

นิพนธ์ต้นฉบับ

การสะสมปริมาณธาตุอาหารพืชบางชนิดในส่วนต่างๆ ของไม้แสมทะเล
บริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการศึกษาวิจัย
และพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย
อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

**Accumulation of Some Nutrients in Parts of *Avicennia marina* (Forsk.)
Vierh. at Municipal Wastewater Receptor Area in The King's Royally
Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development
Project, Petchaburi Province**

เรขา ชนิตรบวร^{1,2*}นฤชิต คำปิ่น¹เกษม จันทร์แก้ว^{1,2}Rakha Chanitborvorn^{1,2*}Narouchit Dampin¹Kasem Chunkao^{1,2}¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Environmental Science, Faculty of Environmental, Kasetsart University

² โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Petchaburi Province

* Corresponding Author, E-mail: pumrakha@gmail.com

รับต้นฉบับ 29 มิถุนายน 2561

รับลงพิมพ์ 15 สิงหาคม 2561

ABSTRACT

This research aimed to study the accumulation of some nutrients in parts of *Avicennia marina* at domestic wastewater receptor area in The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project (LERD). The study was divided into 2 areas included non-wastewater receptor area A and wastewater receptor area B, each area was separated into 3 zones from land to the sea. The study found that the average tree density in area A and B was 739.4 and 631.5 individuals per rai, the average diameter of trees was 5.99 and 7.15 centimeters and the average heights of trees was 5.59 and 6.33 meters. Most of nitrogen and potassium accumulated in leaf, branches, roots and stem, respectively, most of phosphorus accumulated in leaf, stem, branches and roots, respectively, most sulphur accumulated in leaf, roots, branches and stem respectively, and most of carbon accumulated in stem, leaf, branches and roots, respectively. By studying the accumulation of nutrients in trees of 2 areas found that trees at area B have accumulation of carbon higher than trees at area A, stem accumulated highest

amount of carbon; trees at area B have accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium higher than trees at area A, leafs accumulated highest amount of nitrogen, phosphorus and potassium; trees at area B have accumulation of sulphur higher than trees at area A, roots accumulated highest amount of sulphur; by comparing zone 1, 2 and 3 found that the most amount of carbon, sulphur, potassium and phosphorus was at zone 3, the most amount of nitrogen was at zone 1, the results show that nutrients accumulation of *Avicenna marina* at wastewater receptor area higher than the reference site because of higher nutrients availability in wastewater from LERD project.

Keywords: nutrients, *Avicenna marina*, wastewater, Mangrove

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสะสมปริมาณธาตุอาหารพืชบางชนิดในส่วนต่างๆ ของไม้เสมทะเลบริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ แบ่งเป็น 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำทิ้งฯ (A) และพื้นที่รับน้ำทิ้ง (B) แต่ละพื้นที่แบ่งเป็น 3 โซนจากชายฝั่งถึงทะเล พบว่า พื้นที่ A และ B มีความหนาแน่นไม้ใหญ่เฉลี่ย 739.4 และ 631.5 ต้น/ไร่ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 5.99 และ 7.15 เซนติเมตร และมีความสูงเฉลี่ย 5.59 และ 6.63 เมตร การสะสมไนโตรเจน (N) และโพแทสเซียม (K) พบมากที่สุดในใบ กิ่ง ราก และลำต้น ตามลำดับ ฟอสฟอรัส (P) พบมากที่สุดในใบ ลำต้น กิ่ง และราก ตามลำดับ ซัลเฟอร์ (S) พบมากที่สุดในใบ ราก กิ่ง และลำต้น ตามลำดับ และคาร์บอน (C) พบมากที่สุดในลำต้น ใบ กิ่ง และราก ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 พื้นที่ พบว่า พื้นที่ B มีการสะสมคาร์บอน (C) มากกว่าพื้นที่ A โดยพบมากที่สุดในลำต้น สำหรับการสะสมไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) พบว่า พื้นที่ B มีการสะสมมากกว่าพื้นที่ A โดยพบมากที่สุดในใบ ส่วนการสะสมซัลเฟอร์ (S) นั้น พื้นที่ B มีการสะสมมากกว่าพื้นที่ A โดยพบมากที่สุดในราก เมื่อเปรียบเทียบแต่ละโซน พบว่า คาร์บอน (C) ซัลเฟอร์ (S) โพแทสเซียม (K) และฟอสฟอรัส (P) พบมากสุดในโซนที่ 3 สำหรับไนโตรเจน (N) พบมากสุดในโซนที่ 1 จะเห็นได้ว่า ไม้เสมทะเลในพื้นที่ที่รับน้ำทิ้งมีการสะสมธาตุอาหารพืชในส่วนต่างๆ มากกว่าพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำทิ้งเนื่องจากได้รับปริมาณธาตุอาหารที่สูงกว่าจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ

คำสำคัญ: ธาตุอาหารพืช เสมทะเล น้ำเสีย ป่าชายเลน

คำนำ

ปัจจุบันบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลประสบกับปัญหามลพิษทางน้ำทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น จากรายงานกรมควบคุมมลพิษ (2559) พบว่า คุณภาพน้ำในอ่าวไทยบริเวณชายฝั่งทะเลระยะทางยาว 2,800 กิโลเมตร เกิดปัญหาคุณภาพน้ำทะเลเสื่อมโทรม เนื่องจากเป็นที่รองรับการระบายของเสียจากแหล่งกำเนิดมลพิษต่างๆ โดยเฉพาะน้ำเสียชุมชนที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำและชายฝั่งทะเลอย่างต่อเนื่อง จนเกิดปัญหาคุณภาพน้ำทะเล

เสื่อมโทรมส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาที่จะต้องรีบแก้ไขแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ คือการใช้แนวทางการบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยใช้ระบบแปลงพืชป่าชายเลนบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นแนวทางที่ไม่ต้องใช้งบประมาณสูงมากนักและใช้แก้ไขปัญหาก็จริง สำหรับป่าชายเลนบริเวณนี้มีสังคมพืชชนิดไม้เสมทะเลเป็นไม้เด่น และอยู่ในพื้นที่ที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนป่าบริเวณนี้จึงเปรียบเสมือนเป็นพื้นที่กรองหรือบำบัด

