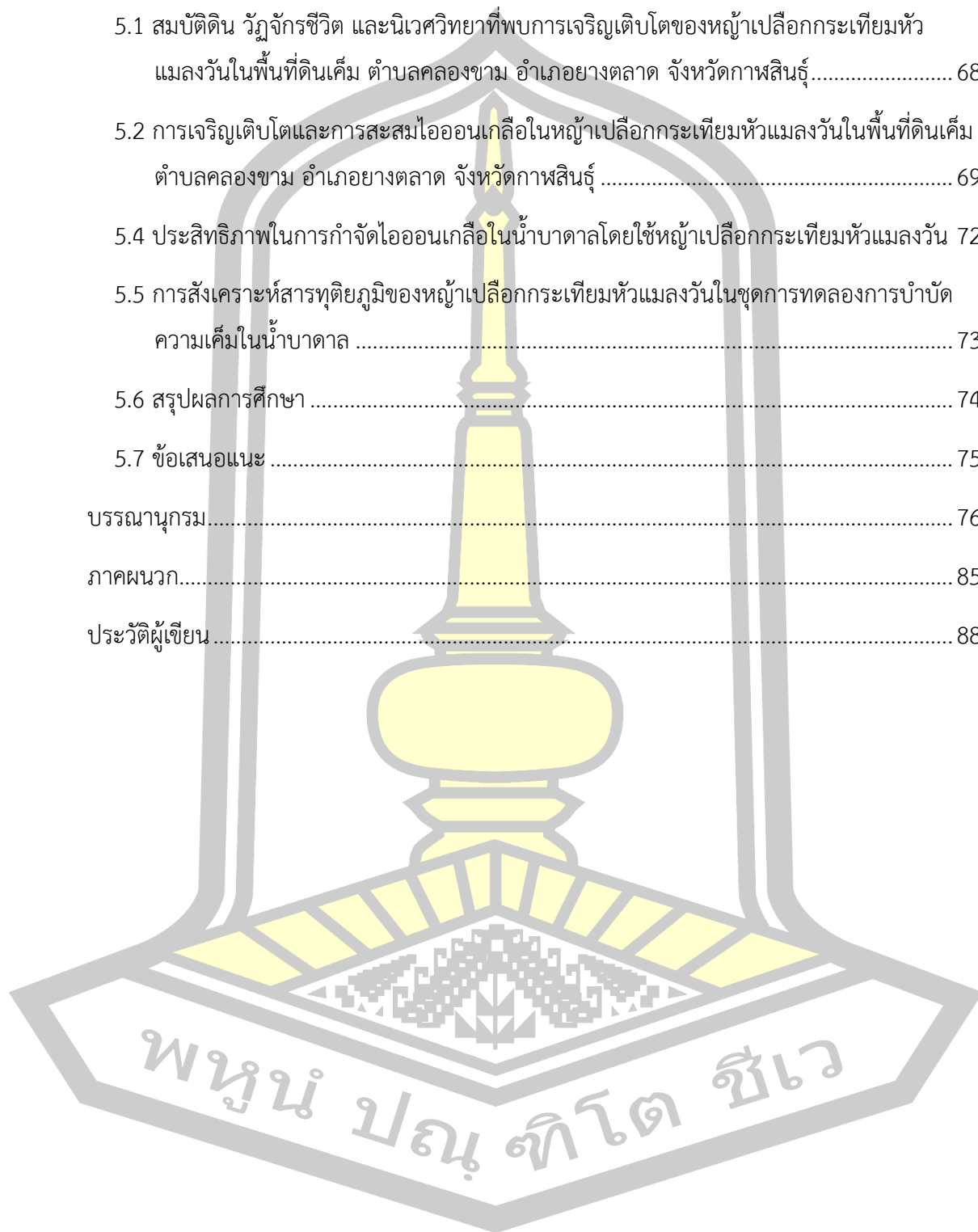
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ต
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 สถานที่ทำวิจัย.....	3
1.5 ระยะเวลาในการทำการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 นิยามคำศัพท์.....	4
บทที่ 2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล.....	6
2.1 น้ำบาดาล.....	6
2.2 ลักษณะน้ำบาดาลที่เค็ม.....	7
2.3 วิธีการบำบัดความเค็มในน้ำ.....	11
2.4 วิธีการใช้พืชในการบำบัดความเค็มในน้ำ (Phytodesalination).....	13
2.5 ความสามารถในการดูดซึมและเคลื่อนย้ายของไอออนเกลือเข้าสู่พืช.....	14
2.6 ผลกระทบความเค็มต่อพืช.....	15



2.7 กลไกการปรับตัวของพืชในการบำบัดน้ำเค็ม .....	16
2.8 หญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวัน ( <i>Eleocharis geniculata</i> (L.) Roem. & Schult.).....	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	23
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	23
3.2 วิธีการดำเนินงาน.....	24
3.2.1 ภาคสนาม.....	24
3.2.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	30
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	35
4.1 การทดลองในภาคสนาม.....	35
4.1.1 สมบัติดินที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม..	35
4.1.2 วัฏจักรชีวิตและนิเวศวิทยาของหญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม.....	38
4.1.3 การเจริญเติบโตของหญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม .....	40
4.1.4 ปริมาณการสะสมไอออนเกลือของหญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ..	42
4.1.5 การคัดเลือกจุดเก็บตัวอย่างเพื่อนำตัวอย่างพืชไปใช้ในการบำบัดความเค็มของน้ำบาดาล.....	45
4.2 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	46
4.2.1 การเจริญเติบโตของหญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวันในน้ำบาดาล.....	46
4.2.2 ปริมาณการสะสมไอออนเกลือของหญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวันในน้ำบาดาล .....	48
4.2.3 ความสามารถในการลดความเค็มในน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวัน.....	53
4.2.4 การสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิของหญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวันในน้ำบาดาลที่ระดับความเค็มที่แตกต่างกัน .....	56
4.2.5 วิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิ.....	58

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา.....	68
5.1 สมบัติดิน วัฏจักรชีวิต และนิเวศวิทยาที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัว แมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์.....	68
5.2 การเจริญเติบโตและการสะสมไอออนเกลือในหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์.....	69
5.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนเกลือในน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน	72
5.5 การสังเคราะห์สารทุติยภูมิของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในชุดการทดลองการบำบัด ความเค็มในน้ำบาดาล .....	73
5.6 สรุปผลการศึกษา .....	74
5.7 ข้อเสนอแนะ .....	75
บรรณานุกรม.....	76
ภาคผนวก.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	88



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 แผนที่ทรัพยากรแร่จังหวัดกาฬสินธุ์.....	9
ภาพที่ 2.2 แผนที่ศักยภาพน้ำบาดาล จังหวัดกาฬสินธุ์ .....	10
ภาพที่ 2.3 วิธีการลดเกลือในน้ำ .....	11
ภาพที่ 2.4 กระบวนการบำบัดความเค็มโดยใช้พืช .....	13
ภาพที่ 2.5 กลไกการนำโซเดียมเข้าสู่รากของพืช.....	15
ภาพที่ 2.6 ผลกระทบของความเค็มต่อพืช).....	16
ภาพที่ 2.7 กลไกการตอบสนองต่อความเครียดเค็มของพืช .....	17
ภาพที่ 3.1 ลักษณะพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างพื้นที่นาข้าว (A) พื้นที่ทุ่งหญ้า (B).....	25
ภาพที่ 3.2 พิกัดทางภูมิศาสตร์ของสถานที่เก็บตัวอย่างในอำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย .....	25
ภาพที่ 3.3 การเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน ( <i>E. geniculata</i> ) ในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยพบคราบเกลือล้อมรอบโคนต้น .....	29
ภาพที่ 3.4 การเพาะเลี้ยงต้นกล้าของพืช .....	32
ภาพที่ 3.5 การจัดวางกระถางชุดทดลองแบบบล็อกแบบสุ่ม (A) ลักษณะตัวอย่างพืชที่อยู่ในช่วงทดสอบความเค็ม (B).....	32
ภาพที่ 4.1 วัฏจักรชีวิตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม.....	38
ภาพที่ 4.2 ช่วงระยะเวลาที่พบระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม (พ.ศ. 2564 -2566).....	39
ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงนิเวศวิทยาของพื้นที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในช่วงปี พ.ศ. 2564 ถึง 2566 ที่ในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายนคือพื้นที่ในช่วงหน้าน้ำหลาก (A) ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์คือพื้นที่ที่พบพืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่ (B) และตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายนคือพื้นที่เข้าสู่ในช่วงระยะพักเมล็ดของพืช (C) .....	39

**ภาพที่ 4.4** การเจริญเติบโตของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ความยาวของรากและความสูงของลำต้น (A) อัตราส่วนระหว่างความสูงของลำต้นต่อความยาวราก (B) (n=3), mean ± S.D. a, b... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ )..... 41

**ภาพที่ 4.5** ปริมาณการสะสมไอออนเกลือในส่วนต่าง ๆ (ราก ลำต้น และช่อดอก) ของหญ้าปลือก 43

**ภาพที่ 4.6** ปริมาณโซเดียมในดิน และปริมาณการสะสมโซเดียมในหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในแต่ละพื้นที่จุดเก็บ ณ พื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยเรียงตามลำดับปริมาณโซเดียมจากน้อยไปมาก ..... 45

**ภาพที่ 4.7** การเจริญเติบโตของลำต้นของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0, 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยความยาวของรากและความสูงของลำต้น (A) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของราก (B) และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของลำต้นส่วนบน (n=3), mean ± S.D. <sup>a, b</sup>... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ ) และ <sup>A, B</sup>.... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม ( $p < 0.05$ )..... 47

**ภาพที่ 4.8** ปริมาณการสะสมไอออนเกลือของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้บำบัดน้ำบาดาลในระดับความเค็มที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โพแทสเซียม (A) โซเดียม (B) แคลเซียม (C) และแมกนีเซียม (D) K/Na (E) (n=3), mean ± S.D. <sup>a, b</sup>... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ ) และ <sup>A, B</sup>.... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม ( $p < 0.05$ )..... 49

**ภาพที่ 4.9** ค่า Bioaccumulation factor และค่า Translocation factor ของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้บำบัดน้ำบาดาลในระดับความเค็มที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โพแทสเซียม (A) โซเดียม (B) แคลเซียม (C) และแมกนีเซียม (D) (n=3), mean ± S.D..... 52

**ภาพที่ 4.10** ประสิทธิภาพการกำจัดเกลือในน้ำบาดาลในระดับความเค็มที่แตกต่างกัน โดยใช้หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โพแทสเซียม (A) โซเดียม (B) แคลเซียม (C) และแมกนีเซียม (D) (n=3), mean ± S.D..... 54

**ภาพที่ 4.11** การสะสมปริมาณโพสสินในส่วนของ ราก ลำต้น และช่อดอก ของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ได้รับการบำบัดเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (n=3), mean ± S.D. <sup>a, b</sup>... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ ) และ <sup>A, B</sup>.... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม ( $p < 0.05$ )..... 56

- ภาพที่ 4.12** การสะสมปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในส่วนของ ราก ลำต้น และช่อดอก ของหญ้าเปลือก กระเทียมหัวแมลงวันที่ได้รับการบำบัดเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์  $n=3$ ,  $\text{mean} \pm \text{S.D.}^{a,b}$  ... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p<0.05$ ) และ  $A,B,\dots$  ... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม ( $p<0.05$ )..... 57
- ภาพที่ 4.13** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลหลายตัวแปรระหว่างการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0 mg Na/L มีค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่สูง (0.82-0.98) เมื่อใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA (PC1 = 45.66% และ PC2 = 32.33%)..... 59
- ภาพที่ 4.14** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลหลายตัวแปรระหว่างการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L มีค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่สูง (0.90 - 1.00) เมื่อใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA (PC1 = 51.34 และ PC2 = 36.75%)..... 61
- ภาพที่ 4.15** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลหลายตัวแปรระหว่างการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 80 mg Na/L มีค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่สูง (0.81 - 0.97) เมื่อใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA (PC1 = 61.82% และ PC2 = 22.51%)..... 63
- ภาพที่ 4.16** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลหลายตัวแปรระหว่างการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 120 mg Na/L มีค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่สูง (0.82 - 0.95) เมื่อใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA (PC1 = 48.64% และ PC2 = 25.34%) ..... 65
- ภาพที่ 4.17** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลหลายตัวแปรระหว่างการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 160 mg Na/L มีค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่สูง (0.82-0.99) เมื่อใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA (PC1 = 63.65% และ PC2 = 23.46%)..... 67

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทของน้ำตามระดับความเค็ม .....	8
ตารางที่ 3.1 พิกัดจุดเก็บตัวอย่างดินและพืชในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์.....	26
ตารางที่ 4.1 ปริมาณขนาดอนุภาคดินและชนิดเนื้อดินที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน 11 จุดเก็บตัวอย่าง ในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์..	36
ตารางที่ 4.2 สมบัติดินทางเคมีบางประการที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ .....	37
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์หองค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0 mg Na/L โดยการใช้การวิเคราะห์หองค์ประกอบแบบ PCA.....	58
ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์หองค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L โดยการใช้การวิเคราะห์หองค์ประกอบแบบ PCA.....	60
ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์หองค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 80 mg Na/L โดยการใช้การวิเคราะห์หองค์ประกอบแบบ PCA.....	62
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์หองค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 120 mg Na/L โดยการใช้การวิเคราะห์หองค์ประกอบแบบ PCA.....	64
ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์หองค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 160 mg Na/L โดยการใช้การวิเคราะห์หองค์ประกอบแบบ PCA.....	66

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ความเค็มของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยถือว่าเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันของประชากร ทั้งนี้ประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความจำเป็นต้องใช้แหล่งน้ำเพื่อการเกษตรถึง 4,680 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี (90.73%) รองลงมาเพื่อการอุปโภคบริโภค 386 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี (8.24 %) และเพื่ออุตสาหกรรม 48 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี (1.03%) ตามลำดับ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2562) ซึ่งภาคตะวันออกเฉียงเหนือถือว่าเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มในบริเวณที่ลุ่ม โดยในอดีตมีรายงานว่ามีพื้นที่ได้รับผลกระทบจากดินเค็มอยู่ประมาณ 17% ของพื้นที่ทั้งหมด (Arunin, 1984) นอกจากนี้ ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบการกระจายอยู่ตามบริเวณที่ลุ่ม โดยมีการปรากฏของคราบเกลือเป็นหย่อม ๆ ซึ่งความเค็มของดินจะมีความแตกต่างกันไปตลอดทั้งพื้นที่ไม่มีความสม่ำเสมอ และในบางพื้นที่รอยต่อระหว่างเนินดินกับนาข้าวจะพบคราบเกลือ โดยอาจเกิดจากการไหลของน้ำใต้ดินที่เป็นน้ำเค็มตามความลาดชัน (Saline seep) ของเนินดิน เมื่อน้ำเค็มใต้ดินปรากฏในบริเวณดังกล่าว น้ำจะถูกระเหยและทิ้งเกลือไว้เป็นคราบเกลือสีขาวบนผิวดิน (Sinanuwong and Takaya, 1974) หรือการมีน้ำเค็มใต้ดินอยู่ในระดับตื้นและเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวดิน เมื่อเกิดการระเหยของน้ำบนผิวดินแล้วทำให้เกิดเป็นคราบเกลือ (Freeze and Cherry, 1979) เช่นเดียวกันกับบริเวณตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ จากการสำรวจพื้นที่เบื้องต้น บริเวณดังกล่าวมีการเกิดคราบเกลือรวมถึงมีกิจกรรมการตัมเกลือสินเธาว์ของชาวบ้าน และมีการขุดเจาะน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรและอุปโภคบริโภคแต่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากน้ำบาดาลมีความเค็มสูง

การบำบัดความเค็มในน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เรซินแบบกรดแก่ชนิดที่มีโซเดียมเป็นไอออนอิสระในการแลกเปลี่ยนกับแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนในน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำเกิดความกระด้าง การกลั่นแบบแฟลชหลายขั้นตอน (Multi-stage flash distillation; MSF) กระบวนการกลั่นแบบหลายชั้น (Multi-effect distillation; MED) และกระบวนการกรองโดยใช้เยื่อ (Membrane-based processes) ยกตัวอย่าง เช่น ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis; RO) และนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration; NF) เป็นต้น (Al-Karaghoul and Kazmerski 2013; Ghaffour *et al.* 2013) โดยวิธีการลดความเค็มในน้ำเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีอื่นเพื่อช่วยในการลดระดับความเค็มของน้ำบาดาลเพื่อให้เกษตรกรสามารถนำ

น้ำบาดาลไปใช้ประโยชน์ได้ โดยการนำพืชที่มีความสามารถในการทนเค็มและสามารถดูดซึมเกลือเพื่อช่วยในการบำบัดความเค็ม ซึ่งเรียกรวมกันว่า Phytodesalination โดยพืชที่นำมาใช้ในการบำบัดต้องมีความสามารถในการสะสมโซเดียมและคลอไรด์จากดินหรือน้ำมาไว้ในส่วนของลำต้นเหนือดิน และสามารถอยู่รอดในสภาพที่มีไอออนเกลือสูงได้ (Shekhawat *et al.*, 2006) ซึ่งวิธีการใช้พืชในการบำบัดความเค็มดังกล่าวนี้ถือว่าเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถลดค่าใช้จ่ายได้

หญ้าเปลือกรกระเทียมหัวแมลงวัน (*Eleocharis geniculata* (L.) Roem. & Schum.) เป็นพืชที่มีการกระจายพันธุ์ในเขตร้อน พบได้ในหลายประเทศในทวีปเอเชียรวมถึงประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ (Lunkai and Strong, 2010 ; Simpson and Koyama, 1998) พืชชนิดนี้ถือว่าเป็นพืชที่มีความสามารถในการทนเค็มได้ระดับหนึ่ง (Medina, 2016) และยังสามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีธาตุอาหารต่ำ นอกจากนี้ มีการรายงานพืชที่อยู่ในสกุลเดียวกันที่มีความสามารถในการทนเค็มได้ในระดับความเค็มต่าง ๆ ได้แก่ *Eleocharis palustris* และ *Eleocharis uniglumis* (Levinsh, 2023) นอกจากนี้มีงานวิจัยที่มีการนำหญ้าเปลือกรกระเทียมหัวแมลงวันไปใช้ในการบำบัดโลหะต่าง ๆ โดยหญ้าเปลือกรกระเทียมหัวแมลงวันมีความสามารถในการสะสมโลหะในปริมาณสูง เช่น ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn), สารหนู (As) และตะกั่ว (Pb) ซึ่งพืชชนิดนี้สามารถสะสมทองแดงได้ถึง 20200 mg/Kg และสะสมสังกะสีในส่วนของลำต้นส่วนบนได้ถึง 14200 mg/Kg (Sakakibara, 2011)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำหญ้าเปลือกรกระเทียมหัวแมลงวันที่มีการเจริญเติบโตในพื้นที่ดินเค็มมาเป็นพืชในกระบวนการ Phytodesalination เพื่อบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลที่ได้รับผลการทบทวนจากเกลือชนิดต่าง ๆ ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาศักยภาพของหญ้าเปลือกรกระเทียมหัวแมลงวันในการลดความเค็มของน้ำบาดาล เพื่อใช้ต่อยอดและเป็นประโยชน์ต่อไปภายในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. เพื่อตรวจสอบสมบัติดินและวัฏจักรชีวิตของหญ้าเปลือกรกระเทียมหัวแมลงวันที่พบการเจริญเติบโตในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์

1.2.2. เพื่อตรวจวัดศักยภาพในการลดความเค็มของน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปลือกรกระเทียมหัวแมลงวัน

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

#### 1.3.1 ตอนที่ 1 ศึกษาในภาคสนาม

1.3.1.1 พื้นที่ใช้ศึกษาสมบัติดิน การเจริญเติบโตวัฏจักรชีวิต นิเวศวิทยา และความสามารถในการสะสมเกลือของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน ในตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์

3.1.2 ไอออนเกลือที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ โพแทสเซียม ( $K^+$ ) โซเดียม ( $Na^+$ ) แคลเซียม ( $Ca^{2+}$ ) และแมกนีเซียม ( $Mg^{2+}$ )

#### 1.3.2 ตอนที่ 2 ศึกษาในห้องปฏิบัติการ

1.3.2.1 น้ำบาดาลที่นำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการเก็บตัวอย่างจากตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์

1.3.2.2 ระดับความเค็มที่ใช้ในการทดสอบการบำบัดในระบบไฮโดรโพนิคส์ โดยพิจารณาความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำบาดาลให้อยู่ในระดับ 0, 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L

1.3.2.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบศักยภาพในการลดความเค็มของน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันใช้ระยะเวลา 4 สัปดาห์

1.3.2.4 สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิ (Secondary metabolites) ที่ศึกษาในหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ผ่านการบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลในระดับความที่แตกต่างกันได้แก่ ปริมาณโพรลีนและน้ำตาลทั้งหมด

### 1.4 สถานที่ทำวิจัย

ห้องปฏิบัติการภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม และพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์

พูนุ ปณุกิตโต ชีวะ

### 1.5 ระยะเวลาในการทำการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน วิจัย	ปี 2563-2567						
	ม.ค. 63- มิ.ย. 63	ก.ค. 63- ธ.ค. 63	ม.ค. 64- มิ.ย. 64	ก.ค. 65- ธ.ค. 65	ม.ค. 66- มิ.ย. 66	ก.ค. 66 - ธ.ค. 66	ม.ค. 67- ต.ค. 67
ศึกษาข้อมูล รวบรวมเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง							
เก็บตัวอย่าง และทดลองใน ห้องปฏิบัติการ							
สรุปและวิเคราะห์ผลการ ทดลอง							
เขียนต้นฉบับเพื่อส่งตีพิมพ์							
จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับ สมบูรณ์							

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติดิน วัฏจักรชีวิต และนิเวศวิทยาของหญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์

1.6.2 ทราบข้อมูลความสามารถในการสะสมเกลือของหญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์

1.6.3 ทราบข้อมูลศักยภาพของหญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวันในการลดความเค็มของน้ำบาดาล

### 1.7 นิยามคำศัพท์

1.7.1 น้ำบาดาล หมายถึงน้ำใต้ดินที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ ซึ่งจะกำหนดความลึกไม่น้อยกว่า 10 m

1.7.2 พื้นที่ดินเค็ม หมายถึงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเกลือที่ละลายได้ในสารละลายดินปริมาณมากจนมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช มีค่าการนำไฟฟ้าของสารสกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำมากกว่า 2 dS/m ที่อุณหภูมิ 25 °C

1.7.3 นาข้าว (Paddy field) หมายถึงพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นที่โล่ง และมีกิจกรรมทำการเกษตรปลูกข้าว

1.7.4 พื้นที่ทุ่งหญ้า (Grassland) หมายถึงพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นที่โล่ง แต่ไม่สามารถทำการเกษตรได้แต่จะมีพืชอื่น ๆ เจริญเติบโตแทน เช่น หนวดปลาชุก หญ้าซีกลาก เป็นต้น

1.7.5 พืชปีเดียว (Annual plant) หมายถึงพืชที่มีการเจริญเติบโตจนครบวัฏจักรชีวิตและมีระยะการพักตัวของเมล็ดภายในปีเดียว

1.7.6 Bioaccumulation Factor หมายถึงศักยภาพในการสะสมไอออนเกลือในหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน

1.7.7 Translocation Factor หมายถึงศักยภาพในการเคลื่อนย้ายไอออนเกลือของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันจากรากสู่ลำต้นส่วนบน

1.7.8 Secondary metabolite หมายถึงสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิที่หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันสังเคราะห์ขึ้นเพื่อบรรเทาการเครียดเค็ม



## บทที่ 2

### ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

การศึกษาการบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน นี้ได้มีการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับความหมายของน้ำบาดาล ลักษณะของน้ำบาดาลที่เค็ม วิธีการบำบัดความเค็มในน้ำ วิธีการใช้พืชในการบำบัดความเค็มในน้ำ ความสามารถในการดูดซึมและการเคลื่อนย้ายไอออนเกลือเข้าสู่พืช ผลกระทบความเค็มต่อพืช กลไกการปรับตัวของพืชในการบำบัดน้ำเค็ม ลักษณะของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำบาดาล

น้ำบาดาล หมายถึง น้ำที่เป็นกลุ่มย่อยของน้ำใต้ดินที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ ซึ่งจะกำหนดความลึกไม่น้อยกว่า 10 m ตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาลในปี พ.ศ. 2520 ซึ่งน้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้อย่างแพร่หลายและมีความสำคัญเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดินขนาดใหญ่เพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภค ชลประทาน ด้วยการสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำเริ่มมีข้อจำกัดในเรื่องของสถานที่และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์, 2546) ซึ่งข้อดีและข้อเสียของน้ำบาดาลเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผิวดิน มีดังนี้

1. น้ำบาดาลมักจะปราศจากจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นพาหะนำเชื้อโรคต่าง ๆ เนื่องจากน้ำบาดาลจะไหลซึมตามช่องว่างของชั้นดินและหิน ทำให้เกิดกระบวนการกรองตามธรรมชาติ (Natural filtration) และเมื่อดตะกอนดินจะช่วยดูดซับจุลินทรีย์ไว้
2. อุณหภูมิของน้ำบาดาลมักจะคงที่ เนื่องจากน้ำบาดาลจะถูกกักเก็บไว้ในช่องว่างของหิน ซึ่งอยู่ลึกลงไปจากผิวดิน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนผิวดินจะไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิของน้ำบาดาล ในขณะที่น้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำและลำธารจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำได้ง่าย
3. ความขุ่นและสีน้ำของน้ำบาดาลจะม่น้อยมากหรือไม่มี เนื่องจากโดยกระบวนการกรองตามธรรมชาติช่วยให้น้ำบาดาลมีความใส เพราะไม่มีตะกอนในขณะที่น้ำผิวดินจะมีความขุ่นด้วยตะกอนที่ปะปนอยู่ และแปรเปลี่ยนได้ง่าย ซึ่งสีของน้ำผิวดินอาจมาจากสารเคมีที่ได้จากพืชบางชนิดที่น้ำไหลผ่าน
4. คุณสมบัติและส่วนประกอบทางเคมีมักจะคงที่ น้ำบาดาลที่กักเก็บอยู่ใต้ผิวดินมีโอกาสถูกปนเปื้อนน้อยกว่าน้ำผิวดิน
5. ปริมาณของน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บไว้ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งมักจะมากกว่าปริมาณน้ำผิวดินในบริเวณนั้น ๆ เมื่อพิจารณาปริมาณของช่องว่างที่น้ำบาดาลกักเก็บอยู่ในชั้นหินที่อยู่ลึกลงไป ซึ่ง

อาจลึกลงไปถึงหลายร้อยเมตร ทำให้ปริมาณของน้ำบาดาลที่กักเก็บอยู่ในบริเวณนั้น ๆ จะมากกว่าปริมาณของน้ำผิวดินตามแม่น้ำลำธารต่าง ๆ

6. แหล่งน้ำบาดาลจะเป็นแหล่งที่ทำให้สกปรกได้ยากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งเปิดโอกาสให้สารปนเปื้อนต่าง ๆ เข้าถึงได้โดยตรง ในขณะที่สารปนเปื้อนจะต้องไหลซึมผ่านชั้นดินชั้นหินลงไปก่อนที่จะถึงระดับชั้นน้ำบาดาล สารปนเปื้อนจึงถูกกระบวนการกรองตามธรรมชาติช่วยกั้นกรองออกไปจำนวนหนึ่ง

7. แหล่งน้ำบาดาลมักจะมีหรือพบได้ในบริเวณที่อาจจะไม่มีน้ำผิวดินเลย เนื่องจากน้ำบาดาลเกิดจากน้ำฝนที่ซึมผ่านชั้นดินชั้นหินลงไปกักเก็บอยู่ในช่องว่างต่าง ๆ ใต้ผิวดิน และในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ในอดีตกาลอาจมีสภาพภูมิอากาศที่เปียกชื้น มีฝนต่อเนื่อง เมื่อเวลาผ่านไปสภาพภูมิอากาศของพื้นที่นั้นอาจเปลี่ยนแปลงไปเป็นสภาพภูมิอากาศที่แห้งแล้ง ทำให้ไม่มีกระทั่งน้ำผิวดินที่กักเก็บอยู่ หรือมีก็เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ที่ฝนตกลงมา อาทิภูมิภาคแบบทะเลทรายหรือกึ่งทะเลทราย ซึ่งใต้ผิวดินลงไปมีโอกาสพบน้ำบาดาลที่เกิดจากน้ำฝนอดีตกาลซึมลงไปกักเก็บอยู่ในปริมาณที่มากพอ เพื่อนำขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้บริเวณใด ๆ ที่ปัจจุบันอาจดูแห้งแล้งไม่มีน้ำผิวดิน แต่ใต้ดินลงไปมีโอกาสที่จะพบน้ำบาดาลกักเก็บอยู่

## 2.2 ลักษณะน้ำบาดาลที่เค็ม

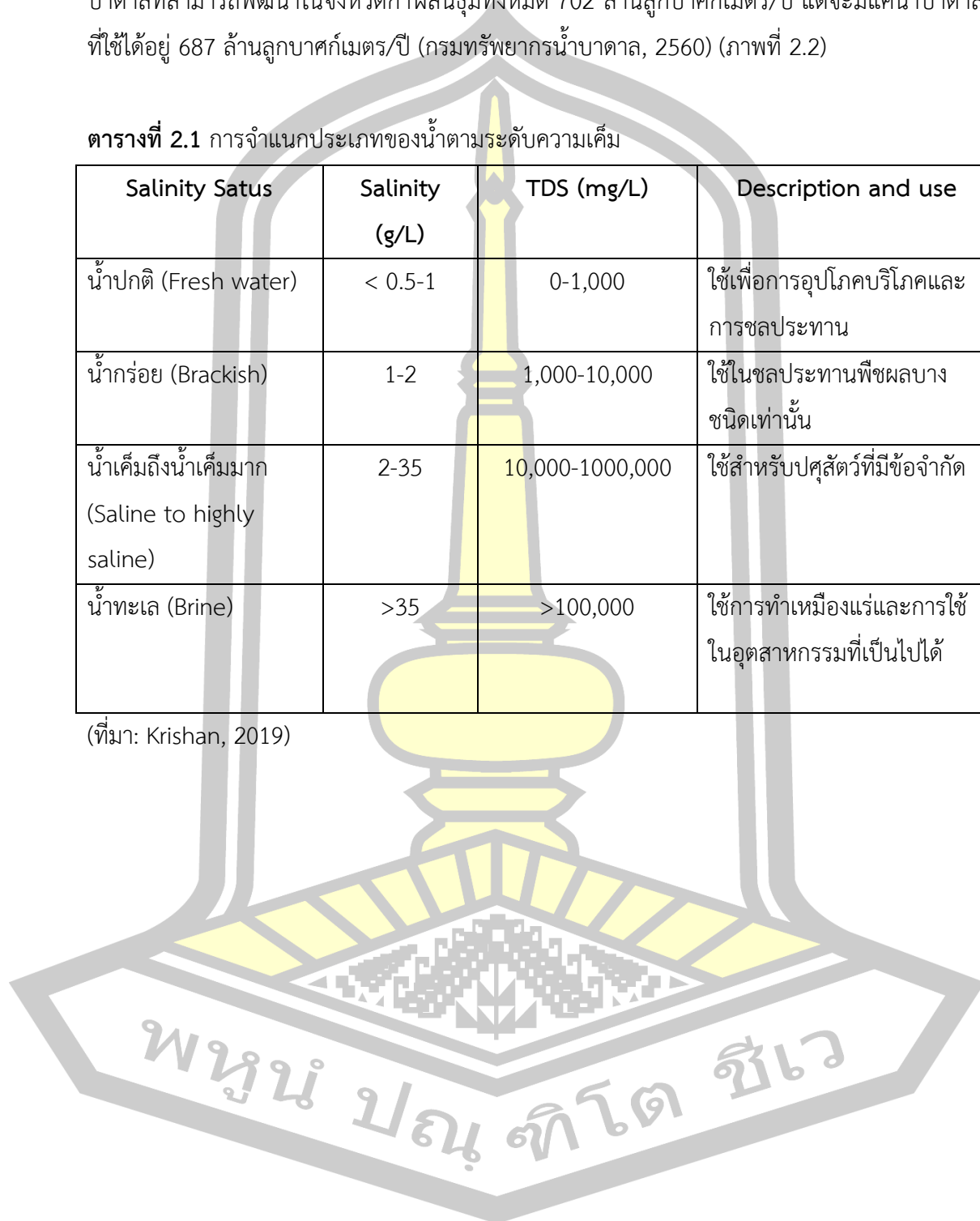
ความเค็มที่มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลสามารถแบ่งความเค็มที่เกิดขึ้นได้ในน้ำเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (1) ความเค็มตามธรรมชาติ ที่เกิดจากการละลายของแร่ธาตุ เช่น ฮาไลต์ แอนไฮไดรต์ คาร์บอเนต ยิปซัม เกลือฟลูออไรด์ และเกลือซัลเฟต จากชั้นหินแข็งหรือการสะสมของเกลือจากฝนที่สะสมมาเป็นเวลานาน (2) ความเค็มบนพื้นดินที่เกิดจากการที่ระดับน้ำเค็มสูงขึ้นทำให้เกลือขึ้นมาที่ผิวดิน หรือการกำจัดพืชพรรณส่งผลทำให้เกลือสะสมในชั้นดินและในน้ำใต้ดินซึมลงใต้ดินเมื่อฝนตกหนัก และระเหยขึ้นเมื่อพื้นที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง และ (3) ความเค็มในระดับตติยภูมิ เกิดจากการใช้น้ำในชลประทานที่ผิดวิธีทำให้มีการสะสมเกลือ เมื่อเวลาผ่านไปเกลือที่สะสมเหล่านี้จะซึมลงสู่ น้ำใต้ดินพร้อมกับน้ำฝน (Krishan, 2019) และสามารถจำแนกตามชนิดของน้ำตามสถานะของความเค็มได้เป็น 4 สถานะ (ตารางที่ 2.1) ทั้งนี้ น้ำบาดาลในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ได้รับผลกระทบจากพื้นที่ดินเค็ม โดยภายใต้ดินจะประกอบไปด้วยโดมเกลือและแร้โพแทสเซียม จึงทำให้บริเวณดังกล่าวมีการปรากฏของคราบเกลือและดินได้รับผลกระทบจากความเค็ม (ภาพที่ 2.1) (กรมทรัพยากรธรณี, 2552) ทั้งนี้พื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์มีพื้นที่ดินเค็ม 265 ไร่ คิดเป็น 0.1% ของพื้นที่จังหวัด โดยลักษณะเนื้อดินชั้นบนเป็นดินร่วนปนทราย บางแห่งเป็นดินร่วน ดินมีความเป็กรวดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย เนื้อดินชั้นล่างเป็นดินทรายปนดินร่วน ดินมีความเป็นกรดปานกลางถึงต่าง

