

อัตราการรอดและการเจริญเติบโตของกล้าไม้แสมขาว (*Avicennia alba*)

ในดินตะกอนที่มีระยะห่างจากแนวชายฝั่งแตกต่างกัน

Survival and Growth of *Avicennia alba* Seedlings

in Sediment at Different Distance from the Coast

ไทรเทพ วิชย์โกวิทเทน*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Tritep Vichkovitten*

Department of Environmental Sciences, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,
Rangsit Centre, Klong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

เมื่อตรวจวัดอัตราการรอด การเจริญเติบโต และการตอบสนองของกล้าไม้แสมขาว (*Avicennia alba* Bl.) ต่อสภาพแวดล้อมภายในดินตะกอน ภายในแปลงตัวอย่างที่มีลักษณะ โครงสร้างของป่าชายเลนแตกต่างกัน จำนวน 3 แปลง ตามระยะห่างจากแนวชายฝั่งที่ 50, 100 และ 150 เมตร ตามลำดับ โดยศึกษาตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนมกราคม 2555 ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของจังหวัดชลบุรี แปลงตัวอย่างที่อยู่ใกล้ทะเลมากที่สุดซึ่งประกอบด้วยไม้อายุน้อยจะมีลักษณะของดินตะกอนที่มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำและมีค่าศักย์ไฟฟ้าในดินสูง ขณะที่ผืนป่าด้านในประกอบด้วยไม้ที่มีอายุมากขึ้นอยู่บนดินตะกอนที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ และมีค่าซัลไฟด์สูง ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ตรวจวัดได้มีค่าสูง แสดงว่าในพื้นที่ดังกล่าวไม้ได้ขาดแคลนธาตุอาหาร ไม้ว่าจะเป็นไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัส กล้าไม้ที่ขึ้นอยู่ในพื้นที่ใกล้ทะเลมากที่สุดจะมีอัตราการรอดสูงกว่ากล้าไม้ที่ขึ้นอยู่ในผืนป่าด้านใน ความเค็มของน้ำระหว่างเม็ดดินมีค่าระหว่าง 6-29 ppt ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไม้แสมขาว แต่การเพิ่มขึ้นของความเค็มตามฤดูกาลกลับส่งผลในทางลบต่ออัตราการรอดของกล้าไม้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าที่ลดต่ำลงประกอบกับมีค่าซัลไฟด์สูงขึ้นตามฤดูกาลภายในแปลงตัวอย่างทั้งสามส่งผลให้อัตราการรอดของกล้าไม้ลดต่ำลง และสัดส่วนมวลชีวภาพของกล้าไม้ที่กระจายไปสู่รากลดต่ำลงด้วย การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าความเค็ม ศักย์ไฟฟ้า และซัลไฟด์มีความสำคัญต่อการรอดตายของกล้าไม้แสมขาว

คำสำคัญ : ป่าชายเลน, แสมขาว, ศักย์ไฟฟ้า, ซัลไฟด์, ความเค็ม

Abstract

Survival and growth of *Avicennia alba* Bl. seedling to sedimentary environments among three different stands which related to distance of 50, 100 and 150 m from the coast were evaluated under field conditions from July 2011 to January 2012 at Chonburi coastal area, Thailand. Outermost sediments occupied by young stands consisted of low organic matter and displayed suboxic conditions with high redox potential (Eh). The development of forest structures to mature stages in landward zone stimulate accumulation of organic matter to sediment promoted low Eh values in consistent with high sulfide recorded. High nutrients concentrations were examined in porewater suggesting neither nitrogen nor phosphorus was deficit within the area. Seedling grew at the outermost plot showed higher survival rate compared to inner plots. Salinity in the area varied between 6-29 ppt and was appropriated to support growth of *A. alba*. However, seasonal change in salinity contributed to reduction of seedling survival rate. Eh and sediment sulfide content were also related to seedling survivorship between three different plots. Low Eh value in combination with high sulfide reduced the partitioning of root biomass. The present study indicated that salinity, Eh and sulfide were among the most important parameters contributing to seedling survivorship.

Key words: mangrove, *Avicennia alba*, redox potential, sulfide, salinity

1. บทนำ

ป่าชายเลนเป็นป่าไม้ผลัดใบที่ชอบขึ้นอยู่ในที่ดินเลนริมทะเลและบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งได้รับอิทธิพลของน้ำเค็มและน้ำจืด ป่าชายเลนมีความสำคัญในฐานะที่เป็นแหล่งของธาตุอาหารให้กับระบบนิเวศอื่น ๆ ที่เชื่อมต่อกัน รวมถึงการป้องกันการพังทลายของชายฝั่ง [1,2] แต่การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของชายฝั่ง ทั้งการสะสมของปริมาณสารอินทรีย์ในป่าชายเลนและการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มของน้ำทะเลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจาย และอาจก่อให้เกิดการตายของป่าชายเลน [3,4,5] ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อกรพื้นที่ป่าด้วยการปลูกป่าชายเลนเพิ่มเติมจากที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ

จังหวัดชลบุรีเป็นจังหวัดชายทะเลที่ตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย มีแนวชายฝั่งทะเลยาว 156 กิโลเมตร และป่าชายเลนก็เป็นทรัพยากรชายฝั่งที่สำคัญของพื้นที่ แต่การขยายตัวของเมืองทำให้พื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่เป็นที่อยู่อาศัยและพื้นที่เกษตรกรรม ผลจากภาพถ่ายดาวเทียมแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดชลบุรีลดลงจาก 2,300 ไร่ ในปี 2540 เหลือเพียงประมาณ 500 ไร่ ในปี 2545 และปัจจุบันป่าชายเลนที่อุดมสมบูรณ์ในเขตอำเภอเมืองของจังหวัดชลบุรีมีพื้นที่เหลืออยู่เพียงประมาณ 300 ไร่ เท่านั้น และพันธุ์ไม้ป่าชายเลนชนิดเด่นที่ขึ้นในบริเวณนี้ได้แก่ แสมขาว (*Avicennia alba* Bl.) ซึ่งเป็นไม้ชนิดหนึ่งที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มของดินในป่าชายเลนได้เป็นอย่างดี แต่การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าโครงสร้างของป่า

ชายเลนในพื้นที่นี้มีสัดส่วนของกล้าไม้และไม่รุ่มน้อยมาก ทั้งในพื้นที่ที่มีหมู่ไม้ผสมขาวขนาดใหญ่ในบริเวณที่ห่างจากแนวชายฝั่งมากที่สุด และในพื้นที่ที่มีหมู่ไม้ผสมขาวขนาดเล็กกว่าในบริเวณที่อยู่ใกล้กับแนวชายฝั่งมากที่สุด ซึ่งอาจมีสาเหตุจากองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ปริมาณผลผลิตของผลของผสมขาวมีอยู่น้อย และ/หรืออัตราการรอดของกล้าไม้ผสมขาวนั้นมีค่าต่ำ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมในดินตะกอนแต่ละพื้นที่ภายในผืนป่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ และส่งผลต่อการรอดของกล้าไม้ผสมขาวอย่างไร เพราะหากการรอดของกล้าไม้มีค่าต่ำแล้ว การทดแทนของต้นไม้ภายในป่าก็จะต่ำไปด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อการคงอยู่ของป่าผสมขาวตามแนวชายฝั่งของจังหวัดชลบุรีในที่สุด

