วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

อิทธิพลของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียต่อขนาดและความหนาแน่นของรากแสมทะเล (*Avicennia marina*) ในพื้นที่ป่าชายเลนของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

Influence of effluent water from wastewater treatment system on size and density of *Avicennia marina*'s roots in the mangrove forest area of the King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Phetchaburi province

ศศิพิมพ์ หนูแก้ว[1], นฤชิต ดำปิน[1]*, สามัคคี บุณยะวัฒน์[1] และ สตรีไทย พุ่มไม้[1]

Sasipim Nukeaw[1], Narouchit Dampin[1]*, Samakkee Boonyawat[1] and Satreethai Poommai[1]

[1] *ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900*
[1] *Department of Environmental Science, Faculty of Environment, Kasetsart University, Bangkok*

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีต่อขนาดและความหนาแน่นของรากแสมทะเล (*Avicennia marina*) บริเวณป่าชายเลนด้านหน้าโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ดำเนินการศึกษาใน 2 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ป่าชายเลนธรรมชาติหรือพื้นที่อ้างอิง (A) และพื้นที่ป่าชายเลนที่ได้รับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย (B) ผลการศึกษาพบว่ารากแสมทะเลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.63±0.10 เซนติเมตร มีความสูงเฉลี่ย 25.78±4.53 เซนติเมตร และมีความหนาแน่นเฉลี่ย 163.46±75.17 ราก/ตร.ม. เมื่อเปรียบเทียบรากแสมทะเลใน 2 พื้นที่ พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากแสมทะเลในพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) มีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่อ้างอิง (A) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย 0.70±0.10 และ 0.56±0.05 เซนติเมตรตามลำดับ ส่วนความสูงและความหนาแน่นของรากแสมทะเลบริเวณโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีค่าเฉลี่ยมากกว่าโซนในป่าชายเลน (zone 2) โดยมีความสูงเฉลี่ย 29.05±3.08 และ 22.51±3.18 เซนติเมตรตามลำดับ มีความหนาแน่นเฉลี่ย 233.87±8.36 และ 93.06±29.07 ราก/ตร.ม. ตามลำดับ เมื่อศึกษาอิทธิพลของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีต่อขนาดและความหนาแน่นของรากแสมทะเล พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากแสมทะเลมีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารที่พบในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในขณะที่ความสูงและความหนาแน่นของรากแสมทะเลมีความสัมพันธ์กับขนาดลำต้นและพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเล และยังสัมพันธ์กับความสูงของระดับน้ำทะเลท่วม รวมถึงช่วงระยะเวลาในการท่วมของน้ำทะเลอีกด้วย

คำสำคัญ: ป่าชายเลน; แสมทะเล; รากหายใจ; แหลมผักเบี้ย

ABSTRACT: This research aimed to study the influence of effluent water from wastewater treatment system on size and density of *Avicennia marina*'s roots in the mangrove forest area in front of the King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Phetchaburi Province. The study was divided into 2 areas included the natural mangrove area (A) and the mangrove area that receive effluent water from wastewater treatment systems (B). The results of the study showed that the average diameter of *A. marina*'s roots was 0.63±0.10 centimeters. The average height was 25.78±4.53 centimeters and the average density was 163.46±75.17 root/m^2.

* Corresponding author: ecncd@ku.ac.th

Received: date; January 14, 2021 Accepted: date; July 14, 2021 Published: date; December 29, 2021

Comparing the *A. marina*'s roots in 2 areas (area A and B) showed that the average diameter of roots in area B are significantly larger than area A ($p<0.05$), the mean values was 0.70±0.10 and 0.56±0.05 centimeters, respectively. The height and density of roots in the boundary zone of the mangrove forest next to the sea (zone 1) are more average than the mangrove forest zone (zone 2), the average height was 29.05±3.08 and 22.51±3.18 centimeters, respectively. The average density was 233.87±8.36 and 93.06±29.07 root/m^2, respectively. When studying the influence of effluent water from the wastewater treatment system that affects to the size and density of *A. marina*'s roots found that the diameter of roots was related to the nutrient in wastewater from wastewater treatment systems, especially nitrogen and phosphorus. While the height and density of roots was related to circumference of the trunk and crown cover, including related to the height of sea level and the time period of sea flooding.
Keyword: mangrove forest; *Avicennia marina*; pneumatophore; Laem Phak Bia

บทนำ

ป่าชายเลน (mangrove forest) เป็นกลุ่มของสังคมพืชที่ประกอบไปด้วยพันธุ์ไม้หลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่บริเวณปากแม่น้ำ หรืออ่าว บริเวณชายฝั่งทะเลเขตร้อน (สมานใจ และ พรทิพย์, 2552) มีสภาพแวดล้อมเป็นดินเลนน้ำกร่อย และมีน้ำทะเลท่วมถึงอย่างสม่ำเสมอ ป่าชายเลนมีบทบาทสำคัญในการป้องกันพื้นที่ชายฝั่งทะเลจากคลื่นลมและการกัดเซาะ ตลอดจนเป็นที่อยู่อาศัย เป็นแหล่งอาหาร และเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนหลากหลายชนิด โดยเฉพาะปู กุ้ง หอย และปลา ซึ่งเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญ พันธุ์ไม้ต่าง ๆ ที่ขึ้นอยู่ในป่าชายเลนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ใช้เป็นแหล่งพลังงาน เป็นแหล่งวัตถุดิบไม้ใช้สอย และใช้ในกิจกรรมการก่อสร้าง เป็นต้น (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556) ป่าชายเลนเป็นแหล่งรวบรวมพันธุ์ไม้หลากหลายชนิด เช่น พันธุ์ไม้สกุลโกงกาง (*Rhizophora*) พันธุ์ไม้สกุลแสม (*Avicennia*) พันธุ์ไม้สกุลลำพูน และพันธุ์ไม้สกุลลำแพน (*Sonneratia*) เป็นต้น ซึ่งพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเหล่านี้มีความสามารถในการปรับตัวเป็นอย่างดีต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เนื่องจากในป่าชายเลนมีสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา พันธุ์ไม้จะมีการปรับตัวและเปลี่ยนแปลงลักษณะบางประการของระบบราก ลำต้น ใบ ดอก และผล ฯลฯ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ เช่น การมีรากพิเศษ (adventitious root) โดยมีลักษณะต่าง ๆ เช่น รากค้ำจุน (prop root หรือ stilt root) เป็นรากที่งอกออกจากข้อบริเวณส่วนโคนของลำต้นเหนือดินและหยั่งลงสู่พื้นดิน ทำหน้าที่ค้ำจุนและช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ลำต้น พบได้ในพันธุ์ไม้สกุลโกงกาง (*Rhizophora*) ส่วนรากหายใจ (pneumatophore หรือ aerating root) เป็นรากที่เจริญจากรากแขนงที่อยู่ใต้ดิน มีการงอกและตั้งตรงขึ้นมาเหนือผิวดินหรือผิวน้ำเพื่อรับออกซิเจน ทำหน้าที่ช่วยในการหายใจ สามารถแผ่รัศมีของรากตามพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดได้มากกว่า 10 เมตร พบได้ในพันธุ์ไม้สกุลแสม (*Avicennia*) รากพิเศษเหล่านี้ยังทำหน้าที่คล้ายตะแกรงธรรมชาติคอยดักกรองไม่ให้ขยะ ตะกอน และสารพิษจากบนบกไหลลงสู่ทะเลได้อีกด้วย (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2552; Marek, 2019) ทั้งนี้การปรับตัวและเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ของราก ยังขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การท่วมถึงของน้ำทะเล กระแสน้ำ คุณภาพน้ำและธาตุอาหาร เป็นต้น (ผสุดี, 2558)