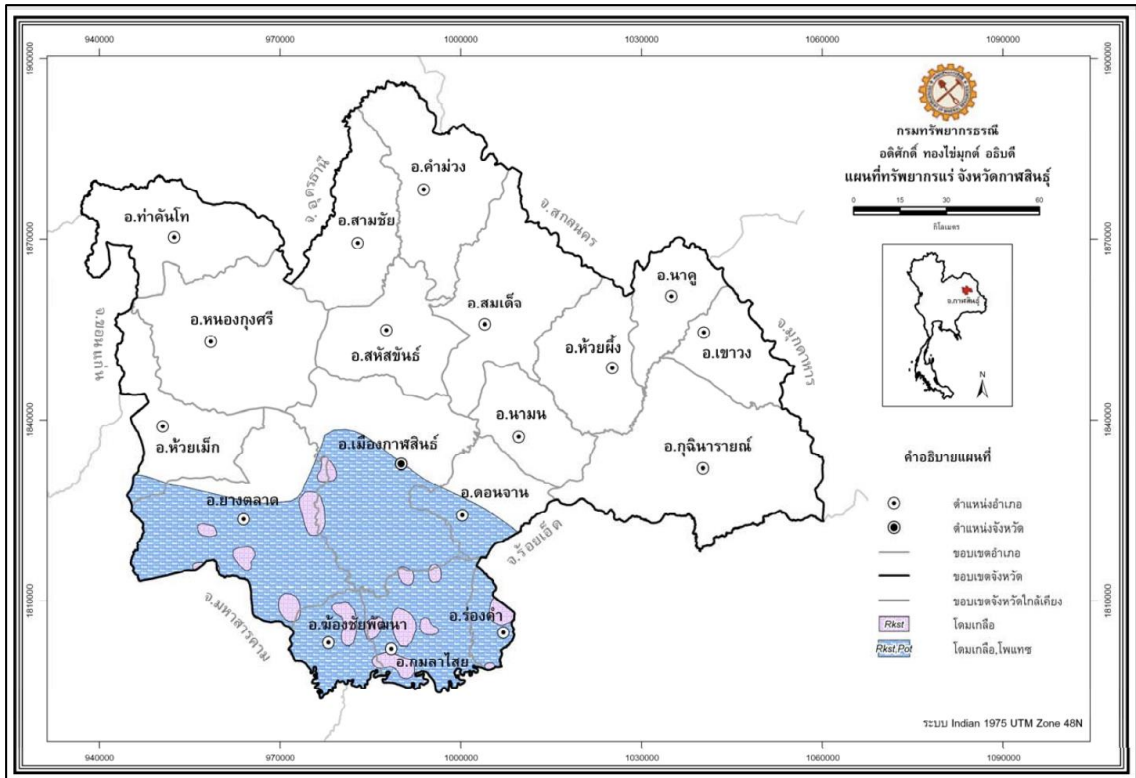
ปานกลาง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ (ดิเรก คงแพ และคณะ, 2560) ทั้งนี้ พื้นที่น้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาในจังหวัดกาฬสินธุ์มีทั้งหมด 702 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี แต่จะมีแค่ น้ำบาดาลที่ใช้ได้อยู่ 687 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2560) (ภาพที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทของน้ำตามระดับความเค็ม

Salinity Satus	Salinity (g/L)	TDS (mg/L)	Description and use
น้ำปกติ (Fresh water)	< 0.5-1	0-1,000	ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคและการชลประทาน
น้ำกร่อย (Brackish)	1-2	1,000-10,000	ใช้ในชลประทานพืชผลบางชนิดเท่านั้น
น้ำเค็มถึงน้ำเค็มมาก (Saline to highly saline)	2-35	10,000-1000,000	ใช้สำหรับปศุสัตว์ที่มีข้อจำกัด
น้ำทะเล (Brine)	>35	>100,000	ใช้การทำเหมืองแร่และการใช้ในอุตสาหกรรมที่เป็นไปได้

(ที่มา: Krishan, 2019)





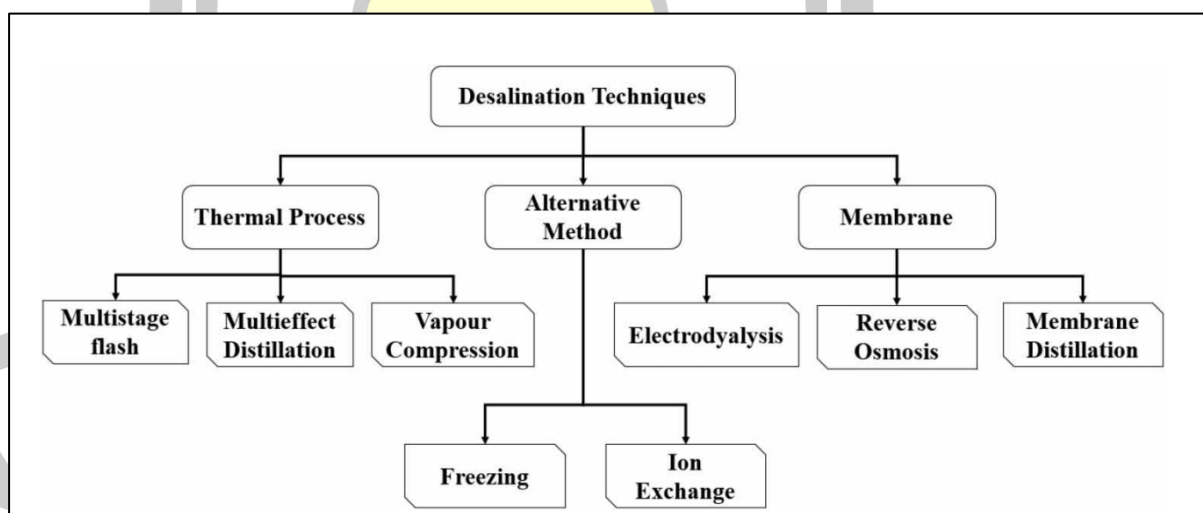
ภาพที่ 2.1 แผนที่ทรัพยากรแร่จังหวัดกาฬสินธุ์ (ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2552)





### 2.3 วิธีการบำบัดความเค็มในน้ำ

ความก้าวหน้าในการบำบัดความเค็มในน้ำได้กลายมาเป็นสิ่งสำคัญในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำทั่วโลก ซึ่งการบำบัดน้ำที่มีความเค็มสูงจะมีความเกี่ยวข้องกับการกำจัดเกลือที่ละลายได้และสารประกอบอินทรีย์ โดยใช้เทคโนโลยีต่างๆ รวมถึงการบำบัดทางชีวภาพ การออกซิเดชันขั้นสูง และวิธีไฮบริด เป็นต้น (Zhang *et al.*, 2024) ซึ่งวิธีการต่างๆ ในการบำบัดน้ำเค็ม ได้แก่ การออสโมซิสย้อนกลับ (RO) นาโนฟิลเตรชัน (NF) การกลั่นแบบแฟลชหลายขั้นตอน (MSF) และการไดอะไลซิสด้วยไฟฟ้า (ED) เป็นต้น (Al-Karaghoul and Kazmerski 2013; Ghaffour *et al.* 2013) ทั้งนี้การแยกเกลือออกจากน้ำเป็นกระบวนการกำจัดเกลือและแร่ธาตุอื่นๆ ออกจากน้ำเค็มเพื่อผลิตน้ำจืด (ภาพที่ 2.3) โดยเทคโนโลยีการแยกเกลือออกจากน้ำมีอยู่ 2 ประเภทหลักๆ คือ กระบวนการทางความร้อนและกระบวนการที่ใช้เมมเบรน ซึ่งกระบวนการทางความร้อน เช่น MSF และ MED โดยจะใช้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำและแยกน้ำออกจากเกลือ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ใช้พลังงานมากและต้องใช้งบลงทุนสูง และอีกหนึ่งกระบวนการคือใช้เมมเบรน เช่น การออสโมซิสย้อนกลับและนาโนฟิลเตรชัน โดยจะใช้เมมเบรนกึ่งซึมผ่านได้แยกเกลือออกจากน้ำ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะใช้พลังงานน้อยกว่าและได้รับความนิยมมากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเนื่องจากต้นทุนการลงทุนที่ต่ำกว่า ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะมีข้อดี ข้อจำกัดที่แตกต่างต่างกันไป (Somashekara *et al.*, 2023)



ภาพที่ 2.3 วิธีการลดเกลือในน้ำ (ที่มา: Somashekara *et al.*, 2023)

ข้อดี ข้อจำกัด และความเหมาะสมของเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเค็มที่แตกต่างกัน (Somashekara *et al.*, 2023)

1. การออสโมซิสย้อนกลับ ข้อดีประสิทธิภาพในการกำจัดเกลือสูง ใช้พลังงานต่ำ และอัตราการกู้คืนน้ำสูง ข้อจำกัดไวต่อการเกิดตะกรัน ต้องมีการบำบัดเบื้องต้นเพื่อกำจัดของแข็งและอนุภาค และอาจได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิและคุณภาพของน้ำ เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำทะเลและน้ำกร่อย และใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานแยกเกลือออกจากน้ำทะเลขนาดใหญ่

2. นาโนฟิลเตรชัน ข้อดีสามารถกำจัดทั้งเกลือและสารประกอบอินทรีย์ ทำงานที่ความดันต่ำกว่า การออสโมซิสย้อนกลับ และมีอัตราการฟื้นฟูน้ำสูง ข้อจำกัดมีประสิทธิภาพในการกำจัดเกลือต่ำกว่าการออสโมซิสย้อนกลับและอาจได้รับผลกระทบจากคราบอินทรีย์และการก่อตัวของไบโอฟิล์ม เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำกร่อยและสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำในงานอุตสาหกรรม

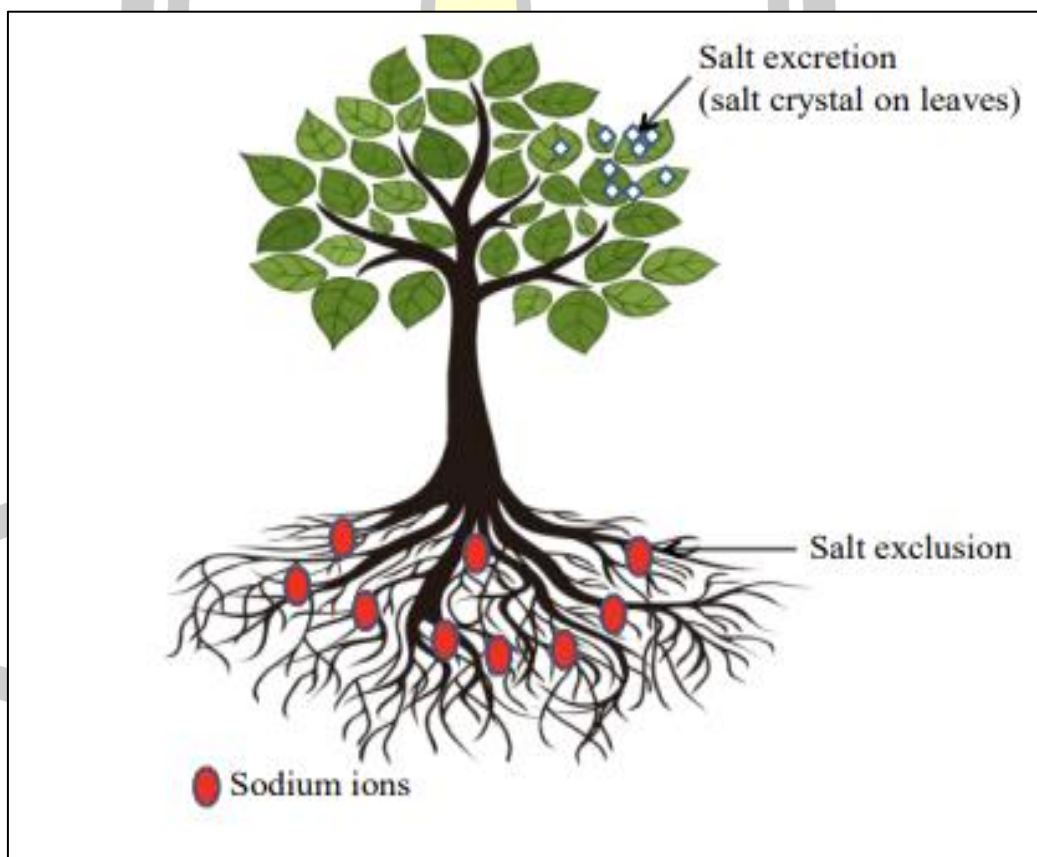
3. การไดอะไลซิสด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis ; ED) ข้อดีใช้พลังงานต่ำและสามารถทำงานโดยใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนได้ ข้อจำกัดประสิทธิภาพในการกำจัดเกลือต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบการออสโมซิสย้อนกลับ และต้องมีการบำบัดเบื้องต้นเพื่อกำจัดของแข็งและอนุภาค เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำกร่อยและสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรม

4. การออสโมซิสแบบส่งต่อ (Forward osmosis ; FO) ข้อดีใช้พลังงานน้อยกว่าการออสโมซิสย้อนกลับ และไวต่อการเกิดตะกรันน้อยกว่า ข้อจำกัดต้องใช้สารละลายดึงซึ่งอาจมีราคาแพงและฟื้นฟูได้ยาก และมีอัตราการแยกน้ำที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการออสโมซิสย้อนกลับ เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำทะเลและน้ำกร่อย และสำหรับการใช้งานเฉพาะ เช่น การบำบัดน้ำเสีย

5. การกลั่นด้วยเมมเบรน (Membrane distillation) ข้อดีสามารถบำบัดแหล่งน้ำที่มีความเค็มสูงได้ และใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบการออสโมซิสย้อนกลับ ข้อจำกัดอัตราการกู้คืนน้ำต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบการออสโมซิสย้อนกลับ และต้องมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกระแสน้ำป้อนและกระแสน้ำซึม เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำกร่อยและน้ำทะเล และสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรม เช่น การบำบัดน้ำที่ผลิตจากการดำเนินการดำน้ำมันและก๊าซ

## 2.4 วิธีการใช้พืชในการบำบัดความเค็มในน้ำ (Phytodesalination)

กระบวนการกำจัดเกลือออกจากพืชเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งใช้ในการฟื้นฟูแหล่งน้ำและดินที่มีปริมาณโซเดียมสูง โดยมีการนำพืชฮาโลไฟต์ และพืชทนเค็ม ซึ่งเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตในพื้นที่ดินเค็มและสามารถดูดซึมโซเดียมและเคลื่อนที่ไปกักเก็บไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืชในปริมาณที่มาก เพื่อใช้ในการกำจัดเกลือออกจากดิน หรือน้ำ (Sarath *et al.*, 2021) (ภาพที่ 2.4) (Lastiri-Hernandez *et al.*, 2019) เนื่องจากพืชฮาโลไฟต์ทำให้ระดับความเข้มข้นของไอออนของสารละลายในท่อลำเลียงน้ำของพืชลดลง และทำให้เกิดการขับโซเดียมและคลอไรด์ออกมาเมื่อระดับความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น (Saddhe *et al.*, 2020) ทั้งนี้ ศักยภาพของการกำจัดเกลือออกจากพืชนั้นขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ และขึ้นอยู่กับสภาพดินและภูมิอากาศ ดังนั้น การกำจัดเกลือออกจากพืชจึงเป็นแนวทางใหม่ในการลดปัญหาน้ำเค็มด้วยการใช้พืชที่มีความสามารถในการทนต่อเกลือเพื่อกำจัดเกลือส่วนเกินออกจากน้ำ โดยวิธีนี้ไม่เพียงแต่เป็นวิธีแก้ปัญหาที่ยั่งยืนสำหรับภาวะขาดแคลนน้ำเท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย (Marcos *et al.*, 2021)



ภาพที่ 2.4 กระบวนการบำบัดความเค็มโดยใช้พืช (ที่มา : Khan *et al.*, 2023)

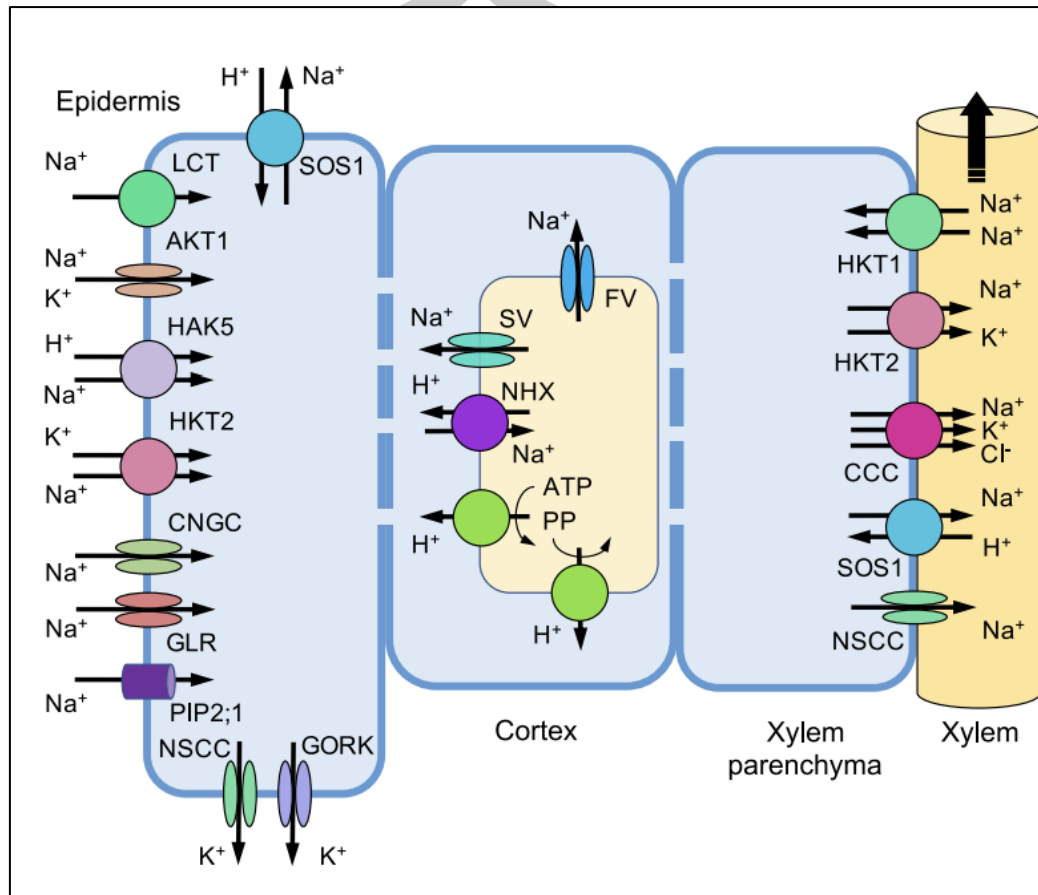
### คุณสมบัติของพืชที่ใช้ในการบำบัด สรุปลงได้ดังนี้ (วิศัลย์ ธรรมประสิทธิ์, 2549)

1. สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในท้องถิ่นนั้น ๆ นอกจากนี้ ยังต้องสามารถปรับตัว ได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป
2. มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูง
3. มีความสามารถส่งผ่านออกซิเจนได้สูง โดยนำออกซิเจนจากบรรยากาศส่งผ่านมาตาม ใบ รากและลำต้น
4. สามารถทนต่อความเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารพิษได้ค่อนข้างกว้างขวาง
5. มีความสามารถในการดูดซึม และเก็บสะสมสารต่าง ๆ ได้ดี
6. มีความคงทนต่อโรคและแมลงได้ดี
7. สามารถนำออกจากระบบได้ง่าย เนื่องจากพืชจะลดปริมาณสารที่อยู่ในน้ำเสียได้ผลดีที่สุด นั้น พืชจะต้องมีการนำออกจากระบบบ้างเพื่อไม่ให้พืชอยู่นานจนเกินไปจนระบบขาดประสิทธิภาพ

### 2.5 ความสามารถในการดูดซึมและเคลื่อนย้ายของไอออนเกลือเข้าสู่พืช

โดยธรรมชาติแร่ธาตุจะถูกดูดซึมจากสารละลายดินในรูปของไอออนพร้อมกับน้ำผ่านรากเข้าสู่ท่อลำเลียงน้ำ โดยส่วนใหญ่การดูดซึมไอออนจะเกิดขึ้นบริเวณขนราก โดยแร่ธาตุถูกลำเลียงไปยังส่วนยอดของพืชด้วยแรงดึงจากการคายน้ำ (DalCorso *et al.*, 2014) โซเดียมเป็นไอออนชนิดหนึ่งที่พบมากในพื้นที่ดินเค็ม และสามารถเป็นพิษต่อพืชเมื่อได้รับในปริมาณสูง โซเดียมจะถูกดูดซึมผ่านรากด้วยระบบขนส่งต่าง ๆ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) Non-selective cation channels (NSCCs) คือช่องทางนำไอออนเข้าสู่เซลล์แบบไม่จำเพาะ เช่น cyclic nucleotide-gated channels (CNGCs) และ glutamate receptors (GLRs) 2) High-affinity potassium transporters (HKTs and HAKs) คือช่องทางขนส่งโพแทสเซียมที่สามารถเกี่ยวข้องกับการดูดซึมโซเดียม (Zhao *et al.*, 2020) การลำเลียงโซเดียมเข้าสู่ชั้นอพิเตอร์มิสของรากจำเป็นต้องใช้โปรตีนหลากหลาย เช่น Low-affinity cation transporter (LCT), HKT2, CNGC และ GLR หลังจากเข้าสู่เซลล์แล้ว พืชสามารถขับโซเดียมออกจากเซลล์โดยผ่านโปรตีน Salt Overly Sensitive 1 (SOS1) ซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนโปรตอนกับโซเดียมในชั้นคอร์เทกซ์ ทั้งนี้โซเดียมถูกลำเลียงด้วยระบบขนส่งทั้งแบบไม่ใช้พลังงาน (Passive Transport) และใช้พลังงาน (Active Transport) และอาจถูกกักเก็บในแวคิวโอลเพื่อควบคุมระดับโซเดียม โดยใช้  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporter (NHX) ซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนโซเดียมเข้าแวคิวโอลและปล่อยโปรตอนออกเพื่อรักษาสมดุลแรงดันออสโมซิส ทั้งนี้โซเดียมส่วนที่ไม่ได้ถูกเก็บจะถูกส่งต่อไปยังไซเล็มพาเรงคิมา (xylem parenchyma) ผ่านโปรตีน HKT1 และ HKT2 เข้าสู่ระบบท่อ

ลำเลียงน้ำ (xylem) เพื่อกระจายไปยังส่วนอื่น ๆ ของพืชเพื่อช่วยลดผลกระทบจากความเครียดเค็มในพืช (ภาพที่ 2.5)

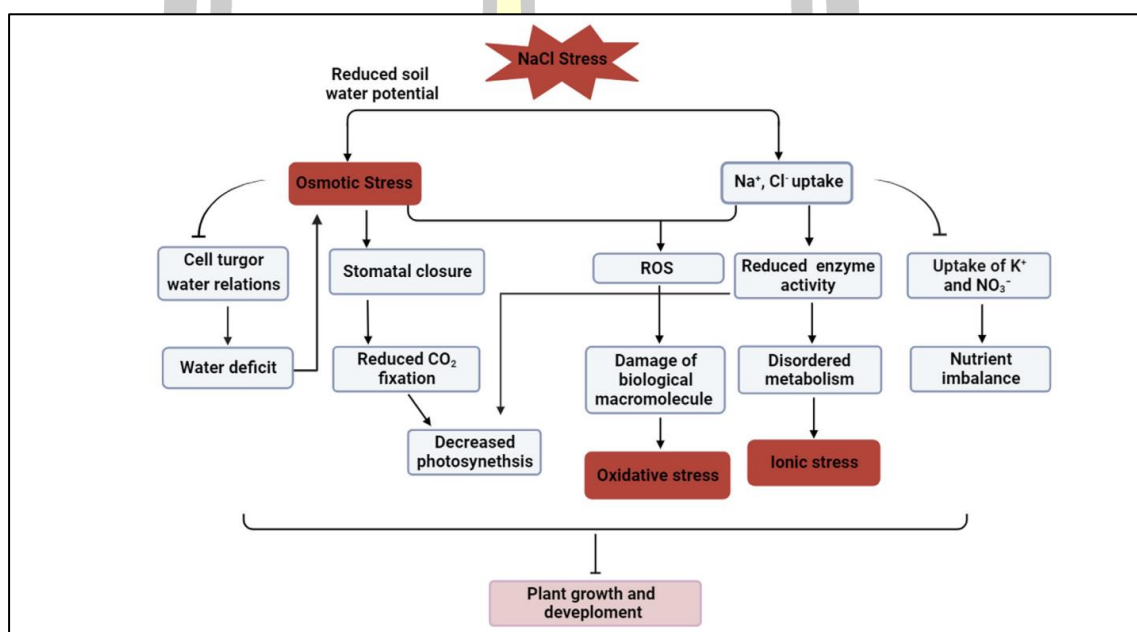


ภาพที่ 2.5 กลไกการนำโซเดียมเข้าสู่รากของพืช (ที่มา: Zhao *et al.*, 2020)

## 2.6 ผลกระทบความเค็มต่อพืช

ความเค็มจากเกลือจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก รวมถึงการงอกของเมล็ด ความยาวของราก ความสูงของลำต้น และผลผลิตของพืชที่ลดลง เมื่อพืชได้รับความเค็ม พืชจะเกิดความเครียดออสโมซิสเป็นลำดับแรก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช หลังจากนั้นจะเกิดความเป็นพิษของไอออนเกลือ ซึ่งความเป็นพิษของไอออนและความเครียดจากออสโมซิสเป็นความเครียดหลักที่อาจทำให้เกิดความเครียดจากออกซิเดชัน ทั้งนี้ความเครียดจากเกลือยังนำไปสู่การลดลงของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Liang *et al.*, 2018) ซึ่งความเสียหายที่เกิดกับพืชส่วนใหญ่จะเกิดจากการขาดน้ำและปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ในเซลล์ที่เพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะที่มีเกลือจะส่งผลทำให้เกิดความเครียดออสโมซิสทำให้สัญญาณวิทยาของเซลล์เปลี่ยนแปลงและนำไปสู่การปิดปากใบทำให้ขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ในเซลล์พืชที่มาก

ทำให้พืชเกิดความเครียดจากไอออน ซึ่งส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์ที่ขึ้นอยู่กับโพแทสเซียมลดลง แหล่งไนโตรเจนถูกปิดกั้น เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร ทั้งนี้ความเครียดจากออสโมซิสและความเครียดจากไอออนยังนำไปสู่การผลิตอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species; ROS) และทำให้เกิดความเครียดออกซิเดชันในพืช ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบการทำงานของออร์แกเนลล์หรือทำให้โครงสร้างของเซลล์พืชเสียหาย ดังนั้น ผลกระทบจากความเครียดเหล่านี้จึงทำให้เกิดการยับยั้งการพัฒนาและการเจริญเติบโตของพืช (ภาพที่ 2.6) (Zhou *et al.*, 2024)

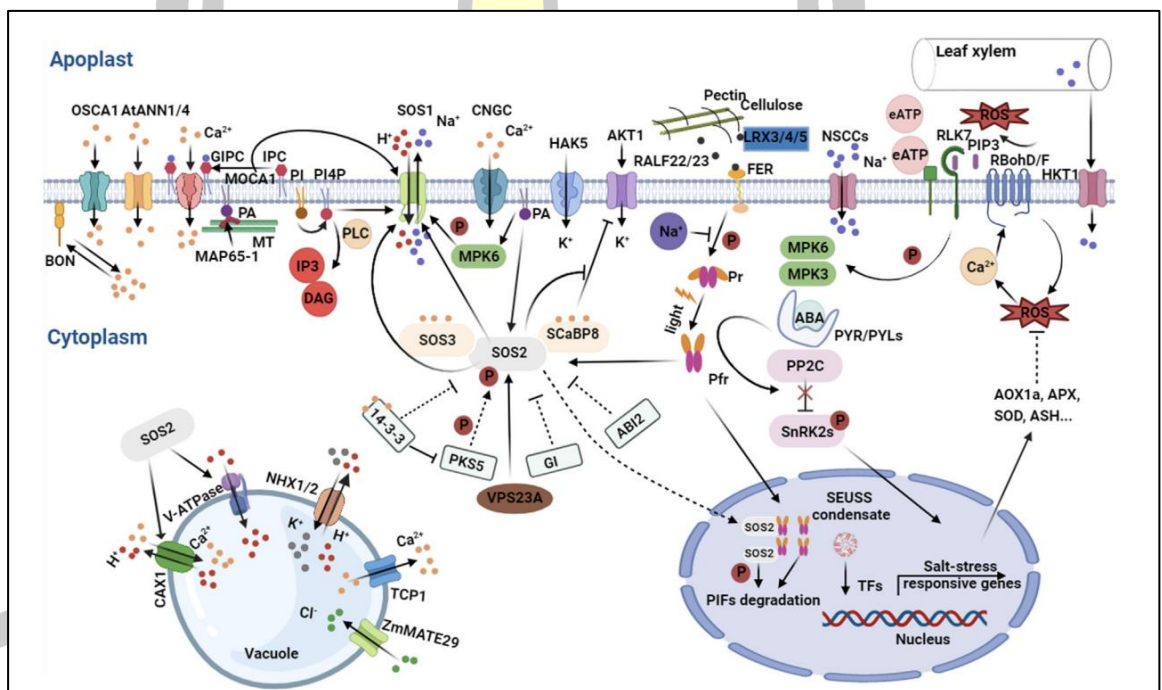


ภาพที่ 2.6 ผลกระทบของความเค็มต่อพืช (ที่มา : Zhou *et al.*, 2024)

## 2.7 กลไกการปรับตัวของพืชในการบำบัดน้ำเค็ม

พืชมีความสามารถในการปรับตัวเพื่อตอบสนองและบรรเทาผลกระทบจากความเครียดเค็ม (salinity stress) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกทางสรีรวิทยา ชีวเคมี และพันธุกรรมที่ซับซ้อน กลไกเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการรักษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชภายใต้สภาวะดินเค็มที่มีไอออนเกลือ เช่น โซเดียม และคลอไรด์ในปริมาณสูง (Rania *et al.*, 2024) ซึ่งการตอบสนองต่อความเครียดออสโมซิสและโครงสร้างผนังเซลล์ เมื่อพืชสัมผัสกับความเครียดออสโมซิสจากดินเค็ม องค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น เพคติน (pectin) และเซลลูโลส (cellulose) มีบทบาทสำคัญในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงและส่งสัญญาณผ่าน receptor-like kinases (RLKs) ที่เยื่อหุ้มเซลล์ โดยการลำเลียงน้ำผ่านผนังเซลล์ (apoplast) จะช่วยให้ตัวรับสัญญาณ เช่น OSCA1 และ AtANN1/4 ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันออสโมติก ซึ่งสัญญาณนี้จะกระตุ้นช่องโปรตีน เช่น CNGCs และ NSCCs ใน