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง

สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย ได้แก่ พื้นที่ป่าชายเลนที่อยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ซึ่งอยู่ภายในการดูแลและรับผิดชอบของศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ (จังหวัดชลบุรี)

2.2 วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

วางแผนตัวอย่าง ขนาด 20 x 20 เมตร จำนวน 3 แปลง แต่ละแปลงเป็นตัวแทนของสังคมพืชไม้ผสมขาวที่ห่างจากฝั่งทะเลเป็นระยะทางต่างกัน เมื่อวางแผนตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงตรวจนับกล้าไม้เพื่อหาความหนาแน่น

2.2.1 การศึกษาอัตราการรอดของกล้าไม้ผสมขาว

คัดเลือกกล้าไม้ผสมขาวที่ขึ้นอยู่ภายในแปลงแต่ละแปลงที่มีขนาดใกล้เคียงกัน

จำนวน 100 ต้น (3 ซ้ำ) พร้อมทำเครื่องหมายเพื่อใช้ในการตรวจนับอัตราการรอดตายของกล้าไม้ผสมขาว จากนั้นตรวจนับกล้าไม้ผสมขาวทุกเดือน เป็นเวลา 6 เดือน

2.2.2 การศึกษาตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดิน จำนวน 2 ครั้ง เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองโดยใช้ core sampler ความยาว 10 cm เก็บตัวอย่างไว้ในหลอดเก็บตัวอย่างและแช่เย็นจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำตัวอย่างดินมาหาปริมาณน้ำและวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์รวมด้วยวิธี loss on ignition โดยเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และคำนวณน้ำหนักที่หายไป

2.2.3 การศึกษาน้ำระหว่างเม็ดดิน

เก็บตัวอย่างน้ำระหว่างเม็ดดินโดยใช้ท่อ PVC ทำเป็น sipper ที่ระดับ 5 และ 10 cm ใช้ syringe ดูดน้ำระหว่างเม็ดดิน น้ำระหว่างเม็ดดินที่เก็บมาได้นำมาวิเคราะห์หาความเค็มและ pH ตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปกรองโดยใช้กระดาษกรองขนาด 0.45 µm เพื่อกรองตะกอนแขวนลอยในน้ำ และน้ำระหว่างเม็ดดินที่ผ่านการกรองแล้วนำไปหาปริมาณไนเตรท (NO₃⁻)+ไนไตรท์ (NO₂⁻), แอมโมเนีย (NH₄⁺), ฟอสเฟต (PO₄³⁻) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S)

2.2.4 การตอบสนองของกล้าไม้ต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม

คัดเลือกกล้าไม้ผสมขาวซึ่งขึ้นอยู่ภายในแปลงแต่ละแปลงที่มีขนาดใกล้เคียงกัน จำนวน 35 ต้น เช่นเดียวกับการหาอัตราการรอดของกล้าไม้ผสมขาว พร้อมทำเครื่องหมาย เก็บตัวอย่างกล้าไม้ผสมขาว จำนวน 5 ต้น ก่อนการวิจัย ทำความสะอาดแล้ววัดความสูงของลำต้น ความยาวของรากจำนวนใบ จากนั้นแยกชิ้นส่วนนำไปอบที่อุณหภูมิ

60 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักแห้งคงที่เพื่อคำนวณหาค่ามวลชีวภาพ เก็บตัวอย่างกล้าไม้แซมขาวทุกเดือน เป็นเวลา 6 เดือน

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ของอัตราการรอดของกล้าไม้ในแต่ละแปลงตัวอย่าง และวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีคุณภาพสิ่งแวดล้อมทั้งดินและน้ำระหว่างเมื่อดินที่เก็บจากแปลงตัวอย่างทั้งสาม และเปรียบเทียบข้อมูลในแต่ละแปลง การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิตินี้ใช้โปรแกรม Minitab 14

3. ผลการศึกษา

3.1 โครงสร้างของป่าและปริมาณกล้าไม้

ลักษณะโครงสร้างของป่าแซมขาวที่ห่างจากฝั่งทะเลเป็นระยะทางที่แตกต่างกัน ในแต่ละแปลงตัวอย่างเป็นดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยแปลง A เป็นแปลงที่เป็นตัวแทนของไม้อายุน้อย (ไม้อ่อน) ตำแหน่งของแปลงจะอยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลมากที่สุด (ด้านนอกสุด) โดยอยู่ห่างจากชายฝั่งเข้ามา

ประมาณ 50 เมตร แปลง B แทนหมู่ไม้ที่เจริญเติบโตเต็มที่ ตำแหน่งของแปลงอยู่ห่างจากชายฝั่งเข้าไปในแผ่นดินประมาณ 100 เมตร ขณะที่แปลง C แทนหมู่ไม้ที่มีอายุมาก (ไม้แก่) และเป็นไม้ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ตำแหน่งของแปลงจะอยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดินและอยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลมากที่สุด โดยมีระยะห่างจากชายฝั่งประมาณ 150 เมตร ลักษณะโครงสร้างของป่าแสดงให้เห็นว่า แปลง A ประกอบไปด้วยไม้ขนาดเล็ก (DBH 9.14 ± 3.36 cm) และเตี้ย (7.49 ± 1.72 m) เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ในแปลง B และแปลง C โดยไม้ในแปลง C จะมีขนาดใหญ่ที่สุด (DBH 13.48 ± 5.93 cm) และสูงที่สุด (13.83 ± 2.97 m) ความหนาแน่นของไม้ในแปลง B มีค่าสูงที่สุด ($1,484$ tree ha⁻¹) รองลงไปได้แก่แปลง C ($1,008$ tree ha⁻¹) และแปลง A (712 tree ha⁻¹) ตามลำดับ ลักษณะของโครงสร้างของป่ายังส่งผลทำให้ปริมาณกล้าไม้ที่พบในแต่ละแปลงมีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน โดยความหนาแน่นของกล้าไม้แปลง A มีค่า 72.6 ± 33.2 ind m⁻² ขณะที่แปลง B มีค่า 171.4 ± 36.7 ind m⁻² และแปลง C มีค่า 123.8 ± 18.8 ind m⁻² ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของป่าแซมขาวในแปลงตัวอย่างทั้งสามแปลง โดยแปลง A ห่างจากแนวชายฝั่งประมาณ 50 เมตร (ไม้อายุน้อย) แปลง B ห่างจากแนวชายฝั่งประมาณ 100 เมตร (ไม้ขนาดกลาง) และแปลง C ห่างจากแนวชายฝั่งประมาณ 150 เมตร (ไม้แก่) (ที่มา : [6] และการศึกษา)

ตัวตรวจวัด	แปลงตัวอย่าง		
	A	B	C
ความหนาแน่นของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่* (tree ha ⁻¹)	712	1,484	1,008
ความสูงของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่* (m)	7.49 ± 1.72	12.89 ± 1.63	13.83 ± 2.97
เส้นผ่านศูนย์กลางที่ความสูงเพียงอก (DBH, cm)	9.14 ± 3.36	11.12 ± 4.43	13.48 ± 5.93
พื้นที่หน้าตัด (m ² ha ⁻¹)	8.50	18.73	19.81
ความหนาแน่นของกล้าไม้ (ind m ⁻²)	76.2 ± 33.2	171.4 ± 36.7	123.8 ± 18.8

*ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ : ไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความสูงเพียงอกตั้งแต่ 4.5 cm ขึ้นไป

ตารางที่ 2 อัตราการรอด (survival rate) ของกล้าไม้ (seedling) ภายในแปลงไม้ผสมขาว ที่มีระยะทางห่างจากแนวชายฝั่งแตกต่างกัน (ค่าที่แสดงคือค่า mean±S.D.)