ป่าชายเลนบริเวณด้านหน้าโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี มีพื้นที่ป่าชายเลนเป็นแนวยาวติดชายฝั่งทะเลประมาณ 1,000 ไร่ มีความกว้างของป่าประมาณ 920 เมตร (อรทัย, 2555; เรขา และคณะ, 2561) ซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับรองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของโครงการฯ ในปริมาณเฉลี่ย 6,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (Jinjaruk, 2014) โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน น้ำทิ้งที่ปล่อยออกมามีคุณสมบัติเป็นน้ำจืดและมีอินทรียสาร เช่น ไนโตรเจน (nitrogen) แอมโมเนีย (ammonia) ไนเตรท (nitrate) และฟอสเฟต (phosphorus) เป็นต้น ในปริมาณ 11.16, 0.5, 0.5 และ 1.67 กิโลกรัมต่อวันไหลลงสู่ป่าชายเลน (Boontongmai, 2020) ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชป่าชายเลนที่อยู่ในบริเวณนี้จึงเจริญเติบโตได้ดีกว่าบริเวณอื่น ๆ โดยพืชจะดูดซับธาตุอาหารจากบริเวณส่วนราก ส่งผ่านท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ไปยังบริเวณใบเพื่อสร้างอาหารด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) จากนั้นจะลำเลียงอาหารผ่านท่อลำเลียงอาหาร (phloem) ที่สร้างจากใบไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ลำต้น กิ่ง และราก เป็นต้น (ลิลลี่, 2560) ป่าชายเลนในบริเวณด้านหน้าโครงการฯ มีพันธุ์ไม้แสมทะเล (*Avicennia marina*) เป็นพันธุ์ไม้ชนิดเด่นที่มีการเจริญเติบโตอย่างหนาแน่น โดยมีความหนาแน่นของไม้ใหญ่ (tree) ลูกไม้ (sapling) และกล้าไม้ (seeding) เฉลี่ยอยู่ที่ 3,618, 10,275 และ 15,693 ต้นต่อเฮกแตร์ (อรทัย, 2555) มีขนาดเส้นรอบวงที่ความสูงระดับอกเฉลี่ย 22.45 เซนติเมตร และมีความสูงเฉลี่ย

6.64 เมตร (เรขา และคณะ, 2561) จากที่กล่าวไปในข้างต้นว่าแสมทะเลมีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพพื้นที่ได้ดี โดยเฉพาะความสามารถในการปรับตัวของระบบราก ประกอบกับพื้นที่ป่าชายเลนแห่งนี้ได้รับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนอย่างเสียต่อเนื่องมาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2535 จนถึงปัจจุบัน และยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับขนาดและความหนาแน่นของรากแสมทะเลในพื้นที่แห่งนี้ ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีต่อขนาดและความหนาแน่นของรากแสมทะเล ในพื้นที่ป่าชายเลนของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยทำการเปรียบเทียบรากแสมทะเลใน 2 พื้นที่ศึกษา ได้แก่ พื้นที่ป่าชายเลนธรรมชาติซึ่งไม่ได้รับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย และพื้นที่ป่าชายเลนที่ได้รับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานให้สามารถนำไปประกอบการศึกษาด้านระบบนิเวศป่าชายเลนและการใช้ป่าชายเลนเพื่อการบำบัดน้ำเสียต่อไป

วิธีการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษา

ดำเนินการศึกษาวิจัยในพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณด้านหน้าโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี โดยทำการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ ประกอบด้วย พื้นที่ป่าชายเลนธรรมชาติหรือพื้นที่อ้างอิง (Reference area) (A) มีความหนาแน่นของพันธุ์ไม้แสมทะเล 4,675 ต้นต่อเฮกแตร์ และพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียฯ (Influence area) (B) มีความหนาแน่นของพันธุ์ไม้แสมทะเล 3,865 ต้นต่อเฮกแตร์ (อรทัย, 2555) แต่ละพื้นที่แบ่งเป็น 2 โซนตามแนวตั้งฉากกับชายฝั่งทะเล คือ โซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีจำนวนวันที่น้ำทะเลท่วมถึงมากกว่า 25 วัน/เดือน จำนวน 2 จุดเก็บตัวอย่าง (A1 และ B1) และโซนในป่าชายเลน (zone 2) มีจำนวนวันที่น้ำทะเลท่วมถึง 18-25 วัน/เดือน จำนวน 2 จุดเก็บตัวอย่าง (A2 และ B2) (**Figure 1**)

2. การศึกษาต้นแสมทะเล

ทำการศึกษาต้นแสมทะเล ในเดือนกุมภาพันธ์ 2563 ในช่วงเวลาน้ำทะเลลง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 คัดเลือกต้นแสมทะเลที่มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของค่าเฉลี่ยในแต่ละจุดเก็บ (**Figure 1**) จุดเก็บตัวอย่างละ 5 ต้น (รวมทั้งหมด 20 ต้น) โดยโซนที่ 1 (จุดเก็บ A1 และ B1) มีขนาดเส้นรอบวงลำต้นเฉลี่ย 60 เซนติเมตร ส่วนโซนที่ 2 (จุดเก็บ A2 และ B2) มีขนาดเส้นรอบวงลำต้นเฉลี่ย 40 เซนติเมตร ทำการศึกษาขนาดเส้นรอบวงลำต้น ความสูง และการปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเล โดยการใช้สายวัดวัดเส้นรอบวงของต้นแสมทะเลในระดับอก วัดความสูงของต้นแสมทะเลด้วยเครื่องมือวัดความสูง (hagameter) และวัดการปกคลุมเรือนยอด (crown cover) ของต้นแสมทะเล จำนวน 4 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก โดยการใช้ตลับเมตรวัดระยะห่างจากลำต้นไปจนสุดขอบแนวการปกคลุมเรือนยอด พร้อมทำการจดบันทึก

2.2 ศึกษาความหนาแน่นของรากแสมทะเล ในช่วงเวลาน้ำทะเลลง โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat) ขนาด 50x50 เซนติเมตร วางรอบต้นแสมทะเลที่คัดเลือกไว้ ต้นละ 3 ซ้ำ ทำการนับจำนวนรากแสมที่พบในแปลงตัวอย่าง พร้อมทั้งใช้สายวัดวัดความสูงของรากแสมทะเล และใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (vernier caliper) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากแสมทะเล และทำการจดบันทึก