การนำโซเดียมเข้าสู่เซลล์ หลังจากที่โซเดียมเข้าสู่เซลล์ ระบบ SOS Pathway จะถูกกระตุ้น โดย SOS3 (Calcium Sensor) ที่ช่วยตรวจจับระดับแคลเซียมในเซลล์ และ SOS2 (Protein Kinase) จะส่งผลในการเปิดใช้งาน SOS1 เพื่อลำเลียงโซเดียมออกจากเซลล์ ทั้งนี้แคลเซียมมีบทบาทสำคัญในความเครียดเค็ม โดยช่อง MOCA1 และเอนไซม์ Phospholipase C (PLC) จะกระตุ้นการเพิ่มสัญญาณแคลเซียมในเซลล์ ซึ่งสัญญาณนี้จะกระตุ้นกระบวนการอื่น ๆ เช่น SOS Pathway เพื่อจัดการระดับโซเดียม นอกจากนี้ โซเดียมอาจถูกกักเก็บไว้ในแวคิวโอลผ่านกลไก  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporter (NHX1/2) ซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนโซเดียมกับโปรตอน ดังนั้นพืชจะมีการปรับสมดุลระดับโซเดียมและโพแทสเซียมภายในเซลล์ เพื่อป้องกันการเสียสมดุลและลดผลกระทบของความเครียด และมีการกระตุ้นยีนเฉพาะ เพื่อช่วยให้พืชสามารถอยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่มีความเค็มสูงได้



ภาพที่ 2.7 กลไกการตอบสนองต่อความเครียดเค็มของพืช (ที่มา : Zhou et al., 2024)

## 1. กลไกทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของความทนเค็มของพืช (Gupta and Huang, 2014)

พืชได้มีการพัฒนากลไกทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่าง ๆ เพื่อให้สามารถอยู่รอดในดินเค็มสูงได้ โดยอาศัยกลไก ดังนี้ 1) สมดุลไอออน 2) การสะสมสารให้ความเสถียรต่อชีวโมเลกุลและการป้องกันแรงดันออสโมติก 3) กิจกรรมของเอนไซม์ในการต้านอนุมูลอิสระและการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ 4) การสังเคราะห์ Polyamines 5) การสร้าง Nitric oxide (NO) และ 6) การปรับฮอร์โมน

### 1.1 สมดุลไอออน

สมดุลของไอออนไม่เพียงแต่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชทั่วไป แต่ถือว่าเป็นกระบวนการสำคัญในการเจริญเติบโตในสภาวะเครียดเค็ม โดยธรรมชาติของพืชไกลโคไฟต์ที่ไม่สามารถทนความเค็มระดับสูงในไซโทพลาสซึมได้ เกลือที่เป็นส่วนเกินจะถูกเคลื่อนไปยังแวคคิวโอลหรือเนื้อเยื่อที่มีอายุแก่ เพื่อให้พืชสามารถทนต่อสภาวะเครียดเกลือ

### 1.2 การสะสมสารให้ความเสถียรต่อชีวโมเลกุล และการปกป้องแรงดันออสโมติก

สารป้องกันแรงดันออสโมออสโมติก (Osmoprotectants) และสารให้ความเสถียรต่อชีวโมเลกุล (Compatible solutes) เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีความหลากหลายทางเคมีที่ไม่มีประจุและไม่รบกวนกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์แม้จะอยู่ในความเข้มข้นที่สูง ได้แก่ โพรลีน (Proline) ไกลซีน เบทาอีน (Glycine betaine), น้ำตาล (Sugar) และโพลีออล (Polyols) ซึ่งจะถูกล้างและสะสมในปริมาณที่แตกต่างกันในพืชที่ต่างชนิดกัน ซึ่งความเข้มข้นของ Compatible solutes ที่อยู่ในเซลล์จะช่วยในการปกป้อง โดยไม่รบกวนกระบวนการสังเคราะห์และการสลายตัวของสารอื่น ๆ

### 1.3 การสะสมสารต้านอนุมูลอิสระ

ความเครียดที่เกิดจากปัจจัยที่ไม่มีชีวิต (Abiotic) และปัจจัยที่มีชีวิต (Biotic) ในพืชสามารถเป็นสาเหตุทำให้เกิดการหยุดชะงักหรือการทำให้กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron transport chains; ETC) ในคลอโรพลาสต์และไมโทคอนเดรียเสียหาย ซึ่งภายใต้สภาวะนี้โมเลกุลออกซิเจน ( $O_2$ ) จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยจะนำไปสู่การสะสมของ ROS ได้แก่ Singlet oxygen ( $^1O_2$ ), Hydroxyl radical (OH), Superoxide radical ( $O_2^-$ ) และ Hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นสารประกอบออกซิไดซ์และอาจเป็นอันตรายต่อเซลล์ กระบวนการต้านอนุมูลอิสระ รวมไปถึงเอนไซม์ที่ใช้ในการต้านอนุมูลอิสระ และส่วนที่ไม่ใช่เอนไซม์ ดังนั้นการลดของ ROS ในสภาวะเครียดเกลือ จะมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้เอนไซม์ เช่น Superoxide dismutase (SOD), Catalase (CAT), Glutathione peroxidase (GPX),

Ascorbate peroxidase (APX), และ Glutathione reductase (GR) และการสะสมสารประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์

#### 1.4 การสังเคราะห์ Polyamines

โพลีเอมีน (Polyamines; PA) มีขนาดเล็ก น้ำหนักโมเลกุลน้อย พบได้ทั่วไปเป็นสารประกอบแอลิแฟติก (Polycationic aliphatic molecules) ที่พบมากในอาณาจักรพืช ซึ่งมีบทบาทหลากหลายในการเจริญเติบโตและพัฒนาการพืช เช่น การควบคุมการเพิ่มจำนวนเซลล์ การเกิดไซมาติกเอ็มบริโอและการงอกของเมล็ด การพัฒนาของดอกและผล นอกจากนี้ ยังมีบทบาทสำคัญในการทนต่อความเครียดแบบ Abiotic และการเพิ่มขึ้นของระดับโพลีเอมีนจะมีความสัมพันธ์กับความทนทานต่อความเครียดในพืช โพลีเอมีนที่พบมากที่สุดที่พบในพืชคือ Diamine putrescine (PUT), Triamine spermidine (SPD) และ Tetra-amine spermine (SPM) เมื่อพืชได้รับความเครียดจากความเค็ม ระดับโพลีเอมีนในเซลล์ถูกควบคุมโดย Catabolism ของโพลีเอมีน ซึ่งโพลีเอมีนเป็นสารออกซิไดซ์ โดย Amine oxidases ซึ่งรวมถึงการจับ Copper diamine oxidase และ FAD binding polyamine oxidases เอนไซม์เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการทนต่อความเครียด

#### 1.5 การสร้าง Nitric oxide (NO)

ไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นก๊าซระเหยที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องข้องในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และกระบวนการพัฒนาต่าง ๆ เช่น การเจริญเติบโตของราก การเปิดปิดของปากใบ การเจริญของดอก การตายของเซลล์ การงอกของเมล็ด และการตอบสนองต่อความเครียด ไนตริกออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเพื่อป้องกันการเกิด Lipid oxidation ซึ่งป้องกันผลกระทบโดยมีการกำจัดอนุมูลอิสระ Superoxide และการก่อตัวของ Peroxynitrite ที่สามารถทำให้เป็นกลาง โดยกระบวนการเซลล์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังช่วยในการเปิดใช้งานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (SOD, CAT, GPX, APX และ GR) การใช้ไนตริกออกไซด์พบว่ามีบทบาทในการลดความเครียด แต่ผลกระทบขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไนตริกออกไซด์ การทำงานของ Sodium nitroprusside (SNP), Nitric oxide donor ใน *Lupinus luteus* ภายใต้อุณหภูมิความเครียดเกลือ เพิ่มการงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของราก

#### 1.6 การปรับฮอร์โมน

กรดแอบไซซิก (Abscisic Acid; ABA) เป็นไฟโตฮอร์โมนที่มีความสำคัญซึ่งการประยุกต์ใช้กับพืชช่วยแก้ไขผลกระทบของสภาวะความเครียด ซึ่งเป็นที่ทราบกันมานานแล้วว่าเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการขาดน้ำของดินรอบ ๆ ราก ทั้งนี้ความเครียดจากความเค็มส่งผลทำให้เกิดความเครียดต่อสโมติก

และเกิดการขาดน้ำ ซึ่งจะเพิ่มการผลิต ABA ในลำต้นและราก การสะสมของ ABA สามารถยับยั้งผลของความเค็มต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเจริญเติบโต และการเคลื่อนที่ของสารดูดซึมน้ำ ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการสะสม ABA และความทนทานต่อความเค็มนี้มีสาเหตุมาจากการสะสมโพแทสเซียม แคลเซียม และ compatible solutes ได้ เช่น proline และน้ำตาลในตำแหน่งที่ว่างของราก ซึ่งจะต่อต้านการดูดซึมน้ำของโซเดียมและคลอไรด์

## 2.8 หญ้าเปลือกรกระเทียมหัวแมลงวัน (*Eleocharis geniculata* (L.) Roem. & Schult.)

หญ้าเปลือกรกระเทียมหัวแมลงวัน (*E. geniculata*) ที่รายงานในประเทศไทยเป็นพืชปีเดียว มีลักษณะเป็นกอแน่น ลำต้น กลม สูง 10-30 cm กาบใบ เป็นแผ่นเรียงซ้อนกันที่โคนต้นยาว 0.5-3 mm แผ่นใบลดรูป ช่อดอกเป็นช่อกระจุกออกที่ปลายยอดรูปไข่หรือค่อนข้างกลม ยาว 3-6 mm กว้าง 3-4 mm กาบช่อย่อย สีน้ำตาลอ่อน ซ้อนกันแน่น ยาว 1.8-2 mm ปลายกลม ด้านข้างใส ชั้นกลีบรวม ลดรูปเป็นรูปเข็ม มี 6-8 อัน ขอบมีหนามบางรูปตะขอ เกสรเพศผู้ 2-3 อัน ปลายเกสรเพศเมีย 2 แฉก ผล รูปไข่กลับ รูปทรงเลนส์นูน ยาว 0.8-1 mm กว้าง 0.7-0.8 mm เมื่อแก่จะมีสีดำ ผิวเรียบ ฐานเกสรเพศเมียติดที่ปลายผลรูปโคนกว้าง

กระจายพันธุ์ทั่วไปในเขตร้อน ในประเทศไทยพบที่จังหวัดกาฬสินธุ์ จันทบุรี ตราด ชุมพร พังงา และภูเก็ต พบตามพื้นที่ชื้นแฉะเปิดโล่ง ระดับความสูง 0-800 m เหนือระดับน้ำทะเล (Simpson and Koyama, 1998) นอกจากนี้ยังมีการกระจายตัวในประเทศต่าง ๆ ในทวีปเอเชีย ได้แก่ สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา มาเลเซีย อินโดนีเซีย ใต้หวัน ฟิlipปินส์ ออสเตรเลีย สาธารณรัฐประชาชนจีน ศรีลังกา ใต้หวัน และญี่ปุ่น เป็นต้น โดยหญ้าเปลือกรกระเทียมหัวแมลงวันจะมีการเจริญเติบโตในดินที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินทราย หรือตามขอบชายฝั่งทะเล (Lunkai and Strong, 2010)



ภาพที่ 2.8 หญ้าเปลือกรกระเทียมหัวแมลงวัน (*E. geniculata*) ถิ่นที่อยู่ (A) ช่อดอก (B) (ที่มา: ผู้วิจัย)

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ha *et al.* (2009) ศึกษาศักยภาพของหญ้าหัวไม้ขีด (*E. acicularis*) ที่มีความสามารถในการปรับตัวได้ดีในน้ำที่ปนเปื้อนโลหะ โดยอัตราการกำจัดพลวง (Sb) สารหนู ทองแดง และสังกะสีในการทดลองในห้องปฏิบัติการคือ 3.04, 2.75, 0.417 และ 1.49  $\mu\text{g/L/day}$  ตามลำดับ ความเข้มข้นสูงสุดของโลหะเหล่านี้ที่สะสมในหญ้าหัวไม้ขีด หลังจาก 10 วันของการทดลองในห้องปฏิบัติการ คือ 6.29, 6.44, 20.5 และ 73.5 mg/Kg น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งหญ้าหัวไม้ขีดใช้สารหนูเพียง 8%, พลวง 12%, ทองแดง 87% และ สังกะสี 93% ที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเท่านั้น ทั้งนี้ความเข้มข้นสูงสุดของพลวง สารหนู ทองแดง และ สังกะสีที่สะสมในหญ้าหัวไม้ขีดหลังจาก 10 สัปดาห์โดยผลการทดลองภาคสนามคือ 76.0, 22.4, 33.9 และ 266 mg/Kg น้ำหนักแห้งตามลำดับ ผลการทดลองบ่งชี้ว่าหญ้าหัวไม้ขีดมีความสามารถในการสะสมพลวง สารหนู ทองแดง และสังกะสีจากน้ำที่ปนเปื้อน

Guesdon *et al.* (2016) ศึกษาความสามารถในการกำจัดเกลือในน้ำที่ระดับความเค็ม (0.2, 0.7, 4, 8 และ 13 dS/m) โดยใช้พืช 3 ชนิดได้แก่ กกช้าง (*Typha angustifolia*) กกทะเล (*Juncus maritimus*) และ *E. palustris* เป็นระยะเวลา 2 เดือน พบว่า กกช้างมีอัตราการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ได้ดีที่สุด (31–60%) โดยมีการกำจัดสูงสุดที่ระดับเกลือต่ำสุด (0.2–0.7 dS/m) รองลงมาคือ กกทะเล (22–36%) ซึ่งไม่มีความแตกต่างในการกำจัดในแต่ละระดับ และ *E. palustris* (3–26%) โดยมีอัตราการกำจัดที่ลดลงเมื่อระดับเกลือเพิ่มขึ้น

Sakakibara (2016) ศึกษาศักยภาพการสะสมโลหะในน้ำโดยใช้หญ้าหัวไม้ขีด (*E. acicularis*) พบว่า หญ้าหัวไม้ขีดสามารถสะสมทองแดง 2090 mg/Kg สังกะสี 1120 mg/Kg สารหนู 388 mg/Kg และตะกั่ว 1120 mg/Kg (น้ำหนักแห้ง) ในราก และสามารถสะสมทองแดง 130 mg/Kg สังกะสี 754 mg/Kg สารหนู 732 mg/Kg และตะกั่ว 134 mg/Kg ของลำต้น (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่ดีในการใช้ในการบำบัดด้วยพืชของสภาพแวดล้อมทางน้ำที่ปนเปื้อนจากโลหะหนักจากน้ำ

Menezes *et al.* (2020) ศึกษาการสะสมและการเปลี่ยนรูปทางชีวภาพของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในตะกอนดินที่ปนเปื้อนสารหนู พบว่า หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีความสามารถในการสะสมเข้มข้นของสารหนูสูงขึ้น 4  $\mu\text{g/g}$  นอกจากนี้ มีการทดสอบโดยนำหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันสัมผัสกับสารหนูภายใต้สภาวะควบคุม (ไฮโดรโปนิกส์) แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทนต่อระดับที่สูงขึ้น และพืชชนิดนี้สามารถเผาผลาญสารหนูให้เป็นสารอาร์เซนินต์ Monomethylarsonic acid (MMA) และ Dimethylarsinic acid (DMA)

Sbani *et al.* (2020) ศึกษาศักยภาพการบำบัด Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ที่ปนเปื้อนในน้ำและดินทราย ในระดับความเข้มข้นของดีเซลอยู่ที่ 0.5, 1, 2 และ 3% ตามลำดับ โดยใช้กระจุตหนู (*E. ochrostachys*) พบว่า พืชชนิดสามารถกำจัด PAHs ที่ปนเปื้อนในน้ำจาก 89.1, 91.3, 73.0 และ 71.6% ตามลำดับ และกำจัด PAHs ที่ปนเปื้อนในดินทรายอยู่ที่ 93.6, 93.9, 95.7 และ 81.8% ตามลำดับ

Santosa *et al.* (2021) ศึกษาศักยภาพของการบำบัดโดยใช้แห้วทรงกระเทียม (*E. dulcis*) พบว่า พืชชนิดนี้มีความสามารถในการดูดซับธาตุ ไนโตรเจน (N) ได้ 1.45% ทองแดง 15 ppm ฟอสฟอรัส (P) 0.08% สังกะสี 48 ppm แมกนีเซียม (Mg) 0.16% เหล็ก (Fe) 1.386 ppm กำมะถัน (S) 0.18% แมงกานีส (Mn) 923 ppm โพแทสเซียม (K) 2.05% และแคลเซียม (Ca) 0.22%



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงาน

##### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

###### อุปกรณ์ (Equipments)

1. เครื่องแก้ว ได้แก่ บีกเกอร์ (Beaker) ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ปิเปต (Pipet) กระจกวงตรง (Cylinder) และขวดรูปชมพู่ (Flask)
2. เครื่องชั่ง (Balance)
3. เตาเผา (Furnace)
4. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer)
5. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
6. ปากคีบ (Forcep)
7. เตาอุ่นความร้อน (Hot plate)
8. เตาอบความร้อน (Hot air oven)
9. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
10. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity meter)
11. กระดาษกรอง (Filter paper)
12. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
13. เบ้ากระเบื้อง (Crucible)
14. บิวเรต (Burette)
15. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

###### สารเคมี (Chemicals)

1. น้ำกลั่น (Distilled water)
2. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมความเข้มข้น 1000 ppm (Standard K 1,000 ppm)
3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมความเข้มข้น 1000 ppm (Standard Na 1,000 ppm)

4. สารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 1000 ppm (Standard Ca 1,000 ppm)
5. สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมความเข้มข้น 1000 ppm (Standard Mg 1,000 ppm)
6. สารละลายธาตุอาหารพืช สูตร Half-Hoagland's solution (สูตรดัดแปลง)
7. กรดไนตริกเข้มข้น (Nitric acid)
8. สารละลายอะซิโตนความเข้มข้น 80 % (Acetone 80%)
9. นินไฮดริน (Ninhydrin)
10. กรดฟอสฟอริก 6 M (Phosphoric acid 6 M)
11. โทลูอีน (Toluene)
12. เอทานอล 80% (Ethanol 80%)
13. ฟีนอล (Phenol 5%)
14. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)

### 3.2 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองหลัก ๆ ได้แก่ 1) การสำรวจและการทดลองในภาคสนามและ 2) การนำตัวอย่างพืชจากภาคสนามมาทดสอบการบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลในห้องปฏิบัติการ

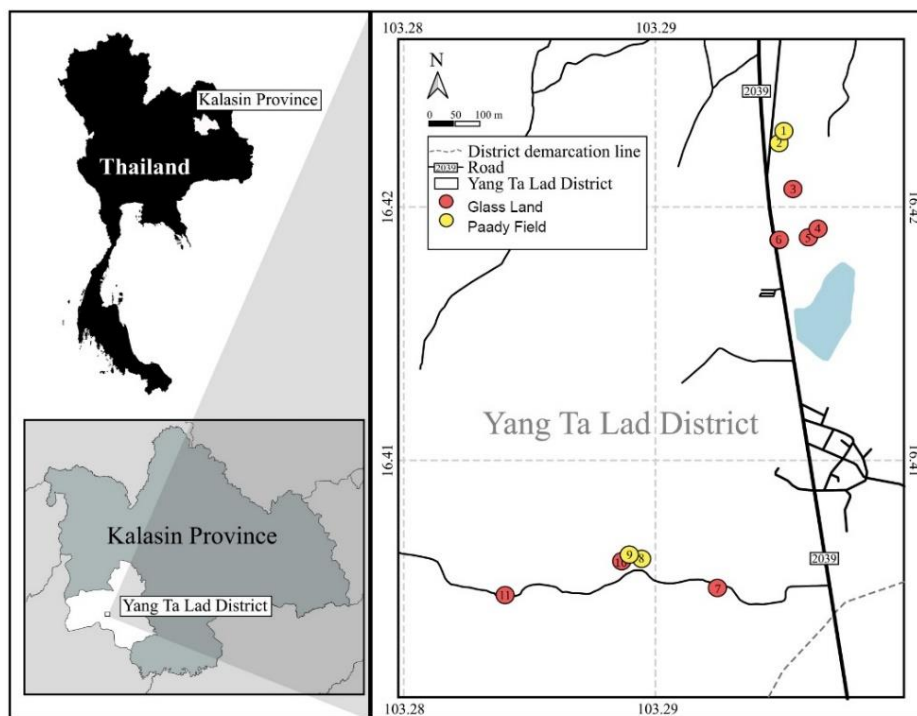
#### 3.2.1 ภาคสนาม

##### 3.2.1.1. พื้นที่การศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการในพื้นที่ดินเค็มในตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย โดยแบ่งพื้นที่การเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 พื้นที่ ได้แก่ 1) พื้นที่นาข้าว คือพื้นที่ที่มีกิจกรรมทำการเกษตรปลูกข้าว และ 2) พื้นที่ทุ่งหญ้าคือพื้นที่ไม่สามารถทำการเกษตรได้ โดยจะมีพืชอื่น ๆ เจริญเติบโตแทน เช่น หนวดปลาชุก หญ้าช้ำกลาก เป็นต้น (ภาพที่ 3.1) ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งพื้นที่พบการเจริญของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันตามกิจกรรมการใช้พื้นที่ดังกล่าวที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งน้ำบาดาลที่เค็ม โดยมีทั้งสิ้น 11 จุด (ภาพที่ 3.2 และ ตารางที่ 3.1)



ภาพที่ 3.1 ลักษณะพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างพื้นที่นาข้าว (A) พื้นที่ทุ่งหญ้า (B)



ภาพที่ 3.2 พิกัดทางภูมิศาสตร์ของสถานที่เก็บตัวอย่างในอำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย



**ตารางที่ 3.1** พิกัดจุดเก็บตัวอย่างดินและพืชในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์

Sites	Latitude - Longitude	Habitat
1	16°24'20.7"N 103°17'22.5"E	นาข้าว
2	16°25'22.0"N 103°17'41.0"E	นาข้าว
3	16°25'15.0"N 103°17'44.0"E	ทุ่งหญ้า
4	16°25'07.3"N 103°17'46.1"E	ทุ่งหญ้า
5	16°25'07.5"N 103°17'46.4"E	ทุ่งหญ้า
6	16°25'06.9"N 103°17'41.3"E	ทุ่งหญ้า
7	16°24'17.4"N 103°17'33.2"E	ทุ่งหญ้า
8	16°25'21.3"N 103°17'40.6"E	นาข้าว
9	16°24'21.2"N 103°17'20.6"E	นาข้าว
10	16°24'21.6"N 103°17'22.2"E	ทุ่งหญ้า
11	16°24'16.3"N 103°17'02.4"E	ทุ่งหญ้า

### 3.2.1.2 วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินในแต่ละบริเวณจะมีการเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มแบบบังเอิญทุก ๆ 1 m และมีวิธีการเก็บตัวอย่างดินชั้นบนที่ความลึกประมาณ 0 - 20 cm หลังจากนั้นนำตัวอย่างดินแต่ละจุดมาคลุกเคล้าและผสมรวมกันแล้วเก็บตัวอย่างดินแบบ Composite Sample แล้วนำมาผึ่งลมในที่ร่ม และเก็บในภาชนะที่ปิดสนิทและแห้งเพื่อรอทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

### 3.2.1.3 ตรวจสอบสมบัติดินที่มีการเจริญเติบโตของพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553

ข)

#### วิธีการวัดค่า pH

การวัด pH ในน้ำอัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1:5 (w/w) ชั่งดิน 5 g ใส่ปิกรเกอร์เติมน้ำกลั่น 25 ml คนให้เข้ากัน หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จึงวัด pH ของดินในส่วนที่เป็นน้ำใส ด้วยเครื่อง pH meter

### วิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity; EC<sub>e</sub>)

ชั่งดิน 5 g ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นใส่น้ำ 25 ml คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วจึงนำไปอ่านค่า EC ทั้งค่าการนำไฟฟ้าและอุณหภูมิด้วยเครื่อง EC meter และนำมาคำนวณหาค่า EC extract (EC<sub>e</sub>) ดังสูตรต่อไปนี้

$$EC_{25} = \frac{EC_t}{[1+0.02(t-25)]}$$

เมื่อ EC<sub>25</sub> = ค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 °C

EC<sub>t</sub> = ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ที่อุณหภูมิ t °C

t = อุณหภูมิ (°C)

### วิธีการวัดความชื้นของดิน (Moisture)

ชั่งดิน 5 g ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C จนน้ำหนักตัวอย่างคงที่ และนำมาคำนวณความชื้น และนำมาคำนวณตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Moisture (\%)} = \left( \frac{A - B}{W} \right) \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างดิน + ภาชนะก่อนอบ (g)

B = น้ำหนักตัวอย่างดิน + ภาชนะหลังอบ (g)

W = น้ำหนักดินก่อนอบ

### การวิเคราะห์โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดิน

ชั่งตัวอย่างดิน 5 g ใส่ในขวดรูปชมพู่เติมแอมโมเนียมอะซิเตรต 1 M pH 7.0 ปริมาตร 50 ml เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ค้างคืน นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ No. 42 ล้างตัวอย่างดินด้วยแอมโมเนียมอะซิเตรต 1 M ทีละน้อย ๆ จนได้ปริมาตรเกือบ 100 ml แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่นแล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และนำค่าที่ได้ไปเทียบกับค่ามาตรฐาน

### การวิเคราะห์คลอไรด์ในดิน

โดยใช้วิธีโมร์ (Mohr's method) ชั่งดิน 10 g จากนั้นเติมน้ำกลั่น 100 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ No. 1 ตวงสารละลายตัวอย่าง 25 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่และเติมโพแทสเซียมโครเมต 1% ปริมาตร 1 ml เป็นอินดิเคเตอร์แล้วนำไปไทเทรตด้วยซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.01 N จนกระทั่งเกิดตะกอนสีแดง คำนวณปริมาณคลอไรด์

$$\text{Chloride (mg/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 35450}{\text{Sample}}$$

เมื่อ A = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ใช้ในการไทเทรต Blank

N = ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (N)

### การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอนดิน ด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer method)

นำตัวอย่างดินที่แห้งมาร้อนผ่านตะแกรง ชั่งตัวอย่างดิน 10 g นำไปอบเพื่อหาน้ำหนักที่แน่นอน และชั่งตัวอย่างดิน 50 g เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 200 ml และสารละลาย Calgon 5% ปริมาตร 100 ml คนให้เข้ากันแล้ว วางทิ้งไว้ข้ามคืน หลังจากนั้นคนให้เข้ากันหรือทำการกระจายอนุภาคดินด้วยเครื่องกระจายอนุภาคเป็นเวลา 5 นาที เทตัวอย่างลงในกระบอกตวง 1000 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นคว่ำ - หายกระบอกตวงอย่างน้อย 10 ครั้ง ให้เข้ากัน แล้วอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ที่ 50 วินาที และ 2 ชั่วโมง พร้อมบันทึกอุณหภูมิของ สารละลายในกระบอกตวง แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคขนาดดินทราย ดินทรายแป้งและดินเหนียว และทำ blank โดยใช้สารละลาย Calgon 5% ปริมาตร 100 ml แทนตัวอย่าง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553ก)

### 3.2.1.4 ศึกษาวัฏจักรชีวิตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม

สำรวจตัวอย่างหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในบริเวณพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ แล้วทำการศึกษาในภาคสนามจำนวน 2 วงชีวิต ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 – ธันวาคม พ.ศ. 2566 แล้วทำการบันทึกและถ่ายภาพ

### 3.2.1.5 วิธีการเก็บตัวอย่างพืชในภาคสนาม

เก็บตัวอย่างพืชในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 ตัวอย่างพืชทั้งหมดเก็บในบริเวณพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ (ภาพที่ 3.3) โดยแบ่งตัวอย่างพืชเพื่อทำตัวอย่างพรรณไม้และระบุชื่อพรรณไม้ โดยตัวอย่างพืชได้รับรหัส A17539 BCU และเก็บในพิพิธภัณฑ์พืช ศาสตราจารย์กสิณ สุวตะพันธ์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและตัวอย่างพืชส่วนหนึ่งใช้ในการวิเคราะห์เกลือ



ภาพที่ 3.3 การเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน (*E. geniculata*) ในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยพบคราบเกลือล้อมรอบโคนต้น

### 3.2.1.6 วิธีการวิเคราะห์ไอออนเกลือในพืช

โดยตรวจวัดความเข้มข้นของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในส่วนราก ลำต้น และช่อดอก โดยนำตัวอย่างพืชมาบดละเอียด ชั่งตัวอย่าง 0.1-0.2 g จากนั้นเผาตัวอย่างบนเตาอุณหภูมิร้อนจนตัวอย่างหมดควัน และนำไปเผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 100 °C จะเพิ่มขึ้นเป็นอุณหภูมิสุดท้ายที่ 500 °C จนแล้วสีขาว จากนั้นนำเถ้ามาละลายในกรดไนตริก 5 N ปริมาตร 5 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 ml และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและเขย่าจนเป็นเนื้อเดียวกัน และนำตัวอย่างไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

### 3.2.1.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบกราฟ รูปภาพ และตารางโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วย One-Way ANOVA ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน การเจริญเติบโต และความสามารถในการสะสมไอออนเกลือในหญ้าปล้องกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์

## 3.2.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

### 3.2.2.1 วิธีการคัดเลือกพืชเพื่อใช้ในการบำบัดความเค็มของน้ำบาดาล

การคัดเลือกพืชจากจุดเก็บทั้ง 11 จุดเพื่อนำไปใช้ในการทดลองตอนที่ 2 เรื่องการบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลโดยพิจารณาคัดเลือกจากจุดเก็บที่มีการสะสมโซเดียมในดินและในพืชมากที่สุด เนื่องจากคาดว่า ณ จุดเก็บนี้ พืชน่าจะมีความสามารถในการทนเค็มได้ดีที่สุดในสภาวะเค็ม

### 3.2.2.2 วิธีการเก็บน้ำบาดาล

เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจากพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ ( $16^{\circ}25'15.0''N$   $103^{\circ}17'44.0''E$ ) ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2566 เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลโดยใส่ภาชนะที่สะอาด ปริมาณ 40 L ใส่ภาชนะโพลีเอทิลีนและปิดให้สนิท จากนั้นนำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

### การตรวจสอบคุณภาพน้ำ (ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์, 2550)

#### การวิเคราะห์ค่า pH ในน้ำ

ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเล็กโทรดให้สะอาดและใช้กระดาษทิชชูซับให้แห้ง จากนั้นนำตัวอย่างน้ำที่ได้ตั้งบนเครื่องกวนสารละลายแม่เหล็ก และเปิดเครื่องพร้อมทั้งจุ่มอิเล็กโทรดลงในตัวอย่างน้ำรอจนค่าที่ปรากฏบนหน้าจอนิ่ง จึงบันทึกค่า จากนั้นใช้น้ำฉีดล้างอิเล็กโทรดให้สะอาดและใช้กระดาษทิชชูซับให้แห้งเพื่อวัดตัวอย่างต่อไป

#### การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำในน้ำ

การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำนั้นสามารถอ่านค่าด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งจะวัดไปพร้อมกับอุณหภูมิ

### การวิเคราะห์ปริมาณ โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำ

#### บดาด

ตวงตัวอย่างน้ำ 100 ml เติมกรดไนตริกปริมาตร 5 ml ลงในตัวอย่าง นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าที่อยู่ในตู้ดูดไอกรด โดยปรับระดับความร้อนให้สารละลายเดือด ย่อยตัวอย่างจนปริมาณลดลงเหลือประมาณ 5-10 ml ยกบีกเกอร์ของตัวอย่างลงมาจากเตา ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (ตู้ดูดไอกรด) เติมกรดไนตริกปริมาตร 5 ml ลงในตัวอย่าง ปิดด้วยกระจกนาฬิกากรองสารละลายใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 ml โดยใช้น้ำกลั่นชะล้างสารที่ผนังข้าง ๆ ของบีกเกอร์จำนวน 5 ครั้ง ครั้งละประมาณ 5 ml แล้วชะกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นอีก 2 รอบและปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

#### การวิเคราะห์คลอไรด์ในน้ำ

วิเคราะห์คลอไรด์ในน้ำโดยวิธีเมอร์ (Mohr's method) โดยเปิดตัวอย่างปริมาตร 10 ml เติมสารละลายโพแทสเซียมโครเมทจำนวน 5 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.0114 M จะได้ตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์ เมื่อไทเทรตจนถึงจุดยุติสารละลายจะมีตะกอนน้ำตาลแดงแขวนลอยปนอยู่ในสารละลายบันทึกปริมาตรซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ จากนั้นนำมาคำนวณตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Chloride (mg/L)} = \left( \frac{\text{Chloride (g)}}{\text{Sample}} \right) \times 10^6$$

$$\text{โดย Chloride (g)} = \frac{\text{AgNO}_3 \text{ (ml)} \times 0.0268 \text{ M} \times 35.50}{1000}$$