เวลา	อัตราการรอด (%)		
	แปลง A	แปลง B	แปลง C
สิงหาคม 2554	100±0.00	100±0.00	100±0.00
กันยายน 2554	77.33±5.51	69.00±5.57	67.33±5.51
ตุลาคม 2554	47.67±6.51	36.33±9.29	6.33±6.03
พฤศจิกายน 2554	37.67±3.06	20.00±2.65	1.67±1.53
ธันวาคม 2554	25.33±4.16	8.67±3.06	0.67±0.58
มกราคม 2555	15.33±3.79	4.33±2.52	0.00±0.00

3.2 อัตราการรอดของกล้าไม้ผสมขาว

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงอัตราการรอดตายของกล้าไม้ผสมขาวภายในแปลงตัวอย่างแต่ละแปลง จะเห็นว่าตลอดระยะเวลาของการศึกษานั้น กล้าไม้ผสมขาวในแต่ละแปลงมีอัตราการรอดตายที่ต่ำมาก ภายในระยะเวลาเพียงหนึ่งเดือนแรกของการศึกษา อัตราการรอดของกล้าไม้จะเหลืออยู่ประมาณ 70-80 % ของปริมาณที่มีเมื่อเริ่มต้น และสัดส่วนอัตราการรอดที่เหลืออยู่ของกล้าไม้ในแต่ละแปลงตัวอย่างจะลดลงมากที่สุดในช่วงเดือนที่ 2 (ตุลาคม) ของการศึกษา และเมื่อสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างในเดือนที่ 6 แปลง A มีอัตราการรอดตายเหลืออยู่เพียง 15.33 % แปลง B มีอัตราการรอดเพียง 4.33 % ในขณะที่แปลง C มีอัตราการรอดเหลือเป็น 0 % ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าอัตราการรอดของกล้าไม้ผสมขาวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) ในแต่ละแปลงตัวอย่างและเดือน

3.3 การศึกษาตัวอย่างดิน

ข้อมูลคุณสมบัติของดินตะกอนตามตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำในดินตะกอนของ

แปลง A ตลอดช่วงเวลาของการศึกษามีค่าอยู่ระหว่าง 53-58 % แปลง B มีค่าใกล้เคียงกันทั้งในช่วงเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการศึกษาที่ 62 % ขณะที่แปลง C มีปริมาณน้ำในดินตะกอนระหว่าง 60-63 % เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของดินตะกอนพบว่าแปลง A จะมีความหนาแน่นของดินตะกอนมากที่สุด ($0.58-0.66 \text{ g DW cm}^{-3}$) ขณะที่ความหนาแน่นของดินตะกอนแปลง B จะมีค่าใกล้เคียงกับแปลง C ($0.47-0.52 \text{ g DW cm}^{-3}$) และมีค่าน้อยกว่าแปลง A ปริมาณสารอินทรีย์ในแต่ละแปลงมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนแปลง A จะมีค่าต่ำที่สุดระหว่าง 6.67-7.42 % แปลง B มีปริมาณสารอินทรีย์สูงที่สุด (10.41-10.65 %) ขณะที่แปลง C มีปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนระหว่าง 8.81-9.75 %

3.4 การศึกษาน้ำระหว่างเม็ดดิน

ตารางที่ 4-5 แสดงคุณภาพน้ำระหว่างเม็ดดินในแต่ละช่วงเวลา ความเต็มที่ตรวจวัดได้มีความผันแปรตามฤดูกาล ($p < 0.01$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแปลงตัวอย่าง ($p = 0.219$) และระดับความลึก ($p = 0.522$) โดยในช่วง

แรกของการศึกษาเป็นช่วงฤดูฝน (สิงหาคม) ความเค็มที่ตรวจวัดได้จะมีค่าต่ำอยู่ในช่วง 6-17 ppt และความเค็มต่ำจะตรวจวัดได้บริเวณผิว และเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก และแปลง C ซึ่งเป็นแปลงที่อยู่ด้านในสุด จะมีค่าความเค็มต่ำกว่าที่ตรวจวัดได้ในแปลง A

และ B มาก ขณะที่ช่วงเวลาดินสุดการศึกษาซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว (มกราคม) ความเค็มที่ตรวจวัดได้จะมีค่าสูงกว่าเดือนสิงหาคม ทั้งนี้ความเค็มที่ตรวจวัดได้ในเดือนมกราคม จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบ ๆ ระหว่าง 28-29 ppt ในทุกแปลงตัวอย่าง

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของดินตะกอนบริเวณผิวดิน (1-10 cm) ภายในแปลงไม้เสมขาวที่เก็บจากพื้นที่ที่มีระยะห่างจากแนวชายฝั่งแตกต่างกันในเดือนสิงหาคม 2554 และมกราคม 2555

แปลงตัวอย่าง	ตัวตรวจวัด	เวลา	
		สิงหาคม 2554	มกราคม 2555
A	น้ำในดินตะกอน (WC, %)	52.36	57.32
	ความหนาแน่นของดินตะกอน (g cm^{-3})	0.66	0.58
	สารอินทรีย์ในดินตะกอน (OM, %)	6.67	7.42
B	น้ำในดินตะกอน (WC, %)	61.76	61.50
	ความหนาแน่นของดินตะกอน (g cm^{-3})	0.49	0.49
	สารอินทรีย์ในดินตะกอน (OM, %)	10.41	10.65
C	น้ำในดินตะกอน (WC, %)	62.58	59.30
	ความหนาแน่นของดินตะกอน (g cm^{-3})	0.47	0.52
	สารอินทรีย์ในดินตะกอน (OM, %)	9.75	8.81

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงตามความลึกของคุณภาพน้ำระหว่างเม็ดดินภายในแปลงไม้เสมขาวที่มีระยะห่างจากแนวชายฝั่งแตกต่างกันในเดือนสิงหาคม 2554 (ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

แปลงตัวอย่าง	ความลึก (cm)	ตัวตรวจวัด						
		ความเค็ม (%)	pH	Eh (mV)	ไนเตรท+ไนไตรท์ (μM)	แอมโมเนีย (μM)	ฟอสเฟต (μM)	ซัลไฟด์ (mM)
A	5	12.36	7.84	15.7	0.53	13.32	64.38	0.58
	10	16.22	7.66	-3.5	0.89	5.37	63.09	0.71
B	5	13.84	7.66	-62.2	2.11	14.91	87.76	0.79
	10	16.49	7.61	-58.8	2.70	22.98	79.29	1.08
C	5	5.98	6.87	-79.4	0.71	22.28	76.78	0.96
	10	7.16	7.03	-100.1	0.57	11.60	78.29	0.45