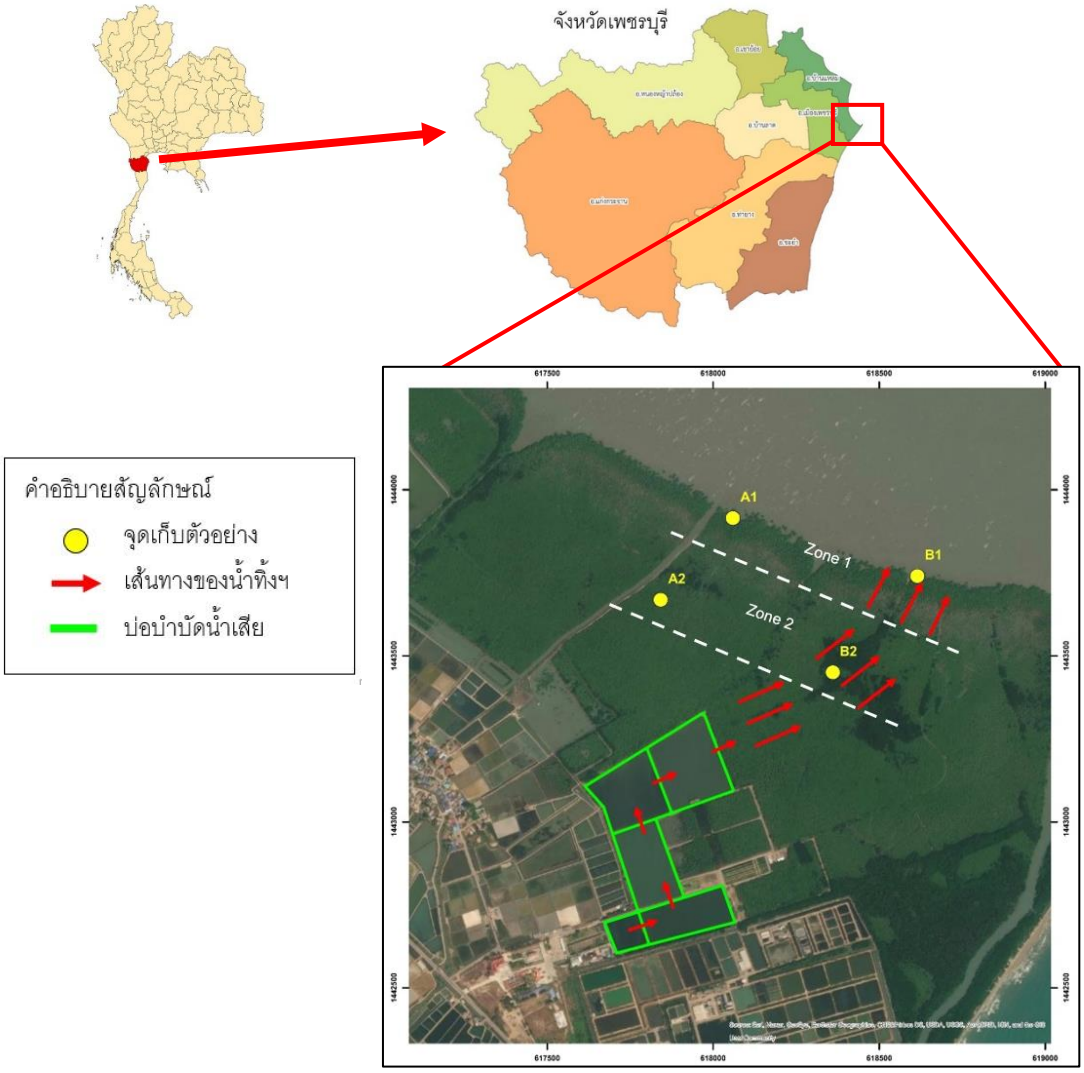

Figure 1 Location of sampling point in the mangrove forest area of the King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Phetchaburi Province.

Source: Jinjaruk (2014); Boontongmai (2020)

3. การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณแปลงเก็บตัวอย่างพันธุ์ไม้ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2563 จำนวน 4 จุดเก็บ (**Figure 1**) จุดเก็บละ 1 ตัวอย่าง ในช่วงเวลาน้ำทะเลขึ้น ตรวจวัดคุณภาพน้ำในภาคสนาม ได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเค็ม (Salinity) การนำไฟฟ้า (EC) และออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และนำน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเคมีของน้ำ ได้แก่ BOD, ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS), ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN), แอมโมเนีย (Ammonia), ไนเตรท (Nitrate), ปริมาณฟอสฟอรัสรวม (Total phosphorus) และความเป็นด่าง (Alkalinity) โดยอิงตามวิธีมาตรฐาน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association, 2017) โดยพารามิเตอร์ทางเคมีดังกล่าว ได้แก่ Ammonia, Nitrate และ Phosphorus เป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก โดยดูดซึมผ่านทางรากไปสะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืช ปริมาณ BOD ที่ได้รับจากน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน เป็นการเติมลงไปในบริเวณพื้นที่ป่าชายเลน และมีความสัมพันธ์กับปริมาณ DO ซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำชายฝั่งทะเลและสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ปริมาณของแข็ง

แขวนลอยในน้ำ (SS) จะส่งผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนแก๊สของราก กล่าวคือเมื่อมีปริมาณ SS มากอาจเกิดการทับถมและไปเกาะติดบริเวณรากจนเกิดการอุดตันของ lenticel ทำให้รากไม่สามารถแลกเปลี่ยนแก๊สได้ และค่าความเป็นด่างจะส่งผลต่อความสามารถในการลำเลียงน้ำของพืช (อรทัย, 2555)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าเฉลี่ย ทำการทดสอบความแตกต่าง (t-test) และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างขนาด และความหนาแน่นของรากแสมทะเล กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ คุณภาพน้ำ ขนาดของลำต้นและการปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. คุณภาพน้ำ

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำในพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณพื้นที่อ้างอิง (A) และพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) เป็นไปดัง **Table 1** โดยคุณภาพน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งประเภทที่ 3 (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) โดยปริมาณไนเตรทและแอมโมเนียมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำฯ ที่กำหนดไว้ ส่วนบริเวณจุดเก็บ B2 ที่ค่า DO มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานฯ เนื่องจากอยู่ในบริเวณพื้นที่ป่าชายเลนและได้รับอิทธิพลจากน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างมากจากการปล่อย BOD ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณ 9.67 มิลลิกรัมต่อลิตร (Boontongmai, 2020) ประกอบกับในบริเวณพื้นที่ป่าชายเลนมีการใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิต และจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในป่าชายเลน ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำมีปริมาณลดลง (อรทัย, 2555) เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำระหว่างพื้นที่อ้างอิง (A) และพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ, DO, BOD และไนเตรท ในทั้ง 2 พื้นที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณฟอสฟอรัสรวม และความเป็นด่าง ในพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) มีค่ามากกว่าพื้นที่อ้างอิง (A) อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) เป็นบริเวณที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งมีธาตุอาหารและตะกอนสารอินทรีย์ในปริมาณค่อนข้างมาก โดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และเนื่องจากน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาเป็นน้ำจืด จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความเค็มในพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) มีค่าน้อยกว่าพื้นที่อ้างอิง (A) (เรขา และคณะ, 2561)