น้ำเสียที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอินทรีย์ต่างๆ ที่ปะปนมาในน้ำเสีย อาทิ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ฯลฯ เป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ จุลินทรีย์ในน้ำและดินจะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้ให้กลายเป็นธาตุอาหารที่ต้นไม้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง โดยต้นไม้จะดูดดึงไปสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ได้แก่ ลำต้น ใบ กิ่ง และราก เปรียบเสมือนเป็นการกักเก็บและดักจับสารที่เป็นองค์ประกอบต่างๆ ในน้ำทั้งก่อนปล่อยลงสู่ชายฝั่งทะเลและเป็นวิธีการที่จะช่วยทำให้ค่าความสกปรกในน้ำเสียลดลงได้ โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จะมีการเคลื่อนย้ายจากรากไปยังส่วนต่างๆ ของต้นไม้ จนกระทั่งถึงส่วนยอด การสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส มีบทบาทสำคัญที่จะทำให้ต้นไม้มีการเติบโตทางความสูง จำนวนใบ ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบ ตลอดจนมีส่วนทำให้การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พืชที่ได้รับธาตุอาหารจากน้ำเสียจะมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มสูงขึ้น

ขึ้นเมื่อต้นไม้มีการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น ป่าชายเลนก็มีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้นตามลำดับ อันจะนำไปสู่ความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศ

ดังนั้น วัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาการสะสมปริมาณธาตุอาหารพืชบางชนิดในส่วนต่างๆ ของไม้เสมทะเล บริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบน้ำเสียชุมชนของโครงการแหลมผักเบี้ยฯ อันจะนำไปสู่องค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการนำต้นไม้ป่าชายเลนมาใช้ในการกรองธาตุอาหารพืชจากน้ำทิ้งชุมชนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

ศึกษาในบริเวณพื้นที่ป่าชายเลนของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี มีพื้นที่ป่าชายเลน 1,135 ไร่ (Figure 1)

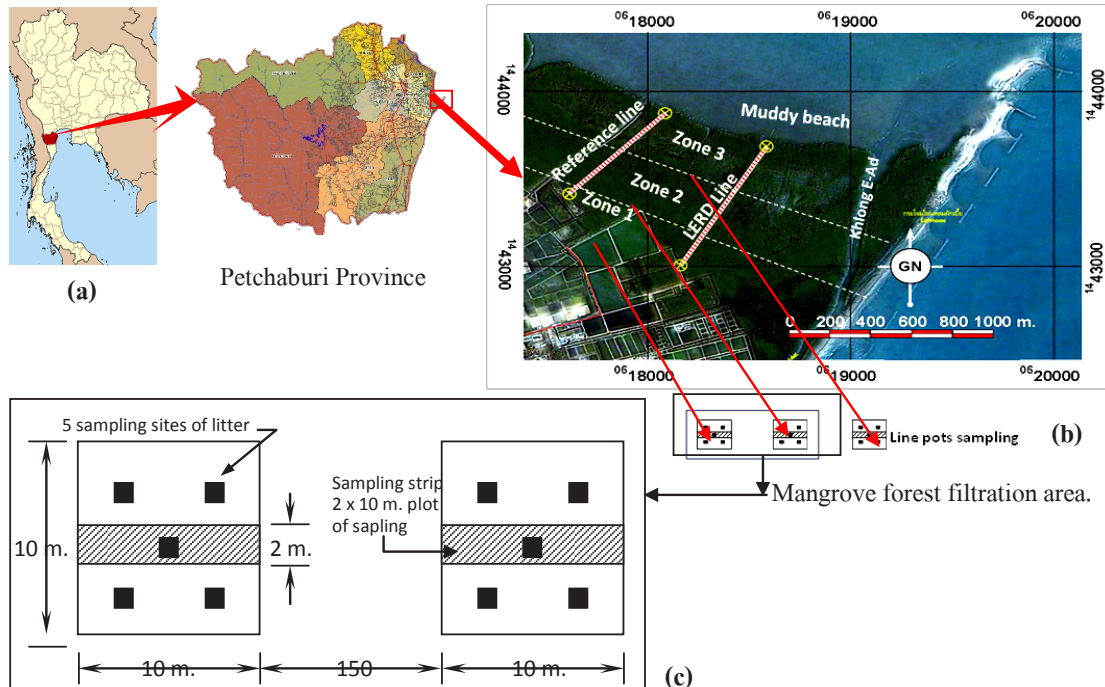


Figure 1 Study areas and sample plots in mangrove forest at The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project (LERD), Petchaburi Province.

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

ศึกษาโดยการวางแผนสำรวจตั้งฉากกับชายฝั่งทะเลในบริเวณป่าชายเลน 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ป่าชายเลนที่ไม่ได้รับน้ำทิ้งจากโครงการฯ (Reference line) (A) และพื้นที่ป่าชายเลนที่รับน้ำทิ้งจากโครงการฯ (LERD line) (B) พื้นที่ละ 1 แนวสำรวจ และแต่ละแนวสำรวจกำหนดจุดสำรวจเป็น 3 โซน โดยแบ่งโซนตามระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเลในรอบ 30 วัน ได้แก่ โซนที่ 1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่น้ำท่วมถึงน้อยกว่า 18 วัน/เดือน มีระยะทางห่างจากแผ่นดินถึงชายฝั่งทะเล 0-320 เมตร โซนที่ 2 มีจำนวนวันที่น้ำทะเลท่วมถึง 18-25 วัน/เดือน มีระยะทาง 320-620 เมตร และโซนที่ 3 มีจำนวนวันที่น้ำทะเลท่วมถึงมากกว่า 25 วัน/เดือน มีระยะทาง 620-920 เมตร ตามลำดับ (Figure 1. b) เพื่อทำการเก็บตัวอย่างโครงสร้างของสังคมพืชป่าชายเลน คุณภาพน้ำ และคุณสมบัติของดิน ฯลฯ

การศึกษาโครงสร้างของสังคมพืช

วางแผนสำรวจเพื่อศึกษาโครงสร้างสังคมพืชป่าชายเลน โดยการวางแผนสำรวจ (quadrat) ขนาด 10×10 , 2×10 และ 1×1 เมตร (Figure 1. c) เพื่อสำรวจไม้ใหญ่ (tree) (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป ที่ระดับความสูง 1.30 เมตร) ไม้หนุม (sapling) (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นน้อยกว่า 4.5 เซนติเมตรที่มีความสูงของไม้มากกว่า 1.30 เมตร) และกล้าไม้ (seedling) (ขนาดความสูงน้อยกว่า 1.30 เมตร) ตามลำดับ ทำการวัดและจดบันทึกชนิดของพันธุ์ไม้ ขนาด ความสูง และจำนวนต้นไม้มากน้อยในบริเวณแปลงสำรวจ

เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำในจุดกึ่งกลางของแปลงขนาด 10×10 เมตรที่กำหนดในพื้นที่ A และ B โซนละ 1 ตัวอย่าง ในช่วงเวลาน้ำทะเลขึ้นสูงสุด (high tide) ในจุดเก็บตัวอย่างน้ำ จุดเดียวกันในทุกๆ เดือนนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามดัชนีต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ (temperature),