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงตามความลึกของคุณภาพน้ำระหว่างเมื่อดินภายในแปลงไม้แสมขาวที่มีระยะห่างจากแนวชายฝั่งแตกต่างกันในเดือนมกราคม 2555 (ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

แปลงตัวอย่าง	ความลึก (cm)	ตัวตรวจวัด						
		ความเค็ม (%)	pH	Eh (mV)	ไนเตรท+ไนไตรท์ (μM)	แอมโมเนีย (μM)	ฟอสเฟต (μM)	ซิลิไฟด์ (mM)
A	5	28.09	7.63	181.1	2.10	16.56	21.67	0.27
	10	27.68	7.61	182.3	1.02	16.63	59.57	0.40
B	5	27.37	7.94	176.6	1.53	14.54	32.14	0.36
	10	27.08	7.78	176.0	1.60	16.56	40.36	0.54
C	5	28.46	7.16	161.6	2.27	14.22	44.68	0.31
	10	28.53	7.07	138.4	3.36	15.30	54.04	0.30

ค่า pH จะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 7-8 ในทุกแปลงตัวอย่าง ค่า pH ที่ตรวจวัดได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) เฉพาะระหว่างแปลงตัวอย่างเท่านั้น โดยค่า pH ที่ตรวจวัดได้ในเดือนสิงหาคมจะมีค่าลดลงจากแปลง A ไปสู่แปลง C และมีค่าลดลงตามระดับความลึก ขณะที่ค่า pH ในเดือนธันวาคมมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดลงตามความลึกเช่นเดียวกัน แต่ค่า pH ในแปลง B จะมีค่าสูงที่สุด รองลงไปที่แปลง A และแปลง C ตามลำดับ

ปริมาณความเข้มข้นของ $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ มีค่าต่ำ < 4 μM ทั้งสองช่วงของการศึกษา ในเดือนสิงหาคม ปริมาณ $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ที่ตรวจวัดได้ในแปลง A จะมีค่าใกล้เคียงกับแปลง C ซึ่งมีค่าต่ำ (0.53-0.89 μM) เมื่อเปรียบเทียบกับแปลง B ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 2.11-2.70 μM ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของค่า $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ในเดือนมกราคม ในแต่ละแปลงตัวอย่างมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงตรงกันข้ามแต่ความเข้มข้นของ $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ มีค่าสูงกว่าที่ตรวจวัดได้ในเดือนสิงหาคม กล่าวคือแปลง B จะมีความเข้มข้นของ $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ต่ำ

ที่สุด (1.53-1.60 μM) ขณะที่แปลง C จะมีความเข้มข้นของ $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ สูงที่สุด (2.27-3.36 μM) ความเข้มข้นของ $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ที่ตรวจวัดได้มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อพิจารณาจากปัจจัยด้านแปลงตัวอย่าง ($p = 0.450$) ความลึก ($p = 0.788$) และเดือน ($p = 0.213$) ตามลำดับ

ความเข้มข้นของ NH_4^+ จะมีความผันแปรระหว่าง 5.37-22.98 μM ในทุกแปลงที่ทำการตรวจวัด ปริมาณ NH_4^+ ที่ตรวจวัดได้ในเดือนสิงหาคมจะมีความผันแปรสูงกว่าเมื่อเทียบกับเดือนมกราคม โดยปริมาณ NH_4^+ บริเวณผิวดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากแปลง A ไปสู่แปลง C ขณะที่แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดลงตามความลึกขกวันในแปลง B ที่เพิ่มขึ้น ในเดือนมกราคมปริมาณ NH_4^+ มีความผันแปรน้อยกว่า (14.22-16.63 μM) โดยมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงจากแปลง A ไปสู่แปลง C และลดลงตามความลึก เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของแปลงตัวอย่าง ความลึกและเดือน พบว่าปัจจัยทั้งสามไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของ NH_4^+

อย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.523$, 0.692 และ 0.857 , ตามลำดับ)

ความเข้มข้นของ PO_4^{3-} จะมีค่าสูงในทุกแปลงตัวอย่างโดยมีค่าระหว่าง $21.67-87.76 \mu M$ โดยความเข้มข้นของ PO_4^{3-} ที่ตรวจวัดได้ในเดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนจะมีค่าสูงกว่าที่ตรวจวัดได้ในเดือนมกราคมอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) โดยค่าที่ตรวจวัดบริเวณผิวจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ในระดับที่ลึกลงไป ยกเว้นแปลง C ที่ค่าที่ระดับลึกมีค่าสูงกว่า ขณะที่ปริมาณ PO_4^{3-} ที่ตรวจวัดได้ในเดือนมกราคมในทุกแปลงตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น

ค่า Eh จะมีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับค่า pH คือมีค่าลดต่ำลงจากแนวชายฝั่งเข้าไปในแผ่นดิน (แปลง A > แปลง B > แปลง C) นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า Eh นั้นลดลงตามความลึกในทุกแปลงตัวอย่าง การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลแสดงให้เห็นว่า Eh จะมีค่าสูงในเดือนมกราคม โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง $139-183 mV$ และ Eh จะมีค่าต่ำในเดือนสิงหาคม มีค่าระหว่าง $-101-16 mV$ โดยค่า Eh จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ระหว่างเดือน และระหว่างแปลงตัวอย่าง ($p=0.01$)

ปริมาณความเข้มข้นของซัลไฟด์จากทั้งสามแปลง มีค่าระหว่าง $0.27-1.08 mM$ โดยค่าที่ต่ำจะตรวจวัดได้บริเวณผิวและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก โดยมีความผันแปรที่เกิดขึ้นตามฤดูกาลและแปลงที่ทำการตรวจวัด แต่จะมีเฉพาะฤดูกาลเท่านั้นที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของซัลไฟด์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ทั้งนี้ความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่มีค่าต่ำที่สุดจะตรวจวัดได้ในเดือนสิงหาคม ซึ่งมีค่าระหว่าง $0.45-$

$1.08 mM$ โดยค่าที่สูงที่สุดตรวจพบในแปลง B ส่วนแปลง A จะมีค่าต่ำที่สุด ความเข้มข้นของซัลไฟด์จากแปลงทั้งสามจะมีค่าลดลงในเดือนมกราคม โดยมีค่าระหว่าง $0.27-0.54 mM$ โดยมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงในแต่ละแปลงเป็นเช่นเดียวกับที่ตรวจวัดได้ในเดือนสิงหาคม