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในแนวตั้งฉากกับชายฝั่งทะเล ระหว่างโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) และโซนในป่าชายเลน (zone 2) พบว่าอุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม การนำไฟฟ้า และของแข็งแขวนลอยในน้ำ ในโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีค่ามากกว่าโซนในป่าชายเลน (zone 2) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลซึ่งน้ำทะเลมีอุณหภูมิสูงกว่าจากการได้รับพลังงานจากแสดงอาทิตย์ ประกอบกับน้ำทะเลมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช จึงได้ออกซิเจนออกมาละลายน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า ประกอบกับน้ำทะเลมีองค์ประกอบของอิออนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ คลอไรด์ (Cl^-) โซเดียม (Na^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ฯลฯ ในปริมาณมาก จึงทำให้ระดับของความเค็มของน้ำสูงขึ้นและมีคุณสมบัติสามารถนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น (Boontongmai, 2020) จึงทำให้ค่าต่าง ๆ เหล่านี้สูงกว่าบริเวณโซนในป่าชายเลน ซึ่งจุดเก็บตัวอย่าง B2 จะมีค่าความเค็มน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของโครงการฯซึ่งเป็นน้ำจืด ทำให้เกิดการเจือจาง ปริมาณความเค็มจึงมีค่าน้อย (เรขา และคณะ, 2561) ปริมาณ DO ไนเตรท และความเป็นด่างในโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีค่ามากกว่าโซนในป่าชายเลน (zone 2) ส่วนปริมาณ BOD, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ปริมาณแอมโมเนีย และปริมาณฟอสฟอรัสรวมในโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีค่าน้อยกว่าโซนในป่าชายเลน (zone 2) เนื่องจากมีการถูกดูดซับโดยพืชและดินตะกอนในป่าชายเลน (สิทธิชัย, 2554) โดยเฉพาะต้นแสมทะเลที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ดี โดยสามารถดูดซับธาตุอาหารกลุ่มไนโตรเจนได้ร้อยละ 75-79 (Wu et al., 2008) กลุ่มฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 19-30 (Su et al., 2011) และสามารถบำบัด BOD ได้ร้อยละ 72-82 (สิทธิชัย, 2554) ดังนั้นธาตุอาหารในโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) จึงมีปริมาณน้อยกว่าโซนในป่าชายเลน (zone 2)

Table 1 Water quality in the mangrove forest area of the King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project

Parameter	Reference area (A)			Influence area (B)		
	A1	A2	Average	B1	B2	Average
Temperature (°C)	26.40	26.00	26.20±0.28[a]	26.50	25.90	26.20±0.42[a]
pH	8.09	8.02	8.06±0.05[a]	8.05	7.67	7.86±0.27[b]
Salinity (ppt.)	32.80	32.00	32.40±0.57[a]	32.10	31.70	31.90±0.28[b]
EC (mS/cm)	49.90	48.80	49.35±0.78[a]	49.00	48.40	48.70±0.42[b]
SS (mg/l)	286.00	140.00	213.00±103.24[b]	292.00	249.00	270.50±30.41[a]
DO (mg/l)	5.34	4.02	4.68±0.93[a]	5.80	2.20	4.00±2.55[a]
BOD (mg/l)	1.05	2.10	1.58±0.74[a]	0.75	2.25	1.50±1.06[a]
TKN (mg/l)	0.00	5.60	2.80±3.96[b]	7.00	8.40	7.70±0.99[a]
Ammonia (mg/l)	0.186	0.236	0.211±0.03[b]	0.265	0.369	0.317±0.07[a]
Nitrate (mg/l)	0.153	0.138	0.145±0.010[a]	0.147	0.141	0.144±0.004[a]
Total Phosphorus (mg/l)	0.003	0.010	0.006±0.01[b]	0.146	0.117	0.131±0.02[a]
Alkalinity (mg/l)	110	114	112±2.83[b]	118	146	132±19.80[a]

[a,b] Different superscripts in same row are significantly different (P<0.05)

2. ขนาด ความสูง และการปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเล

ผลการศึกษาขนาดของลำต้น ความสูง และพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเลในพื้นที่อ้างอิง (A) และพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) เป็นไปดัง **Table 2** โดยเมื่อเปรียบเทียบต้นแสมทะเลในพื้นที่อ้างอิง (A) และพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) พบว่า ขนาดเส้นรอบวงลำต้น ความสูง และพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเลในพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) มีค่าเฉลี่ยมากกว่าพื้นที่อ้างอิง (A) (**Figure 2**) เนื่องจากความหนาแน่นของต้นแสมทะเลในป่าชายเลนในพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) มีค่าน้อยกว่าพื้นที่อ้างอิง (A) โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ย 3,865 และ 4,674 ต้น/เฮกแตร์ ตามลำดับ (อรทัย, 2555) โดยขนาดลำต้นของต้นไม้จะมีความผกผันกับความหนาแน่นของต้นไม้ (ผสุดี, 2558) กล่าวคือ เมื่อต้นไม้มีความหนาแน่นมาก ขนาดลำต้นของต้นไม้จะมีขนาดเล็กลง ประกอบกับป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) ได้รับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการฯ ในปริมาณวันละ 6,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (Jinjaruk, 2014) จึงมีปริมาณน้ำจืดและมีธาตุอาหารลงสู่พื้นที่ป่าชายเลนในปริมาณมาก โดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ฯลฯ ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อพืช ดังนั้นพืชป่าชายเลนจึงดูดซับธาตุอาหารเหล่านี้ไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต ทำให้ลำต้นมีขนาดที่อวบกว่าบริเวณพื้นที่อ้างอิง (A) สอดคล้องกับการศึกษาของ ผสุดี (2558) ที่พบว่าขนาดลำต้นของต้นไม้มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณธาตุอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากพืชได้รับอิทธิพลของน้ำจืดในปริมาณมาก ส่งผลให้เซลล์ของพืชมีการขยายตัวมากกว่าพืชที่อยู่ในบริเวณแหล่งน้ำเค็ม (ทิฆัมพร, 2553) แต่เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่าขนาดลำต้น ความสูง และพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดระหว่างในพื้นที่อ้างอิง (A) และพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยขนาดเส้นรอบวงลำต้น ความสูง และการปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเลในแนวตั้งฉากกับชายฝั่งทะเล ระหว่างโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) และโซนในป่าชายเลน (zone 2) (**Figure 2**) พบว่าต้นแสมทะเลโซนในป่าชายเลน (zone 2) มีความสูงเฉลี่ยมากกว่าโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากโซนในป่าชายเลน (zone 2) มีความหนาแน่นของต้นไม้มาก ต้นไม้จึงมีการปรับตัวเพิ่มความสูงเพื่อการแก่งแย่งแสง ในขณะที่ขนาดเส้นรอบวงลำต้นและพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดของโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีค่าเฉลี่ยมากกว่าโซนในป่าชายเลน (zone 2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากต้นแสมทะเลในโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีความหนาแน่นของต้นไม้น้อยกว่า และมีการเจริญเติบโต