ความเป็นกรดเบส (pH), ออกซิเจนละลายน้ำ (DO), ค่าความสกปรก (BOD), ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN), ไนเตรท (Nitrate), ความเค็ม (Salinity), ค่าการนำไฟฟ้า (EC), ของแข็งแขวนลอย (SS), ค่าความเป็นด่าง (alkalinity), ซัลเฟต (sulphate) และฟอสเฟต (phosphate) ทำการวิเคราะห์หึ่งวิธีมาตรฐาน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater ของ American Public Health Association (2017) เป็นระยะเวลา 1 ปี และนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อศึกษาคุณภาพน้ำตามดัชนีต่างๆ

การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน

เก็บตัวอย่างดิน 3 ครั้ง ในเดือนกุมภาพันธ์ เดือนกรกฎาคม และเดือนกันยายน ตามจุดเก็บตัวอย่างเดียวกับการเก็บตัวอย่างน้ำและสังคมพืชที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพดินพืชและปฐภาควิทยา ปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินตามดัชนีต่างๆ ได้แก่ pH, OC, OM, soil texture, available-P, exchangeable-K, CEC, Total N, Total P, Total S, C/N ratio, EC, salinity และ extractable $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ทำการวิเคราะห์หึ่งวิธีมาตรฐาน AOAC (2012)

การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช

เก็บตัวอย่างดิน ไม้โดยการเลือกตัดต้นไม้นั้นๆ มาโซนละ 1 ต้นในพื้นที่แปลงเก็บตัวอย่างน้ำและดิน เก็บตัวอย่าง 1 ครั้งในเดือนที่ 12 ทำการแยกส่วนต่างๆ ของพืชออก ได้แก่ ราก ลำต้น กิ่ง และใบ นำส่วนต่างๆ ของดิน ไม้ไปชั่งน้ำหนักเปียก (wet weight) และน้ำหนักแห้ง (dry weight) และนำส่วนต่างๆ ของดิน ไม้ ส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพดินพืชและปฐภาควิทยา ปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช ได้แก่ Total-N (%) ใช้วิธี Micro Kjeldahl, Total-P (%) ใช้วิธี Vanadomolybdophosphoric

acid yellow method, Total-K (%) ใช้วิธี Leaching ด้วย 1N ammonium acetate (NH_4OAc) pH 7.0 แล้ววัดด้วยเครื่อง AA, Total-S (%) วิธีTurbidimetric method และ Total-C (%) ทำการวิเคราะห์โดยอิงวิธีการเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างคุณสมบัติของดิน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำการวิเคราะห์ทางสถิติและการจัดกลุ่มด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ($P < 0.05$) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างธาตุอาหารที่สะสมในส่วนต่างๆ ของพืชกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่ คุณภาพน้ำและคุณสมบัติของดิน ฯลฯ

ผลและวิจารณ์

องค์ประกอบและโครงสร้างสังคมพืชป่าชายเลน

พื้นที่ป่าชายเลนของโครงการฯ ในบริเวณพื้นที่รับน้ำทิ้ง (B) และพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำทิ้งจากโครงการฯ (A) พบชนิดไม้สามทะเลเป็นไม้เด่น สอดคล้องกับการศึกษาของผุสดี (2558) ที่พบสามทะเลเป็นไม้เด่นในพื้นที่ป่าชายเลนของโครงการฯ ทั้งนี้ บริเวณนี้มีจำนวนชนิด

พันธุ์ไม้ป่าชายเลนน้อยกว่าพื้นที่อื่นๆ เนื่องจาก บริเวณนี้เป็นพื้นที่ดินเลนงอกใหม่จากการพัดพาตะกอนจึงทำให้มีสภาพเป็นดินเลนอ่อน จึงทำให้พบชนิดพันธุ์ไม้ที่สามารถขึ้นและตั้งตัวอยู่ได้น้อยชนิด โดยเฉพาะ สามทะเลเป็นชนิดพันธุ์ไม้ที่สามารถขึ้นและตั้งตัวอยู่ได้ในพื้นที่ดินเลนงอกใหม่นี้ และเป็นพันธุ์ไม้เบิกนำ (pioneer species) สนท (2541) และเทียมใจ (2536) ขนาดของไม้ใหญ่ในบริเวณพื้นที่ได้รับน้ำทิ้งจากโครงการฯ (B) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงมากกว่าบริเวณพื้นที่ไม่ได้รับน้ำทิ้ง (A) ความหนาแน่นเฉลี่ยของไม้ใหญ่ในบริเวณพื้นที่ B น้อยกว่าบริเวณพื้นที่ A ส่วนไม้หนุม และกล้าไม้ในบริเวณพื้นที่ A มีความหนาแน่นเฉลี่ยน้อยกว่าบริเวณพื้นที่ B (Table 1) เนื่องจาก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของต้นไม้ผกผันกับความหนาแน่น กล่าวคือ หากความหนาแน่นของต้นไม้มีมาก ขนาดของต้นไม้จะมีขนาดเล็ก หรือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะมีค่าต่ำ (Kongsangchai, 1988) สอดคล้องกับการศึกษาของอรทัย (2555) ทำการศึกษาในป่าชายเลนตำบลแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี พบว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยในบริเวณพื้นที่รับน้ำทิ้งสูงกว่าพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำทิ้ง ทั้งนี้ เนื่องจากได้รับธาตุอาหารที่มากกว่าจึงทำให้มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า

Table 1 Size and density of mangroves trees at The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Petchaburi Province.

Zone	Area A					Area B				
	Density			Diameter (Centimeter)	Height (Meter)	Density			Diameter (Centimeter)	Height (Meter)
	Individual/Rai					(Individual/Rai)				
	Tree	Sapling	Seedling	Tree	Sapling	Seedling				
1	865.6	57.6	54.4	5.53	5.20	662.4	64	64	8.03	7.16
2	723.2	70.4	35.2	6.22	5.23	646.4	131.2	48	5.78	4.23
3	629.3	44.8	80	6.62	6.34	585.6	48	112	7.64	8.51
เฉลี่ย	739.4	57.6	56.5	5.99	5.59	631.5	81.1	74.7	7.15	6.63

เมื่อพิจารณาทั้ง 3 โซน พบว่า บริเวณพื้นที่ B มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงเฉลี่ยของไม้ใหญ่

ในบริเวณโซน 1 มีค่ามากกว่าโซน 3 และ 2 ตามลำดับ ความหนาแน่นของไม้ใหญ่ในโซนที่ 1 มากที่สุด