3.5 ลักษณะทางกายภาพและมวลชีวภาพของกล้าไม้แสมขาว

ลักษณะทางกายภาพของกล้าไม้แสมขาว ประกอบด้วยความสูงของต้น ความยาวของรากจำนวนใบ และมวลชีวภาพเฉลี่ยของแต่ละต้นแสดงไว้ดังตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นของกล้าไม้ทุกแปลงจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการศึกษา ส่วนแปลง C ที่มีข้อมูลเพียงแค่ 3 เดือน เนื่องจากกลุ่มของต้นกล้าที่ทำเครื่องหมายไว้ตายหมด ข้อมูลนี้สอดคล้องกับข้อมูลเรื่องอัตราการรอดของกล้าไม้แสมขาว ซึ่งปรากฏว่าแปลง C มีอัตราการรอดที่ลดลงมากภายในระยะเวลา 3 เดือนหลังจากเริ่มทำการเก็บข้อมูล การเปลี่ยนแปลงของความยาวรากของกล้าไม้ในแต่ละแปลงมีความผันแปรอยู่ในช่วง $6-9 cm$ ยกเว้นตัวอย่างของกล้าไม้ในแปลง A ในเดือนสุดท้ายที่ความยาวของรากเพิ่มขึ้นเป็น $13.90 cm$ ส่วนจำนวนใบของกล้าไม้แต่ละแปลงจะผันแปรอยู่ในช่วง $4-7$ ใบ มวลชีวภาพของกล้าไม้ทั้งสามแปลงมีความผันแปรระหว่าง $0.3509-1.1788 g DW ind^{-1}$ โดยจะเพิ่มขึ้นในช่วงสองเดือนแรกและจะลดลงในเดือนที่สามก่อนที่จะแสดงแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นอีกครั้งในแปลง A และแปลง B ขณะที่แปลง C ไม่มีข้อมูลหลังจากเดือนที่สาม มวลชีวภาพของกล้าไม้ที่ทำการตรวจวัดมีการกระจายไปตามส่วนต่าง ๆ ดังปรากฏในตารางที่ 7 พบว่าสัดส่วนของมวลชีวภาพของลำต้นของกล้าไม้ในแต่ละแปลงตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลง

ที่ชัดเจนที่สุด โดยมีทิศทางของการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่เพิ่มขึ้น ส่วนมวลชีวภาพของรากในแปลง A มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในช่วงสามเดือนสุดท้าย ส่วนมวลชีวภาพของรากในแปลง B จะลดลงในเดือน

ที่สองก่อนที่จะเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาที่เหลือของการศึกษา ขณะที่มวลชีวภาพของรากในแปลง C มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดลงตลอดระยะเวลาของการศึกษา

ตารางที่ 6 ลักษณะทางกายภาพประกอบด้วยความสูงของลำต้น ความยาวของราก จำนวนใบ และมวลชีวภาพของกล้าไม้สามขวานที่เก็บจากแปลงที่มีระยะห่างจากแนวชายฝั่งแตกต่างกัน (ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่าง 5 ซ้ำ)

เวลา	แปลงตัวอย่าง											
	A				B				C			
	ความสูงของลำต้น (cm)	ความยาวของราก (cm)	จำนวนใบ	มวลชีวภาพ (g DW ind ⁻¹)	ความสูงของลำต้น (cm)	ความยาวของราก (cm)	จำนวนใบ	มวลชีวภาพ (g DW ind ⁻¹)	ความสูงของลำต้น (cm)	ความยาวของราก (cm)	จำนวนใบ	มวลชีวภาพ (g DW ind ⁻¹)
ก.ค. 54	10.04	6.70	4.30	0.7041	10.16	9.14	5.60	0.5343	10.21	7.07	5.70	0.4753
ค.ค. 54	11.63	5.44	6.20	0.7673	16.37	7.60	6.33	0.7673	17.79	9.13	5.11	0.5640
ก.ย. 54	12.33	6.39	6.88	0.6863	17.13	6.08	6.70	0.4446	20.08	6.30	4.80	0.3509
ต.ค. 54	14.25	7.65	3.80	0.5431	18.62	8.51	5.00	0.5154	-	-	-	-
พ.ย. 54	16.06	7.84	6.29	0.6328	18.94	9.25	4.00	0.4901	-	-	-	-
ธ.ค. 54	21.86	13.90	4.60	1.1788	22.08	8.62	3.60	0.6544	-	-	-	-

ตารางที่ 7 การกระจายของมวลชีวภาพไปตามส่วนต่างๆ ของกล้าไม้สามขวานระหว่างใบ ลำต้น ราก และใบเลี้ยงที่เก็บจากแปลงที่มีระยะห่างจากแนวชายฝั่งที่แตกต่างกัน

เวลา	แปลงตัวอย่าง											
	A				B				C			
	ใบ (%)	ลำต้น (%)	ราก (%)	ใบเลี้ยง (%)	ใบ (%)	ลำต้น (%)	ราก (%)	ใบเลี้ยง (%)	ใบ (%)	ลำต้น (%)	ราก (%)	ใบเลี้ยง (%)
ก.ค. 54	13.74	18.99	16.26	51.02	25.57	32.51	41.92	-	25.12	31.96	42.92	-
ค.ค. 54	30.13	44.38	25.49	-	35.63	42.30	22.07	-	25.46	50.51	24.02	-
ก.ย. 54	27.80	46.47	25.73	-	21.95	54.88	23.17	-	11.86	65.43	22.71	-
ต.ค. 54	13.70	58.66	27.64	-	27.59	46.99	25.42	-	-	-	-	-
พ.ย. 54	39.71	37.89	22.40	-	18.86	47.96	33.18	-	-	-	-	-
ธ.ค. 54	17.26	49.60	33.14	-	10.03	53.86	36.11	-	-	-	-	-

4. วิจารณ์

4.1 โครงสร้างของป่าผสมเขาและคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ป่า

การศึกษาของไตรเทพและสมบูรณ์ [6] แสดงให้เห็นว่าลักษณะทางสรีรวิทยาของไม้ผสมเขาจะมีการออกดอกมากที่สุดในช่วงฤดูร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนเมษายน จากนั้นดอกจะพัฒนาไปเป็นผล โดยใช้เวลา 4-6 เดือน กว่าจะได้ผลที่แก่เต็มที่ ปริมาณผลที่ร่วงหล่นจะมีค่าสูงที่สุดในเดือนสิงหาคม ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน นอกจากนี้ลักษณะโครงสร้างของป่าชายเลนส่งผลต่อปริมาณของเศษซากที่ร่วงหล่นรวมไปถึงปริมาณของผลด้วย ดังนั้นความแตกต่างของปริมาณต้นกล้าที่ปรากฏในแต่ละแปลงย่อมเป็นผลมาจากโครงสร้างของป่า ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับพัฒนาการของป่าและความสูงของไม้ในป่า [2] และสามารถส่งผลต่อปริมาณแสงที่ส่องลงมายังพื้นดินได้ เรือนยอด [7] ซึ่งอาจกระทบต่อการงอกและการเจริญเติบโตของกล้าไม้ได้

ปัจจัยแวดล้อมทั้งกายภาพ เคมี และชีวภาพภายในพื้นที่ป่ามีความเกี่ยวข้องกับลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และชนิดของพืชที่ขึ้นอยู่ [4,5,8,9] ลักษณะของดินตะกอนภายในป่าผสมเขาแต่ละแปลงมีปริมาณสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยปริมาณสารอินทรีย์ที่มีค่าสูงนั้นตรวจวัดได้ในบริเวณที่มีไม้ผสมเขาอายุมากขึ้นอยู่ ได้แก่ แปลง B และ C ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง 9-11 % ขณะที่แปลง A ซึ่งเป็นแปลงที่มีไม้อายุน้อยมีปริมาณสารอินทรีย์ในปริมาณที่ต่ำกว่า ~7% แสดงให้เห็นว่าพัฒนาการของป่าที่เพิ่มขึ้นช่วยให้เกิดการสะสมของตะกอนและสารอินทรีย์มากขึ้นด้วย [6] ความแตกต่างของปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนป่าผสมเขาในแต่ละแปลงสามารถที่จะส่งผลกระทบต่อปัจจัยแวดล้อมอื่น