#### 3.2.2.3 การเพาะต้นกล้าเพื่อใช้ในการฟื้นฟูความเค็มของน้ำบาดาล

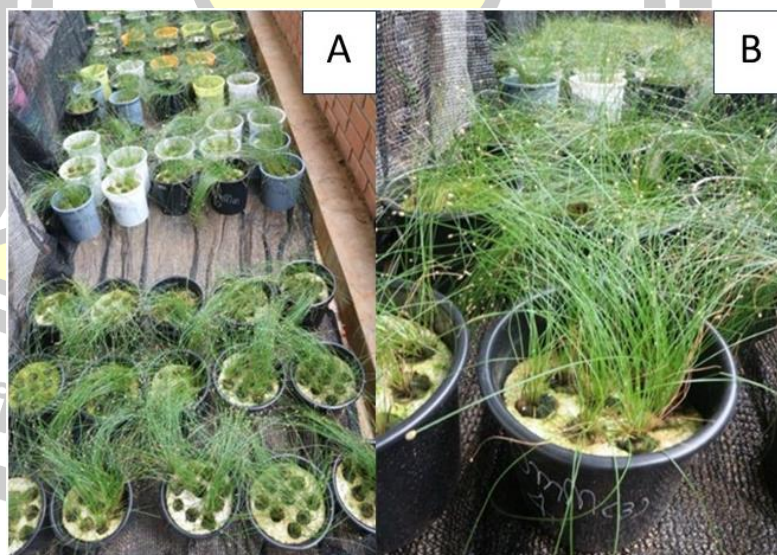
นำต้นกล้าจากพื้นที่ดินเค็มมาปลูกและปรับสภาพในห้องปฏิบัติการ โดยใช้สูตรอาหาร Half-Hoagland's solution (Malhotra *et al.*, 2014) เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ จนกระทั่งพืชมีการสร้างดอก เพื่อรย้ายไปทดสอบการบำบัดความเค็มในน้ำบาดาล (ภาพที่ 3.5)



ภาพที่ 3.4 การเพาะเลี้ยงต้นกล้าของพืช

#### 3.2.2.4 การลดเกลือในน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน

นำพืชที่ผ่านการคัดเลือกมาใช้ในชุดการทดลอง โดยเติมสารอาหารในสูตรอาหาร Half-Hoagland's solution เมื่อพืชสูง 10-15 cm จึงย้ายพืชไปทำการทดสอบการบำบัดน้ำบาดาล โดยเจือจางความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำบาดาลให้อยู่ในระดับ 0, 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L โดยใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 4 สัปดาห์ ซึ่งการทดลองทั้งหมดจะมีการจัดเรียงในรูปแบบบล็อกแบบสุ่ม (ภาพที่ 3.6)



ภาพที่ 3.5 การจัดวางกระถางชุดทดลองแบบบล็อกแบบสุ่ม (A) ลักษณะตัวอย่างพืชที่อยู่ในช่วงทดสอบความเค็ม (B)

### 3.2.2.5 การวัดการเจริญเติบโตของพืช

เก็บตัวอย่างพืชในทุก ๆ สัปดาห์ โดยเก็บตัวอย่างพืชในแต่ละความเข้มข้นทั้งหมด 9 ซ้ำ จากนั้นนำมาวัดการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความสูงลำต้นส่วนบน และความยาวราก และนำมาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ของอัตราเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth ; RGR) (ดัดแปลง Hunt, 1990)

$$RGR (\%) = \left( \frac{\ln G_2 - \ln G_1}{t} \right) \times 100$$

เมื่อ  $G_1$  ความสูงลำต้น/ ความยาวรากครั้งก่อน (cm)

$G_2$  ความสูงลำต้น/ ความยาวรากครั้งหลัง (cm)

t เวลา (สัปดาห์)

### 3.2.2.6 การวิเคราะห์ไอออนเกลือในแต่ละส่วนของหญ้าเปลือกกระเทียมหัว

แมลงวัน

ใช้วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับกับวิธีการวิเคราะห์ไอออนเกลือในพืชในพื้นที่ดิน (ข้อที่ 3.2.1.6) จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าศักยภาพการสะสมไอออนเกลือในหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน (Bioaccumulation factor; BAF) และศักยภาพการเคลื่อนย้ายไอออนเกลือจากรากสู่ลำต้นส่วนบน (Translocation factor) (Diwan *et al.* (2010)

$$BAF = \frac{\text{Salt concentration in plant}}{\text{Salt concentration in water}}$$

$$TF = \frac{\text{Salt concentration in shoot (stem + inflorescence)}}{\text{Salt concentration in root}}$$

### 3.2.2.7 การวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดไอออนเกลือในน้ำบาดาล

จากการวิเคราะห์ค่าไอออนเกลือในน้ำบาดาลทุก ๆ สัปดาห์ จากนั้นนำมาคำนวณความสามารถในการกำจัดไอออนเกลือ (%Removal) โดยคำนวณจากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Removal efficiency (\%)} = \left( \frac{\text{Input concentration} - \text{Output concentration}}{\text{Input concentration}} \right) \times 100$$

### 3.2.2.8 การวิเคราะห์โพรลิน

ชั่งตัวอย่างพืช 0.5 g ลงในโกร่งแล้วทำให้เป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นเติมกรดซัลโฟซาลิไซลิก 3% ปริมาตร 10 ml และนำมากรองจากนั้นนำสารสกัดที่ได้ปริมาตร 2 ml ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติมสารรีเอเจนต์กรดนินไฮดริน 2 ml กรดอะซิติก 30 ml. และกรดฟอสฟอริก 6 M 20 ml นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นนำหลอดทดลองไปแช่ในอ่างน้ำแข็งเพื่อยุติปฏิกิริยา และเติมโทลูอีน 4 ml ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นปิเปตสารที่ถูกแยกออกจากน้ำและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 nm ในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

### 3.2.2.9 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ชั่งตัวอย่าง 2 g เติมน้ำตาล 80% ปริมาตร 45 ml จากนั้นนำมาต้มเป็นระยะเวลา 15 นาที นำตัวอย่างมากรองและปรับปริมาตรเป็น 100 ml เตรียมสารมาตรฐานโดยใช้กลูโคสเป็นสารละลายมาตรฐาน โดยเตรียมความเข้มข้นดังนี้ 3, 6, 9, 12 และ 15 ml/mL จากนั้นปิเปตตัวอย่างที่สกัดได้และสารละลายมาตรฐานอย่างละปริมาตร 2 ml เติมน้ำฟีนอล 5% และกรดซัลฟิวริกปริมาตร 5 ml นำไปต้ม 10 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 492 nm

### 3.2.2.10 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลต่าง ๆ นำเสนอในรูปกราฟ รูปภาพ และตาราง โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วย Two- Way ANOVA ศึกษาการเจริญเติบโต การสะสมไอออนเกลือ ความสามารถในการบำบัดน้ำบาดาล ปริมาณโพรลิน และน้ำตาลทั้งหมด และ Multiple comparison และวิเคราะห์แบบหลายปัจจัย (Principal Component Analysis; PCA) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบความสามารถในการดูดซึมไอออนเกลือต่อการกำจัดเกลือในน้ำบาดาลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ระดับมีนัยสำคัญทางสถิติกำหนดที่ (p-value < 0.05)

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

การศึกษาการบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1) การทดลองในภาคสนาม โดยศึกษาสมบัติดิน วัฏจักรชีวิต นิเวศวิทยา การเจริญเติบโต และความสามารถในการสะสมไอออนเกลือในหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ตอนที่ 2) การทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาการเจริญเติบโต การบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลในระดับความเค็มต่าง ๆ การศึกษาศักยภาพในการสะสมไอออนเกลือ และ ศึกษาการลดความเค็มของน้ำบาดาลระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ศึกษาการสังเคราะห์สารทุติยภูมิของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันผ่านการบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลในระดับความเค็มต่าง ๆ

#### 4.1 การทดลองในภาคสนาม

##### 4.1.1 สมบัติดินที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม

ผลการศึกษาสมบัติดินที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอขามเฒ่า จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า เนื้อดินในจุดเก็บตัวอย่างมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) เป็นส่วนใหญ่ (ตารางที่ 4.1) โดยมีอนุภาคดินทรายเป็นส่วนประกอบมากที่สุดในทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยเฉพาะจุดเก็บตัวอย่างที่ 11 มีปริมาณของอนุภาคดินทรายมากที่สุด (77.09%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวมากที่สุด (23.46%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจุดเก็บตัวอย่างที่ 7 มีปริมาณอนุภาคดินทรายแป้งมากที่สุด (18.48%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินมีค่า pH เป็นกรดอ่อนถึงด่างอ่อน ค่าการนำไฟฟ้าของดินอยู่ในช่วงระดับไม่เค็มถึงดินเค็มปานกลาง โดยระดับไม่เค็มพบในจุดเก็บตัวอย่างที่ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 2 dS/m ระดับเค็มน้อยมีค่าการนำไฟฟ้าเกิน 2 dS/m ในจุดเก็บตัวอย่างที่ 9 ( $2.51 \pm 0.04$  dS/m) และระดับความเค็มปานกลางที่มีค่าการนำไฟฟ้า 4-8 dS/m ในจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ( $5.44 \pm 0.04$  dS/m) โดยเป็นจุดเก็บตัวอย่างมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พื้นที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ที่ 5.44 dS/m หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันสามารถเจริญเติบโตได้ในดินไม่เค็มจนถึงดินเค็มปานกลาง ความชื้นดินในจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (8.48 และ 8.61%) ตามลำดับ และค่าไอออนเกลือที่สะสมอยู่ในดินจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 มีปริมาณของโพแทสเซียมแมกนีเซียม สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ที่ 57.99 และ 65.77 mg/Kg ตามลำดับ แต่

ในดินจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 มีปริมาณโซเดียมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ที่ 2316 และ 2970 mg/Kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

**ตารางที่ 4.1** ปริมาณขนาดอนุภาคดินและชนิดเนื้อดินที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียม หัวแมลงวัน 11 จุดเก็บตัวอย่าง ในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์

Sites	Soil particles (%)			Soil Texture
	Sand	Clay	Silt	
1	70.60 ± 0.35 <sup>c</sup>	23.46 ± 2.40 <sup>a</sup>	5.94 ± 2.74 <sup>bc</sup>	ดินร่วนเหนียวปนทราย
2	68.14 ± 2.37 <sup>cd</sup>	23.84 ± 0.82 <sup>b</sup>	7.34 ± 2.59 <sup>b</sup>	ดินร่วนเหนียวปนทราย
3	75.76 ± 1.61 <sup>ab</sup>	21.22 ± 2.21 <sup>ab</sup>	3.02 ± 0.66 <sup>c</sup>	ดินร่วนเหนียวปนทราย
4	75.04 ± 2.94 <sup>d</sup>	18.23 ± 2.94 <sup>cd</sup>	6.74 ± 2.21 <sup>b</sup>	ดินร่วนปนทราย
5	77.16 ± 3.08 <sup>a</sup>	15.44 ± 0.91 <sup>de</sup>	7.40 ± 2.66 <sup>b</sup>	ดินร่วนปนทราย
6	66.16 ± 0.81 <sup>d</sup>	16.10 ± 1.43 <sup>de</sup>	17.74 ± 2.02 <sup>a</sup>	ดินร่วนปนทราย
7	68.06 ± 1.00 <sup>cd</sup>	13.79 ± 1.00 <sup>e</sup>	18.48 ± 1.64 <sup>a</sup>	ดินร่วนปนทราย
8	74.38 ± 1.19 <sup>b</sup>	19.18 ± 1.22 <sup>bc</sup>	6.44 ± 2.37 <sup>bc</sup>	ดินร่วนปนทราย
9	67.39 ± 1.66 <sup>d</sup>	16.57 ± 0.88 <sup>cde</sup>	16.04 ± 1.32 <sup>a</sup>	ดินร่วนปนทราย
10	74.17 ± 0.70 <sup>b</sup>	18.05 ± 1.47 <sup>cd</sup>	7.78 ± 1.63 <sup>b</sup>	ดินร่วนปนทราย
11	77.29 ± 1.72 <sup>a</sup>	14.74 ± 1.17 <sup>e</sup>	7.97 ± 2.36 <sup>b</sup>	ดินร่วนปนทราย

หมายเหตุ: n=3, mean ±S.D. <sup>a, b, ...</sup> แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม (p<0.05)

พหุ ประถมศึกษา

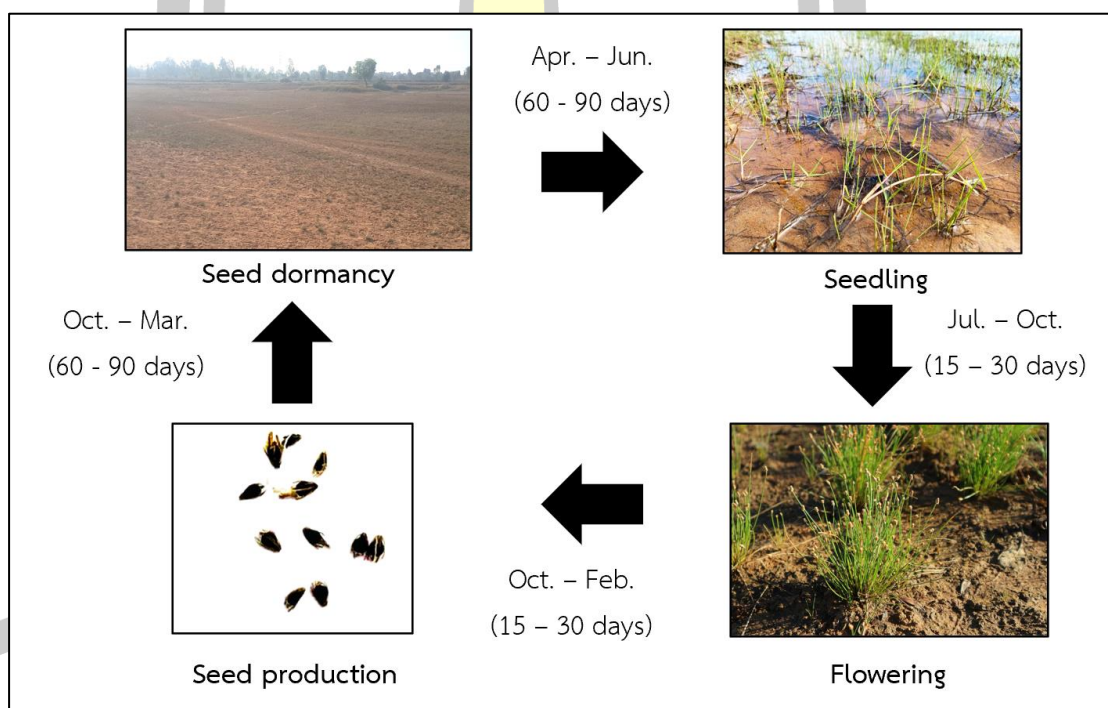
**ตารางที่ 4.2** สมบัติดินทางเคมีบางประการที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปรี๊ยะกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภออยางตลาคัด จังหวัดกาฬสินธุ์

Sites	pH	EC <sub>e</sub> (dS/m)	Moisture (%)	Salt ions (mg/Kg)				
				Potassium	Sodium	Calcium	Magnesium	Chloride
1	7.13 ± 0.06 <sup>c</sup>	1.53 ± 0.09 <sup>de</sup>	8.48 ± 0.25 <sup>a</sup>	27.772 ± 1.88 <sup>cd</sup>	680.28 ± 32.26 <sup>f</sup>	249.19 ± 5.31 <sup>c</sup>	33.80 ± 1.46 <sup>e</sup>	1822.41 ± 34.03 <sup>d</sup>
2	7.40 ± 0.20 <sup>b</sup>	1.81 ± 0.14 <sup>c</sup>	8.61 ± 0.46 <sup>a</sup>	57.99 ± 5.73 <sup>a</sup>	1747.80 ± 30.50 <sup>b</sup>	343.03 ± 16.53 <sup>b</sup>	65.77 ± 3.85 <sup>a</sup>	1078.70 ± 65.62 <sup>f</sup>
3	7.83 ± 0.00 <sup>a</sup>	5.44 ± 0.04 <sup>a</sup>	7.46 ± 0.79 <sup>abc</sup>	24.17 ± 2.47 <sup>de</sup>	2316.05 ± 123.98 <sup>a</sup>	231.38 ± 16.53 <sup>c</sup>	38.58 ± 0.75 <sup>d</sup>	2970.93 ± 61.99 <sup>a</sup>
4	7.53 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.80 ± 0.01 <sup>c</sup>	7.07 ± 0.62 <sup>bcd</sup>	22.29 ± 1.84 <sup>ef</sup>	295.52 ± 3.88 <sup>h</sup>	43.29 ± 5.83 <sup>s</sup>	12.71 ± 1.43 <sup>h</sup>	91.57 ± 0.09 <sup>j</sup>
5	7.83 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.89 ± 0.00 <sup>c</sup>	6.69 ± 0.39 <sup>bcd</sup>	67.96 ± 1.54 <sup>ef</sup>	479.23 ± 1.92 <sup>j</sup>	417.77 ± 2.93 <sup>e</sup>	24.76 ± 1.05 <sup>i</sup>	273.84 ± 0.13 <sup>j</sup>
6	7.37 ± 0.12 <sup>c</sup>	1.81 ± 0.09 <sup>c</sup>	6.63 ± 0.09 <sup>bcd</sup>	32.79 ± 4.00 <sup>bc</sup>	1071.29 ± 61.37 <sup>d</sup>	247.93 ± 17.07 <sup>c</sup>	44.41 ± 3.33 <sup>c</sup>	2228.66 ± 11.24 <sup>c</sup>
7	7.37 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.54 ± 0.04 <sup>de</sup>	7.84 ± 1.53 <sup>ab</sup>	35.07 ± 3.50 <sup>b</sup>	1669.44 ± 48.42 <sup>b</sup>	1784.87 ± 28.06 <sup>a</sup>	51.73 ± 1.27 <sup>b</sup>	177.92 ± 5.79 <sup>j</sup>
8	7.37 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.79 ± 0.04 <sup>c</sup>	6.49 ± 0.45 <sup>cd</sup>	28.35 ± 1.47 <sup>cd</sup>	1252.52 ± 23.80 <sup>c</sup>	194.70 ± 2.54 <sup>d</sup>	21.57 ± 1.98 <sup>f</sup>	1522.57 ± 0.78 <sup>e</sup>
9	6.60 ± 0.06 <sup>d</sup>	2.51 ± 0.04 <sup>b</sup>	7.84 ± 1.00 <sup>ab</sup>	12.84 ± 1.37 <sup>s</sup>	478.29 ± 42.05 <sup>s</sup>	78.21 ± 1.21 <sup>f</sup>	17.44 ± 1.65 <sup>s</sup>	409.55 ± 0.26 <sup>h</sup>
10	6.03 ± 0.30 <sup>e</sup>	1.45 ± 0.02 <sup>f</sup>	6.08 ± 0.76 <sup>d</sup>	13.85 ± 2.38 <sup>f</sup>	777.93 ± 28.90 <sup>d</sup>	148.46 ± 5.67 <sup>d</sup>	16.66 ± 2.20 <sup>f</sup>	565.01 ± 23.22 <sup>s</sup>
11	7.13 ± 0.02 <sup>c</sup>	1.70 ± 0.16 <sup>cd</sup>	7.54 ± 0.20 <sup>abc</sup>	36.99 ± 1.39 <sup>b</sup>	937.52 ± 33.68 <sup>e</sup>	197.30 ± 4.97 <sup>d</sup>	51.41 ± 1.48 <sup>b</sup>	2367.28 ± 27.98 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: n=3, mean ± S.D. <sup>a, b, ...</sup> แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ )

#### 4.1.2 วัฏจักรชีวิตและนิเวศวิทยาของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม

ผลการศึกษาวัฏจักรชีวิตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีการเจริญเติบโตแบบพืชปีเดียว (Annual plant) โดยพบการเจริญในพื้นที่ที่เปิดโล่งและมีน้ำท่วมขังในช่วงฤดูฝน สามารถแบ่งการเจริญเติบโตได้ 4 ระยะ ได้แก่ 1) **ระยะต้นกล้า (Seedling)** ใช้เวลาประมาณ 15-30 วัน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม 2) **ระยะออกดอกและพัฒนาเมล็ด (Flowering)** ใช้เวลาประมาณ 15-30 วัน ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ และในช่วงนี้จะปรากฏของคราบเกลือบนผิวดินร่วมด้วย 3) **ระยะสร้างเมล็ด (Seed production)** ใช้เวลาประมาณ 60-90 วัน ตั้งแต่ช่วงเดือนตุลาคมถึงมีนาคม 4) **ระยะพักของเมล็ด (Seed dormancy)** ใช้เวลาประมาณ 60-90 วัน ตั้งแต่ช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน ซึ่งสังเกตได้จากการร่วงของช่อดอก (ภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3)



ภาพที่ 4.1 วัฏจักรชีวิตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม

Periods	months											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2021												
Seed dormancy								*	*			
Seeding												
Flowering												
Seed production												
2022												
Seed dormancy							*	*	*			
Seeding												
Flower												
Seed production												
2023												
Seed dormancy							*	*	*			
Seeding												
Flowering												
Seed production												

Found
  Not Found
  Flood

ภาพที่ 4.2 ช่วงระยะเวลาที่พบระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน ในพื้นที่ดินเค็ม (พ.ศ. 2564 -2566)



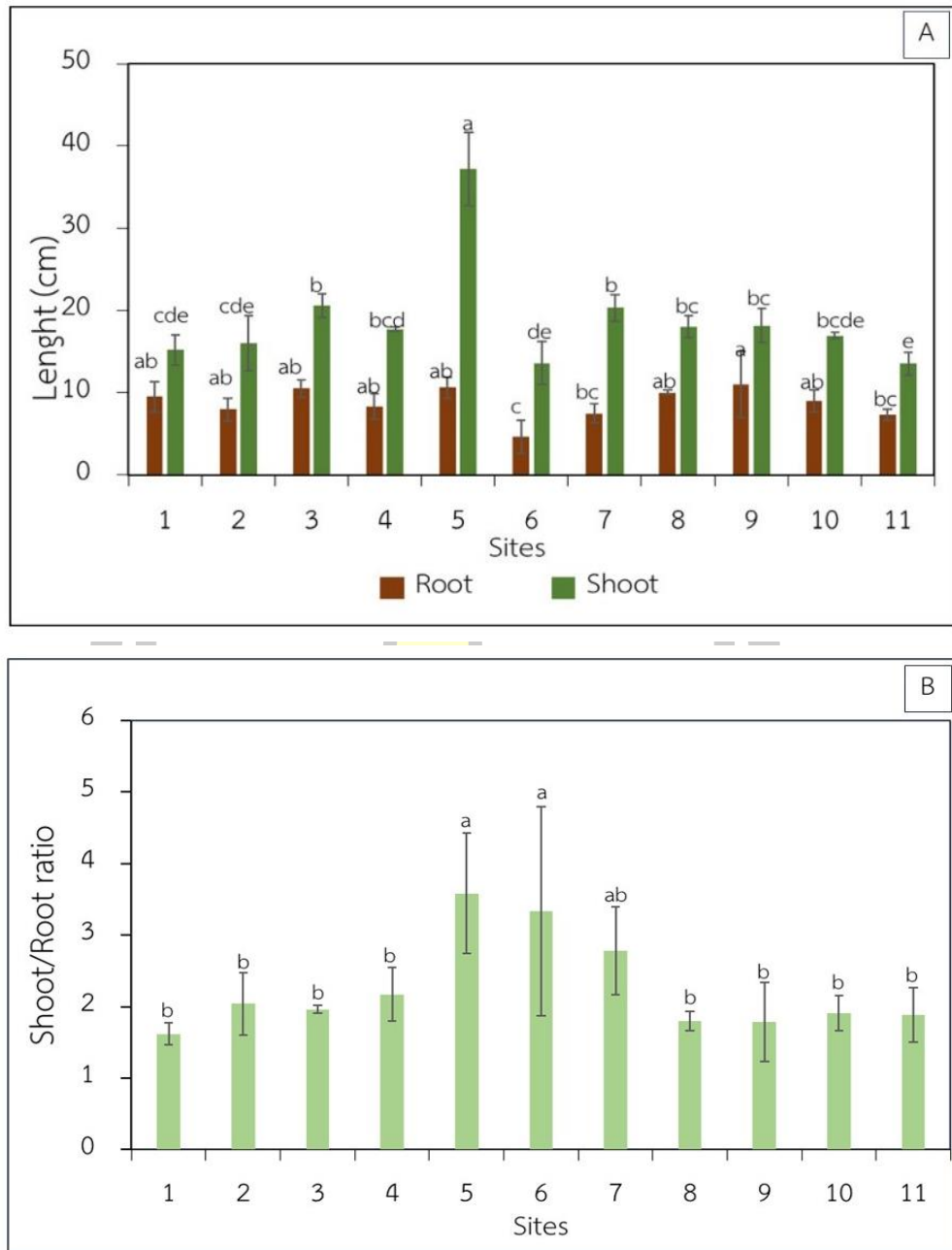
ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงนิเวศวิทยาของพื้นที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในช่วงปี พ.ศ. 2564 ถึง 2566 ที่ในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายนคือพื้นที่ในช่วงหน้าน้ำหลาก (A) ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์คือพื้นที่ที่พบพืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่ (B) และตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายนคือพื้นที่เข้าสู่ในช่วงระยะพักเมล็ดของพืช (C)

พหุบัณฑิต ชีวะ

#### 4.1.3 การเจริญเติบโตของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม

ผลการศึกษการเจริญเติบโตของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่เจริญเติบโตในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่เจริญเติบโตในจุดเก็บตัวอย่างที่ 5 มีการเจริญเติบโตของลำต้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความสูงอยู่ที่ 37.2 cm และหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่เจริญเติบโตในพื้นที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 9 มีความยาวรากมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความยาวอยู่ที่ 11.00 cm (ภาพที่ 4.4A) ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวพบว่าหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็มจะสร้างชีวมวลส่วนบนมากกว่าชีวมวลส่วนล่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจุดเก็บตัวอย่างที่ 5 และจุดเก็บตัวอย่างที่ 6 ที่มีอัตราความสูงของลำต้นต่อความยาวรากสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 3.58 และ 3.33 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4B)

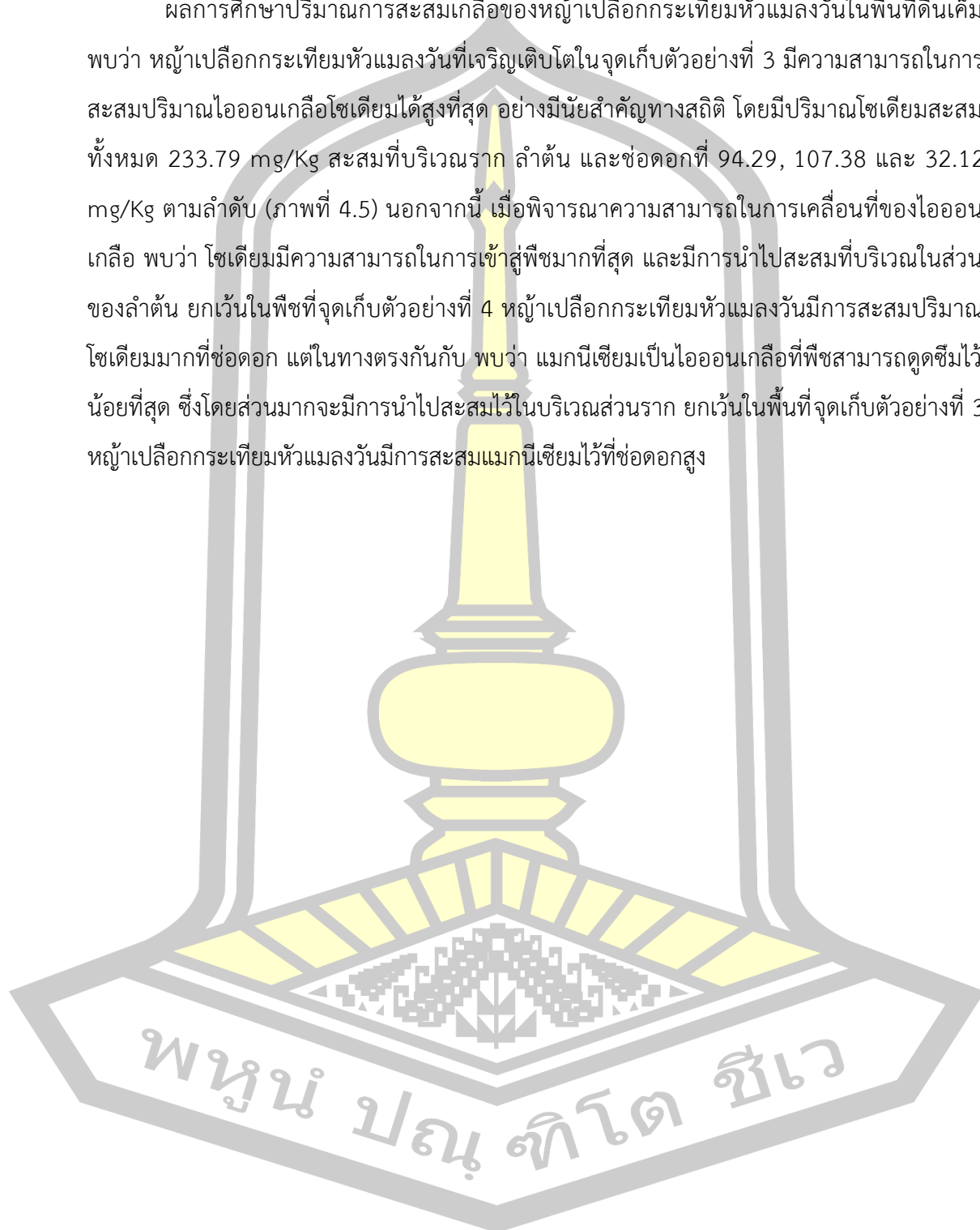


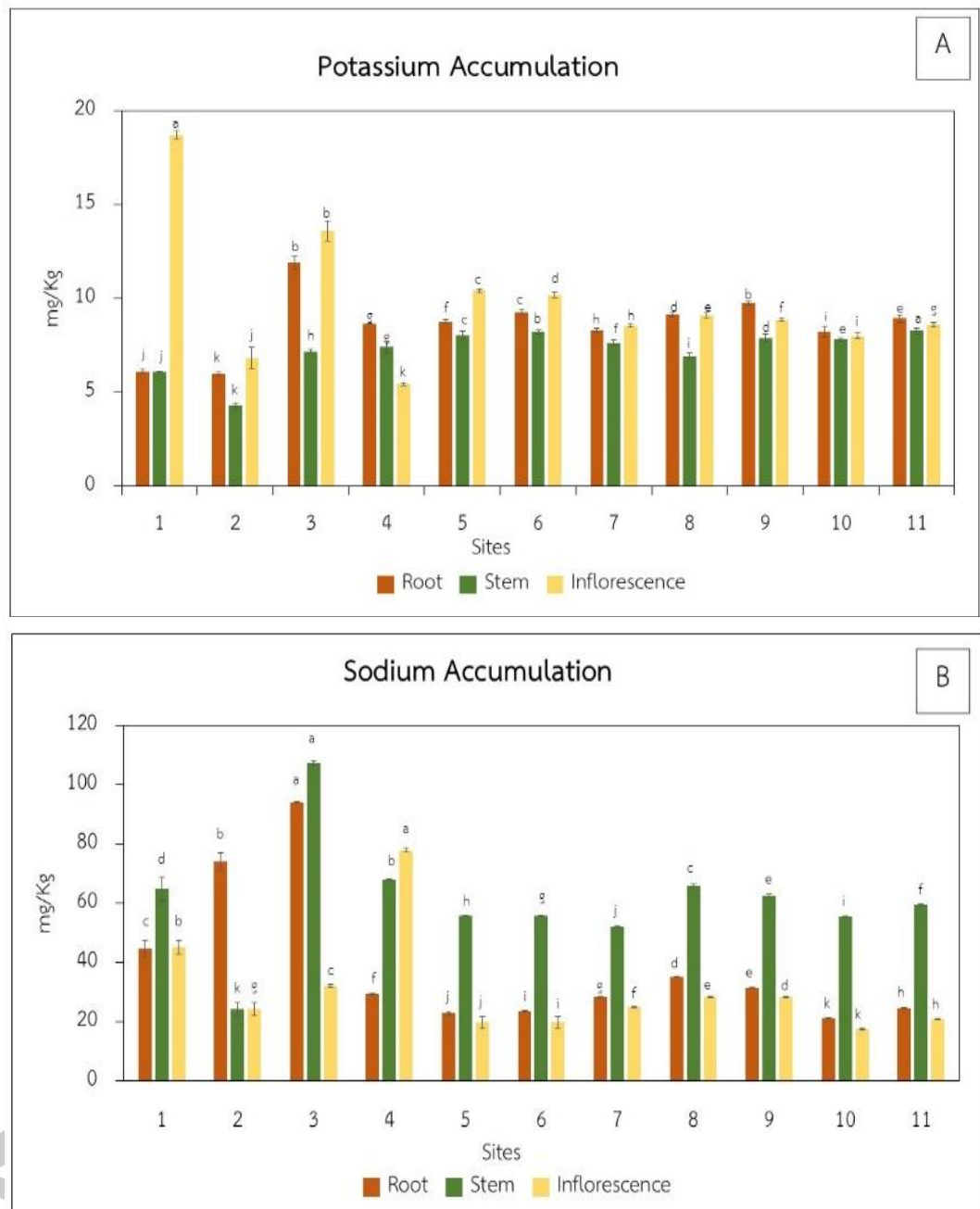


ภาพที่ 4.4 การเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ความยาวของราก และความสูงของลำต้น (A) อัตราส่วนระหว่างความสูงของลำต้นต่อความยาวราก (B) ( $n=3$ ), mean  $\pm$  S.D. a, b... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ )

