



ลักษณะของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ชะละลายจากใบแสมขาวด้วยเทคนิค

Fluorescence Excitation-Emission Matrix (FEEM) Spectroscopy

Characterizing the Dissolved Organic Matter (DOM) Leached from *Avicennia alba*

Leaves Using Fluorescence Excitation-Emission Matrix (FEEM) Spectroscopy

มารุต สุขสมจิตร์^{1*}, กนกวรรณ แยมสมพงษ์², กุลกานต์ ช่วยบำรุง¹, ณัชชา สุพวานิช¹ และ ไตรเทพ วิชยโกวิทเทน¹

Marut Suksomjit^{1*}, Kanokwan Yamsomphong², Koonlagarn Chuaybumrung¹, Natcha Supawanich¹

and Tritep Vichkovitten¹

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

²ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

¹Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

²National Nanotechnology Center, National Science and Technology Development Agency

Received : 28 December 2020

Revised : 22 February 2021

Accepted : 19 March 2021

บทคัดย่อ

สารอินทรีย์ละลายน้ำ มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตามบทบาทของ DOM จะขึ้นอยู่กับลักษณะของ DOM นั้น การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของ DOM ที่ถูกชะละลายจากเศษซากของพรรณใบแสมขาว ด้วยเทคนิค FEEM Spectroscopy ผลการศึกษาพบว่าลักษณะของ DOM ที่ถูกชะละลายจากใบแสมขาวทั้งสองช่วงอายุ ได้แก่ ใบเหลืองและใบเขียว มีความคล้ายคลึงกัน โดยมีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบหลัก อย่างไรก็ตามไม่พบ DOM ชนิดอื่นซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาในพื้นที่ไม้ชายเลนชนิดอื่น ความแตกต่างดังกล่าวจะมีผลต่อบทบาทและการเกิดปฏิกิริยาของ DOM ที่ปลดปล่อยจากพื้นที่ไม้แต่ละชนิดที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ในส่วนของปริมาณ DOM ที่ปลดปล่อยพบว่า DOM จากใบเหลืองมีปริมาณมากกว่าใบเขียว

คำสำคัญ : สารอินทรีย์ละลายน้ำ ; ต้นแสมขาว ; การชะละลาย ; FEEM spectroscopy



Abstract

Dissolved Organic Matter (DOM) has an important role in aquatic ecosystems. However, role of DOM is depended on its characteristics. This study investigated the characteristics of leached DOM from *Avicennia alba* leaves using FEEM spectroscopy technique. The results showed that the characteristic of DOM derived from two ages leaves (yellow and green leaves) are similar. Tannin was the major component in all leached DOM samples which differed from other mangrove species. This might affect to the roles of DOM that derived from mangrove leaf litter of each species in the bioavailability and geochemical cycling in the environment. For DOM production, yellow leaf derived higher amount of DOM than green leaf.

Keywords : dissolved organic matter ; *Avicennia alba* ; leaching ; FEEM spectroscopy



บทนำ

สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Matter, DOM) เป็นสารประกอบที่มีธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ และมีธาตุอื่น เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ โดยอยู่ในรูปสารละลาย (Dissolved form) DOM ที่พบในแหล่งน้ำเป็นส่วนหนึ่งของสารอินทรีย์รวม (Total Organic Matter) ที่ประกอบด้วย DOM และสารอินทรีย์ที่ไม่อยู่ในรูปสารละลาย (Non-dissolved form) DOM ที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติมีแหล่งที่มาจากหลายแหล่ง ส่วนหนึ่งจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การระบายน้ำทิ้งจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม กิจกรรมการเกษตร (ฟาร์มปศุสัตว์ นาข้าว บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) หรือมาจากการชะล้าง DOM จากซากพืช ซากสัตว์ที่ถูกย่อยสลายบนแผ่นดินโดยน้ำฝน (water runoff) อีกส่วนหนึ่งจะมาจากกระบวนการตามธรรมชาติ (autochthonous) เช่น การปลดปล่อยจากสิ่งมีชีวิต เช่น แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์น้ำ รวมทั้งการชะละลาย (Leaching) ซึ่งการชะละลายเป็นกระบวนการที่น้ำซึมผ่านเข้าไปและนำพาเอาสารต่าง ๆ ละลายออกมาภายนอก ในแหล่งน้ำธรรมชาติ DOM มีบทบาทสำคัญหลายด้าน Ogawa & Tanoue (2003) ระบุว่า DOM เป็นแหล่งพลังงานของแบคทีเรียในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ DOM ยังมีอิทธิพลต่อวัฏจักรชีวธรณีเคมีในแหล่งน้ำ (Biogeochemical Cycle) รวมทั้งปริมาณและความเป็นพิษของโลหะหนักในแหล่งน้ำ Anderson *et al.* (2008) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณ DOM ในแหล่งน้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเกิดปรากฏการณ์การเพิ่มจำนวนของสาหร่ายที่เป็นอันตราย (Harmful Algal Blooms) อย่างไรก็ตาม Fellman *et al.* (2010) ระบุว่าบทบาทของ DOM ในแหล่งน้ำ เช่น การเกิดปฏิกริยาระหว่าง DOM กับสารอื่น อัตราการสลายตัว หรือบทบาทในระบบนิเวศ จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของ DOM นั้น