ภายในพื้นที่ได้ เช่น pH ศักย์ไฟฟ้า (Eh) ความเข้มข้นของธาตุอาหาร ที่อาจส่งผลต่อการรอดของกล้าไม้ผสมเขา

ความเค็มที่ตรวจวัดได้มีความแตกต่างระหว่างแปลงและความลึกน้อยกว่าเมื่อเทียบกับฤดูกาล ในช่วงเดือนสิงหาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนค่าความเค็มที่ตรวจวัดได้จะต่ำกว่าเดือนมกราคมซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว และความเค็มที่ระดับผิวจะมีค่าต่ำกว่าความเค็มในระดับที่ลึกลงไปแสดงว่าพื้นที่นี้ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดหรือน้ำฝนที่ไหลบ่าบนแผ่นดิน โดยเฉพาะแปลง C ซึ่งอยู่ด้านในสุดสามารถได้รับน้ำจืดได้ง่ายที่สุด ขณะที่ในฤดูหนาวความแตกต่างของความเค็มทั้งในเชิงพื้นที่และความลึกนั้นมีน้อยมากแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของน้ำจืดและการระเหยของน้ำนั้นไม้ได้ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงความเค็มภายในพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงความเค็มที่นอกเหนือไปจากช่วงที่พอเหมาะของพืชป่าชายเลนแต่ละชนิด สามารถส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตและโครงสร้างของไม้ในป่าชายเลนได้ [1,4,5,8,10] อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงความเค็มในแต่ละแปลงตลอดช่วงระยะเวลาของการศึกษานี้มีค่าระหว่าง 6-29 ppt ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่ผสมเขาสามารถเจริญเติบโตได้

ค่า Eh ที่ตรวจวัดได้มีความแตกต่างกันทั้งระหว่างแปลงและช่วงเวลา กล่าวคือ แปลงที่อยู่ด้านนอกหรือแปลง A จะมีค่า Eh ที่สูงกว่าแปลงที่อยู่ด้านในคือแปลง B และ C ตามลำดับ ขณะที่ค่า Eh ในเดือนมกราคมมีค่าสูงกว่าเดือนสิงหาคมมาก การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับไม้ผสมแสดงให้เห็นว่าค่า Eh ในดินตะกอนที่มีค่าสูงนั้นจะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของรากพืช [4,5,8] ระบบรากของผสมเขาสามารถที่จะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภายใน

ดินตะกอนได้ทั้งโดยการปล่อยออกซิเจนออกสู่สภาพแวดล้อมภายนอก รากของพืช และ/หรือการปล่อยสารอาหารที่เป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งจะช่วยให้กระตุ้นให้เกิดกระบวนการย่อยสลายเพิ่มขึ้น [8] นอกจากนี้การขึ้น-ลงของน้ำทะเล และสภาวะการถูกท่วมขังยังส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างมวลน้ำกับดินตะกอนอีกด้วย ดังนั้นการที่สภาพดินตะกอนในผืนป่าอายุน้อยที่อยู่ด้านนอกใกล้กับทะเลมากที่สุด (แปลง A) มีค่า Eh ที่สูงกว่าดินตะกอนแปลง B และ C นั้นน่าจะมีสาเหตุมาจากปริมาณสารอินทรีย์ที่สะสมตัวมีอยู่น้อย และการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของน้ำทะเลช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างมวลน้ำกับดินตะกอนได้ดีกว่า ขณะที่ค่า Eh ในดินตะกอนบริเวณผืนป่าที่มีพัฒนาการสูงกว่านั้นอาจเป็นผลมาจาก ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีมากกว่าอันเนื่องมาจากผลผลิตของเศษซากที่มากกว่า [6] รวมไปถึงอัตราการสะสมของสารอินทรีย์ในดินตะกอนที่มากกว่า นอกจากนี้ระยะทางที่ห่างจากทะเลยังส่งผลต่อการถ่ายเทออกซิเจนออกนอกพื้นที่ด้วย [4] สารอาหารที่รากพืชปล่อยออกมานั้นส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ที่สามารถกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์และเพิ่มความต้องการตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ค่า Eh นั้นลดลง [9,11] นอกจากนี้ค่า Eh ในแปลง B และ C ที่มีค่าต่ำยังสอดคล้องกับปริมาณซัลไฟด์ที่เพิ่มขึ้นในแปลงทั้งสอง แสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายที่ไม่ใช้ออกซิเจนชนิด sulfate reduction เกิดขึ้นในขณะที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในพื้นที่นี้ [9]

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญ ที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของไม้ในป่าชายเลน [12,13] ความเข้มข้นของอนินทรีย์

ไนโตรเจนส่วนใหญ่ปรากฏในรูปของ NH_4^+ มีค่า $>10 \mu\text{M}$ ซึ่งใกล้เคียงกับที่มีการรายงานในป่าชายเลนอื่น [1,14] ความเข้มข้นของอนินทรีย์ไนโตรเจนมีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันระหว่างสองช่วงเวลาของการศึกษา โดยความเข้มข้นของ NH_4^+ และ $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ในเดือนสิงหาคมมีค่าสูงในป่าชายเลนที่มีอายุมากกว่าในแปลง B และ C เมื่อเทียบกับแปลงที่มีอายุน้อย (แปลง A) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากอัตราการย่อยสลายและการหมุนเวียนของธาตุอาหารสูงกว่าปริมาณที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ขณะที่ความเข้มข้นของอนินทรีย์ไนโตรเจนในแต่ละแปลงที่ตรวจวัดได้ในเดือนมกราคมนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าผลต่างระหว่างอัตราการย่อยสลายของธาตุอาหารกับการนำไปใช้ของพืชมีค่าใกล้เคียงกัน หากเป็นเช่นนี้สามารถอนุมานได้ว่ากระบวนการย่อยสลายและการนำเอาธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์โดยพืชในหมู่ไม้ขนาดใหญ่และอายุมากมีค่าสูงกว่าไม้ขนาดเล็กที่อายุน้อย

ความเข้มข้นของอนินทรีย์ PO_4^{3-} ในน้ำระหว่างเม็ดดินในพื้นที่ที่ทำการศึกษานี้มีค่าสูง และมีค่าเพิ่มขึ้นจากแปลงด้านนอก (แปลง A) เข้าไปสู่แปลงที่อยู่ด้านใน (แปลง B และ C) และความเข้มข้นมีค่าสูงถึง $88 \mu\text{M}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่มีในรายงานสำหรับป่าชายเลนอื่น [15] ความเข้มข้นของ PO_4^{3-} ที่มีค่าสูงแสดงว่าป่าแสมขาวที่ทำการศึกษานี้ไม่ได้ขาดแคลน PO_4^{3-} และเป็นที่น่าสนใจว่าความเข้มข้นของ PO_4^{3-} ที่ทำการตรวจวัดในเดือนสิงหาคมมีค่าสูงมากกว่าที่ทำการตรวจวัดในเดือนมกราคมประมาณ 2-3 เท่า ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าอิทธิพลของน้ำจืดส่งผลต่อการพัฒนาเอา PO_4^{3-} จากแผ่นดินออกสู่แหล่งน้ำชายฝั่ง สำหรับความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่นั้นสามารถที่จะบอกถึงผลกระทบที่