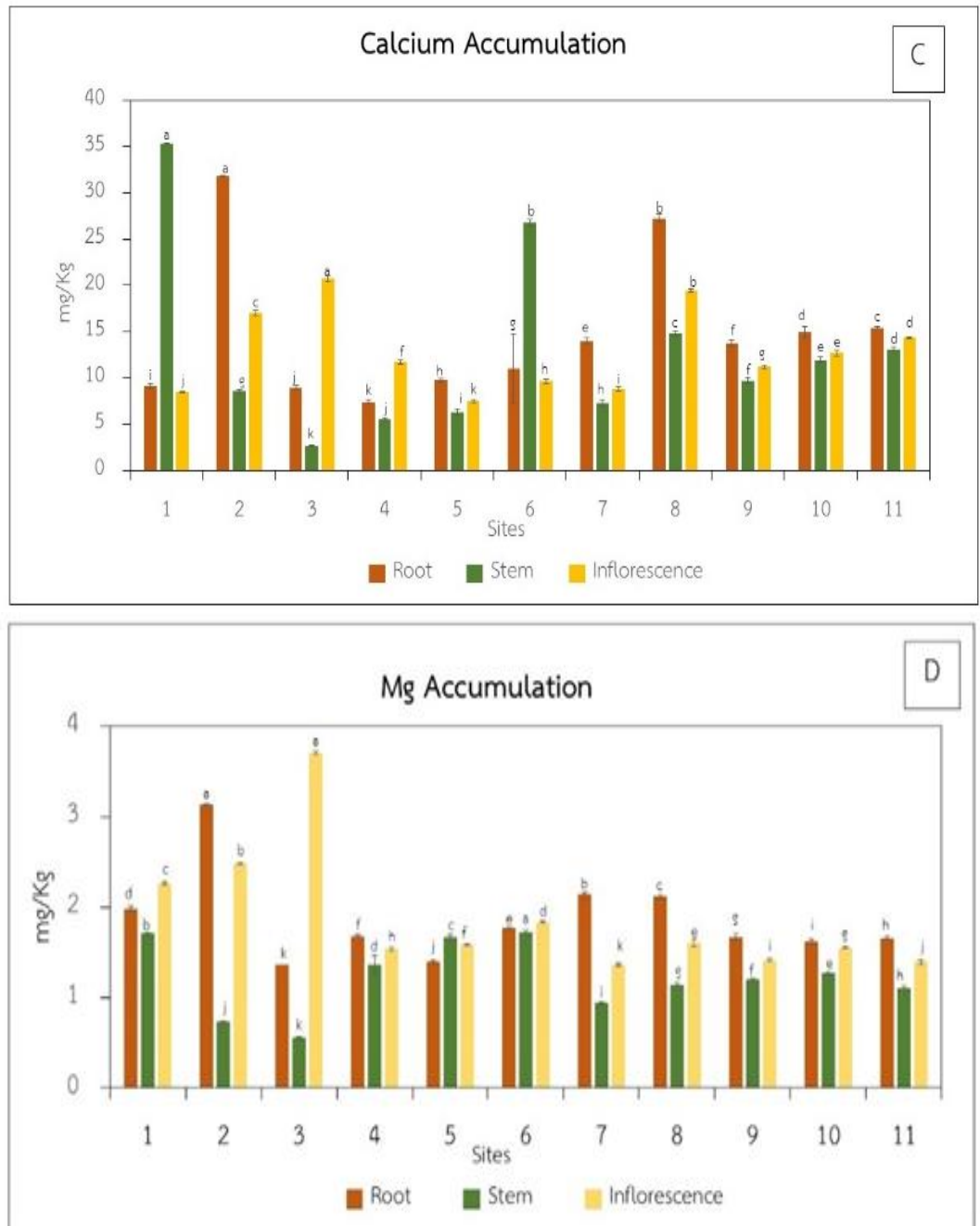
#### 4.1.4 ปริมาณการสะสมไอออนเกลือของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม

ผลการศึกษาปริมาณการสะสมเกลือของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็มพบว่า หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่เจริญเติบโตในจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 มีความสามารถในการสะสมปริมาณไอออนเกลือโซเดียมได้สูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณโซเดียมสะสมทั้งหมด 233.79 mg/Kg สะสมที่บริเวณราก ลำต้น และช่อดอกที่ 94.29, 107.38 และ 32.12 mg/Kg ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออนเกลือ พบว่า โซเดียมมีความสามารถในการเข้าสู่พืชมากที่สุด และมีการนำไปสะสมที่บริเวณในส่วนของลำต้น ยกเว้นในพืชที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีการสะสมปริมาณโซเดียมมากที่ช่อดอก แต่ในทางตรงกันกับพบว่า แมกนีเซียมเป็นไอออนเกลือที่พืชสามารถดูดซึมได้น้อยที่สุด ซึ่งโดยส่วนมากจะมีการนำไปสะสมไว้ในบริเวณส่วนราก ยกเว้นในพื้นที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีการสะสมแมกนีเซียมไว้ที่ช่อดอกสูง





ภาพที่ 4.5 ปริมาณการสะสมไอออนเกลือในส่วนต่าง ๆ (ราก ลำต้น และช่อดอก) ของหญ้าเปือก  
 กระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม โพแทสเซียม (A) โซเดียม (B) แคลเซียม (C) และ  
 แมกนีเซียม (D) (n=3), mean  $\pm$  S.D. <sup>a, b, ...</sup> แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
 ระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ )

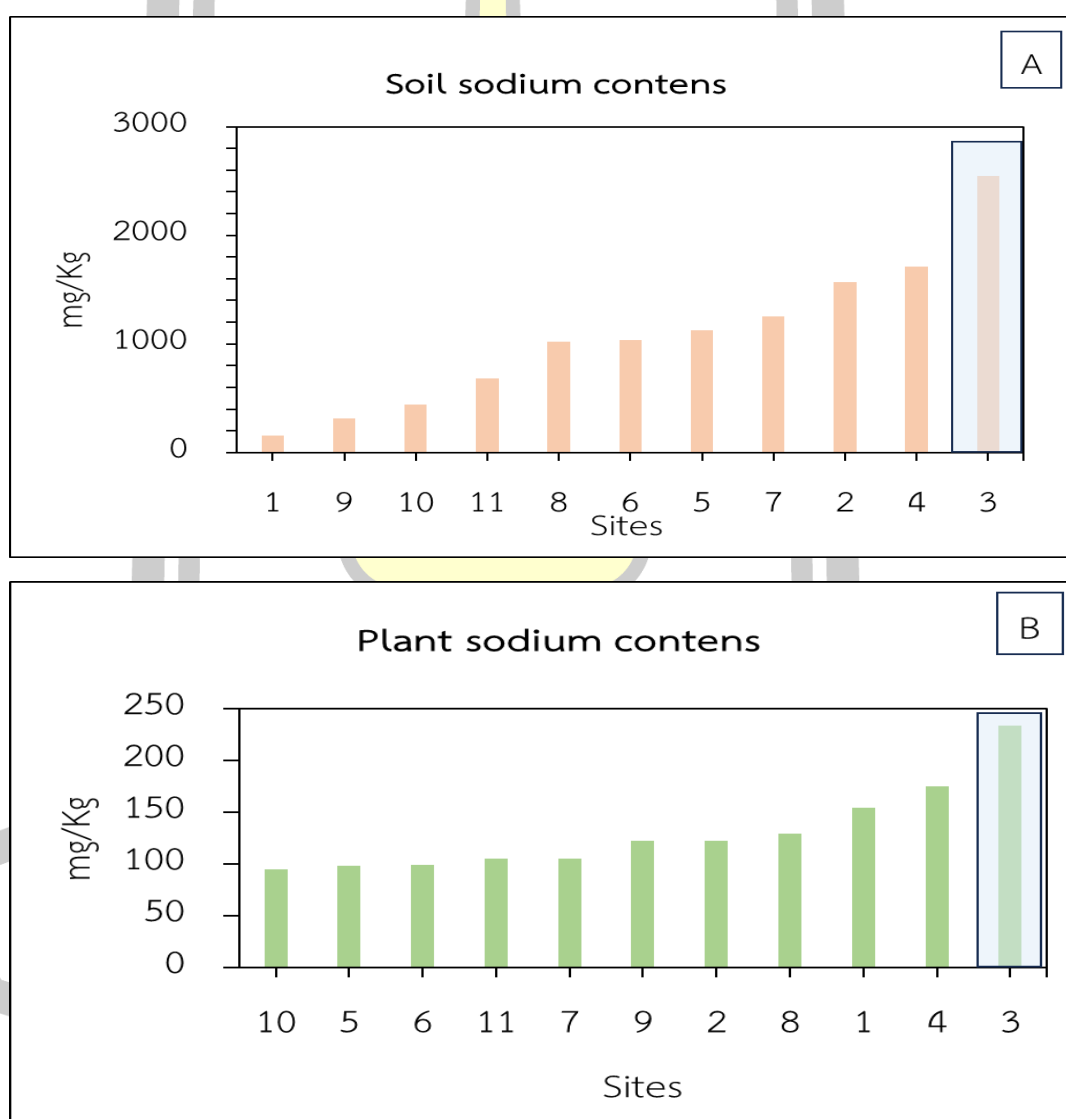


ภาพที่ 4.5 (ต่อ) ปริมาณการสะสมไอออนเกลือในส่วนต่าง ๆ (ราก ลำต้น และช่อดอก) ของหญ้า เปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม โพแทสเซียม (A) โซเดียม (B) แคลเซียม (C) และแมกนีเซียม (D) (n=3), mean  $\pm$  S.D. <sup>a, b, ...</sup> แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ )

#### 4.1.5 การคัดเลือกจุดเก็บตัวอย่างเพื่อนำตัวอย่างพืชไปใช้ในการบำบัดความเค็มของน้ำ

##### บาดาล

จากการศึกษาปริมาณไอออนโซเดียมในดิน และปริมาณการสะสมโซเดียมของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ เพื่อพิจารณาในการเลือกพื้นที่ในการนำพืชไปใช้ในการบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลในห้องปฏิบัติการพบว่า พื้นที่จุดที่ 3 เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณโซเดียมในดินสูงที่สุดที่ 2549.38 mg/Kg และพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่นี้มีความสามารถในการสะสมปริมาณโซเดียมสูงที่สุดที่ 233.79 mg/Kg



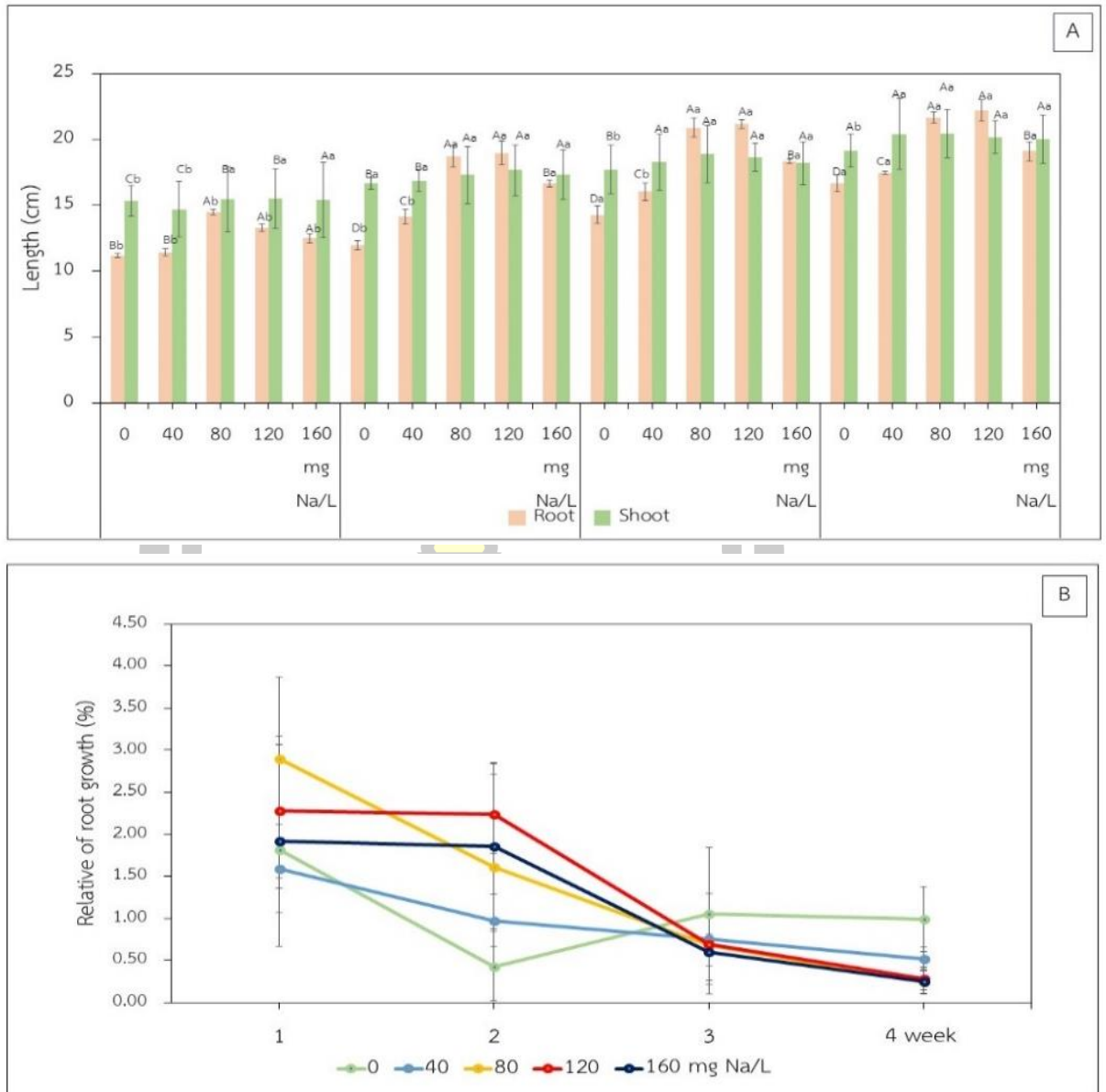
ภาพที่ 4.6 ปริมาณโซเดียมในดิน และปริมาณการสะสมโซเดียมในหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน ในแต่ละพื้นที่จุดเก็บ ณ พื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยเรียงตามลำดับปริมาณโซเดียมจากน้อยไปมาก

## 4.2 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ

### 4.2.1 การเจริญเติบโตของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในน้ำบาดาล

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0, 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันสามารถเจริญเติบโตในน้ำบาดาลที่มีความเค็มได้ โดยมีการเจริญเติบโตในส่วนของ ลำต้นสูงกว่ารากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่เจริญเติบโตในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 80 และ 120 mg Na/L ในช่วงระยะเวลาของสัปดาห์ที่ 2 ที่มีการเจริญเติบโตของรากมากกว่าลำต้น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ พบว่า การเจริญเติบโตของรากและการเจริญเติบโตของลำต้นที่เจริญเติบโตในแต่ละสัปดาห์มีการเจริญเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีการเจริญเติบโตแบบลดลง โดยการเจริญเติบโตของรากของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L มีอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลงตั้งแต่ช่วงระยะเวลาที่สัปดาห์ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 4 และการเจริญเติบโตลำต้นของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40, 120 และ 160 mg Na/L พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่ลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ 3 และเริ่มมีการฟื้นฟูเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 4 (ภาพที่ 4.7)



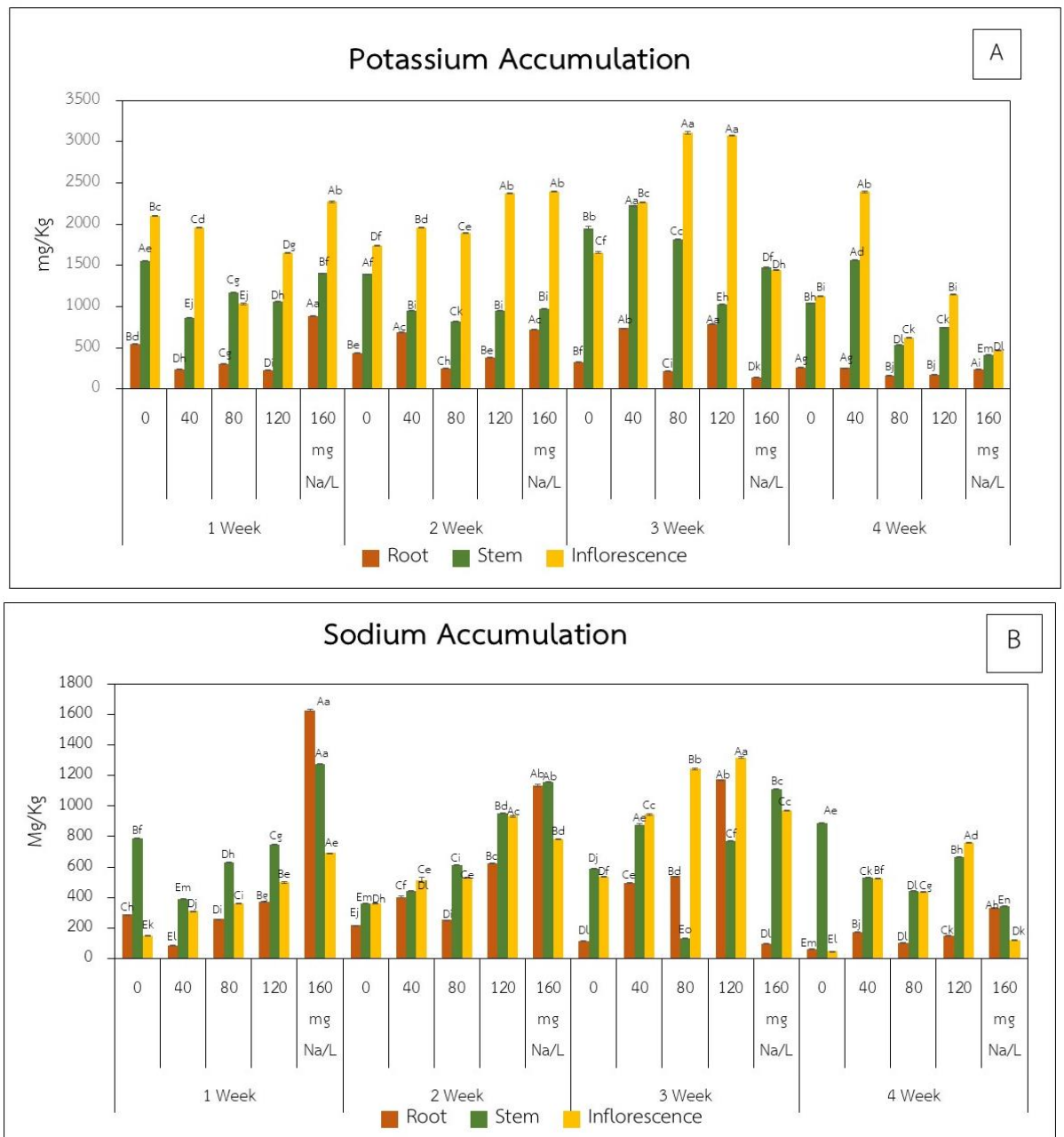


ภาพที่ 4.7 การเจริญเติบโตของลำต้นของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0, 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยความยาวของรากและความสูงของลำต้น (A) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของราก (B) และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของลำต้นส่วนบน ( $n=3$ ),  $\text{mean} \pm \text{S.D.}$  <sup>a, b...</sup> แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ ) และ <sup>A, B, ...</sup> แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม ( $p < 0.05$ )

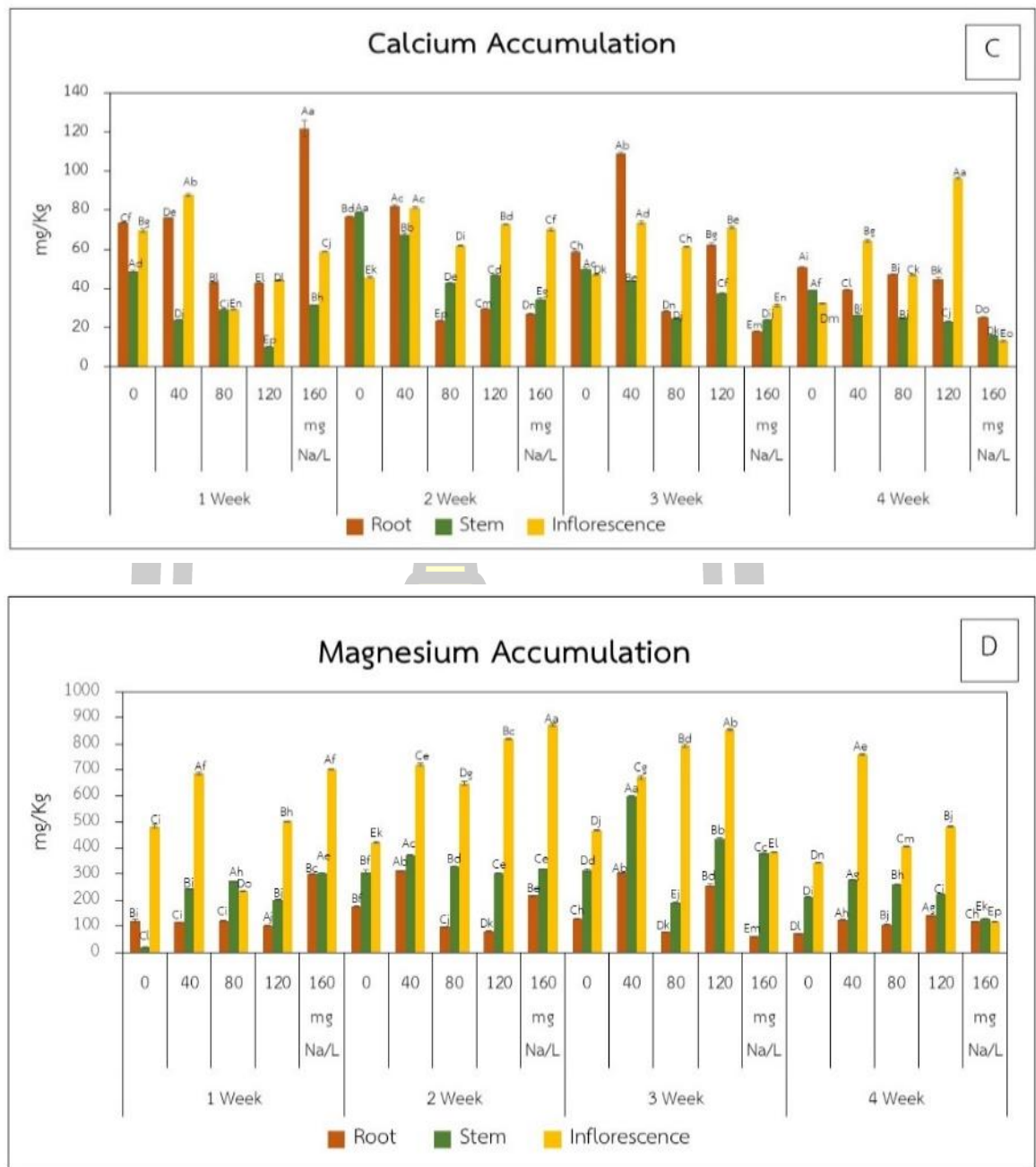
#### 4.2.2 ปริมาณการสะสมไอออนเกลือของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในน้ำบาดาล

จากการศึกษาความสามารถในการสะสมไอออนเกลือของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้บำบัดความเค็มในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0, 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L ในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีความสามารถในการดูดซึมโซเดียมมากกว่าเก็บไว้ที่บริเวณลำต้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีความสามารถในการดูดซึมโพแทสเซียมและแมกนีเซียมมากกว่าเก็บไว้ที่ช่อดอกมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ระยะเวลาช่วงที่ 1-3 สัปดาห์ จะมีความสามารถในการดูดซึมปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมมากในทุก ๆ ระดับความเค็มและมีการลดการดูดซึมที่สัปดาห์ที่ 4 ทั้งนี้ K/Na ในหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันการรักษาปริมาณโพแทสเซียมไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะมีการรักษาโพแทสเซียมไว้มากที่สุดที่ช่อดอก ยกเว้นในหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 80 mg Na/L ในสัปดาห์ที่ 3 พบว่า พืชมีการรักษาโพแทสเซียมไว้ที่ส่วนของลำต้น (ภาพที่ 4.8) นอกจากนี้ ค่าความสามารถในการสะสมไอออนเกลือ และค่าความสามารถการเคลื่อนย้ายไอออนเกลือจากรากสู่ลำต้นส่วนบน พบว่าหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีค่าความสามารถในการสะสมไอออนเกลือโพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมได้ดี ซึ่งมีค่า BAF > 1 โดยเฉพาะ ในหญ้าเปลือกกระเทียมวันที่ใช้บำบัดในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 160 mg Na/L ในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งมีความสามารถในการสะสมปริมาณโพแทสเซียมสูง (388.45) (ภาพที่ 4.9A) นอกจากนี้ หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีความสามารถการเคลื่อนย้ายไอออนเกลือจากรากสู่ลำต้นส่วนบนได้ดี ซึ่งมีค่า TF > 1 ในทุกๆ ระดับความเค็มและทุกๆ สัปดาห์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในหญ้าเปลือกกระเทียมวันที่ใช้บำบัดในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 80 mg Na/L ในสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งมีความสามารถการเคลื่อนย้ายปริมาณโพแทสเซียมสูงจากรากสู่ลำต้นส่วนบนได้ดี (22.50) (ภาพที่ 4.9B)

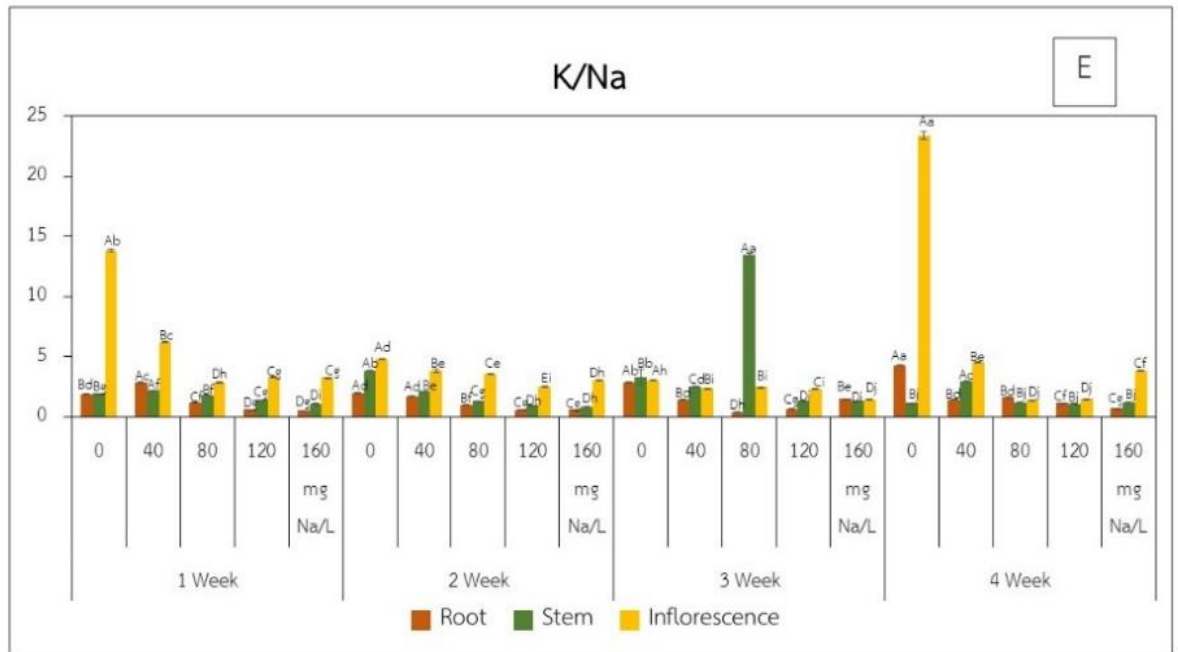
พจน ปรณ ทิโต ชีเว



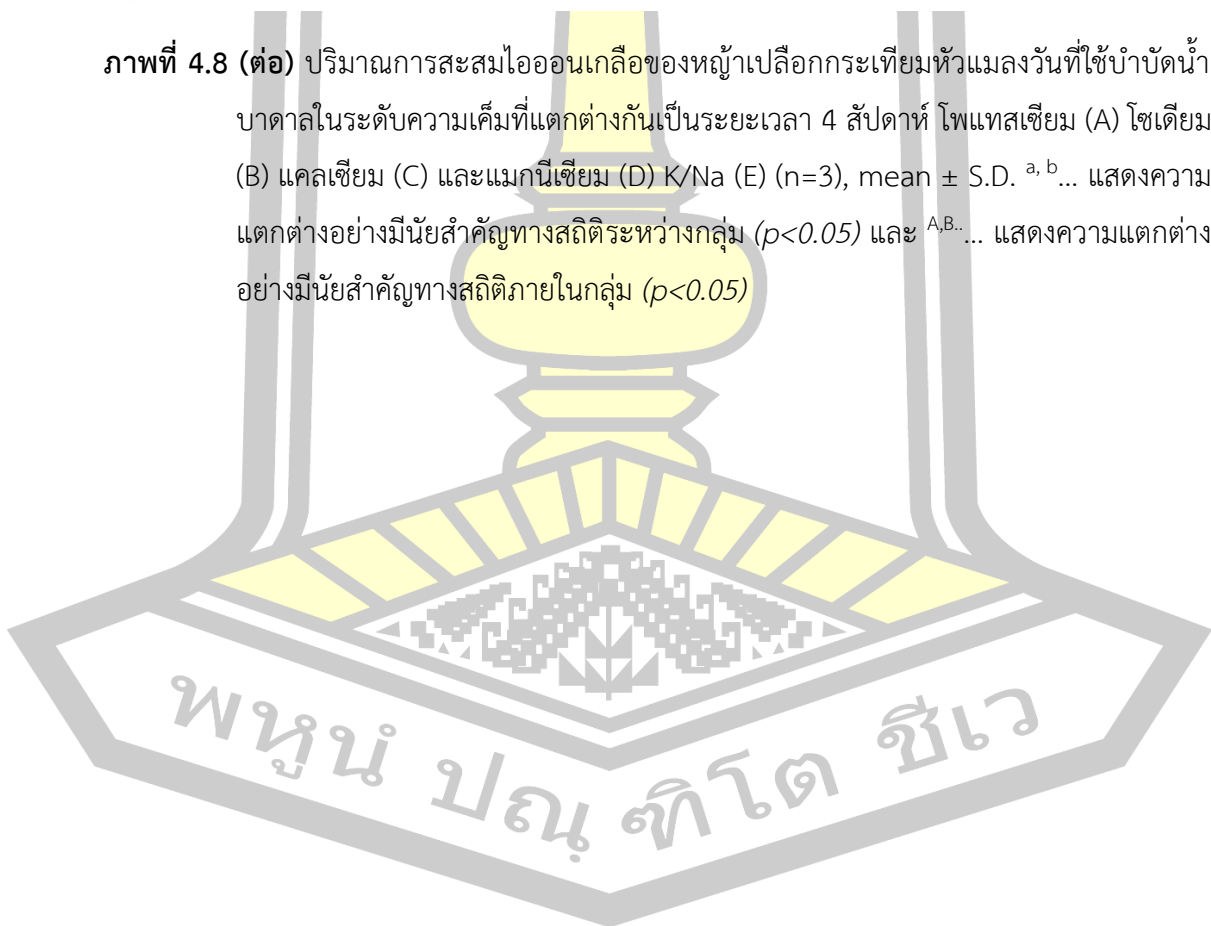
ภาพที่ 4.8 ปริมาณการสะสมไอออนเกลือของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้บำบัดน้ำบาดาล ในระดับความเค็มที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โพแทสเซียม (A) โซเดียม (B) แคลเซียม (C) และแมกนีเซียม (D) K/Na (E) (n=3), mean  $\pm$  S.D. <sup>a, b</sup>... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ ) และ <sup>A, B</sup>... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม ( $p < 0.05$ )