อย่างโดดเดียว ขนาดของลำต้นและพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดจึงสามารถเจริญเติบโตและแผ่ขยายเรือนยอดออกทางด้านข้างรอบลำต้นได้อย่างเต็มที่ ซึ่งเป็นไปตามลักษณะทางพันธุกรรม (genetic characteristic) ของต้นแสมทะเล โดยสามารถแผ่ขยายเรือนยอดได้มากถึง 10 เมตร (Marek, 2019) ส่วนบริเวณโซนในป่าชายเลน (zone 2) มีขนาดลำต้นและพื้นที่ปกคลุมเรือนยอดน้อยกว่า เนื่องจากต้นไม้มีการเจริญเติบโตอย่างหนาแน่น (อรทัย, 2555) เกิดการแก่งแย่งตามธรรมชาติ ส่งผลให้ลำต้นมีขนาดเล็ก ประกอบกับการกระจายทางด้านราบ (horizontal distribution) ของป่ามีลักษณะเป็นชั้นเรือนยอดแบบปิด (closed vegetation) โดยมีลักษณะเรือนยอดที่ซ้อนทับและต่อเนื่องกัน (ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้, 2552) การปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเลจึงไม่สามารถแผ่ขยายได้อย่างเต็มที่ ทั้งนี้ความเค็มของน้ำยังส่งผลต่อความสูงและพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเล โดย (Yan et al., 2007) ที่ทำการศึกษาผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของต้นแสมทะเล พบว่าหากต้นแสมทะเลอยู่ในแหล่งน้ำที่มีความเค็มสูง ต้นแสมทะเลจะมีลักษณะลำต้นเตี้ยแต่จะมีพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดที่มีลักษณะแผ่กว้าง หากอยู่ในบริเวณแหล่งน้ำจืด ต้นแสมทะเลจะมีลักษณะลำต้นที่สูงกว่า และมีระบบรากที่มีขอบเขตพื้นที่น้อยกว่า

Table 2 The average of circumference of the trunk, height and crown cover of *A. marina* in the reference area (A) and the influence area (B)

Area	Station	Circumference of the trunk (cm.)	Height (m.)	Crown cover (m^2)
Reference area (A)	A1	62.20±3.96	3.80±0.57	45.82±16.96
	A2	41.20±6.06	4.20±0.45	10.25±6.58
	Average	**51.70±12.07[a]**	**4.00±0.53[a]**	**29.00±22.65[a]**
Influence area (B)	B1	60.00±6.08	3.80±0.45	60.06±18.02
	B2	44.00±6.67	4.76±0.43	9.25±3.30
	Average	**52.00±10.36[a]**	**4.14±0.65[a]**	**35.24±29.80[a]**
Average		**51.85±10.95**	**4.14±0.59**	**32.12±25.96**

[a,b] Different superscripts in same column are significantly different (P<0.05)

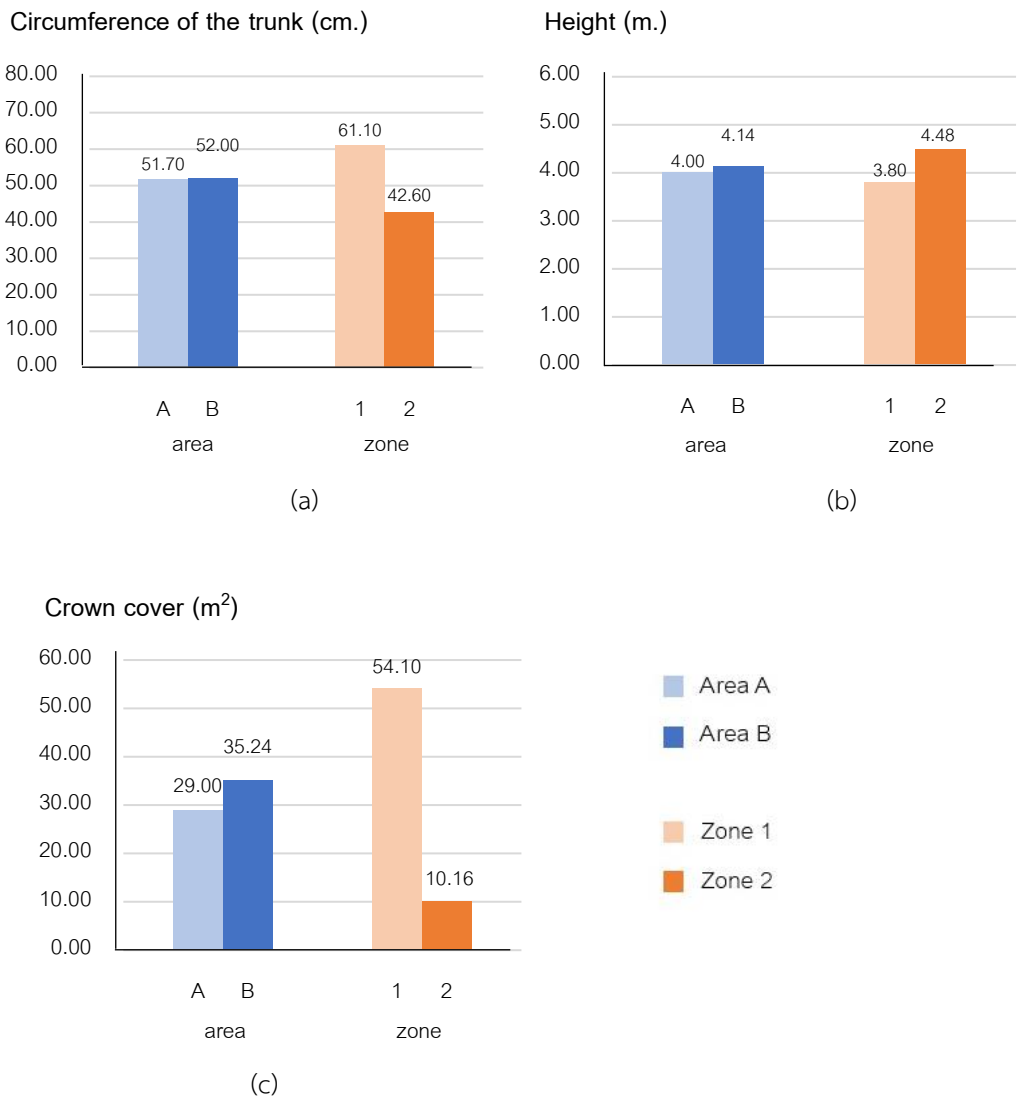

Figure 2 Comparison of the average of trunk circumference (a), height (b) and crown cover (c) of *A. marina* that compare between areas (area A and B) and between zones (zone 1 and 2)

3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง และความหนาแน่นของรากแสมทะเล