รองลงมาเป็นโซนที่ 2 และ 3 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 662.4, 646.4 และ 585.6 ต้น/ไร่ ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ วาทีนี และคณะ (2558) ที่ศึกษาการเติบโตและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้เสม็ดขาวในสวนป่าท่ากุ่มโน โบริ อุเมตะ จังหวัดตราด โดยได้ทำการศึกษาใน 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง 7-9 เดือน ในรอบปี และพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังตลอดทั้งปี ซึ่งพบว่า ไม้เสม็ดขาวมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 90.67 และ 150.33 ต้น/ไร่ การที่พื้นที่ป่าชายเลนของโครงการฯ มีความหนาแน่นมาก ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเป็นเพราะพื้นที่โครงการฯ ตั้งอยู่ในบริเวณที่ได้รับธาตุอาหารจากน้ำทิ้ง จึงทำให้ดินไม่มีการเจริญเติบโตได้ดี ดังนั้นควรจะมีการศึกษาต่อเนื่องจากการวิจัยครั้งนี้เกี่ยวกับมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าชายเลนที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการฯ เพราะการเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลนในบริเวณโครงการฯ มีเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งต้นไม้ป่าชายเลนจะทำหน้าที่ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยผลผลิตที่ได้จะสะสมในรูปของมวลชีวภาพ (สุวจิ และคณะ, 2560) จะเห็นได้ว่า ความสมบูรณ์ของป่าชายเลนจึงมีส่วนสำคัญต่อระบบนิเวศสิ่งแวดล้อมอย่างยิ่ง ทั้งนี้ป่าชายเลนนอกจากจะสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้แล้วนั้น ความสมบูรณ์ของป่าชายเลนยังถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง เนื่องจากป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีมวลชีวภาพสูง (วิจารณ์, 2553) ส่วนสำหรับบริเวณพื้นที่ A นั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงเฉลี่ยของไม้ใหญ่ในบริเวณโซน 3 มีค่ามากกว่าโซน 2 และ 1 ตามลำดับ และในบริเวณทั้ง 2 พื้นที่ มีความหนาแน่นเฉลี่ยของไม้ใหญ่ในโซนที่ 1 มากที่สุด รองลงมาเป็นโซนที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ไม้หนุมมีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุด ในโซนที่ 2 รองลงมา โซนที่ 1 และ 3 ตามลำดับ และกล้าไม้มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุด ในโซนที่ 3 รองลงมาเป็นโซนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (Table 1)

คุณภาพน้ำในป่าชายเลน

บริเวณป่าชายเลนได้รับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนโครงการฯ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง แต่มีปริมาณของธาตุอาหารพืชค่อนข้างสูง ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ไนเตรท (nitrate) และฟอสเฟต (phosphate) ฯลฯ ลงสู่ป่าชายเลนด้านหน้าโครงการฯ ตลอดเวลา คุณภาพน้ำในบริเวณป่าชายเลนพบว่า อุณหภูมิของน้ำ (Temperature) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเป็นด่าง (alkalinity) มีความใกล้เคียงกันทั้ง 2 พื้นที่ และทั้ง 3 โซน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในทั้ง 2 พื้นที่ที่มีความใกล้เคียงกัน แต่มีค่าเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่โซนที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ในพื้นที่ B มีค่าสูงกว่าพื้นที่ A แต่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอในพื้นที่ป่าทั้ง 3 โซน ปริมาณไนเตรท (Nitrate) ทั้งสองพื้นที่ใกล้เคียงกัน แต่ในโซนมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่โซนที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ปริมาณฟอสเฟต (Phosphate) ในพื้นที่ B มากกว่าพื้นที่ A และมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่โซนที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ซัลเฟต (Sulphate) และความเค็ม (salinity) ทั้ง 2 พื้นที่ที่มีความใกล้เคียงกัน ยกเว้นพื้นที่ B ในโซนที่ 1 มีค่าน้อยที่สุด (Table 2) เนื่องจากได้รับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย จะเห็นได้ว่าในพื้นที่ป่าชายเลนพื้นที่ B มีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าพื้นที่ A ทั้งนี้เนื่องจากได้รับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณธาตุอาหารค่อนข้างมาก ขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับตามโซนของป่าพบว่า ธาตุอาหารจะค่อยๆ ลดปริมาณลง โดยพบว่า ในโซนที่ 2 น้อยกว่าโซนที่ 1 เพียงเล็กน้อย แต่มากกว่าในโซนที่ 3 ทั้งนี้เนื่องจากการมีการดูดซับโดยพืชและดินตะกอน การเจือจางของน้ำทะเลในช่วงเวลาน้ำทะเลขึ้น เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับอรรถ (2555) พบว่า ธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะ N และ P ที่พบในดินนั้นสอดคล้องกับปริมาณ N และ P ที่พบในน้ำ โดยการสะสม N และ P ในดินพบมากสุดในโซนที่ 1 รองลงมา คือ 2 และ 3 ตามลำดับ

ซึ่งโดยส่วนใหญ่พบในดินชั้นบนช่วงระดับความลึก 0-20 และ 20-40 เซนติเมตร และจากงานวิจัยนี้ยังพบว่าคุณภาพน้ำมีค่าลดลงในพื้นที่ B แสดงให้เห็นว่าดินแสมทะเลที่รองรับน้ำทิ้งสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ ซึ่งสอดคล้องกับปียวรรณ (2543) ที่ทำการศึกษากล้าไม้

แสมทะเลในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในดินป่าชายเลนที่มีโครงสร้างต่างกัน พบว่ากล้าไม้แสมทะเลสามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ถึง 64.44-70.08% บำบัดไนเตรทได้ 55.61-69.20% และบำบัดออร์โธฟอสเฟตได้ 48.57 – 60.49%

Table 2 Water quality in mangroves forest at The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Petchaburi Province.

Water Quality Index	Wastewater	Area B			Area A		
		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Temp (°C)	30.4± 1.01	27.45±2.46	27.38±2.46	27.34±2.71	27.01±2.41	27.33±2.38	27.48±2.50
pH	9± 0.37	7.89±0.40	7.65±0.33	7.84±0.32	7.68±0.26	7.82±0.29	7.86±0.29
DO (mg/l)	7.9± 2.32	3.47±1.66	3.87±2.03	6.11±1.42	5.02±1.14	6.00±1.74	6.40±0.97
BOD (mg/l)	18.3± 5.78	4.72±2.70	3.51±1.11	2.62±1.64	2.90±2.05	3.08±1.59	2.38±1.64
TKN (mg/l)	2.10± 2.30	9.13±9.23	7.72±5.64	9.15±7.69	6.77±7.23	7.50±7.59	7.69±9.20
Nitrate (mg/l)	1.19± 0.45	0.05±0.06	0.03±0.03	0.02±0.01	0.21±0.58	0.16±0.51	0.02±0.03
Phosphate (mg/l)	0.11± 0.13	0.08±0.11	0.05±0.08	0.02±0.03	0.07±0.07	0.05±0.06	0.01±0.01
Sulphate (mg/l)	23.8±5.25	1685.43	2318.53	2298.34	2273.43	2566.90	2308.46
		±881.58	±623.75	±352.52	±735.59	±993.41	±337.59
Salinity (ppt)	0.11±0.03	21.11±11.80	32.55±8.20	31.66±3.65	32.19±7.92	35.66±10.70	32.08±3.39
EC (µS/cm)	706.36±63.47	31350±17.26	49270±11.96	45430±10.35	48790±11.51	53820±14.56	48760±4.84
Alkalinity(mg/l)	196.33±31.31	157.58±34.93	151.83±60.62	123.25±31.55	148.64±31.94	248.42±340.25	113.5±12.70