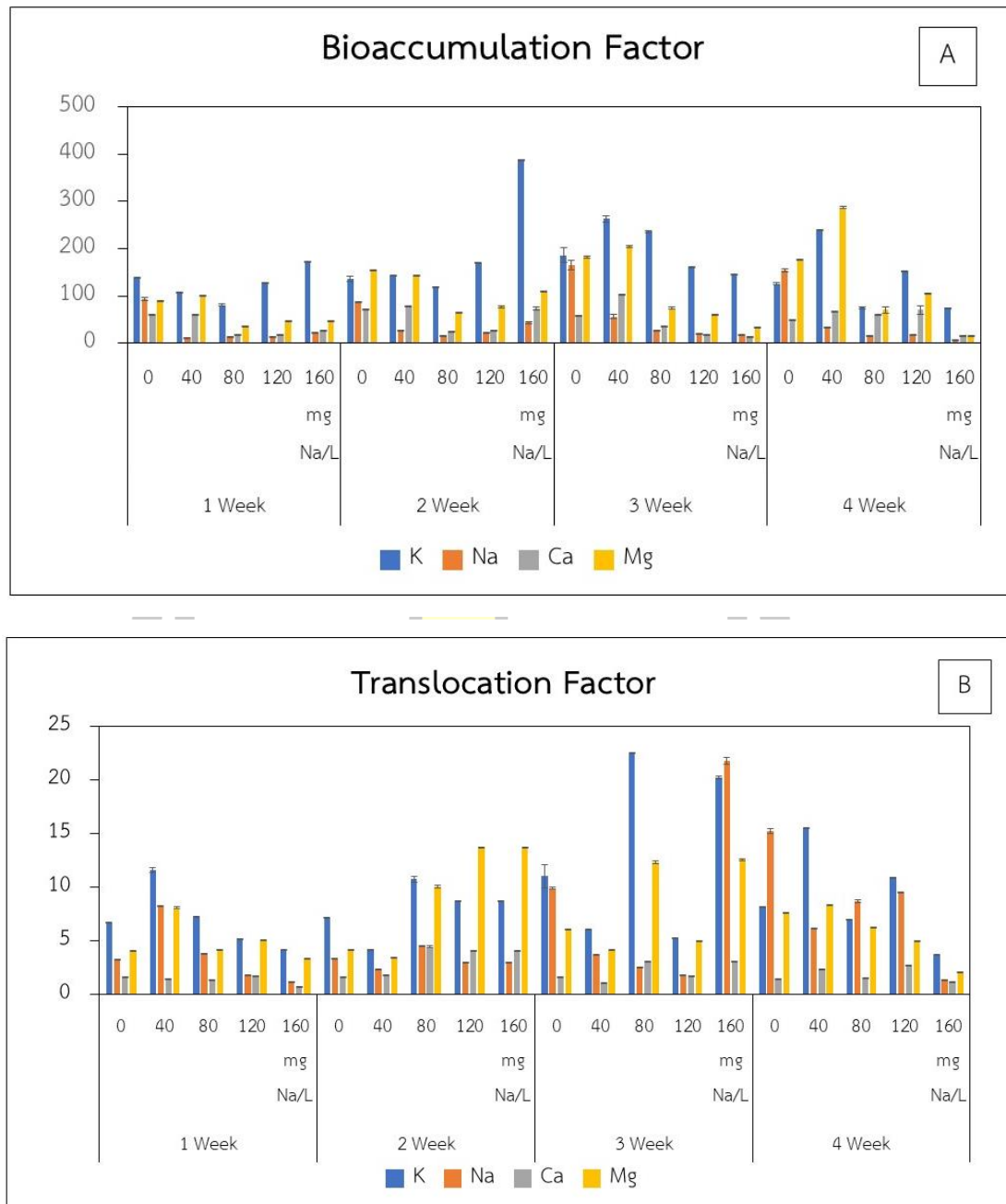


ภาพที่ 4.8 (ต่อ) ปริมาณการสะสมไอออนเกลือของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้บำบัดน้ำบาดาลในระดับความเค็มที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โปแทสเซียม (A) โซเดียม (B) แคลเซียม (C) และแมกนีเซียม (D) K/Na (E) ( $n=3$ ), mean  $\pm$  S.D. <sup>a, b</sup>... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ ) และ <sup>A, B</sup>... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม ( $p < 0.05$ )



ภาพที่ 4.8 (ต่อ) ปริมาณการสะสมไอออนเกลือของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้บำบัดน้ำบาดาลในระดับความเค็มที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โปแทสเซียม (A) โซเดียม (B) แคลเซียม (C) และแมกนีเซียม (D) K/Na (E) (n=3), mean  $\pm$  S.D. <sup>a, b...</sup> แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ ) และ <sup>A, B...</sup>... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม ( $p < 0.05$ )

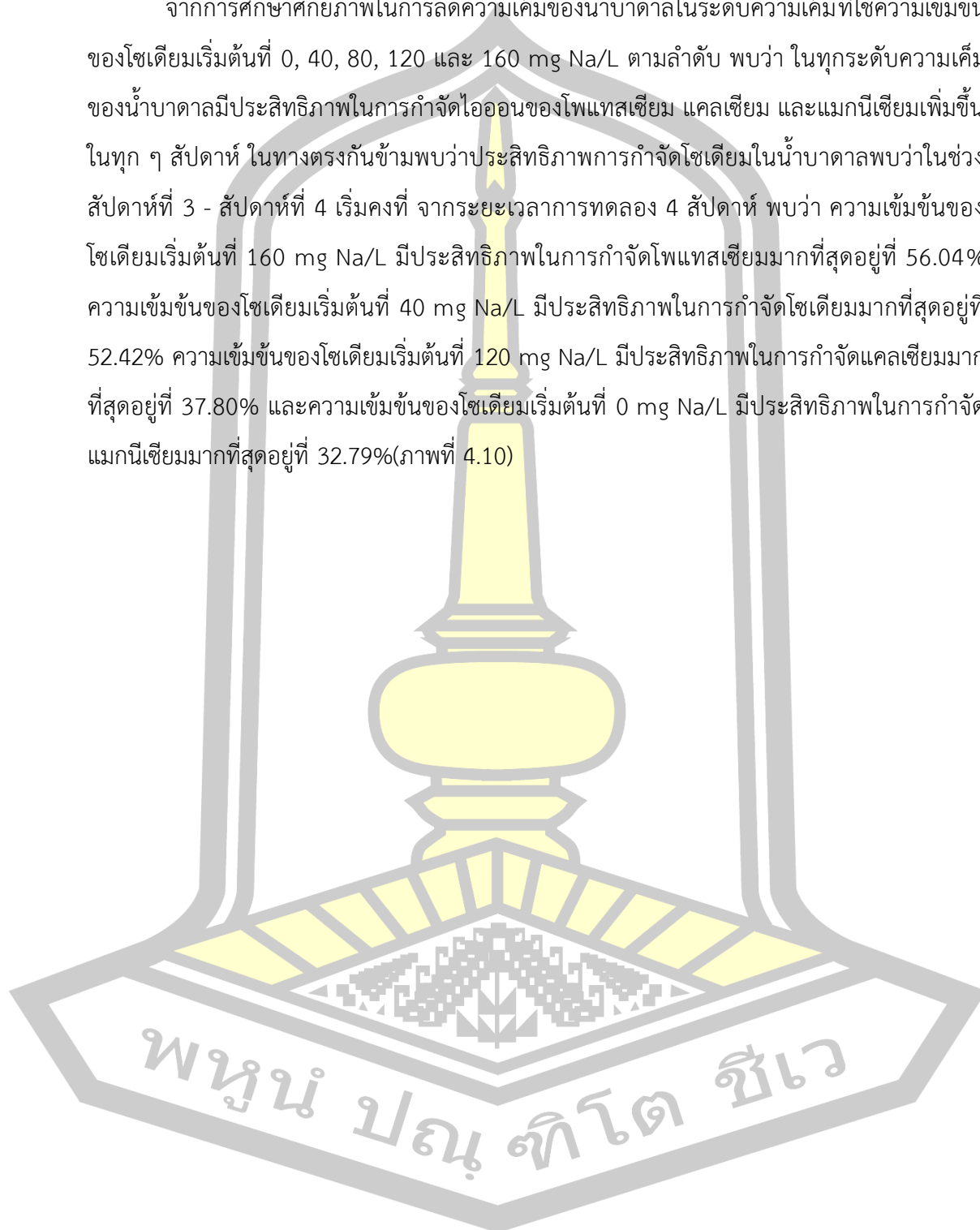


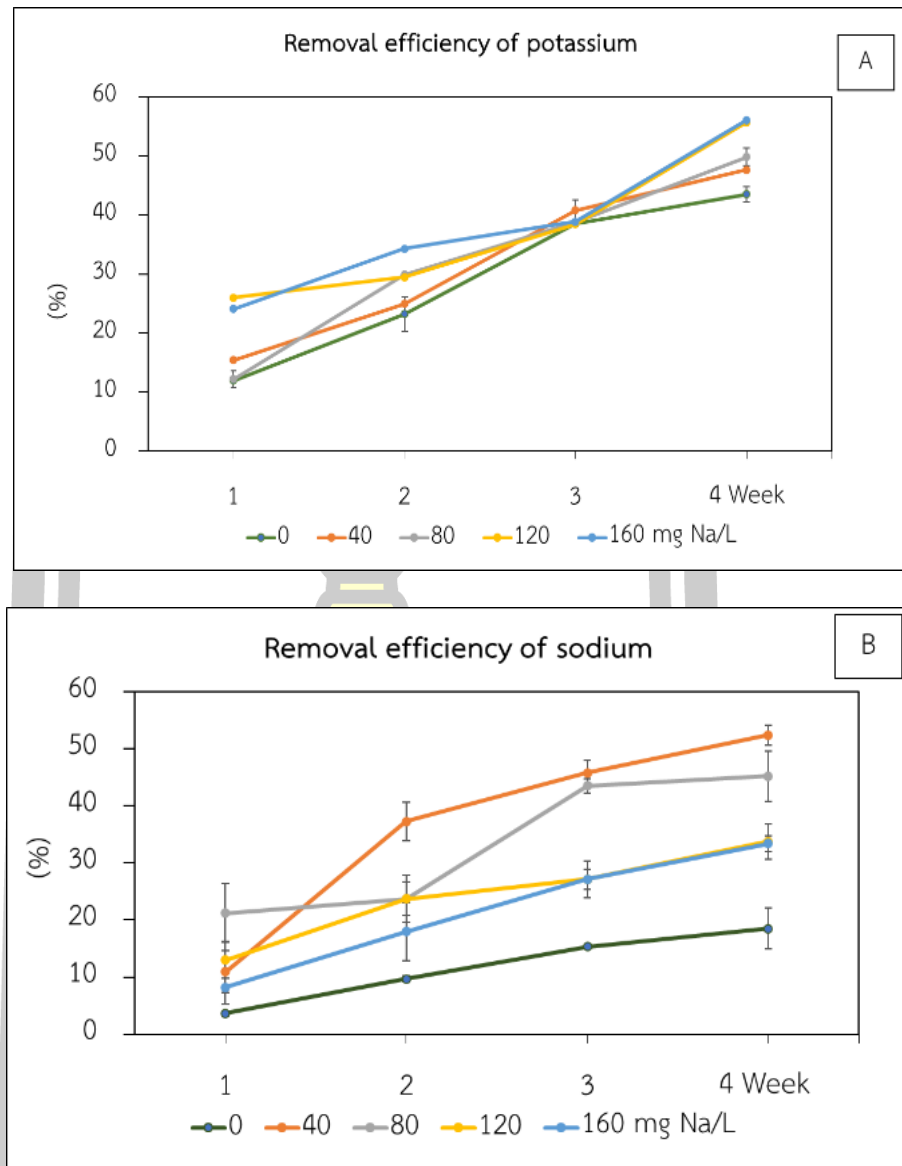


ภาพที่ 4.9 ค่า Bioaccumulation factor และค่า Translocation factor ของหญ้าเปือก  
กระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้บำบัดน้ำบาดาลในระดับความเค็มที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา  
4 สัปดาห์โพแทสเซียม (A) โซเดียม (B) แคลเซียม (C) และแมกนีเซียม (D) (n=3),  
mean  $\pm$  S.D.

#### 4.2.3 ความสามารถในการลดความเค็มในน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน

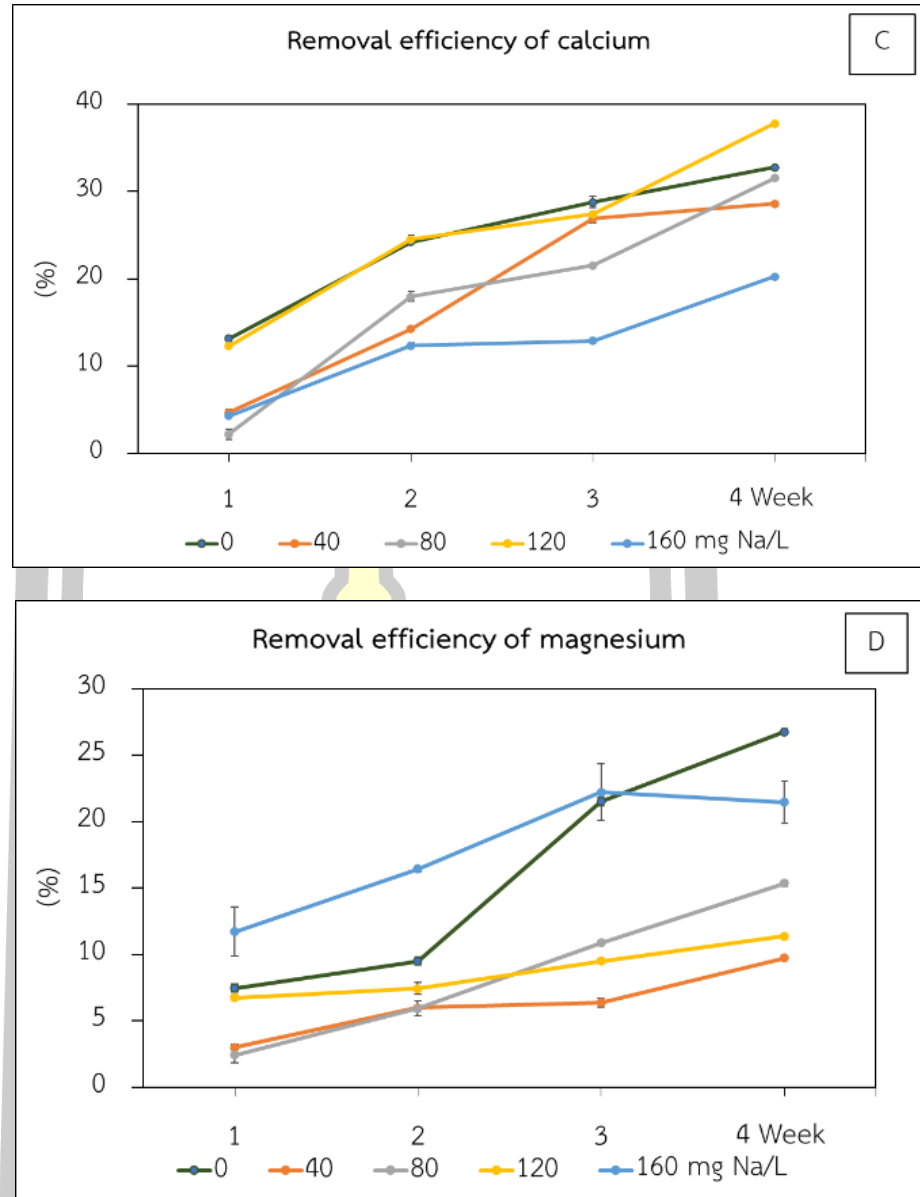
จากการศึกษาศักยภาพในการลดความเค็มของน้ำบาดาลในระดับความเค็มที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0, 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L ตามลำดับ พบว่า ในทุกระดับความเค็มของน้ำบาดาลมีประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นในทุก ๆ สัปดาห์ ในทางตรงกันข้ามพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมในน้ำบาดาลพบว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 3 - สัปดาห์ที่ 4 เริ่มคงที่ จากระยะเวลาการทดลอง 4 สัปดาห์ พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 160 mg Na/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดโพแทสเซียมมากที่สุดอยู่ที่ 56.04% ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมมากที่สุดอยู่ที่ 52.42% ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 120 mg Na/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคลเซียมมากที่สุดอยู่ที่ 37.80% และความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0 mg Na/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมกนีเซียมมากที่สุดอยู่ที่ 32.79%(ภาพที่ 4.10)





ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดเกลือในน้ำบาดาลในระดับความเค็มที่แตกต่างกัน โดยใช้หญ้า เปลือกกระเทียมหัวแมลงวันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โพแทสเซียม (A) โซเดียม (B) แคลเซียม (C) และแมกนีเซียม (D) (n=3), mean  $\pm$  S.D

พหุ ประสิทธิภาพ



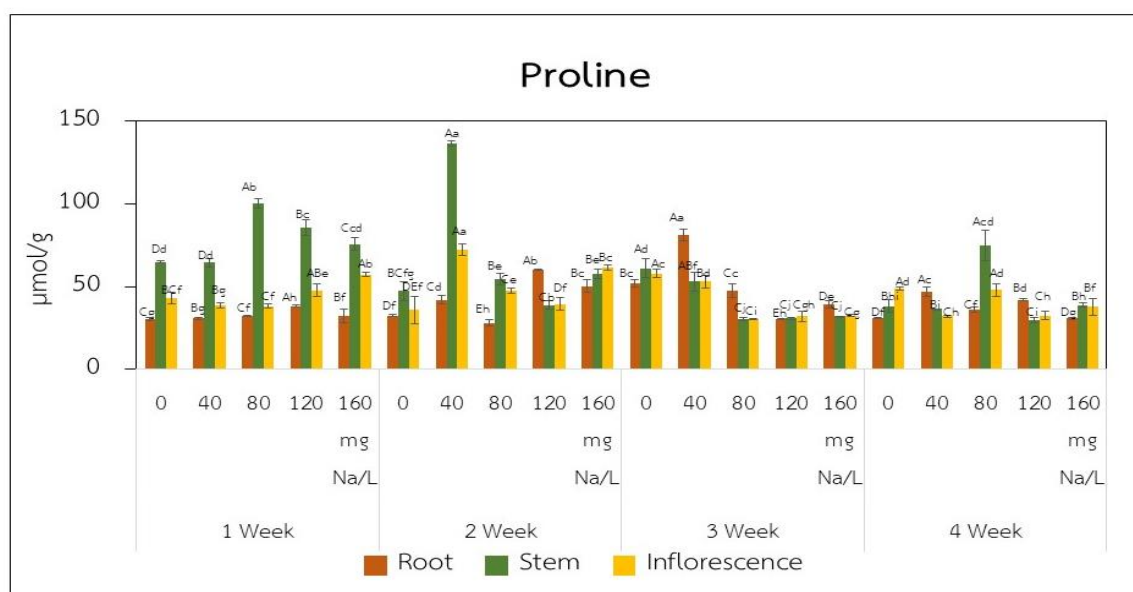
ภาพที่ 4.10 (ต่อ) ประสิทธิภาพการกำจัดเกลือในน้ำบาดาลในระดับความเค็มที่แตกต่างกัน โดยใช้  
 หัว่้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โพแทสเซียม (A)  
 โซเดียม (B) แคลเซียม (C) และแมกนีเซียม (D) (n=3), mean  $\pm$  S.D.

พหุบัน ปณุ ทิโต ชีเว

#### 4.2.4 การสังเคราะห์สารเมแทบอลิทุติยภูมิของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในน้ำบาดาลที่ระดับความเค็มที่แตกต่างกัน

##### 4.2.4.1 ปริมาณโพรลีน

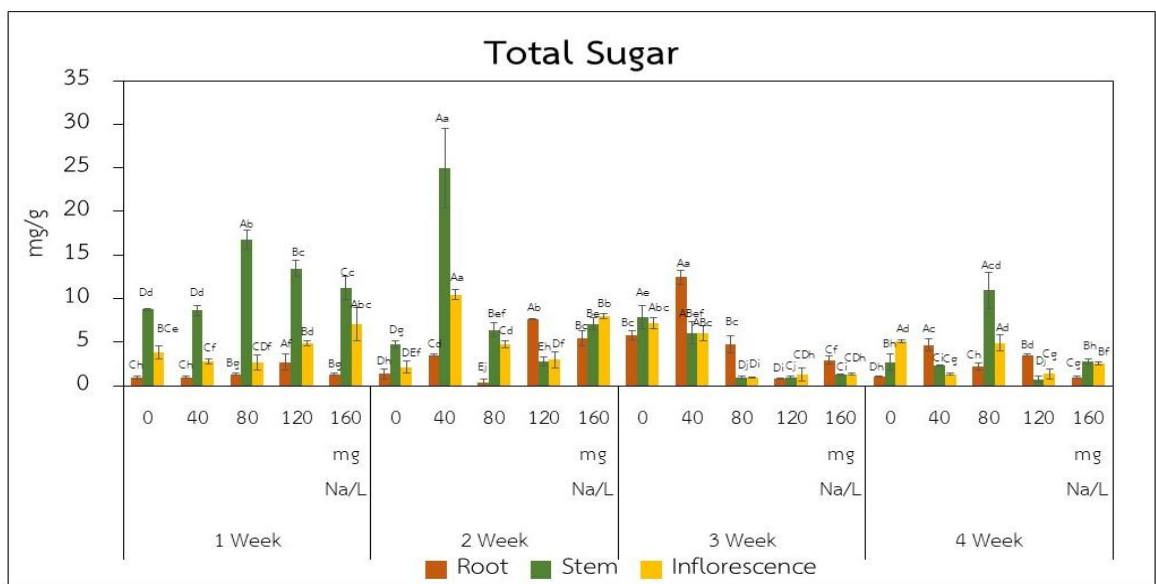
จากการศึกษาการสะสมปริมาณโพรลีนในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ราก ลำต้น และช่อดอกของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้บำบัดความเค็มของน้ำบาดาล โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0, 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีการสร้างโพรลีนสะสมที่ลำต้นมากในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้บำบัดความเค็มในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 มีการสังเคราะห์โพรลีนไว้ในลำต้น ( $136.56 \mu\text{mol/g}$ ) และมีการสร้างโพรลีนไว้ในส่วนของรากในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ( $81.30 \mu\text{mol/g}$ ) ซึ่งสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันจะสังเคราะห์ โพรลีนสูงในลำต้นในช่วงสัปดาห์ที่ 1-2 และเริ่มมีการสะสมปริมาณโพรลีนลดลงในสัปดาห์ที่ 3-4 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 120 และ 160 mg Na/L (ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.11 การสะสมปริมาณโพรลีนในส่วนของ ราก ลำต้น และช่อดอก ของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ได้รับการบำบัดเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (n=3), mean ± S.D. <sup>a, b...</sup> แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ ) และ <sup>A, B...</sup>... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม ( $p < 0.05$ )

#### 4.2.4.1 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

จากการศึกษาการสะสมปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ราก ลำต้น และช่อดอกของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ใช้บำบัดความเค็มของน้ำบาดาล โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0, 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีการสร้างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ในส่วนของลำต้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีการสร้างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในลำต้นลดลงแต่ละสัปดาห์ ยกเว้น หญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L ที่สร้างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด (25.00 mg/g) นอกจากนี้ พบว่าหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 120 และ 160 mg Na/L ในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4 จะมีการสะสมปริมาณน้ำตาลทั้งหมดได้น้อย (ภาพที่ 4.12)



ภาพที่ 4.12 การสะสมปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในส่วนของ ราก ลำต้น และช่อดอก ของหญ้าปลือกกระเทียมหัวแมลงวันที่ได้รับการบำบัดเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์  $n=3$ , mean  $\pm$  S.D.<sup>a, b...</sup> แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ( $p<0.05$ ) และ <sup>A,B...</sup>... แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม ( $p<0.05$ )

#### 4.2.5 วิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิ

##### 4.2.5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0 mg Na/L

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0 mg Na/L พบว่า เมื่อกำหนดองค์ประกอบหลักให้มี 2 องค์ประกอบ ที่มีค่า eigenvalues มากกว่า 1 พบมีความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมด 77.98% (ตารางที่ 4.3) และจากกราฟพบว่า ปริมาณการสะสมโพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในรากที่เพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มส่งผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมและแคลเซียมในช่อดอกเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ภาพที่ 4.13) ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 มีความแปรปรวนทั้งหมด 45.66% ประกอบด้วย ปริมาณโพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในราก ปริมาณโพแทสเซียม และแคลเซียมในช่อดอก มีความสัมพันธ์เชิงบวก

องค์ประกอบที่ 2 มีความแปรปรวนทั้งหมด 32.32% ประกอบด้วย ปริมาณโซเดียมในช่อดอก ปริมาณโพสลินและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในรากมีความสัมพันธ์ทางบวก

**ตารางที่ 4.3** การวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0 mg Na/L โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA

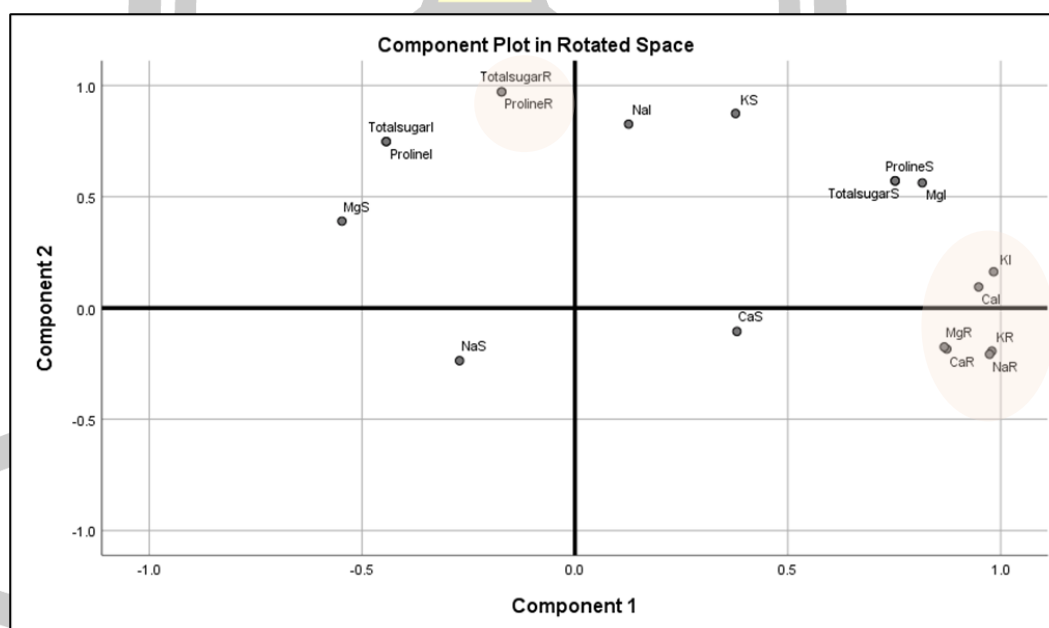
Variables	Principal Component	
	PC1	PC2
Eigenvalues	8.22	5.82
Initial eigenvalues % of Variance	45.66	32.32
Cumulative %	45.66	77.98
Rotated Component Matrix <sup>a</sup>		
Potassium in root	0.98	-0.19

Variables	Principal Component	
	PC1	PC2
Potassium in inflorescence	0.98	0.16
Sodium in root	0.97	-0.21
Sodium in inflorescence	0.13	0.83
Calcium in root	0.87	-0.18
Calcium in inflorescence	0.95	0.10
Magnesium in root	0.87	-0.18
Magnesium in inflorescence	0.82	0.56
Proline in root	-0.17	0.97
Total sugar in root	-0.17	0.97

Note: Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

<sup>a</sup> Rotation converged in 3 iterations



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลหลายตัวแปรระหว่างการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการการสังเคราะห์สารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 0 mg Na/L มีค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่สูง (0.82-0.98) เมื่อใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA (PC1 = 45.66% และ PC2 = 32.33%)

#### 4.2.5.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L พบว่า เมื่อกำหนดองค์ประกอบหลักให้มี 2 องค์ประกอบ ที่มีค่า eigenvalues มากกว่า 1 พบมีความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมด 88.09% (ตารางที่ 4.4) และจากกราฟพบว่า ปริมาณการสะสมโพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในลำต้น และปริมาณโซเดียมในช่อดอกที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้ปริมาณโพสลิ้นและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในรากที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน (ภาพที่ 4.14) ทั้งนี้ มีผลการวิเคราะห์องค์ประกอบดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 มีความแปรปรวนทั้งหมด 51.34% ประกอบด้วยปริมาณโพแทสเซียม โซเดียม และแมกนีเซียมในลำต้น ปริมาณโซเดียมในช่อดอก ปริมาณโพสลิ้นและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในรากมีความสัมพันธ์ในทางบวก

องค์ประกอบที่ 2 มีความแปรปรวนทั้งหมด 36.75% ประกอบด้วย ปริมาณแคลเซียมในลำต้น ปริมาณโพสลิ้นและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในลำต้นและช่อดอก มีความสัมพันธ์เชิงลบ

**ตารางที่ 4.4** การวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA

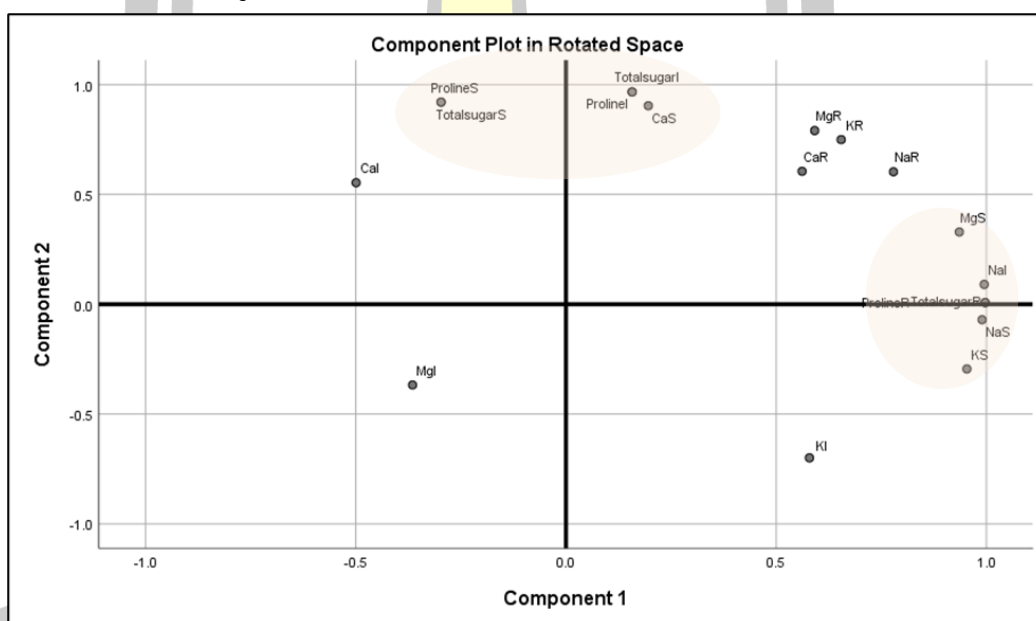
Variables	Principal Component	
	PC1	PC2
Eigenvalues	9.24	6.62
Initial eigenvalues % of Variance	51.34	36.75
Cumulative %	51.34	88.09
Rotated Component Matrix <sup>a</sup>		
Potassium in stem	0.95	-0.30
Sodium in stem	0.99	-0.07
Sodium in inflorescence	1.00	0.09
Calcium in stem	0.20	0.90

Variables	Principal Component	
	PC1	PC2
Magnesium in stem	0.94	0.33
Proline in root	1.00	0.07
Proline in stem	-0.30	0.92
Proline in inflorescence	0.16	0.97
Total sugar in root	1.00	0.07
Total sugar in stem	-0.30	0.92
Total sugar in inflorescence	0.16	0.97

Note: Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

<sup>a</sup> Rotation converged in 3 iterations



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลหลายตัวแปรระหว่างการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L มีค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่สูง (0.90 – 1.00) เมื่อใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA (PC1 = 51.34 และ PC2 = 36.75%)

#### 4.2.5.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 80 mg Na/L

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 80 mg Na/L พบว่า เมื่อกำหนดองค์ประกอบหลักให้มี 2 องค์ประกอบ ที่มีค่า eigenvalues มากกว่า 1 พบมีความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมด 84.33% (ตารางที่ 4.5) และจากกราฟพบว่าปริมาณการสะสมโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในลำต้นที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณโพรลินและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในช่อดอกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่จะส่งผลตรงกันข้ามกับปริมาณโพรลินและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในรากมีแนวโน้มที่ลดลง (ภาพที่ 4.15) มีผลการวิเคราะห์องค์ประกอบดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 มีความแปรปรวนทั้งหมด 61.82% ประกอบด้วยปริมาณโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในลำต้น ปริมาณโพรลินและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในช่อดอกมีความสัมพันธ์ในทางบวก และปริมาณโพรลินและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในรากมีความสัมพันธ์ในทางลบ