ผลการศึกษาขนาด ความสูง และความหนาแน่นของรากแสมทะเลในพื้นที่อ้างอิง (A) และพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) เป็นไปดัง **Table 3** ซึ่งความหนาแน่นของรากแสมทะเลนี้มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเล กล่าวคือ หากต้นแสมทะเลมีพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดมาก รากแสมทะเลจะมีความหนาแน่นมากตามขนาดพื้นที่เช่นกัน (Marek, 2019) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง และความหนาแน่นของรากแสมทะเลในพื้นที่อ้างอิง (A) และพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) (**Figure 3**) พบว่ารากแสมทะเลในบริเวณพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยใหญ่กว่าพื้นที่อ้างอิง (A) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากเป็นบริเวณที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของโครงการฯ ซึ่งเป็นน้ำจืดที่มีธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชในปริมาณมาก เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็นต้น รากแสมทะเลจึงสามารถดูดซับธาตุอาหารได้ในปริมาณมาก ทำให้มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า (เรขา และคณะ, 2561) โดยไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ที่มีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อใช้สร้างอาหารที่ให้พลังงานแก่พืช ไนโตรเจนจึงทำให้ใบของพืชมีสีเขียวสด โตเร็วและมีความแข็งแรง หากได้รับในปริมาณมากจะทำให้พืชมีลักษณะอวบ เนื่องจากมีการเพิ่มขนาดและ

ปริมาณของเซลล์พืช ส่วนฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ช่วยเร่งการออกดอก ออกผล สร้างเมล็ด และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ช่วยให้รากพืชดูดซับธาตุอาหารมาใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น (สมบุญ, 2548) ประกอบกับบริเวณนี้ได้รับน้ำจืดจากระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง น้ำจืดจะส่งผลให้เซลล์ของพืชในบริเวณนี้มีขนาดอวบกว่าพืชที่อยู่ในบริเวณแหล่งน้ำเค็ม (ทิฆัมพร, 2553) โดยในบริเวณแหล่งน้ำเค็ม ความเค็มของน้ำจะทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง ส่งผลให้การงอกและการเจริญของพืชน้อยลงไปด้วย (วิชิตพล และคณะ, 2553) ดังนั้นรากแสมทะเลในพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) จึงมีขนาดที่ใหญ่กว่าบริเวณพื้นที่อ้างอิง (A) ส่วนความสูงและความหนาแน่นเฉลี่ยของรากแสมทะเลไม่มีความแตกต่างกันในทั้งสองพื้นที่ เนื่องจากความสูงของรากแสมทะเลขึ้นอยู่กับระดับความสูงของน้ำทะเลที่ท่วมถึงและระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเลบริเวณป่าชายเลน ซึ่งระยะเวลาการท่วมและระดับความสูงของน้ำทะเลท่วมในทั้งสองพื้นที่มีความใกล้เคียงกัน (อรทัย, 2555)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง และความหนาแน่นของรากแสมทะเลในแนวตั้งฉากกับชายฝั่งทะเล ระหว่างโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) และโซนในป่าชายเลน (zone 2) (**Figure 3**) พบว่าความสูงของรากแสมทะเลบริเวณโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีความสูงเฉลี่ยมากกว่าโซนในป่าชายเลน (zone 2) เนื่องจากโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีระดับน้ำทะเลท่วมที่สูงกว่า และมีระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเลยาวนานมากกว่า 25 วันในรอบเดือน ส่วนโซนในป่าชายเลน (zone 2) มีระยะเวลาที่น้ำทะเลท่วมถึงเพียง 18-25 วันในรอบเดือน และมีระดับน้ำทะเลท่วมที่น้อยกว่า (อรทัย, 2555) เนื่องจากเมื่อมีน้ำทะเลท่วมเป็นระยะเวลานาน รากแสมทะเลที่มีลักษณะเป็นรากหายใจ (pneumatophore หรือ aerating root) ซึ่งทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนแก๊ส จะจมอยู่ใต้น้ำและไม่สามารถแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนระหว่างเนื้อเยื่อกับอากาศภายนอกผ่าน lenticel บริเวณรากได้ (Marek, 2019) ดังนั้นรากแสมทะเลจึงมีการปรับตัวโดยการเพิ่มความสูงจากพื้นดินเพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยในการหายใจ (Hao et al., 2020) อีกทั้งรากแสมทะเลบริเวณโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากกว่าโซนในป่าชายเลน (zone 2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากบริเวณนี้มีน้ำทะเลท่วมสูงกว่าและกินระยะเวลานานกว่า ประกอบกับได้รับอิทธิพลของคลื่นและกระแสน้ำที่มากกว่า เพื่อการป้องกันการโค่นล้มของลำต้น พืชจึงมีการปรับตัวโดยการเพิ่มจำนวนรากหายใจและกระจายออกรอบลำต้นมากขึ้น ทำให้รากมีความหนาแน่นมากขึ้น เพื่อช่วยชะลอคลื่นและลดความเร็วของกระแสน้ำ ส่วนขนาดของรากแสมทะเลในโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีขนาดเล็กกว่าโซนในป่าชายเลน (zone 2) เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากจะมีค่าผกผันกับความหนาแน่นของราก กล่าวคือ หากรากแสมทะเลมีความหนาแน่นมาก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากแสมทะเลจะมีค่าน้อย

Table 3 The average of diameter, height and density of *A. marina*'s roots in the reference area (A) and the influence area (B)

Area	Station	Diameter (cm.)	Height (cm.)	Density (root/m^2)
Reference area (A)	A1	0.55±0.05	30.27±4.16	232.00±9.48
	A2	0.56±0.05	21.62±1.58	95.20±19.06
	Average	**0.56±0.05^b**	**25.94±5.43^a**	**163.60±73.48^a**
Influence area (B)	B1	0.66±0.05	27.89±0.71	235.73±7.68
	B2	0.75±0.12	23.39±4.29	90.93±39.08
	Average	**0.70±0.10^a**	**25.62±3.72^a**	**163.33±8.80^a**
Average		**0.63±0.10**	**25.78±4.53**	**163.46±75.17**

^{a,b} Different superscripts in same column are significantly different (P<0.05)