คุณสมบัติของดินในป่าชายเลน

คุณสมบัติของดินในป่าชายเลนบริเวณโครงการฯ พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง (pH), อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon: OC), อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter : OM), ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P), อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N-ratio) และซัลเฟอร์ทั้งหมด (Total S) ทั้ง 2 พื้นที่ใกล้เคียงกัน Sand (%), โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K), แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Ca), แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

(exchangeable Mg), ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity: CEC), ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N), สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable-Na) ในพื้นที่ B มีค่ามากกว่าพื้นที่ A และ Silt (%), Clay (%), ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (available-P) และแอมโมเนียมไนโตรเจน (Extractable-NH₄⁺-N) ในพื้นที่ A มากกว่าพื้นที่ B (Table 3)

Table 3 Soil property in mangroves forest at The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Petchaburi Province (3 months average).

Soil Quality Index	Area A			Average	Area B			Average
	Zone 1	Zone 2	Zone 3		Zone 1	Zone 2	Zone 3	
pH	6.63±0.80	7.47±0.38	7.83±0.29	7.31±0.71	6.63a±0.51	6.73a±0.74	8.03b±0.15	7.13±0.82
OC (%)	3.52c±0.27	2.92b±0.03	1.10a±0.04	2.51a±1.10	5.68±0.17	3.78b±0.78	0.78a±0.32	3.41b±2.18
OM (%)	6.07c±0.46	5.04b±0.06	1.89a±0.08	4.33a±1.90	9.79±0.30	6.51b±1.35	1.35a±0.55	5.89b±3.76
Sand (%)	29.67b±3.21	27.67b±1.53	21.67a±1.53	26.33a±4.09	43.00b±2.65	29.00a±4.36	31.00a±1.00	34.33b±7.05
Silt (%)	31.67a±3.51	39.67b±1.53	65.00c±1.00	45.44b±15.20	25.00a±1.73	37.00b±1.73	60.33c±3.51	40.78a±15.71
Clay (%)	38.67c±2.52	32.67b±1.53	13.33a±0.58	28.22b±11.56	32.00b±1.00	34.00b±2.65	8.67a±2.52	24.89a±12.34
available P (mg/kg ⁻¹)	135.00±17.35	116.33±19.30	144.33±4.04	131.89b±18.02	105.33b±8.08	123.00b±11.79	59.00a±29.72	95.78a±33.03
Exchangeable K (mg/kg ⁻¹)	1488.67b±363.26	1526.67b±247.30	551.67a±78.52	1189.00±527.80	1777.67b±367.57	2028.00b±828.00	450.67a±91.09	1418.78±863.83
Exchangeable Ca (mg/kg ⁻¹)	3393.00a±129.28	5132.00b±459.26	4776.00b±806.12	4433.67±923.21	3472.00a±161.40	4983.67b±1165.63	6134.00b±759.36	4863.22±1351.73
Exchangeable Mg (mg/kg ⁻¹)	3476.33b±564.38	3323.33b±241.92	1379.00a±89.11	2726.22±1059.05	4306.33b±352.07	4122.00b±1188.20	1225.33a±288.68	3217.89±1626.17
CEC (cmol/kg ⁻¹)	35.00a±3.03	29.33b±2.02	9.27a±0.42	24.53±11.85	42.07c±4.23	32.20b±2.09	6.53a±0.99	26.93±16.07
Total N (%)	0.25b±0.01	0.20b±0.02	0.10a±0.04	0.18a±0.07	0.39c±0.05	0.23b±0.01	0.11a±0.03	0.24b±0.12
Total P (%)	0.05b±0.01	0.05b±0.01	0.03a±0.01	0.04±0.01	0.05b±0.01	0.04ab±0.01	0.02a±0.01	0.04±0.02
Total S (%)	0.46±0.34	0.48±0.17	0.27±0.06	0.40±0.22	0.54b±0.14	0.82b±0.17	0.25a±0.12	0.54±0.28
C/N ratio	14.28±0.64	14.70±1.51	12.45±5.82	13.81±3.20	14.66±1.62	16.42±3.36	7.88±5.14	12.99±5.03
EC (dsm ⁻¹)	20.95b±2.80	21.75b±3.99	8.45a±0.34	17.05±6.90	27.62b±3.98	25.47b±6.80	7.62a±1.87	20.24±10.33
Salinity (ppt.)	13.30b±1.86	13.80b±0.60	5.44a±0.28	10.85±4.36	17.55b±2.40	16.11b±4.28	4.92a±1.21	12.86±6.50
Extractable NH ₄ ⁺ -N (mg N kg ⁻¹)	39.20±2.80	33.60±29.63	29.87±18.64	34.22±18.03	43.87b±13.81	26.13ab±9.00	8.40a±7.41	26.13±17.82

เมื่อเปรียบเทียบกับโซนพบว่าคุณสมบัติของดิน ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และ Silt (%) มีปริมาณมากขึ้นตั้งแต่โซนที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ OC, OM, Sand (%), Clay (%), CEC, Total N, Total P และ extractable- $\text{NH}_4^+\text{-N}$ มีปริมาณน้อยลงตั้งแต่โซนที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ available-P และ C/N-ratio มีปริมาณมากที่สุดไนโซนที่ 2 รองลงมาไนโซนที่ 1 และ 3 ตามลำดับ (Table 3) ซึ่งปริมาณ Clay (%) ที่เพิ่มขึ้นตามโซนนั้น จะมีทิศทางเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับ OM สอดคล้องกับ ปิยวรรณ (2543) ที่พบว่า สมบัติของดินในชุดทดลองกล้าไม้แสมทะเลบ้ำบ้น้ำเสียชุมชน มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดในดินเลน และสอดคล้องกับ วาณิชยา (2554) ศึกษาลักษณะของดินในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราด พบว่ามีลักษณะเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) เกิดจากการทับถมของตะกอนดินที่ไหลมาตามแม่น้ำและได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำที่พัดพาตะกอนทรายได้ท้องทะเลขึ้นมาในช่วงที่น้ำทะเลขึ้น จึงทำให้มีอนุภาคทรายผสมอยู่ด้วย เนื้อดินมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจากริมฝั่งทะเล โดยค่าเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทราย (sand) น้อยกว่าบริเวณที่อยู่ห่างจากทะเลลึกเข้าไปในฝั่ง โดยค่าเปอร์เซ็นต์ของทรายแป้ง (silt) และเปอร์เซ็นต์ของดินเหนียว (clay) จะตรงข้ามกับค่าเปอร์เซ็นต์ของทราย ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) ปริมาณโพแทสเซียม (K) ปริมาณแคลเซียม (Ca) และค่า EC มีค่าสูงบริเวณริมฝั่งทะเล และมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อเข้าสู่ฝั่ง