เกิดขึ้นจากการถูกท่วมขัง และสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาการของป่าชายเลน ความเข้มข้นของซัลไฟด์ในน้ำระหว่างเม็ดดินที่มีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 4.1 mM สามารถที่จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของป่าชายเลนได้ในหลายๆ พื้นที่ [15,16] ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่ตรวจวัดได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่รายงานไว้ว่าส่งผลกระทบต่อพัฒนาการของพืช [15,16] แต่การศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาเฉพาะกับไม้ใหญ่เท่านั้น

4.2 คุณภาพสิ่งแวดล้อมและการตอบสนองของกล้าไม้

เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อกกล้าไม้ Ye *et al.* [17] แสดงให้เห็นว่าความเค็มส่งผลกระทบต่อการงอก การเจริญเติบโต และลักษณะทางสรีระของกล้าไม้ป่าชายเลน แต่การตอบสนองต่อความเค็มจะผันแปรไปตามชนิดของพันธุ์ไม้ ซึ่งภายใต้ความเค็มตั้งแต่ 0-35 ppt พบว่ากล้าไม้แสมทะเล (*Avicennia marina*) มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มมากที่สุด รองลงไปได้แก่กล้าไม้เล็บมือนาง (*Aegiceras corniculatum*) และกล้าไม้เหงือกปลาหมอดอกม่วง (*Acanthus ilicifolius*) ตามลำดับ แสดงว่าภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงความเค็มที่ใกล้เคียงกับระดับความเค็มของน้ำทะเลปกติตามแนวชายฝั่ง (0-35 ppt) จะส่งผลกระทบต่อการงอกและการเจริญเติบโตของกล้าไม้แสมทะเลน้อยมาก ถึงแม้ว่ากล้าไม้แสมขาวจะเป็นไม้ในสกุลเดียวกันกับแสมทะเลที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มก็ตาม แต่การที่อัตราการรอดของกล้าไม้ในแต่ละเดือนของแต่ละแปลงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงความเค็มส่งผลกระทบต่ออัตราการรอดของกล้าไม้แสมขาวในป่า

ชายเลนบริเวณนี้ ความเค็มอาจส่งผลกระทบทางตรงหรือทางอ้อมโดยความเค็มที่เพิ่มขึ้นมีส่วนช่วยเพิ่มความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากผลกระทบอื่นได้ [17] การที่กล้าไม้แสมขาวมีอัตราการรอดต่ำในทุกแปลงตัวอย่าง คาดว่าอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่มีต่อสมดุลของคาร์บอนในพืช อัตราการรอดของกล้าไม้ในพื้นที่ศึกษาแปรผกผันกับค่า Eh และปริมาณของซัลไฟด์ซึ่งเป็นพิษต่อพืชโดยตรง [18,19] (ตารางที่ 2 และ 6) แสดงว่าสภาพแวดล้อมในดินตะกอนที่มีออกซิเจนต่ำหรือไม่มีออกซิเจน และปริมาณซัลไฟด์ในดินตะกอนส่งผลต่ออัตราการรอดของกล้าไม้ การศึกษาของ Pezeshki *et al.* [20] แสดงให้เห็นว่าสภาวะ Eh ในดินที่มีค่าต่ำส่งผลกระทบต่อ การสะสมของมวลชีวภาพของกล้าไม้ป่าชายเลนแต่ละชนิดในระดับที่แตกต่างกัน โดยการสะสมมวลชีวภาพของรากกล้าไม้ป่าชายเลนชนิด *Avicennia germinans* และ *Rhizophora mangle* จะมีค่าลดลงเมื่อสภาวะ Eh ในดินมีค่าลดลง การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการสะสมของมวลชีวภาพของรากกล้าไม้แสมขาวในแต่ละแปลงจะลดลงในช่วง 2-3 เดือนแรก (ตารางที่ 4) และค่าระดับวิกฤติของการสะสมมวลชีวภาพของรากกล้าไม้แสมขาวจะอยู่ที่ 22 % (แปลง C) เพราะหลังจากนั้นกล้าไม้แสมขาวไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้เลย และเมื่อผ่านพ้นเดือนที่สามไปแล้ว สัดส่วนมวลชีวภาพของรากมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของกล้าไม้ที่รอดตายในแปลง A และ B แสดงว่าค่า Eh และปริมาณซัลไฟด์ที่ตรวจวัดได้ในเดือนสิงหาคมนั้นส่งผลต่อการรอดของกล้าไม้ และเมื่อเข้าสู่ฤดูหนาว ค่า Eh มีค่าสูงขึ้น และปริมาณซัลไฟด์มีค่าลดลง ส่งผลให้กล้าไม้ที่รอดตายมีสัดส่วนของมวลชีวภาพของรากเพิ่มขึ้น ถึงแม้ปริมาณซัลไฟด์ที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่จะอยู่ในเกณฑ์ต่ำแต่ก็

เป็นปริมาณที่สามารถตรวจวัดได้ในป่าชายเลนอื่นเช่นกัน [3,4,5] ปริมาณซัลไฟด์ในระดับังคับกล่าวอาจไม่สามารถส่งผลกระทบต่อไม้ใหญ่ได้ เนื่องจากไม้ใหญ่ในสกุลแสม (*Avicennia*) จะมีการปรับตัวทางสรีระ โดยมีโครงสร้างของรากอากาศ (pneumatophore) ซึ่งการพัฒนาระบบราก (aerenchymatic tissue system) ที่เกิดขึ้นทำให้ออกซิเจนสามารถเคลื่อนที่ผ่านทางเลนติเซล (lenticels) ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากไปสู่ส่วนของรากที่อยู่ใต้ดิน ซึ่งกล้าไม้จะไม่พบการพัฒนาในส่วนจากระบบรากพิเศษเหล่านี้หรือมีการพัฒนาได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้มีโอกาสที่จะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่า Eh และปริมาณซัลไฟด์ในดินได้สูงกว่าไม้ใหญ่ [20]