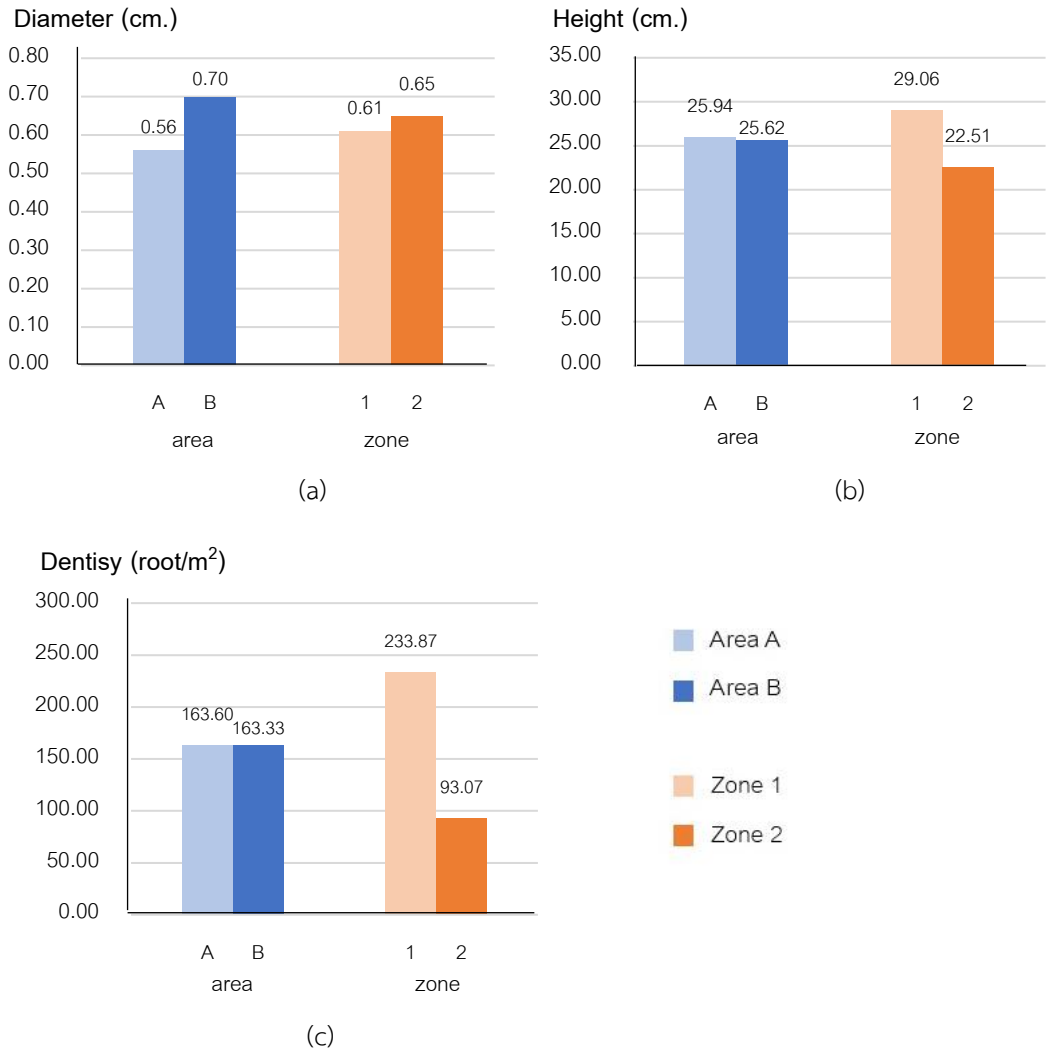

Figure 3 Comparison of the average of diameter (a), height (b) and density (c) of *A. marina*'s roots by comparing between areas (area A and B) and between zones (zone 1 and 2)

4. ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้น และการปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเล กับขนาดและความหนาแน่นของรากแสมทะเล

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นและการปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเล พบว่า ขนาดลำต้นของต้นแสมทะเลแปรผันตรงกับพื้นที่การปกคลุมเรือดยอด โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.693 กล่าวคือ เมื่อลำต้นแสมทะเลมีขนาดใหญ่ขึ้น พื้นที่การปกคลุมเรือนยอดก็จะเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของต้นไม้น้อย จะทำให้ต้นไม้สามารถขยายลำต้นและพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดได้มาก ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างต้นแสมทะเลและราก พบว่า ขนาดของลำต้นและพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเลแปรผันตรงกับความสูงของราก โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.747 และ 0.666 ตามลำดับ และยังแปรผันตรงกับความหนาแน่นของราก โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.801 และ 0.822 ตามลำดับ กล่าวคือ เมื่อขนาดลำต้นและพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเลเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นและความสูงของรากแสมทะเลจะเพิ่มมากขึ้นด้วย ในขณะที่ขนาดลำต้นและการปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมมีความผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากแสมทะเล โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.078 และ -0.061 ตามลำดับ กล่าวคือ เมื่อขนาดลำต้นและพื้นที่ของการปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเลเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากแสมทะเลจะมีขนาดเล็กลง โดยความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่า ยิ่งขนาดลำต้นและพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเลมีมาก รากแสมทะเลจะมีความสูงและความหนาแน่นมากด้วยเช่นกัน (Marek, 2019) แต่เมื่อรากแสมทะเลมีความหนาแน่นมาก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากก็จะเล็กลงด้วย

5. ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับขนาดและความหนาแน่นของรากแสมทะเล

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากแสมทะเลแปรผันตรงกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ปริมาณฟอสฟอรัสรวม, แอมโมเนีย และความเป็นด่าง โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.583, 0.634, 0.712 และ 0.698 ตามลำดับ เนื่องจากไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยไนโตรเจนจะช่วยกระตุ้นให้พืชโตเร็ว มีความแข็งแรง หากได้รับในปริมาณมากจะทำให้รากพืชมีลักษณะอวบ เนื่องจากมีการเพิ่มขนาดและปริมาณของเซลล์ ส่วนฟอสฟอรัสยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ช่วยให้รากพืชดูดซับธาตุอาหารมาใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น (สมบุญ, 2548) พืชจะดูดซับธาตุอาหารเหล่านี้เข้าสู่รากผ่าน lenticel และลำเลียงผ่านท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ไปยังส่วนของใบ เพื่อใช้ในกระบวนการสร้างอาหาร จากนั้นจะลำเลียงอาหารผ่านท่อลำเลียงอาหาร (phloem) ที่สร้างจากใบไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช (ลิลลี่, 2560) ทั้งนี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากมีความผกผันกับค่าความเค็มและการนำไฟฟ้า โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.527 และ -0.518 ตามลำดับ เนื่องจากน้ำเป็นตัวรักษาความเต่งของเซลล์ (cell turgidity) ซึ่งมีความสำคัญต่อการเพิ่มหรือลดขนาดการเจริญเติบโตของเซลล์ รวมถึงการเปิด-ปิดของปากใบ (สมบุญ, 2548) โดยธรรมชาติพืชจะได้ดูดซับน้ำจากดินโดยผ่านรากขนอ่อน (root hair) พร้อมกับแร่ธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อน้ำมีค่าความเค็มมากจะส่งผลให้การลำเลียงน้ำบริเวณรากพืชเป็นไปได้ยากขึ้น เมื่อการลำเลียงน้ำเกิดขึ้นได้น้อย พืชจะสังเคราะห์แสงได้น้อยลง ทำให้พืชเจริญเติบโตได้น้อยเช่นกัน (Yan et al., 2007) ดังนั้นบริเวณพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) ซึ่งเป็นน้ำจืดกว่าบริเวณพื้นที่อ้างอิง (A) ส่งผลให้ขนาดของรากแสมทะเลมีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ของพืชบริเวณที่ได้รับน้ำจืดและได้รับปริมาณธาตุอาหารที่มากกว่าจะมีขนาดรากที่ใหญ่กว่า