การสะสมธาตุอาหารพืชในส่วนต่างๆ ของไม้แสมทะเล

การสะสมธาตุอาหารพืชในส่วนต่างๆ ของไม้แสมทะเล พบว่าการสะสมไนโตรเจน (N) มีการสะสมมากที่สุดในใบ รองลงมา คือ กิ่ง ราก และลำต้น ตามลำดับ และมีการสะสมมากที่สุดในโซนที่ 1 รองลงมาเป็นโซนที่ 3 และ 2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง

2 พื้นที่ พบว่า พื้นที่ B มีการสะสม N ใน ใบ กิ่ง ราก และลำต้น มากกว่า พื้นที่ A ในทุกโซน เนื่องจากพื้นที่ B เป็นพื้นที่ได้รับธาตุอาหาร N มาจากน้ำทิ้งในระบบบำบัดน้ำเสียของโครงการฯ (Table 4) สอดคล้องกับกนกพร (2549) ที่ทำการทดลองปลูกกล้าไม้แสมทะเลในชุดทดลองบ้ำบ้น้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลมีประสิทธิภาพการบำบัด TN และ TP สูงกว่าชุดทดลองกล้าไม้ชนิดอื่นสำหรับกล้าไม้พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง กล้าไม้ทุกชนิดมีปริมาณ TN และ TP ในใบสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินมีการสะสมอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร (TN, NH_4^+ , TP และ Ortho- PO_4) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งธาตุอาหารพืชไนโตรเจน (N) ที่สะสมในส่วนต่างๆ ของพืช มีบทบาทสำคัญที่จะกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโต และมีความแข็งแรงเพิ่มปริมาณโปรตีนให้แก่พืช และช่วยให้พืชมีสีเขียวเร่งการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น

การสะสมฟอสฟอรัส (P) มีการสะสมมากที่สุดใบ รองลงมา คือ ลำต้น กิ่ง และรากตามลำดับ และมีการสะสมมากที่สุดในโซน 3 รองลงมาเป็นโซนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 พื้นที่ พบว่า พื้นที่ B มีการสะสม P ในใบและลำต้น มากกว่า A ในทุกโซน รวมทั้งพื้นที่ B ยังมีการสะสม P ในรากมากกว่าพื้นที่ A ในโซนที่ 1 และ 3 แต่มีค่าเท่ากันไนโซนที่ 2 และพื้นที่ B มีการสะสม P ในกิ่ง มากกว่าพื้นที่ A ในโซนที่ 3 (Table 4) สอดคล้องปิยวรรณ (2543) พบว่าการศึกษาสมบัติของดินในพื้นที่รับน้ำเสียในชุดทดลองดินทั้งหมด จะมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และยังสอดคล้องกับ Hastuti *et al.* (2012) ศึกษาผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีต่อพลวัตการเติบโตของแสมทะเล พบว่า ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสช่วยกระตุ้นการเติบโตของใบและกิ่ง มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมกับการเติบโต (Table 4) สำหรับธาตุอาหารพืชฟอสฟอรัส (P) ที่สะสมในส่วนต่างๆ ของพืช มีบทบาทสำคัญช่วยเร่งการสุกแก่ของพืชให้เร็วขึ้นเร่งการออกดอก ออกผล และสร้างเมล็ดพืช เพิ่มความทนต่อโรคพืช และส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากพืช

Table 4 Accumulation of nutrients amount in parts of tree in mangroves trees at The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Petchaburi Province.

Zone	Parts of tree	Nutrients									
		Nitrogen (N)		Phosphorus (P)		Potassium (K)		Sulphur (S)		Carbon (C)	
		Area A	Area B	Area A	Area B	Area A	Area B	Area A	Area B	Area A	Area B
Zone 1	Stem	0.39 ± 0.06	0.49 ± 0.15	0.05 ^a ± 0.01	0.08 ^b ± 0.01	0.74 ± 0.19	0.53 ± 0.16	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.01	44.60 ± 0.24	45.20 ± 0.35
	Branches	0.78 ^a ± 0.01	1.04 ^b ± 0.05	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	1.43 ^b ± 0.14	1.05 ^a ± 0.07	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0.00	43.66 ± 0.23	43.42 ± 0.36
	Leaves	1.65 ^a ± 0.02	2.19 ^b ± 0.60	0.10 ^a ± 0.00	0.16 ^b ± 0.02	1.26 ^b ± 0.05	1.31 ^a ± 0.20	0.59 ± 0.01	0.48 ± 0.16	43.96 ^b ± 0.41	40.32 ^a ± 1.36
	Roots	0.62 ± 0.11	0.70 ± 0.44	0.04 ± 0.00	0.07 ± 0.01	0.88 ± 0.66	0.80 ± 0.46	0.21 ^a ± 0.04	0.41 ^b ± 0.05	43.49 ± 1.00	44.36 ± 0.29
Zone 2	Stem	0.40 ± 0.07	0.48 ± 0.08	0.05 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.61 ± 0.12	0.58 ± 0.03	0.11 ± 0.10	0.06 ± 0.01	43.06 ± 1.49	45.24 ± 0.48
	Branches	0.59 ± 0.06	1.19 ± 0.47	0.09 ± 0.04	0.07 ± 0.01	1.03 ± 0.15	1.11 ± 0.08	0.09 ± 0.01	0.13 ± 0.04	45.43 ± 3.38	43.01 ± 0.00
	Leaves	1.67 ± 0.01	1.98 ± 0.11	0.11 ± 0.00	0.16 ± 0.05	1.01 ± 0.16	1.08 ± 0.13	0.41 ± 0.10	0.50 ± 0.12	40.03 ^a ± 0.05	42.71 ^b ± 0.17
	Roots	0.52 ± 0.13	0.68 ± 0.11	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.74 ± 0.07	0.98 ± 0.18	0.33 ± 0.17	0.77 ± 0.46	44.29 ± 0.73	39.88 ± 0.03
Zone 3	Stem	0.34 ^a ± 0.02	0.46 ^b ± 0.06	0.06 ^a ± 0.01	0.12 ^b ± 0.01	0.53 ± 0.15	0.55 ± 0.09	0.06 ± NA	0.06 ± 0.03	45.77 ± 0.14	45.76 ± 0.83
	Branches	0.52 ± 0.02	0.69 ± 0.41	0.09 ± 0.01	0.11 ± 0.03	1.31 ± 0.15	1.13 ± 0.59	0.11 ± 0.26	0.14 ± 0.10	43.24 ± 0.29	42.92 ± 0.10
	Leaves	1.44 ^a ± 0.06	2.11 ^b ± 0.33	0.11 ^a ± 0.01	0.22 ^b ± 0.04	1.62 ± 0.22	2.05 ± 0.37	0.91 ^b ± 0.10	0.40 ^a ± 0.23	43.18 ^b ± 0.42	38.10 ^a ± 1.46
	Roots	0.55 ± 0.11	0.66 ± 0.20	0.06 ± 0.00	0.07 ± 0.01	1.11 ± 0.22	0.75 ± 0.46	0.19 ± 0.05	0.36 ± 0.17	43.60 ± 2.09	38.18 ± 2.88