5. สรุปผล

โครงสร้างและพัฒนาการของป่าชายเลนแสมขาวส่งผลต่อสภาพแวดล้อมภายในดินตะกอน โดยที่ผืนป่าที่มีอายุมากมีปริมาณสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินตะกอนมากกว่าผืนป่าที่มีอายุน้อย ซึ่งส่งผลเกี่ยวเนื่องต่อดัชนีคุณภาพของดินตะกอนและดัชนีคุณภาพน้ำในดินตะกอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า Eh และซัลไฟด์ ปริมาณธาตุอาหารจำพวก NH_4^+ และ PO_4^{3-} มีค่าสูงแสดงว่าธาตุอาหารเหล่านี้ไม่ได้เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของไม้แสมขาวในพื้นที่ และกล้าไม้แสมขาวที่ขึ้นอยู่บริเวณผืนป่าที่มีอายุน้อยจะมีอัตราการรอดสูงกว่ากล้าไม้ที่ขึ้นอยู่ในผืนป่าที่มีอายุมาก เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้องพบว่า ความเค็มที่ตรวจวัดได้มีความผันแปรอยู่ระหว่าง 6-29 ppt ซึ่งเป็นระดับปกติที่ตรวจวัดได้ในผืนป่าชายเลนทั่วไป และการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันน้อย แต่ค่าความเค็มที่เพิ่มขึ้นตามฤดูกาลกลับทำให้อัตราการรอดของกล้าไม้แสมขาว

ในแต่ละแปลงตัวอย่างลดลง แสดงว่าความเค็มส่งผลกระทบต่ออัตราการรอดของกล้าไม้แสมขาวในพื้นที่ นอกจากนี้อัตราการรอดของกล้าไม้แสมขาวมีความสัมพันธ์กับค่า Eh และซัลไฟด์ โดยพื้นที่ที่มีค่า Eh ต่ำและมีซัลไฟด์สูงจะมีอัตราการรอดของกล้าไม้ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่มีค่า Eh สูง และซัลไฟด์ต่ำ แสดงว่าความเค็ม Eh และซัลไฟด์ถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการรอดของกล้าไม้ การตอบสนองของกล้าไม้แสมขาวแสดงออกให้เห็นผ่านทางสัดส่วนการสะสมมวลชีวภาพของราก โดยสัดส่วนมวลชีวภาพของรากจะลดลงในพื้นที่ที่มีค่า Eh ต่ำ ทำให้กล้าไม้แสมขาวสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมในดินตะกอนแต่ละพื้นที่ได้แตกต่างกันซึ่งส่งผลต่ออัตราการรอดของกล้าไม้และการเจริญเติบโตทดแทนภายในผืนป่า

6. คำขอขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์เป็นอย่างสูง ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอแสดงความขอบคุณมายังเจ้าหน้าที่จากสถานีวิจัยประมงศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณกนกวรรณ ขาวค่อน สำหรับความร่วมมือในการเก็บตัวอย่างและการปฏิบัติงานในภาคสนาม ตลอดจนการวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chen, R. and Twilley, R.R., 1999, Patterns of mangrove forest structure and soil nutrient dynamics along the Shark River Estuary, Florida, *Estuaries* 22: 955-970.

- [2] Aké-Castillo, J.A., Vázquez, G. and López-Portillo, J., 2006, Litterfall and decomposition of *Rhizophora mangle* L. in a coastal lagoon in the Southern Gulf of Mexico, *Hydrobiologia* 559: 101-111.
- [3] Nickerson, N.H. and Thibodeau, F.R., 1985, Association between pore water sulfide concentrations and the distribution of mangroves, *Biogeochemistry* 1: 183-192.
- [4] Marchand, C., Baltzer, F., Lallier-Vergès, E. and Albéric, P., 2004, Pore-water chemistry in mangrove sediments: Relationship with species composition and developmental stages (French Guiana), *Mar. Geol.* 208: 361-381.
- [5] Otero, X.L., Ferreira, T.O., Vidal-Torrado, P. and Macías, F., 2006, Spatial variation in pore water geochemistry in a mangrove system (Pai Matos island, Cananeia-Brazil), *Appl. Geochem.* 21: 2171-2186.
- [6] ไตรเทพ วิชย์โกวิทเทน และสมบุญณ์ กิรติประยูร, 2553, พลวัตของสารอินทรีย์และธาตุอาหารในดินตะกอนของสังคมพืชแสมขาว (*Avicennia alba* Bl.) ที่มีขนาดแตกต่างกัน, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี, 28 น.
- [7] Alongi, D.M. and de Carvalho, N., 2008, The effect of small-scale logging on stand characteristics and soil biogeochemistry in mangrove forests of Timor Leste, *Forest Ecol. Manag.* 255: 1359-1366.
- [8] McKee, K.L., Mendelssohn, I.A. and Hester, M.W., 1988, Reexamination of pore water sulfide concentrations and redox potentials near the aerial roots of *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans*, *Am. J. Bot.* 75: 1352-1359.
- [9] Gleason, S.M., Ewel, K.C. and Hue, N., 2003, Soil redox conditions and plant-soil relationships in a Micronesian Mangrove Forest, *Estuarine, Coast. Shelf Sci.* 56: 1065-1074.
- [10] ไตรเทพ วิชย์โกวิทเทน, 2554, ลักษณะโครงสร้างและการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มของสังคมพืชป่าชายเลนที่มีโปรงแดง (*Ceriops tagal*) เป็นพันธุ์ไม้เด่น, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี, 30 น.
- [11] Lee, R.Y., Porubsky, W.P., Feller, I.C., McKee, K.L. and Joye, S.B., 2008, Porewater biogeochemistry and soil metabolism in dwarf red mangrove habitats (Twin Cays, Belize), *Biogeochemistry* 87: 181-198.
- [12] Lovelock, C.E., Feller, I.C., McKee, K.L. and Thompson, R., 2005, Variation in mangrove forest structure and sediment characteristics in Bocas del Toro, Panama, *Caribb. J. Sci.* 41: 456-464.
- [13] Feller, I.C., Lovelock, C.E. and McKee, K.L., 2007, Nutrient addition differentially affects ecological processes of *Avicennia germinans* in nitrogen versus phosphorus limited mangrove ecosystems, *Ecosystems* 10: 347-359.
- [14] Boto, K.G. and Wellington, J.T., 1984, Soil

- characteristics and nutrient status in a Northern Australia mangrove forest, *Estuaries* 7: 61-69.
- [15] McKee, K.L., 1995, Interspecific variation in growth, biomass partitioning and defensive characteristics of neotropical mangrove seedlings: Response to light and nutrient availability, *Am. J. Bot.* 82: 299-307.
- [16] McKee, K.L., 1993, Soil physicochemical patterns and mangrove species distribution - reciprocal effects, *J. Ecol.* 81: 477-487.
- [17] Ye, Y., Tam, N.F.Y., Lu, C.Y. and Wong, Y.S., 2005, Effects of salinity on germination, seedling growth and physiology of three salt-secreting mangrove species, *Aquat. Bot.* 83: 193-205.
- [18] Erskine, J.M. and Koch, M.S., 2000, Sulfide effects on *Thalassia testudinum* carbon balance and adenylate energy charge, *Aquat. Bot.* 67: 275-285.
- [19] McKee, K.L., Mendelsohn, I.A. and Materne, M.D., 2004, Acute salt marsh dieback in the Mississippi river deltaic plain: A drought-induced phenomenon, *Global Ecol. Biogeogr.* 13: 65-73.
- [20] Pezeshki, S.R., DeLaune, R.D. and Meeder, J.F., 1997, Carbon assimilation and biomass partitioning in *Avicennia germinans* and *Rhizophora mangle* seedlings in response to soil redox conditions, *Env. Exp. Bot.* 37: 161-171.