ความหนาแน่นของรากแสมทะเลแปรผันตรงกับปริมาณ DO และไนเตรท โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.857 และ 0.865 ตามลำดับ เนื่องจากพืชป่าชายเลนสามารถนำ DO และไนเตรทไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ประกอบกับบริเวณขอบป่าชายเลนติดทะเลมีค่า DO ในปริมาณมาก รากจึงสามารถสังเคราะห์แสงรวมถึงแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนได้เพิ่มมากขึ้น และถูกนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้มากขึ้น (อรทัย, 2555) แต่ความหนาแน่นของรากแสมทะเลมีความผักผันกับปริมาณ BOD โดยมีค่าค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.949 เนื่องจากรากแสมเป็นรากหายใจที่มีความต้องการออกซิเจนเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตของต้นพืชและการแลกเปลี่ยนแปลงก๊าซต่าง ๆ

สรุป

พื้นที่ป่าชายเลนบริเวณด้านหน้าของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี เป็นพื้นที่สำหรับรองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการฯ โดยน้ำทิ้งมีคุณสมบัติเป็นน้ำจืดและมีธาตุอาหารปริมาณมาก โดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ย 11.16 และ 1.67 กิโลกรัมต่อวัน (Boontongmai, 2020) ไหลลงสู่ป่าชายเลน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมให้พืชป่าชายเลนโดยเฉพาะต้นแสมทะเลสามารถเจริญเติบโตได้ดี และยังส่งผลไปถึงการเจริญเติบโตและการปรับตัวของราก โดยทำให้รากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่และเจริญเติบโตได้ดีกว่าบริเวณอื่น ๆ ส่วนความสูงและความหนาแน่นของรากแสมทะเลมีความสัมพันธ์กับขนาดของลำต้นและการปกคลุมเรือนยอดของต้นแสมทะเล รวมถึงความสูงของน้ำทะเลท่วมและระยะเวลาในการท่วมของน้ำทะเล จากการศึกษาพบว่าขนาดของรากแสมทะเลในพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (B) มีขนาดใหญ่กว่าในพื้นที่อ้างอิง (A) เนื่องจากได้รับอิทธิพลของน้ำจืดและธาตุอาหารปริมาณมากจากน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ส่งผลให้รากบริเวณนี้มีขนาดที่ใหญ่กว่า ส่วนความสูงและความหนาแน่นของรากแสมทะเลในบริเวณโซนขอบป่าชายเลนติดทะเล (zone 1) มีความสูงและความหนาแน่นเฉลี่ยมากกว่าโซนในป่าชายเลน (zone 2) เนื่องจากเป็นบริเวณที่ต้นแสมทะเลมีขนาดลำต้นและการปกคลุมเรือนยอดที่มากกว่า รวมถึงมีระดับน้ำทะเลท่วมสูงและกินระยะเวลาในการท่วมมากกว่า ประกอบกับเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของคลื่นและกระแสน้ำ รากบริเวณนี้จึงมีความสูงและความหนาแน่นที่มากกว่า ซึ่งสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาเป็นข้อมูลพื้นฐานให้สามารถนำไปประกอบการศึกษาด้านระบบนิเวศป่าชายเลนและการใช้ป่าชายเลนเพื่อการบำบัดน้ำเสียต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการศึกษาวิจัย รวมถึงสถานที่และเครื่องมือสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2560. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล. กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2552. พันธุ์ไม้ป่าชายเลนในประเทศไทย (ฉบับปรับปรุงใหม่). พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2556. คู่มือความรู้เรื่องป่าชายเลน. พิมพ์ครั้งที่ 5. บริษัท พลอยมีเดีย จำกัด, กรุงเทพฯ.

ฐิติกร บุญทองใหม่. 2563. อิทธิพลของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อจำนวนประชากรและการแพร่กระจายของปูแสม *Episesarma versicolor*, *E. mederi* และ *E. singaporensis* ในป่าชายเลนโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทิฆัมพร อรุณศรีประดิษฐ์. 2553. การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการที่มีผลต่อการเติบโตของไม้แสมขาวและแสมทะเล. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธนวัฒน์ จินจารักษ์. 2557. สมดุลน้ำในระบบบ่อผึ่งบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ผสุดี สุขพิบูลย์. 2558. การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมบริเวณชายฝั่งจากการทับถมของตะกอนดินและความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้. 2552. สังคมพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เรขา ชนิตรบวร, นฤชิต ดำปิน และเกษม จันทร์แก้ว. 2561. การสะสมธาตุอาหารพืชบางชนิดในส่วนต่าง ๆ ของไม้แสมทะเล บริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. วารสารวนศาสตร์. 37: 71-83.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ. 2560. โครงสร้างพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิชิตพล มีแก้ว, ณัฐพล ขันธปราบ และสุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. 2553. การปรับตัวของพืชภายใต้ภาวะที่มีความเค็ม. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. 10: 28-37.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. สรีรวิทยาพืช (Plant physiology). ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมานใจ มั่นศิลป์ และพรทิพย์ ฝอยวารี. 2552. โครงการสำรวจโครงสร้างสังคมพืชป่าชายเลน ส่วนบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (จ.ชลบุรี). สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, กรุงเทพฯ.

สิทธิชัย มณีรัตน์. 2554. ประสิทธิภาพของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่และแสมทะเลในการบำบัดบีโอดีในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งเพื่อลดผลกระทบต่อผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้ง ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรทัย จิตไธสง. 2555. การศึกษาผลของน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อการเติบโตและชีพลักษณ์ของป่าชายเลนบริเวณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร ดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

American Public Health Association. 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23th Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, Washington, DC.

Boontongmai, T. 2020. Effect of Effluent from the Community Wastewater Treatment System for Population and Distribution of *Episesarma versicolor*, *E. mederi* and *E. singaporensis* in Mangrove Forest front of King's Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project. M. S. Theisis. Kasetsart University, Bangkok.

Hao, S., W. Su, and Q.Q. Li. 2020. Adaptive roots of mangrove Avicennia marina: Structure and gene expressions analyses of pneumatophores. Science of The Total Environment. 757: 143994.

Jinjaruk, T. 2014. Water Balance in Oxidation Pond System at The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Phetchaburi Province. M. S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok.

Marek, P. 2019. Mangrove roots. Available: http://www.mangrove.at/mangrove_roots.html. Accessed March 4, 2020.

Su, Y.M., Y.F. Lin, S.R. Jing, and P.C. Lucy Hou. 2011. Plant growth and the performance of mangrove wetland microcosms for mariculture effluent depuration. Journal of Marine Pollution Bulletin. 62: 1455-1463.

Wu, Y., A. Chung, N.F.Y. Tam, N. Pi, and M.H. Wong. 2008. Constructed mangrove wetland as secondary treatment system for municipal wastewater. Journal of Ecological engineering. 34: 137-146.

Yan, Z., W. Wang, and D. Tang. 2007. Effect of different time of salt stress on growth and some physiological Process of Avicennia marina seedlings. Marine Biology. 152(3): 581-587.