องค์ประกอบที่ 2 มีความแปรปรวนทั้งหมด 22.51% ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในช่อดอก มีความสัมพันธ์ในทางบวก และปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียม ปริมาณโพรลินและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในลำต้นในรากจะมีความสัมพันธ์ในทางลบ

**ตารางที่ 4.5** การวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 80 mg Na/L โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA

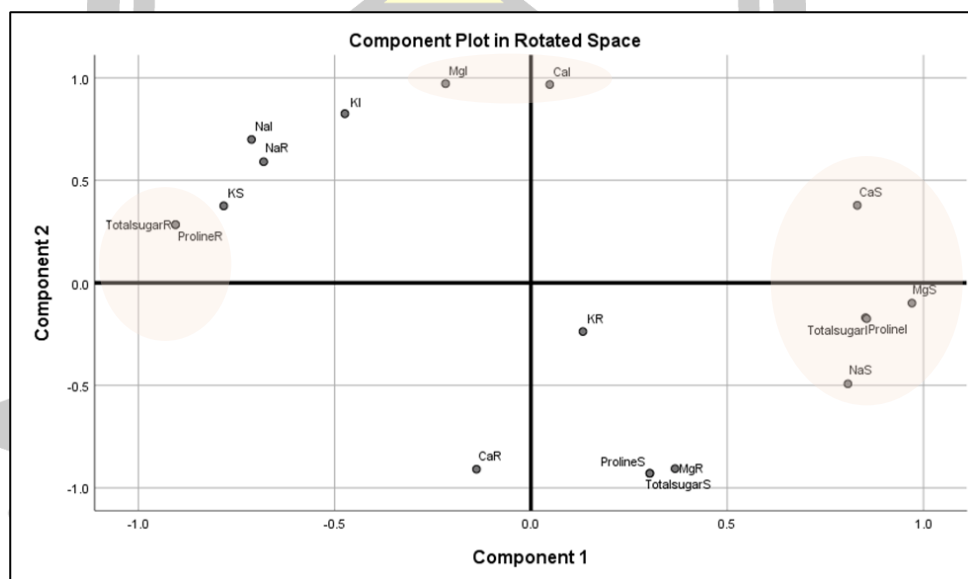
Variables	Principal Component	
	PC1	PC2
Eigenvalues	11.13	4.05
Initial eigenvalues % of Variance	61.82	22.51
Cumulative %	61.82	84.33
Rotated Component Matrix <sup>a</sup>		
Potassium in inflorescence	-0.47	0.83
Sodium in stem	0.81	-0.49
Calcium in root	-0.14	-0.91
Calcium in stem	0.83	0.38

Variables	Principal Component	
	PC1	PC2
Calcium in inflorescence	0.05	0.97
Magnesium in root	0.37	-0.91
Magnesium in stem	0.97	-0.10
Magnesium in inflorescence	-0.22	0.97
Proline in root	-0.91	0.28
Proline in stem	0.30	-0.93
Proline in inflorescence	0.85	-0.17
Total sugar in root	-0.91	0.28
Total sugar in stem	0.30	-0.93
Total sugar in inflorescence	0.86	-0.18

Note: Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

<sup>a</sup> Rotation converged in 3 iterations



ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลหลายตัวแปรระหว่างการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการการสังเคราะห์สารเมแทบอไลต์ในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 80 mg Na/L มีค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่สูง (0.81 - 0.97) เมื่อใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA (PC1 = 61.82% และ PC2 = 22.51%)

#### 4.2.5.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 120 mg Na/L

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 120 mg Na/L พบว่า เมื่อกำหนดองค์ประกอบหลักให้มี 2 องค์ประกอบ ที่มีค่า eigenvalues มากกว่า 1 พบมีความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมด 74.00% (ตารางที่ 4.6) และจากกราฟพบว่าปริมาณการสะสมโพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในรากมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการสะสมโพแทสเซียมในช่อดอกและ แมกนีเซียมในลำต้นเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 4.16) มีผลการวิเคราะห์องค์ประกอบดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 มีความแปรปรวนทั้งหมด 48.64% ประกอบด้วยปริมาณการสะสมโพแทสเซียมโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในราก ปริมาณแมกนีเซียมในลำต้น และปริมาณโพแทสเซียมในช่อดอก มีความสัมพันธ์ในทางบวก

องค์ประกอบที่ 2 มีความแปรปรวนทั้งหมด 25.34% ประกอบด้วยการสะสมปริมาณแคลเซียมในลำต้นความสัมพันธ์ในทางบวก และปริมาณโพแทสเซียมและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในลำต้นมีความสัมพันธ์ในทางลบ

**ตารางที่ 4.6** การวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 120 mg Na/L โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA

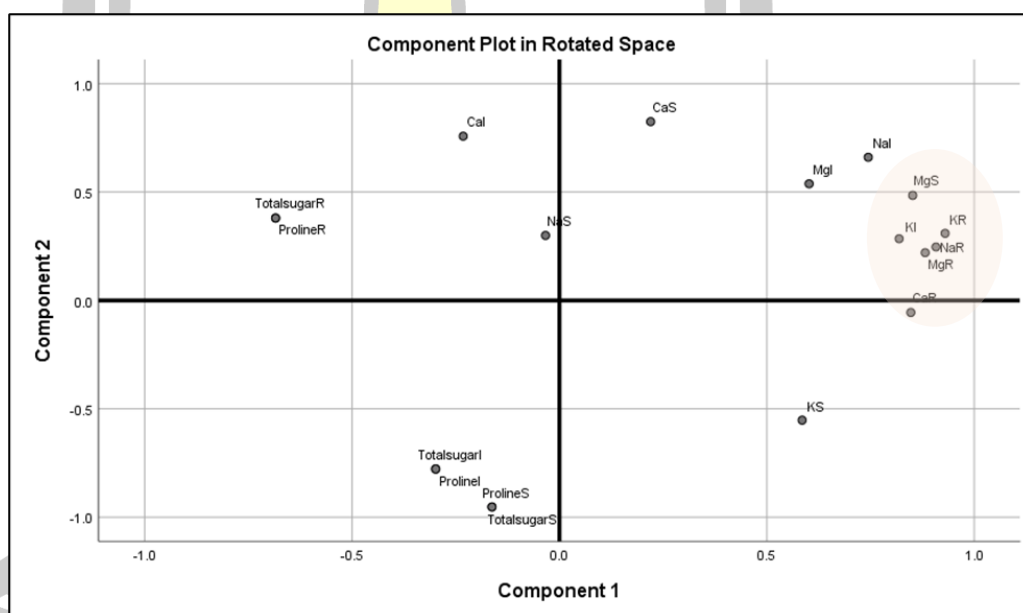
Variables	Principal Component	
	PC1	PC2
Eigenvalues	8.76	4.57
Initial eigenvalues % of Variance	48.64	25.34
Cumulative %	48.64	74.00
Rotated Component Matrix <sup>a</sup>		
Potassium in root	0.93	0.31
Potassium in inflorescence	0.82	0.29
Sodium in root	0.91	0.25

Variables	Principal Component	
	PC1	PC2
Calcium in root	0.85	-0.06
Calcium in stem	0.22	0.83
Magnesium in root	0.88	0.22
Magnesium in stem	0.85	0.49
Proline in stem	-0.16	-0.95
Total sugar in stem	-0.16	-0.95

Note: Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

<sup>a</sup> Rotation converged in 3 iterations



ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลหลายตัวแปรระหว่างการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 120 mg Na/L มีค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่สูง (0.82 – 0.95) เมื่อใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA (PC1 = 48.64% และ PC2 = 25.34%)

#### 4.2.5.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 160 mg Na/L

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 160 mg Na/L พบว่า เมื่อกำหนดองค์ประกอบหลักให้มี 2 องค์ประกอบ ที่มีค่า eigenvalues มากกว่า 1 พบมีความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมด 87.11% (ตารางที่ 4.7) จากกราฟพบว่าปริมาณโพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในรากที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้แนวโน้มของปริมาณโพสลิ้นและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในลำต้น และช่อดอกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 4.17) มีผลการวิเคราะห์องค์ประกอบดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 มีความแปรปรวนทั้งหมด 63.65% ประกอบด้วยปริมาณโพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในราก ปริมาณโพสลิ้นและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในลำต้นและช่อดอกมีความสัมพันธ์ในทางบวก

องค์ประกอบที่ 2 มีความแปรปรวนทั้งหมด 23.46% ประกอบด้วยการสะสมปริมาณโซเดียมในลำต้นและช่อดอก ปริมาณแมกนีเซียมในลำต้น ปริมาณโพสลิ้นและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในรากมีความสัมพันธ์ในทางบวก

**ตารางที่ 4.7** การวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการสังเคราะห์สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 160 mg Na/L โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA

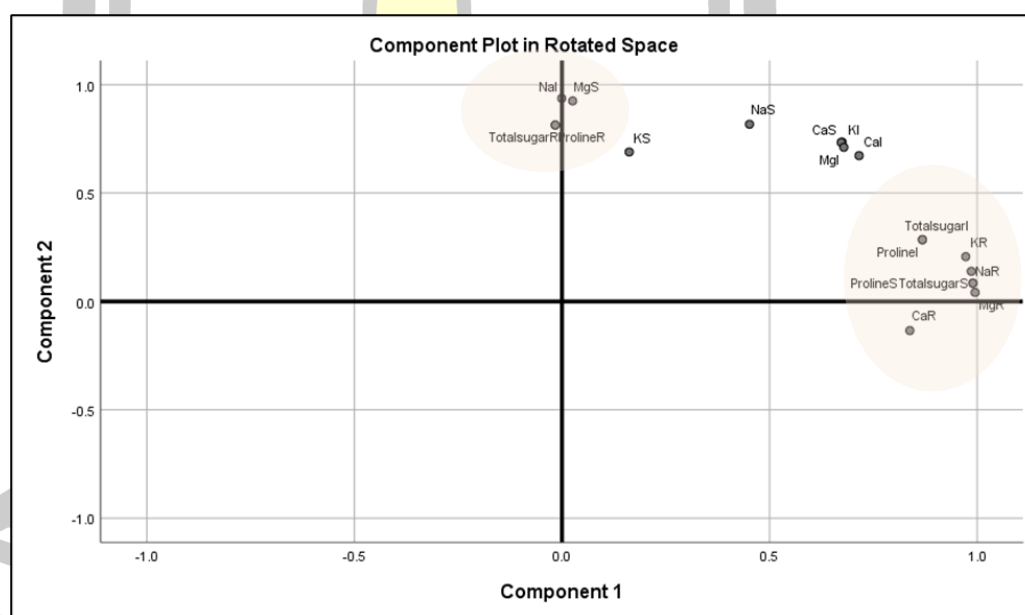
Variables	Principal Component	
	PC1	PC2
Eigenvalues	11.46	4.22
Initial eigenvalues % of Variance	63.65	23.46
Cumulative %	63.65	87.11
Rotated Component Matrix <sup>a</sup>		
Potassium in root	0.97	0.21
Sodium in root	0.99	0.14
Sodium in stem	0.45	0.82
Sodium in inflorescence	-0.00	0.94
Calcium in root	0.84	-0.13

Variables	Principal Component	
	PC1	PC2
Magnesium in root	1.00	0.04
Magnesium in stem	0.03	0.93
Proline in root	-0.02	0.81
Proline in stem	0.99	0.08
Proline in inflorescence	0.87	0.29
Total sugar in root	-0.02	0.81
Total sugar in stem	0.99	0.08
Total sugar in inflorescence	0.87	0.29

Note: Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

<sup>a</sup> Rotation converged in 3 iterations



ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลหลายตัวแปรระหว่างการวิเคราะห์องค์ประกอบการสะสมไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ในพืชต่อการการสังเคราะห์สารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิในน้ำบาดาลที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 160 mg Na/L มีค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่สูง (0.82-0.99) เมื่อใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ PCA (PC1 = 63.65% และ PC2 = 23.46%)

## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

#### 5.1 สมบัติดิน วัฏจักรชีวิต และนิเวศวิทยาที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็ม ตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์

โดยทั่วไปค่าความเค็มของดินจะถูกพิจารณาจากพารามิเตอร์หลายค่า ซึ่งหนึ่งในนั้นคือค่าการนำไฟฟ้า ทั้งนี้จากการศึกษาในภาคสนาม พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันอยู่ในระดับที่ไม่เค็มจนกระทั่งถึงเค็มปานกลาง (1.45 – 5.44 dS/m) ซึ่งไม่สอดคล้องกับหลักฐานเชิงประจักษ์ที่พบคราบเกลือบริเวณผิวดินกระจายเป็นหย่อมๆ (ภาพที่ 3.3) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาค่าความเค็มจากปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ในดินเป็นหลัก โดยเฉพาะจุดที่ 3 ซึ่งมีปริมาณโซเดียมและคลอไรด์มีค่าสูงที่สุด (2316.05 และ 2970.93 mg/Kg ตามลำดับ) และมากกว่าจุดที่ 4 ที่มีปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ต่ำที่สุดประมาณ 7.84 และ 32.44 เท่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหน้าแล้ง และประกอบกับดินที่มีอนุภาคดินร่วนเหนียวปนทราย และดินร่วนปนทรายจะส่งผลต่อการสูญเสียของน้ำใต้ดินได้ง่ายจึงทำให้ความชื้นของดินมีค่าต่ำ (6.08 - 8.61%) (ตารางที่ 4.1 และ 4.2)

อย่างไรก็ตาม ความพิเศษของพื้นที่ศึกษานี้เป็นพื้นที่ลุ่มรับน้ำในหน้าน้ำหลากในช่วงฤดูฝน และขังน้ำไว้ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายนทำให้ความชื้นของดินในช่วงนี้ชะละลายคราบเกลือออกจากผิวดิน และเป็นการกระตุ้นการงอกของเมล็ดและเจริญเติบโตได้จนครบวัฏจักรชีวิตจนกระทั่งเข้าสู่เดือนมีนาคม ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูแล้งส่งผลทำให้พื้นที่ที่มีความเค็มเพิ่มขึ้น ดังนั้นหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็มจึงมีการปรับตัวเข้าสู่ระยะพักตัวของเมล็ดซึ่งแสดงให้เห็นถึงสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็มนี้จึงจัดได้ว่าเป็นพืชปีเดียว (Annual plant) เนื่องจาก หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็มนี้มีการเจริญเติบโตจนครบวัฏจักรชีวิตและมีระยะการพักตัวของเมล็ดภายในปีเดียว ทั้งนี้การพบหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็มนี้ไม่สอดคล้องกับการรายงานของ Lunkai and Strong (2010) ที่พบกกชนิดนี้เจริญเติบโตในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน โดยซ้ำว่าการรายงานที่พบการเจริญเติบโตในประเทศไทยและสิงคโปร์ ซึ่งอาจเกิดจากกกชนิดนี้เป็นพืชที่เจริญเติบโตในเขตร้อน (Pantropical) (Simson, 2019) ซึ่งอุณหภูมิอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต และวัฏจักรชีวิตของพืช

จากค่าความเค็มในพื้นที่ศึกษาสอดคล้องกับการรายงานของ Lunkai and Strong (2010) ที่พบกษณินี้ในบริเวณขอบชายฝั่ง ประเทศจีน และมีลักษณะเนื้อดินที่มีอนุภาคเป็นดินทรายเป็นองค์ประกอบหลัก สอดคล้องกับการรายงานของ Simson and Koyama (1998) ที่พบพืชชนิดนี้ในประเทศไทยบริเวณเกาะช้าง (จังหวัดตราด) และเกาะคอเขา (จังหวัดพังงา) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มของน้ำทะเล และสอดคล้องกับการรายงานของ Simson (2019) ที่รายงานกษณินี้เป็นพืชปีเดียว มีการออกดอก และพัฒนามวลีตในช่วงระยะเวลาใกล้เคียงกัน และมีลักษณะนิเวศวิทยาเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบลุ่ม สอดคล้องกับการรายงานของ Simson and Koyama (1998) ที่รายงานลักษณะนิเวศวิทยาเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำเช่นเดียวกัน

## 5.2 การเจริญเติบโตและการสะสมไอออนเกลือในหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็มตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์

การศึกษาการปรับตัวของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในดินเค็มพบว่า ความเค็มในดินที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชส่งผลให้ความสูงของต้นและความยาวรากลดลง (ภาพที่ 4.4) อาจมีสาเหตุมาจากผลของการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโซเดียมภายในดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากโซเดียมมีขนาดใหญ่กว่าโพแทสเซียมจึงทำให้สามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Exchangeable cation) ในสารละลายดินได้ง่ายกว่า รวมถึงโซเดียมยังถูกไล่ที่จากแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่มีอำนาจการไล่ที่ (Replacing power) สูงกว่า จึงทำให้โซเดียมในดินเค็มละลายออกมาได้ง่าย และถูกดูดซึมผ่านกระบวนการดูดน้ำได้ง่ายกว่าไอออนชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้การสะสมโซเดียมในเซลล์ในปริมาณมากจะไปทำลายสมดุลของโพแทสเซียม ซึ่งโซเดียมที่มากเกินไปอาจทำให้การดูดซึมสารอาหารลดลง เนื่องจากกระบวนการขนส่งบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลง (Hualpa-Ramirez *et al.*, 2024; Balasubramaniam *et al.*, 2023) ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานของ Zhu (2016) รายงานว่าการสะสมโซเดียมในปริมาณมากทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง โดยเฉพาะความสูงและชีวมวล โดยพืชบางชนิดได้พัฒนากลไกการปรับตัว เช่น การกักเก็บโซเดียมในแวคิวโอล (vacuolar compartmentalization) เพื่อป้องกันความเสียหายในไซโทพลาสซึม (Flowers *et al.*, 2015) อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่มีการสะสมโซเดียมในปริมาณมาก การกักเก็บโซเดียมไว้ในแวคิวโอลอาจไม่สามารถปกป้องความเสียหายภายในเซลล์ได้ ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้ความแตกต่างของการตอบสนองต่อระดับความเค็มในแต่ละพื้นที่ สะท้อนให้เห็นบทบาทของสภาพแวดล้อมต่อการกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการทนความเค็ม เช่น ระบบ SOS และกระบวนการปรับสมดุลไอออน (Zhao *et al.*, 2020) การลดลงของความสูงของลำต้นและความ

ยารวากยังอาจสัมพันธ์กับการลดลงของกิจกรรมโปรตีนที่ช่วยในการเคลื่อนย้ายไอออนโพแทสเซียมและโซเดียมในเซลล์ (Shabala and Cui, 2008) ซึ่งผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของกลไกการปรับตัวเพื่อความอยู่รอดของพืชในดินเค็ม หญ้าเปลือยกระเทียมหัวแมลงวันแสดงความสามารถในการสะสมแร่ธาตุที่แตกต่างกันในส่วนต่าง ๆ ของพืช (ภาพที่ 4.5) โดยเฉพาะการสะสมโซเดียมในลำต้นเพื่อหลีกเลี่ยงการส่งผลกระทบต่อช่อดอกและเมล็ด ซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อการสืบพันธุ์และความอยู่รอดของพืช สอดคล้องกับรายงานของ Flowers *et al.* (2015) ที่ระบุว่า การสะสมโซเดียมในลำต้นและรากเป็นกลไกสำคัญที่พืชใช้เพื่อลดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อสำคัญ เช่น ช่อดอกและเมล็ด การสะสมโซเดียมในลำต้นมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการกักเก็บในแวคิวโอล โดยมี  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporter (NHX) ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนโซเดียมกับโปรตอน เพื่อช่วยลดความเข้มข้นของโซเดียมในไซโทพลาซึม อย่างไรก็ตาม หญ้าเปลือยกระเทียมหัวแมลงวันยังสะสมแคลเซียมในลำต้นและราก ซึ่งแสดงให้เห็นบทบาทสำคัญของแคลเซียมในกลไกการตอบสนองต่อความเครียดเค็ม แคลเซียมจะช่วยลดผลกระทบของโซเดียมต่อการทำงานของเซลล์และปกป้องเยื่อหุ้มเซลล์จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากโซเดียม (White and Broadley, 2003) รวมถึงแคลเซียมยังเป็น second messenger ในกระบวนการส่งสัญญาณความเครียด ในการทำงานของ SOS1 ที่ขับโซเดียมออกจากเซลล์ (Zhu, 2016) ดังนั้น การสะสมแคลเซียมในลำต้นและรากคาดว่าจะช่วยรักษาสมดุลไอออน ป้องกันการเสียสมดุลจากโซเดียม และเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างผนังเซลล์ นอกจากการจัดการโซเดียมและแคลเซียมแล้วพบว่าหญ้าเปลือยกระเทียมหัวแมลงวันสามารถรักษาระดับโพแทสเซียมไว้ในส่วนช่อดอกได้ ซึ่งแสดงถึงบทบาทสำคัญของโพแทสเซียมต่อกระบวนการสืบพันธุ์ของพืช แม้จะเผชิญสภาวะเครียดเค็มสูง พืชยังคงรักษาสมดุลโพแทสเซียมผ่าน High-Affinity Potassium Transporters (HKTs) และ  $\text{K}^+$  channels เช่น AKT1 เพื่อป้องกันการรั่วไหลและเสริมการลำเลียงโพแทสเซียมไปยังช่อดอก (Hafsi *et al.*, 2014) โดยโพแทสเซียมมีความสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาหลายอย่าง เช่น การรักษาสมดุลน้ำ การสังเคราะห์ด้วยแสง และการควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ (Shabala and Pottosin, 2014) โดยการรักษาระดับโพแทสเซียมในช่อดอกช่วยสนับสนุนการสร้างเมล็ดและความแข็งแรงของผล เนื่องจากโพแทสเซียมช่วยกระตุ้นกระบวนการทางเอนไซม์และการเคลื่อนย้ายสารอาหาร (Marschner, 2012)

### 5.3 การเจริญเติบโตและการสะสมไอออนเกลือในหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในชุดการทดลองการบำบัดความเค็มในน้ำบาดาล

การเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในชุดการทดลองที่เจือจางความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำบาดาลที่แตกต่างกันส่งผลต่อการตอบสนองต่อไอออนเกลือในพืช โดยการเจริญเติบโตของพืชชนิดนี้ในชุดการทดลองส่วนมากจะมีการเจริญเติบโตในส่วนของลำต้นส่วนบนมากกว่าราก แต่มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่ลดลง (ภาพที่ 4.7) ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่ลดลงอาจเกิดจากความเครียดจากไอออนเกลือในน้ำบาดาลที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตโดยรวมของพืช เช่น การแทรกแซงของไอออนโซเดียมและคลอไรด์ในกระบวนการขนส่งสารอาหาร รวมถึงการลดลงของแรงดันออสโมติกในเซลล์พืช (Munns and Tester, 2008) โดยเชื่อมโยงกับการใช้พลังงานในการกำจัดโซเดียมและรักษาสมดุลไอออนภายในเซลล์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องการพลังงานสูง พืชจะจัดสรรพลังงานบางส่วนจากการสังเคราะห์ด้วยแสงไปสู่กระบวนการนี้ ส่งผลให้การเจริญเติบโตโดยรวมลดลง (Parida and Das, 2005)

ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในระดับความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 160 mg Na/L ซึ่งเป็นความเข้มข้นของโซเดียมสูงที่สุด มีศักยภาพในการสะสมโซเดียมสูงที่สุด (2985.49 mg/Kg) ในช่วงสัปดาห์แรก และเริ่มลดลงในสัปดาห์ถัดมา (ภาพที่ 4.8) เนื่องจากอาจเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการทำงานของระบบการลำเลียงโซเดียมที่ตอบสนองต่อแรงกดดันออสโมติกในสิ่งแวดล้อมที่มีความเค็มสูง (Zhu, 2001) โดยพืชอาจใช้กลไกในการเก็บกักโซเดียมในแวคิวโอลเพื่อรักษาสมดุลน้ำในเซลล์ หลังจากการสะสมโซเดียมในปริมาณมากในช่วงแรก การลดลงอาจเป็นผลจากการลดการทำงานของกลไกการลำเลียงโซเดียมหรือการขับโซเดียมออกจากเซลล์เพื่อป้องกันความเสียหายต่อเซลล์ (Flowers and Colmer, 2008) นอกจากนี้ การสะสมโซเดียมที่มากเกินไปในเนื้อเยื่อพืชอาจนำไปสู่ภาวะเป็นพิษ ซึ่งกระตุ้นให้พืชลดการดูดซับโซเดียมในระยะถัดไป

อย่างไรก็ตาม หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในชุดทดลองที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมแตกต่างกันจะมีศักยภาพในการสะสมโพแทสเซียมและแมกนีเซียมสูงในทุก ๆ ชุดทดลองจนถึง 3 สัปดาห์และเริ่มมีการสะสมลดลงสัปดาห์ที่ 4 (ภาพที่ 4.8) จากการเพิ่มศักยภาพในการสะสมโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกคาดว่าแสดงถึงการตอบสนองเริ่มต้นของพืชต่อการปรับตัวในสภาพแวดล้อมที่มีระดับโซเดียมแตกต่างกัน โดยโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการควบคุมสมดุลไฟฟ้าเคมีในเซลล์ ซึ่งมีส่วนช่วยในการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ และแมกนีเซียมช่วยกระตุ้นการ

ทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต (Flowers and Colmer, 2008) แต่การลดลงของการสะสมโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในระยะหลังอาจเกิดจากการลดประสิทธิภาพของระบบการลำเลียงแร่ธาตุในราก เนื่องจากการอึดตัวของเซลล์หรือผลกระทบจากโซเดียมที่เพิ่มขึ้นในระยะยาว (Zhu, 2001) โดยการเพิ่มขึ้นของระดับโซเดียมในเซลล์พืชอาจรบกวนสมดุลแร่ธาตุ ทำให้พืชต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการรักษาความเสถียรของระบบสรีรวิทยา นอกจากนี้ การสะสมที่ลดลงในสัปดาห์ที่สี่อาจสะท้อนถึงการปรับตัวเพื่อป้องกันความเสียหายต่อเซลล์เนื่องจากความเครียดทางเกลือในระยะยาว

#### 5.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนเกลือในน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน

ในงานวิจัยนี้ไอออนเกลือที่สำคัญที่ต้องการบำบัดออกจากน้ำบาดาลคือโซเดียม อย่างไรก็ตาม โซเดียมถูกกำจัดออกจากน้ำบาดาลรองเป็นอันดับ 2 ซึ่งน้อยกว่าโพแทสเซียม โดยระดับความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมมากที่สุด 52.42% ทั้งนี้ ประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมจะลดลงเมื่อระดับความเค็มของชุดทดลองสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการกำจัดเมื่อใช้ความเข้มข้นของโซเดียมในระดับนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรกและชะลอหลังสัปดาห์ที่สองของการทดลองเป็นต้นไป (ภาพที่ 4.10) คาดว่าหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีความเหมาะสมในการบำบัดความเค็มในน้ำบาดาลในระดับความเค็มเจือจาง เพื่อป้องกันตัวเองจากสภาวะเครียดเค็มที่เกิดจากการอึดตัวของเซลล์หรือผลกระทบจากโซเดียมที่เพิ่มขึ้นในระยะยาว (Zhu, 2001) โซเดียมที่สะสมในเซลล์อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสมดุลแร่ธาตุและเพิ่มความเครียดทางสรีรวิทยา ส่งผลให้พืชต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาสมดุลทางสรีรวิทยาในสภาวะเครียด นอกจากนี้ การลดลงของประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมในสภาวะความเค็มสูงยังอาจเป็นผลมาจากกลไกป้องกันตนเองของพืช เช่น การปรับสมดุลไอออนภายในเซลล์ผ่าน Salt Overly Sensitive (SOS) Pathway และการสะสมโซเดียมในแวคิวโอลเพื่อลดความเป็นพิษ (Flowers *et al.*, 2015) เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการลดโซเดียมในน้ำบาดาลที่มีระดับความเค็มต่างกัน เช่น ระดับความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 80 และ 120 mg Na/L (ค่าการนำไฟฟ้า 3.64 และ 5.32 dS/m ตามลำดับ) พบว่าหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันสามารถลดปริมาณโซเดียมได้ 45.25% และ 33.76% ตามลำดับ ซึ่งถือว่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Guesdon *et al.* (2016) ที่รายงานว่า *Eleocharis palustris* และกัททะเล (*Juncus maritimus*) สามารถลดปริมาณโซเดียมในน้ำเกลือที่ละลายน้ำแข็งที่ระดับความเค็ม 4 dS/m ได้ 18.8% และ 23.7% ภายในระยะเวลา 57 วัน ดังนั้น ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพืชอื่นที่ใช้สำหรับการฟื้นฟูแหล่งน้ำเค็ม โดยเฉพาะในระดับความเค็มที่สูง

## 5.5 การสังเคราะห์สารทุติยภูมิของหญ้าเปือกกระเทียมหัวแมลงวันในชุดการทดลองการบำบัดความเค็มในน้ำบาดาล

ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบสิ่งที่น่าสนใจพบว่าอิทธิพลของความเค็มและระยะเวลาในการบำบัดพืชส่งผลต่อการลดลงของปริมาณโพรลีนและปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ณ ระดับความเค็มเริ่มต้นของน้ำบาดาล 40 mg Na/L พืชตอบสนองต่อความเค็มโดยเพิ่มปริมาณโพรลีนและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในสัปดาห์ที่ 2 แต่หลังจากนั้นลดลงในสัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ในทางตรงกันข้ามเมื่อความเค็มของน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นมากกว่า 80 mg Na/L พืชตอบสนองต่อความเค็มดังกล่าวตั้งแต่นั้นเป็นต้นไป (ภาพที่ 4.11 และ 4.12)

บทบาทโพรลีนและน้ำตาลที่พืชสังเคราะห์ในสภาวะเครียดเค็ม โพรลีนจะทำหน้าที่เป็นสารปกป้องเซลล์ (osmoprotectant) ช่วยลดความเสียหายของโปรตีนและเอนไซม์ รวมถึงรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างเซลล์ และช่วยในการต้านสารอนุมูลอิสระ (Verbruggen and Hermans, 2008) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดช่วยในการรักษาความดันออสโมติกภายในเซลล์และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึม (Sairam and Tyagi, 2004) ทั้งนี้ปริมาณโพรลีนและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นจะสะท้อนถึงการตอบสนองต่อความเครียดจากโซเดียมในระยะแรก ซึ่งเป็นกลไกสำคัญของพืชในการปรับสมดุลไอออนและลดผลกระทบของความเครียดที่มีต่อเซลล์ (Ashraf and Foolad, 2007) สาเหตุอาจเนื่องมาจากพืชสามารถปรับตัวได้ในสภาวะเครียดเค็ม หรืออาจเกี่ยวข้องกับข้อจำกัดในการใช้พลังงานและสารอาหารสำหรับการสังเคราะห์สารป้องกันเมื่ออยู่ในสภาวะเครียดเค็มเป็นเวลานาน (Munns and Tester, 2008) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Chinnusamy *et al.* (2005) มีการรายงานว่าโพรลีนและน้ำตาลเป็นสารสำคัญในการป้องกันความเสียหายของเซลล์พืชที่เกิดจากสภาวะเครียดเค็ม การเพิ่มขึ้นของสารเหล่านี้ในระยะแรกเป็นสัญญาณของการตอบสนองอย่างมีประสิทธิภาพต่อความเครียด นอกจากนี้ การลดลงของการสังเคราะห์สารเหล่านี้ในระยะต่อมา อาจเป็นสัญญาณของการฟื้นฟูกลไกภายในเซลล์ให้กลับสู่สมดุลเพื่อรองรับการเจริญเติบโตในระยะยาว นอกจากนี้เมื่อระดับความเค็มเพิ่มสูงขึ้นและระยะเวลาที่พืชเผชิญกับความเครียดเพิ่มมากขึ้น อาจส่งผลให้ความสามารถในการสังเคราะห์สารทั้งสองอาจลดลงเนื่องจากพืชใช้ทรัพยากรส่วนใหญ่ในการควบคุมสมดุลของไอออนและการกักเก็บน้ำแทน (Min *et al.*, 2023; Duan *et al.*, 2023) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของซึ่งจากผลการศึกษาสอดคล้องกับการรายงานของ Han *et al.* (2020) ได้ศึกษาปริมาณโพรลีนในพืชธูปฤๅษี (*Typha orientalis*), กระจูด

(*Lepironia articulata*) และแห้วทรงกระเทียม (*Eleocharis dulcis*) และ *Scirpus littoralis* ที่ผ่านการบำบัดด้วยเกลือในระบบไฮโดรโปนิคส์ในความเค็มที่แตกต่างกันได้แก่ 0, 5, 10, 15 และ 20% ในระยะเวลา 49 วัน พบว่า ในระดับของความเค็มเกลือสูงขึ้นถึง 15% ส่งผลทำให้ปริมาณโพรลินของแห้วทรงกระเทียมลดลง