สอดคล้องกับ Naidoo (2008) ได้ทำการทดลองผลของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองของสรีรวิทยาของแสมทะเล ในประเทศแอฟริกาใต้ พบว่า ชุดทดลองที่มีไนโตรเจน และชุดทดลองที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จะทำให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสย้ายไปส่วนบนของต้นจาก 38% เป็น 55% และยังพบว่า ความสูง จำนวนใบ ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบ และการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น มากกว่า 50%, 33%, 30% และ 30% และในชุดทดลองนี้ยังมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มในรากมากกว่า 60% และในส่วนบนของต้นมากกว่า 100%

การสะสมโพแทสเซียม (K) มีการสะสมมากที่สุดใใบ กิ่ง ราก และลำต้น ตามลำดับ และมีการสะสมมากที่สุดใโซนที่ 3 รองลงมาเป็นโซนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 พื้นที่ พบว่า พื้นที่ B มีการสะสม K ในใบมากกว่าพื้นที่ A ทุกโซน การที่พบ K ในใบมาก ส่วนหนึ่งมาจาก K มีหน้าที่รักษาความต่งของเซลล์ โดยธาตุ K ในเซลล์คุมของปากใบ (guard cell) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเปิดปิดของปากใบ (stomatal opening) (ลิลลี่ และคณะ, 2552) พื้นที่ B มีการสะสม K ในกิ่งมากกว่าพื้นที่ A ในโซนที่ 2 และพื้นที่ B มีการสะสม K ในรากมากกว่าพื้นที่ A ในโซนที่ 2 และพื้นที่ B มีการสะสม K ในลำต้นมากกว่าพื้นที่ A ในโซนที่ 3 (Table 4) สอดคล้องกับอรรถ (2555) พบว่า พื้นที่โครงการ โซนที่ 3 มีการสะสม K มากที่สุดในดินลึก 20-40 เซนติเมตร ซึ่ง K มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีในพืช ได้แก่ การสังเคราะห์แสง การหายใจและการเปิดปิดปากใบของพืช การสร้างโปรตีนและน้ำมันในพืช มีบทบาทในการ catalysis ของเอนไซม์ต่างๆ รวมทั้งธาตุโพแทสเซียมมีความสำคัญในการสร้างและการเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น ช่วยให้ผลเติบโตเร็ว และช่วยให้พืชแข็งแรงต้านทานต่อโรคและแมลง นอกจากนี้เอนไซม์โพแทสเซียมในดินส่วนใหญ่ 90% จะดูดซับที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียว ดังนั้น ดินเหนียว

จึงมีปริมาณของธาตุนี้สูงกว่าดินพวกเนื้อหยาบ ถึงแม้โพแทสเซียมไอออนจะดูดซับอยู่ที่อนุภาคดินเหนียวรากพืชก็สามารถดูดซับธาตุนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายๆ พอกันกับเมื่อมันละลายอยู่ในน้ำในดิน (ลิลลี่ และคณะ, 2552)

การสะสมซัลเฟอร์ (S) มีการสะสมมากที่สุดใใบ รองลงมาเป็นในราก กิ่ง และลำต้น ตามลำดับ และมีการสะสม S มากที่สุดในโซนที่ 3 รองลงมาเป็นโซนที่ 2 และ 1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 พื้นที่ พบว่า พื้นที่ B มีการสะสม S ในใบ มากกว่าพื้นที่ A โซนที่ 2 ส่วนการสะสม S ในลำต้นมากกว่าในโซนที่ 1 และเท่ากันใโซนที่ 3 (Table 4) ซึ่งซัลเฟอร์จัดเป็นองค์ประกอบของการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการตรึงไนโตรเจน (iron-sulfur protein) ช่วยสร้างฮีโมโกลบิน และน้ำมันพืช สร้างกรดอะมิโน โปรตีน ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (ลิลลี่ และคณะ, 2552) ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชโดยส่วนมากจะเกิดขึ้นในส่วนของใบ ส่วนหนึ่งจึงทำให้พบการสะสมซัลเฟอร์ (S) มากสุดใใบ

การสะสมคาร์บอน (C) มีการสะสมมากที่สุดใลำต้น ส่วนหนึ่งมาจากคาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างเซลล์ เช่น ผนังเซลล์ (C) และเซลลูโลส (C, H และ O) (ลิลลี่ และคณะ, 2552) รองลงมาเป็นใบ กิ่ง และราก ตามลำดับ และมีการสะสมมากที่สุดใโซนที่ 3 รองลงมาเป็นโซนที่ 2 และ 1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 พื้นที่ พบว่าพื้นที่ B การสะสมคาร์บอน (C) มากกว่าพื้นที่ A ในโซนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่ B ได้รับธาตุอาหารที่มาจากน้ำทิ้งของโครงการฯ ส่วนพื้นที่ B มีการสะสมคาร์บอน (C) ในใบมากกว่าพื้นที่ A ในโซนที่ 2 และพื้นที่ B มีการสะสมคาร์บอน (C) ในราก มากกว่าพื้นที่ A ในโซนที่ 1 (Table 4) สำหรับใโซนที่ 3 พื้นที่ A มีการสะสมคาร์บอน (C) ในใบและราก มากกว่าพื้นที่ B เนื่องจากบริเวณพื้นที่ A ในโซนที่ 3 นั้นมีลักษณะพื้นที่ที่เป็นแอ่งกระทะ ทำให้เมื่อเวลาที่มึลคลื่นทะเลพัดเข้าฝั่ง กระแสน้ำก็จะมีการพัดพาเอาตะกอนต่างๆ มาสะสมใบริเวณพื้นที่นี้ค่อนข้างสูง และจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินใ

บริเวณนี้พบว่า มีคาร์บอนอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon: OC), อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter: OM) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในดินสูงกว่าพื้นที่ B ในโซนที่ 3 นอกจากนี้บริเวณพื้นที่ A โซนที่ 3 ยังเป็นพื้นที่ป่าชายเลนธรรมชาติ ที่มีดินไม้ป่าชายเลนอายุมากกว่าพื้นที่ B ซึ่งเป็นป่าปลูก โดยจากการสำรวจในครั้งนี้พบว่า ไม้เสมทะเล ในบริเวณพื้นที่ A นั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงเฉลี่ยของไม้ใหญ่ในบริเวณโซน 3 มีค่ามากกว่าโซน 2 และ 1 ตามลำดับ แสดงให้เห็นได้ว่า บริเวณพื้นที่ตรงจุดนี้ ไม้เสมทะเลมีการเจริญเติบโตที่ดี โดยมีจำนวนใบ และจำนวนรากมากกว่าพื้นที่ B ในโซนที่ 3 ดังนั้นจึงทำให้บริเวณพื้นที่ A มีการสะสมคาร์บอน (C) ในใบและราก มากกว่าพื้นที่ B ในโซนที่ 3

สรุป

การสะสมปริมาณธาตุอาหารพืชบางชนิดในส่วนต่างๆ ของไม้เสมทะเล บริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 พื้นที่ พบว่าพื้นที่ B มีการสะสมคาร์บอน (C) มากกว่าพื้นที่ A โดยพบมีการสะสมมากที่สุดในด้าน การสะสมไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และ โพแทสเซียม (K) พบว่า พื้นที่ B มีการสะสมมากกว่าพื้นที่ A โดยพบมีการสะสมมากที่สุดใใบ ส่วนการสะสมซัลเฟอร์ (S) นั้นพบว่า พื้นที่ B มีการสะสมมากกว่าพื้นที่ A โดยพบมีการสะสมมากที่สุดใราก โดยเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละโซนนั้น พบว่าคาร์บอน (C) และซัลเฟอร์ (S) พบมากสุดในโซนที่ 3 รองลงมาเป็นโซนที่ 2 และ 1 ตามลำดับ ส่วนโพแทสเซียม (K) และฟอสฟอรัส (P) พบมากสุดในโซนที่ 3 รองลงมาเป็นโซนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สำหรับไนโตรเจน (N) พบมากสุดในโซนที่ 1 รองลงมาเป็นโซนที่ 3 และ 2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ไม้เสมทะเลในพื้นที่โครงการ

แหลมผักเบี้ยฯ ที่ได้รับน้ำทิ้งในระบบบำบัดน้ำเสีย มีการสะสมธาตุอาหารพืชไว้ในส่วนต่างๆ สูงกว่าพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำทิ้ง จึงทำให้การเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลนในบริเวณโครงการแหลมผักเบี้ยฯ มีเพิ่มสูงขึ้น

จากการศึกษาครั้งนี้มีข้อเสนอแนะ คือ

- 1) ควรทำการศึกษาพันธุ์ไม้ชนิดอื่นในการบำบัดน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการฯ ได้แก่ โกงกางใบใหญ่และ โกงกางใบเล็ก เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการกรองหรือการบำบัดน้ำเสียชุมชน อันจะนำไปสู่การนำระบบแปลงพืชป่าชายเลนของโครงการฯ ไปปรับประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาพื้นที่น้ำเสียชุมชนต่อไป
- 2) ควรมีการทดลองปล่อยน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันลงสู่พื้นที่ป่าชายเลนโดยตรง โดยไม่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการฯ เพื่อทำให้ทราบถึงขีดความสามารถในการรองรับน้ำเสียชุมชนของระบบแปลงป่าชายเลนของโครงการฯ และ 3) ควรทำการศึกษามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าชายเลนที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโครงการฯ เพราะการเจริญเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลนในบริเวณโครงการฯ มีเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กนกพร บุญส่ง. 2549. โครงการ “การใช้ป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน”. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2559. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2559. บริษัทหัวใหญ่ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- เทียมใจ คมกฤต. 2536. การปรับตัวทางโครงสร้างของไม้เบิกนำในป่าชายเลน. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 31. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุคติ สุขพิบูลย์. 2558. การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมบริเวณชายฝั่งจากการทับถมของตะกอนดินและความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลน บริเวณแหลม

- ผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิยวรรณ สายมนต์. 2543. ความสามารถของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Lamk. และแสมทะเล *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในดินป่าชายเลนที่มีโครงสร้างต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลิลลี่ กาวีตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และ สุริยา ตันติวิวัฒน์. 2552. สรีรวิทยาของพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วณิชชา นิลวิเชียร. 2554. การกระจายและความหลากหลายของไม้ยืนต้นตามระดับความเค็มของดินในป่าชายเลน จังหวัดตราด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วาทีณี สวนผลกา, นันทวุฒิ สุนทรวิทย์ และวระวุฒิ ศรีปัญญา. 2558. การเติบโตและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้เสม็ดขาวในสวนป่าท่ากุ่มโนโบรุ อุเมะ จังหวัดตราด. วารสารวนศาสตร์ 34 (1): 57-64.
- วิจารณ์ มีผล. 2553. การเก็บกักคาร์บอนของป่าชายเลนบริเวณพื้นที่สงวนชีวมณฑลระนอง. วารสารการจัดการป่าไม้ 4 (7): 29-44.
- สนธิ อักษรแก้ว. 2541. ป่าชายเลนนิเวศวิทยาและการจัดการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุวิจิ รักเจริญ, พสุธา สุนทรห้าว, วาทีณี สวนผลกา และวิจารณ์ มีผล. 2560. มูลค่าป่าชายเลนด้านการใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอนในเขตกันชนพื้นที่สงวนชีวมณฑลระนอง. วารสารวนศาสตร์ 36 (1): 58-67.
- อรทัย จิตไทสง. 2555. การศึกษาผลของน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อการเติบโตและชีพลักษณ์ของป่าชายเลนบริเวณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- American Public Health Association, American Water work Association, and Water Pollution Control Federation. 2017. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, Washington, DC.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2012. **Official Method of Analysis of AOAC International (19th ed.)**. Arlington, Virginia, USA: AOAC International.
- Hastuti, E. D., S. Anggoro and R. Pribadi. 2012. The effects of environmental factors on the dynamic growth pattern of mangrove *Avicennia marina*. **Journal of Coastal Development**. 16 (1): 57-61.
- Kongsangchai, C. 1998. **Forest Ecological Study of Mangrove Silviculture**. Ph.D. Thesis, Kyoto University.
- Naidoo, G. 2008. Differential effects of nitrogen and phosphorus enrichment on growth of dwarf *Avicennia marina* mangroves. **Journal of Aquatic Botany**. 2182: 1-7.