## 5.6 สรุปผลการศึกษา

5.6.1. ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในสภาพธรรมชาติในพื้นที่ดินเค็มทุ่งหญ้าและนาข้าวในตำบลคลองขาม อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ปี (พ.ศ. 2564 -2566) ยืนยันได้ว่ากษนิคนี้มีความสามารถในการปรับตัวต่อความเครียดแล้งและเครียดเค็มได้และเหมาะสมที่จะนำไปใช้ต่อยอดในการบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลในคราวที่จำเป็น โดยการปรับตัวของพืชชนิดนี้ยืนยันด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์ดังนี้

5.6.1.1 วัฏจักรชีวิตที่สั้นแบบพืชปีเดียว (annual plant) โดยใช้เวลาประมาณ 8 เดือน (กรกฎาคม – มีนาคม) โดยช่วงที่พบการเจริญเติบโตชัดเจนอยู่ในช่วงฤดูฝน ซึ่งคราบเกลือถูกชะละลายออกจากดินบางส่วน ประกอบกับมีน้ำท่วมขังเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน (กรกฎาคม - กันยายน) ซึ่งเพียงพอต่อการเจริญเติบโตจนกระทั่งครบวัฏจักรชีวิต อย่างไรก็ตาม ช่วงท้ายของวัฏจักรชีวิตคาดว่าถูกเร่งเร้าด้วยความแล้งและความเค็มของพื้นที่ ซึ่งจะเริ่มต้นประมาณเดือนมีนาคมของทุกปี

5.6.1.2 ความสามารถในการกักเก็บโซเดียม ซึ่งโซเดียมเป็นไอออนที่มีความเป็นพิษต่อเซลล์หากได้รับในปริมาณที่มากเกินไป โดยหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันจะลำเลียงโซเดียมส่วนใหญ่ไปกักเก็บไว้ที่ลำต้น เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบด้านลบ อย่างไรก็ตาม หากกักเก็บในปริมาณที่มากเกินไปก็อาจกระทบต่อการเจริญเติบโตได้เช่นกัน ดังจะเห็นได้จากจุดเก็บที่ 3 ที่ดินมีความเค็มสูงที่สุด (Na 2316.05 mg/kg และ Cl 2970.93 mg/kg) และพบว่าความเค็มของโซเดียมที่กักเก็บไว้ในลำต้น (233.79 mg/kg) กระทบต่อความสูงของลำต้น

5.6.2. ผลจากการนำหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมาใช้ในการบำบัดความเค็มของน้ำบาดาลด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ โดยพิจารณาความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำบาดาลให้อยู่ในระดับ 0, 40, 80, 120 และ 160 mg Na/L และทดสอบเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ยืนยันได้ว่ากษนิคนี้มีความสามารถในการลดความเค็มของน้ำบาดาลได้ โดยมีรายละเอียดของข้อสรุปดังนี้

5.6.2.1 ไอออนเกลือที่หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันสามารถกำจัดออกจากน้ำบาดาลได้มากที่สุดคือ โพแทสเซียม (56.04%) โซเดียม (52.42%) แคลเซียม (37.80%) และ แมกนีเซียม (26.77%) ตามลำดับ

5.6.2.2 เนื่องจากในงานวิจัยนี้มุ่งเป้าประสงค์เพื่อลดเกลือโซเดียมในน้ำบาดาลโดยใช้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน และพบว่าระดับความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดที่แสดงประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมโดยใช้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวัน โดยประสิทธิภาพการกำจัดเมื่อใช้ความเข้มข้นของโซเดียมในระดับนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรก และชะลอลงหลังสัปดาห์ที่สองของการทดลอง เป็นต้นไป

5.6.2.3 การปรับตัวของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในสถานะเครียดเค็มในช่วงสัปดาห์แรกเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนและน้ำตาลโดยตรงในทุกระดับความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้น โดยพบว่าสารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิทั้งสองชนิดนี้ถูกสังเคราะห์มากที่สุดในช่วงสัปดาห์แรก แต่จะลดลงในสัปดาห์ถัดมา (ยกเว้นชุดทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมเริ่มต้นที่ 40 mg Na/L สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิทั้งสองชนิดจะลดลงในสัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไป

5.6.2.4 โปรตีนและน้ำตาลที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในช่วงสัปดาห์แรกจะถูกสะสมไว้มากที่สุดบริเวณลำต้น แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป สารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิทั้งสองชนิดนี้ส่วนใหญ่จะถูกสะสมไว้ที่รากมากกว่าส่วนอื่น ๆ

## 5.7 ข้อเสนอแนะ

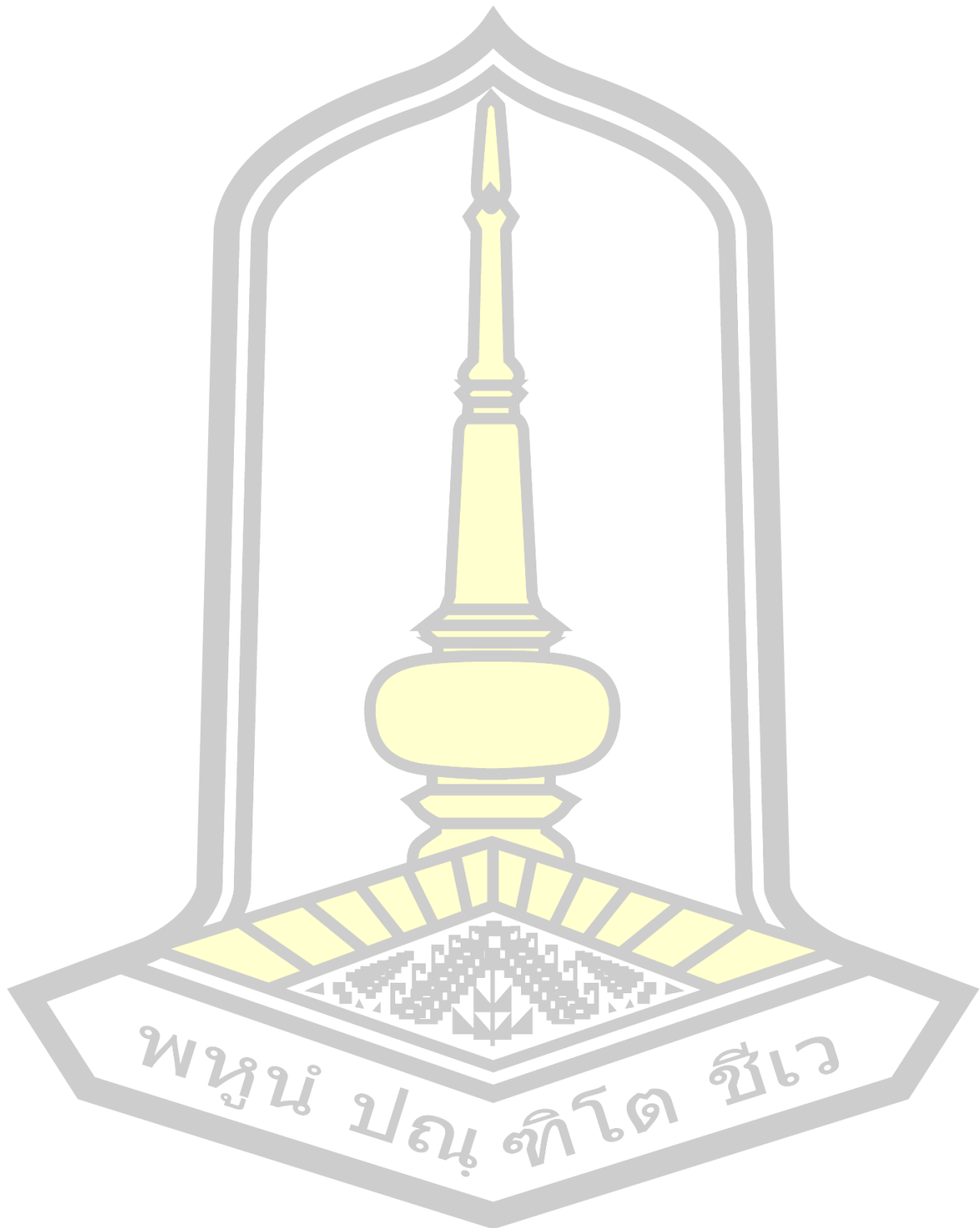
5.7.1 ควรมีการศึกษาการบำบัดน้ำเค็มโดยใช้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในระบบน้ำไหล เนื่องจากในธรรมชาติที่พบการเจริญเติบโตของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันในพื้นที่ดินเค็มมีการเจริญเติบโตในพื้นที่ที่มีน้ำไหลผ่าน

5.7.2 ควรมีการศึกษาการเปรียบเทียบศักยภาพในการลดความเค็มของน้ำบาดาลของพืชชนิดอื่น ๆ ที่เจริญเติบโตได้ในพื้นที่ดินเค็ม เนื่องจากในพื้นที่ดินเค็มพบพืชหลายชนิดที่มีความสามารถในการทนเค็มได้เช่นกัน ดังนั้นการเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ๆ จะทำให้สามารถเลือกชนิดพืชเพื่อใช้ในการลดความเค็มของน้ำบาดาลได้ดียิ่งขึ้น

5.7.3 ควรเพิ่มระยะเวลาในการทดสอบในชุดการทดลองที่ระดับความเค็ม 40 mg Na/L มากกว่า 4 สัปดาห์ เนื่องจากจากผลการทดลองนี้หญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันมีแนวโน้มในการกำจัดไอออนเกลือชนิดต่าง ๆ ได้มากกว่า 4 สัปดาห์

5.7.4 ควรมีการศึกษาการจัดการชีวมวลของหญ้าเปลือกกระเทียมหัวแมลงวันหลังจากการทดสอบการลดความเค็มในน้ำ เนื่องจากการจัดการชีวมวลของพืชหลังการทดสอบน้ำเค็มถือว่าเป็นวิธีการที่สำคัญ เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

บรรณานุกรม



### บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. (2552). *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยา และทรัพยากรธรณี จังหวัดกาฬสินธุ์*. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2560). *แผนที่น้ำบาดาล จังหวัดกาฬสินธุ์*.  
[https://datum.dgr.go.th/mapgroundwater/popup.php?province\\_code=46](https://datum.dgr.go.th/mapgroundwater/popup.php?province_code=46)
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2562). *สถานการณ์น้ำบาดาลของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*.  
<https://www.dgr.go.th/th/newsAll/124/2223>
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2553ก). *คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ดินทางกายภาพ. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.*
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2553ข). *คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.*
- ดิเรก คงแพ, สุภาพร สิ้นศิริวัฒนา และยศ อินทะวิชัย (2560). *แผนการใช้ที่ดินระดับจังหวัดกาฬสินธุ์ กลุ่มวางแผนบริหารจัดการพื้นที่ชุ่มน้ำ.*
- ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์. (2546). *น้ำบาดาล*. ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วิศัลย์ ธรรมประสิทธิ์. (2549). *ประสิทธิภาพของการใช้ฝักกระเฉดบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนน้ำกากส่า*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์]. Retrieved from: <http://repository.nida.ac.th/handle/662723737/2062>.
- สำนักงานเกษตรอำเภอยางตลาด. (2566). *แผนพัฒนาการเกษตรอำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2566 – 2570. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.*
- สำนักวิจัยและพัฒนา. (2550). *การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์. กลุ่มงานเคมี ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์.*
- อโนมา ดงแสงสุข. (2560). *การตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชต่อสภาพแวดล้อม*. สำนักนวัตกรรมการเรียนการสอนมหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Ahmed, S., Ahmed, S., Roy, S.K., Woo, S.H., Sonawane, K.D., and Shohael, A.M. (2019). Effect of salinity on the morphological, physiological and biochemical properties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Bangladesh. *Open Agriculture*, 4(1), 361-373. DOI:10.1515/opag-2019-0033.

- Al-Karaghoul, A. and Kazmerski, L.L. (2013). Energy Consumption and Water Production Cost of Conventional and Renewable Energy Powered Desalination Processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 343-356. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.064>
- Anosheh, H.P., Saed-Moucheshi, A., Pajniyat, H., and Pessarakli, M. (2016). Stomatal responses to drought stress. *Water Stress and Crop Plants*. DOI:10.1002/9781119054450.ch3
- Arunin, S. (1984). Characteristic and management of salt affected soils in the Northeast of Thailand. In *Ecology and Management of Problem Soils in Asia. FFTC Book Series*. 336-351.
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2); 206-216.
- Bhadra N. (2015). Physiological Principles of Electrical Stimulation. In *Implantable Neuroprostheses for Restoring Functions. Woodhead Publication Series in Biomaterials*, 13-43. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-101-6.00002-1>
- DalCorso, G., Manara, A., Piasentin, S., and Furini, A., (2014). Nutrient metal elements in plants. *Metallomics*, 6(1), 1770–1788. DOI: 10.1039/c4mt00173g
- Dayo-Olagbende, G.O. and Ewulo, B.S (2021). Ionic Mobility of Cations as Affected by Redox Status of Two Different Soil Textures, 6(1), DOI:10.5281/zenodo.4887052
- Demidchik, V. and Maathuis, F.J.M. (2007). Physiological roles of nonselective cation channels in plants: from salt stress to signalling and development. *Tansley review*. 175(3), 387-404. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2007.02128.x
- Diwan, H., Khan, I.J., Ahmad, A. and Iqbal, M. (2010). Induction of phytochelatin and antioxidant defence system in Brassica juncea and Vigna radiata in response to chromium treatments. *Plant Growth Regulation*. 61(1). 97-107. DOI:10.1007/s10725-010-9454-0
- Duan, H., Tiika, R.J., Tian, F., Lu, Y., Zhang, Q., Hu, Y., Cui, G. and Yang, H. (2023). Metabolomics analysis unveils important changes involved in the salt tolerance of *Salicornia europaea*. *Frontiers in Plant Science*. 1-14. DOI: 10.3389/fpls.2022.1097076.

- Flowers, T. J., Munns, R., & Colmer, T. D. (2015). Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. *Annals of Botany*, 115(3); 419-431.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979) Groundwater. *Prentice-Hall Inc.*, Englewood Cliffs, Vol. 7632, 604.
- Fukuda A, Nakamura A, Tagiri A, Tanaka H, Miyao A, Hirochika H and Tanaka Y (2004). Function, intracellular localization and the importance in salt tolerance of a vacuolar Na<sup>+</sup> /H<sup>+</sup> antiporter from rice. *Plant & Cell Physiology*, 45(2), 146-159. DOI: 10.1093/pcp/pch014
- Ghaffour, N., Missimer, T.M. and Amy, G.L. (2013) Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309, 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>
- Ghazaryan, K. A., Harutyunyan, A. S., Khachatryan, H. E.– Singh, A. Minkina, T. M., Rajput, V. D. and Movsesyan, H. S. (2023). Study Of Tolerance And Phytodesalination Potential Of Wheat Oat, Emmer, And Barley For Sustainable Saline Agriculture. *Applied Ecology and Environmental Research*, 21(5):4853-4882. DOI:10.15666/aeer/2105\_48534882
- Ghori, Z, Iftikhar, H., Bhatti, M.F., Nasar-um-Minullah, N.U., Sharma, I., Kazi, A.G., and Ahmad, P. (2016). Phytoextraction. *Plant Metal Interaction* 385-409. DOI:10.1016/B978-0-12-803158-2.00015-1
- Guesdon, G., Santiago-Martin, A. and Galvez-Cloutier, R. (2016). Phytodesalination potential of *Typha angustifolia*, *Juncus maritimus*, and *Eleocharis palustris* for removal of de-icing salts from runoff water. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(19): 19634-19644. DOI: 10.1007/s11356-016-7176-1
- Gupta, B. and Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*. 701596. DOI: 10.1155/2014/701596
- Ha, N.T.H., Sakakibara, M. and Sano, S. (2009). Phytoremediation of Sb, As, Cu, and Zn from Contaminated Water by the Aquatic Macrophyte *Eleocharis acicularis*. *CLEAN -Soil Air Water*, 31(9) 720-725. DOI:10.1002/clen.200900061

- Hafsi, C., Debez, A., and Abdelly, C. (2014). Potassium deficiency in plants: effects and signaling cascades. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(5), 1055-1070. DOI; 10.1007/s11738-014-1491-2
- Han., P.T., Viet, V.H., Trang, D.T.T., Tung, N.C.T. Dong, N.M., Nishimura, T., Toan, P.V. and Trang, N.T.D. (2020). Effects Of Salt Stress on Plant Growth and Biomass Allocation In Some Wetland Grass Species In The Mekong Delta. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 58(3); 50-58. DOI:10.15625/2525-2518/58/3A/14251
- Ketehouli ,T., Idrice Carther, K. F., Noman, M., Wang, F.W., Li X. W. and Li H, Y. (2019). Adaptation of plants to salt stress: characterization of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> transporters and role of CBL gene family in regulating salt stress response. *Agronomy*, 9(1). 32 pp. DOI:10.3390/agronomy9110687
- Krishan, G. (2019). Groundwater Salinity. *Current World Environment*. 186-188.
- Lastiri-Hernández, M.A., Bernal, D.A., Torres, K.B., Cárdenas, G.C. Ceja-Torres, L.F. (2019). Phytodesalination of a moderately saline soil combined with two inorganic amendments. *Soil and Plant Nutrition*, 78 (4) , 579-586. DOI:10.1590/1678-4499.20190031
- Levinsh, G. (2023). Halophytic Clonal Plant Species: Important Functional Aspects for Existence in Heterogeneous Saline Habitats. *Plants*, 12(8). 52 pp. <https://doi.org/10.3390/plants12081728>
- Lastiri-Hernández, M.A.,Álvarez-Bernal, R., Moncayo-Estrada, R., Cruz-Cárdenas, J., and Silva-García, J.T. (2019). Adoption of phytodesalination as a sustainable agricultural practice for improving the productivity of saline soils. *Environment, Development and Sustainability*, 23(6). DOI:10.1007/s10668-020-00995-5
- Lunkai, D. and Strong, M.T. (2010). Flora of China Volume 23. Missouri Botanical Garden Press (St. Louis), 188-200.
- Liang, W., Ma X., Wan, P. and Liu, L. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communication*, 495, 286-291. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.11.043>

- Malhotra H., Sangha MK., Pathak D., Choudhary O., Kumar P., and Rathore P. (2014). A simple hydroponic variant for screening cotton genotypes for salinity tolerance. *Crop Improvement*, 41(2), 134-139.
- Menezes, M.A.B., Falnoga, I., Šlejkovec, Z., Jaćimović, R., Couto, N., Deschamps, E. and Faganeli, J. (2020). Arsenic in Sediments, Soil and Plants in a Remediated Area of the Iron Quadrangle, Brazil, and its Accumulation and Biotransformation in *Eleocharis geniculata*. *Acta Chimica Slovenica*, 67(3), 985-991.
- Min, Y., Yu, D., Yang, J., Zhao, L., Bai, Y. and Guo, C. (2023). Bioinformatics and expression analysis of proline metabolism-related gene families in alfalfa under saline-alkali stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 108182. DOI: 10.1016/j.plaphy.2023.108182.
- Moukhtari, A.E. Cabassa-Hourton, C., Farissi, M and Savoure, A. (2020) How Does Proline Treatment Promote Salt Stress Tolerance During Crop Plant Development?. *Front. Plant Sci*, 11, 1127. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01127>
- Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant*, 59(1), 651-681. DOI:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- Nadeem, F., Hanif, M.A., Majeed, M.I. and Mushtaq, Z. (2018) Role of macronutrients and micronutrients in the growth and development of plants and prevention of deleterious plant diseases-a comprehensive review. *International Journal of Chemical and Biochemical*, 13, 31-52.
- Nadeem, M.A., Nawaz, M.A., Shahid, M.Q., Doğan, Y., Comertpay, G., Yıldız, M., Hatipoğlu, R., Ahmad, F., Alsaleh, A., Labhance, N., Ozkan, H., Chung, G., Baloch, F.S., (2018). DNA molecular markers in plant breeding current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 32(2), 261-285. <https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1400401>
- Nakamura, A., Fukuda, A., Sakai, S., and Tanaka, Y. (2006). Molecular cloning, functional expression and subcellular localization of two putative vacuolar voltage-gated chloride channels in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant & Cell Physiology*, 47(1), 32-42. DOI: 10.1093/pcp/pci220

- Parida, A. K. and Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60 (3), 324–349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
- Pitman, M. G., and Laüchli, A. (2002). Global impact of salinity and agricultural ecosystems. *Salinity: EnvironmentPlants- Molecules*. Kluwer Academic Publishers, 3-20.
- Pouris, J., Kapnopoulou, K., Papadopoulou, S. and Pyri, L. (2023). Studying free Proline and Soluble Sugars Accumulation in the Fungus *Aspergillus creber* Exposed to Salt Stress. *Journal Biomed Research Environment Science*. 440-445. DOI:10.37871/jbres1693
- Saini, K. Sahoo, A, Kumar, J. Kumari, A., Kamal, K.P., Pant. K., Bhatnagar, A. Bhaskar., T. (2024). Effective utilization of discarded reverse osmosis post-carbon for adsorption of dyes from wastewater. *Environmental Research*, 231, 116165. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116165>
- Saddhe, A.A., Manuka, R., Nikalje, G.C. and Penna, S. (2020). Halophytes as a Potential Resource for Phytodesalination., *Handbook of Halophytes*. 1-21 pp.
- Sakakibara, M., Ohmori, Y., Ha, N.T.H., Sano, S., Sera, K. (2011). Phytoremediation of heavy metal-contaminated water and sediment by *Eleocharis acicularis*. *Clean – Soil, Air, Water*. 39 (8), 735–741. DOI:10.1002/clen.201000488
- Sakakibara, M. (2016 June 14). Phytoremediation of toxic elements-polluted water and soils by aquatic macrophyte *Eleocharis acicularis*. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.4953512>
- Santosa, L.F., Sudarno, and Zaman, B. (2021). Potential of local plant *Eleocharis dulcis* for wastewater treatment in constructed wetlands system: review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1-6 pp. DOI:10.1088/1755-1315/896/1/012030.
- Sarath, N.G, Sruthi, P., Shackira, A.M., and Puthu, J.T. (2021). Halophytes as effective tool for phytodesalination and land reclamation. *Frontiers in Plant-Soil Interaction*. 459-494. DOI:10.1016/B978-0-323-90943-3.00020-1.

- Sbani, N.H.A., Abdullah, S.R.S. Idris, M. and Hasan, H.A. (2020) Remediation of PAHs-contaminated water and sand by tropical plant (*Eleocharis ochrostachys*) through sub-surface flow system. *Environmental Technology and Innovation*, 20(1). DOI:10.1016/j.eti.2020.101044
- Shabala, S., and Cuin, T. A. (2008). Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiologia Plantarum*, 133(4), 651-669. DOI; 10.1111/j.1399-3054.2007.01008.x.
- Shabala, S. and Pottosin, I. (2014). Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. *Physiologia Plantarum*, 151(3), 257-279. DOI: 10.1111/ppl.12165
- Shekhawat, V.P.S., Kumar, A. and Neumann, K.H. (2006). Effect of Sodium Chloride Salinity on Growth and Ion Accumulation in Some Halophytes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37, 1933-1946. <https://doi.org/10.1080/00103620600767165>
- Simoson, D. A. and Koyama, T. (1998). Flora of Thailand 6. The forest herbarium, Royal forest department, Bangkok, Thailand.
- Simson, D.A. (2019). FLORA OF SINGAPORE. *The National Parks Board Singapore*, (7), 37–211.
- Singh, A., Sengar, K., Sharma, M., Sengar, R.S. and Grag, S.K. (2018). Proline metabolism as sensors of abiotic stress in sugarcane. *Biotechnology to Enhance Sugarcane Productivity and Stress Tolerance*. 20 pp.
- Sinuwong, S. and Takaya, Y. (1974). Saline soil in Northeast Thailand. *Southeast Asian Studies*, 12(1), 105-120.
- Somashekara, V., Vivek Anand, A., Hariprasada, V., Elsehlyc, E. M. and Kapulu, M. (2023). Advancements in saline water treatment: a review. *Water Reuse*, 13 475-491. DOI:10.2166/wrd.2023.065
- Wakeel, A. and Ishfaq, S. (2022). Potassium in Plants. *Potash Use and Dynamics in Agriculture*. 19-27.
- Yadav, J.S.P and Massoud, F.I. (1988). Salt-Affected Soils and their Management. *FAO Soil Resources Management and Conservation Service*. DOI: <https://www.fao.org/4/x5871e/x5871e00.htm#Contents>

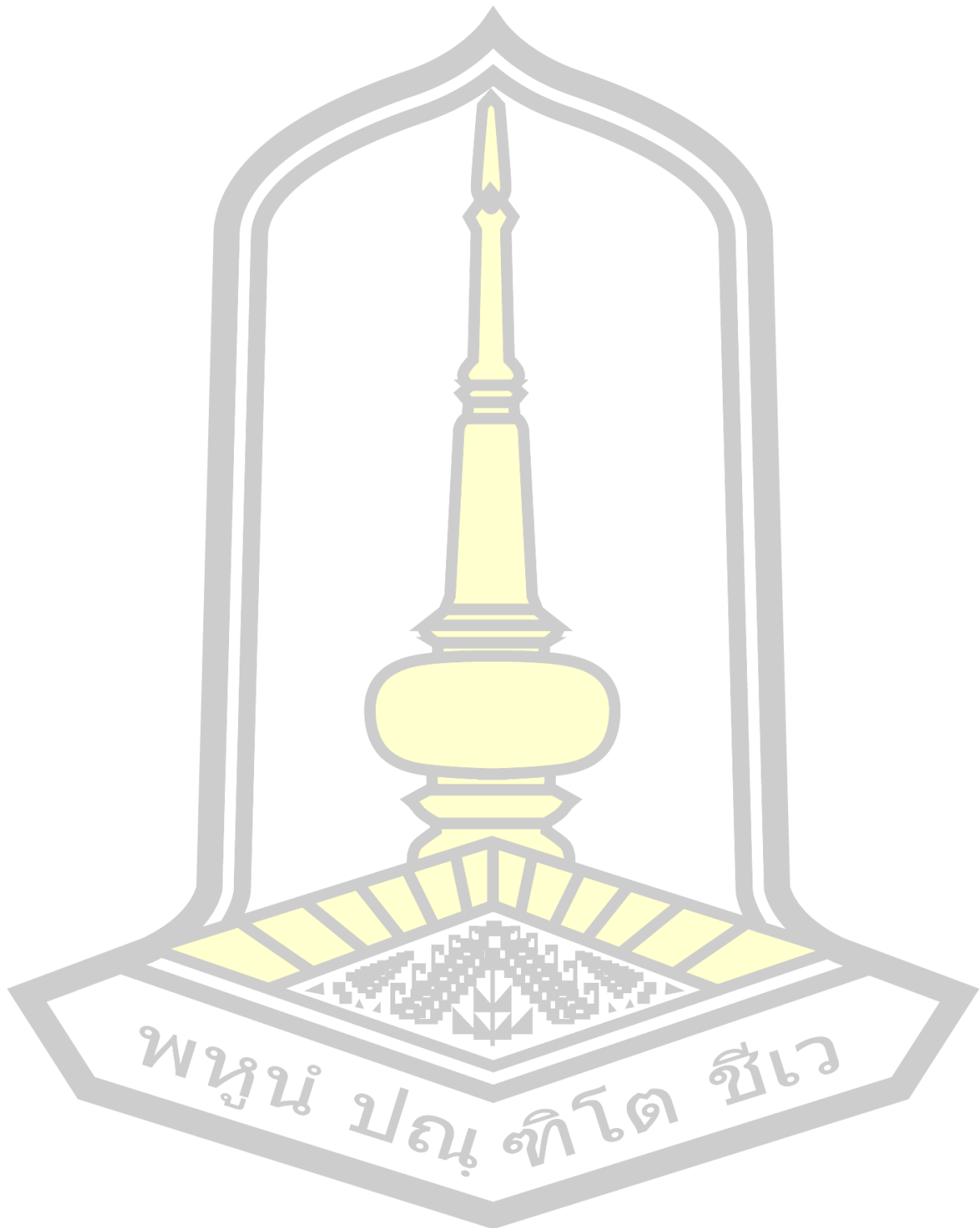
Zhang, L., Zhu, X., Wang, H. and Liu, X. (2024). Research Progress in the Treatment of High-Salinity Wastewater. *Journal of Physics: Conference Series*. 9 pp. DOI 10.1088/1742-6596/2706/1/012042

Zhao, C., Zhang H., Song, C., Zhu, J.K. and Shabala, S. (2020). Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity. *The Innovation*, 1(1).  
<https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>

Zhu, J. K. (2016). Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell*, 167(2), 313-324.  
DOI; 10.1016/j.cell.2016.08.029



ภาคผนวก





**ตารางภาคผนวก 1 ปริมาณไอออนเกลือโพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำบาดาลที่ผ่านการทดสอบโดยห้องปฏิบัติการเซียมหัวแมลงวันใน  
ระยะเวลา 4 สัปดาห์**

Sodium Concentration in groundwater (mg Na/L)	Salt (g/Kg)	Initial	1 Week	2 Week	3 Week	4 Week
0	K <sup>+</sup>	34.32 ± 0.05	30.21 ± 0.08	26.35 ± 1.01	21.0 ± 0.16	19.38 ± 0.47
40		33.63 ± 0.09	28.44 ± 0.08	25.24 ± 0.11	19.91 ± 0.57	17.60 ± 0.03
80		35.58 ± 0.13	31.22 ± 0.58	24.93 ± 0.15	21.79 ± 0.13	17.85 ± 0.52
120		30.85 ± 0.09	22.82 ± 0.06	21.76 ± 0.06	18.98 ± 0.01	13.67 ± 0.12
160	34.61 ± 0.10	26.27 ± 0.08	22.74 ± 0.11	21.15 ± 0.05	15.22 ± 0.02	
0	Na <sup>+</sup>	15.12 ± 0.06	13.14 ± 0.55	10.79 ± 0.06	7.52 ± 0.43	6.51 ± 0.10
40		44.10 ± 0.09	42.24 ± 0.08	38.51 ± 0.11	37.58 ± 0.57	36.48 ± 0.03
80		83.05 ± 1.45	80.46 ± 0.53	77.49 ± 0.95	74.90 ± 0.83	71.50 ± 1.09
120		122.96 ± 1.48	120.21 ± 0.65	117.29 ± 2.93	104.34 ± 2.14	93.82 ± 3.52
160	161.65 ± 0.55	158.72 ± 0.60	156.79 ± 0.48	152.73 ± 0.96	147.59 ± 1.18	
0	Ca <sup>2+</sup>	3.71 ± 0.01	3.22 ± 0.01	2.81 ± 0.01	2.64 ± 0.02	2.50 ± 0.01
40		4.15 ± 0.01	3.16 ± 0.05	2.96 ± 0.05	2.23 ± 0.00	1.96 ± 0.02
80		7.81 ± 0.01	5.64 ± 0.01	5.41 ± 0.01	3.13 ± 0.01	2.01 ± 0.01
120		8.59 ± 0.04	5.54 ± 0.01	5.49 ± 0.01	4.24 ± 0.00	2.35 ± 0.01
160	10.55 ± 0.03	8.10 ± 0.03	5.25 ± 0.04	5.19 ± 0.01	3.41 ± 0.00	
0	Mg <sup>2+</sup>	7.60 ± 0.02	7.03 ± 0.04	5.88 ± 0.01	5.01 ± 0.03	3.57 ± 0.02
40		18.89 ± 0.03	10.32 ± 0.03	9.75 ± 0.01	7.68 ± 0.06	4.05 ± 0.02
80		18.89 ± 0.03	17.43 ± 0.15	16.76 ± 0.14	14.43 ± 0.44	11.05 ± 0.96
120		25.88 ± 0.11	17.13 ± 0.04	15.66 ± 0.54	13.42 ± 0.01	8.00 ± 0.04
160	31.48 ± 0.09	27.79 ± 0.50	26.31 ± 0.11	24.48 ± 0.60	24.72 ± 0.56	

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวพรรณน เม่ามูลเฮ
วันเกิด	วันที่ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2535
สถานที่เกิด	อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 5 ตำบลทุ่งกระตาดพัฒนา อำเภอหนองกี่ จังหวัดบุรีรัมย์ รหัสไปรษณีย์ 31210
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2547 ประถมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอนุบาลหนองกี่ ตำบลหนองกี่ จังหวัดบุรีรัมย์ พ.ศ. 2553 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบุญวัฒนา ตำบลหัวทะเล จังหวัดนครราชสีมา พ.ศ. 2557 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2561 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	โครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่ง ประเทศไทย)
ผลงานวิจัย	สารพฤษเคมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และความเป็นพิษของสารสกัดใบ กระถิน ( <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit) และใบไมยราบยักษ์ ( <i>Mimosa pigra</i> L.)”

พรรณน ปรณ ทิโต ชีเว