ป่าชายเลน (Mangrove) เป็นป่าที่อยู่ระหว่างทะเลและแผ่นดิน ป่าชายเลนมีความสำคัญต่อมนุษย์และระบบนิเวศหลายประการ เช่น ป่าชายเลนเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำขนาดเล็ก บรรเทาความรุนแรงของคลื่นลม ดักกรองสิ่งต่างๆ จากบนแผ่นดิน (Kathiresan, 2012) นอกจากนี้ป่าชายเลนยังเป็นแหล่งเก็บกักและปลดปล่อยธาตุอาหารของระบบนิเวศ โดยต้นไม้ในป่าชายเลนจะดูดซึมธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตไปใช้ในการสร้างใบ กิ่ง ลำต้น ราก และปลดปล่อยธาตุเหล่านั้นกลับคืนสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อเศษซากพืชร่วงหล่นลงสู่พื้นดินผ่าน 3 กระบวนการ ได้แก่ การชะละลาย การผุพัง (Weathering) และการกระทำจากสิ่งมีชีวิต (Biological action) โดยเศษซากพืชที่ร่วงหล่นมากกว่าร้อยละ 60 เป็นส่วนของใบ (Wafar *et al.*, 1997, Dittmar *et al.*, 2006, Fernando & Bandeira, 2009, Shank *et al.*, 2010a) รายงานว่าป่าชายเลนเป็นแหล่งปลดปล่อยสารอินทรีย์ให้กับแหล่งน้ำที่สำคัญแหล่งหนึ่ง โดยจากการประเมินพบว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ถูกปลดปล่อยออกจากป่าชายเลนมีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับส่วนที่ถูกปลดปล่อยจากกิจกรรมบนแผ่นดิน (Land-based activities) ทั้งหมด อย่างไรก็ตามข้อมูลลักษณะของสารอินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะของ DOM ที่ปลดปล่อยจากป่าชายเลนซึ่งมีความสัมพันธ์กับบทบาทในสิ่งแวดล้อมยังมีไม่มากนัก

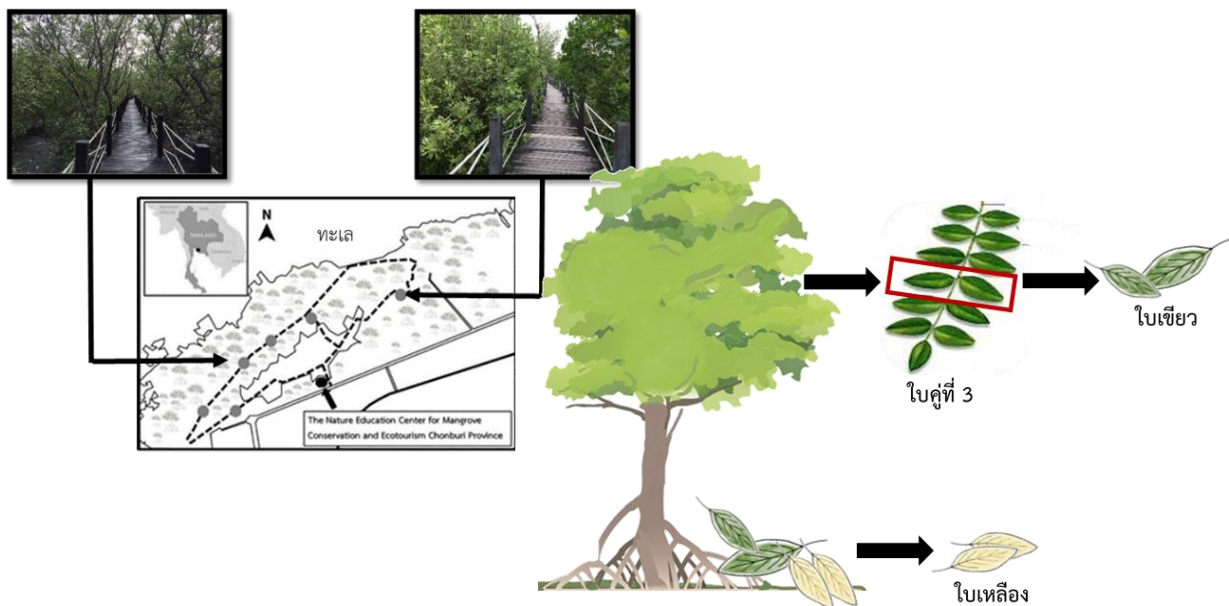
เทคนิค Fluorescence excitation-emission matrix (FEEM) spectroscopy ที่อาศัยหลักการที่อิเล็กตรอนภายในโมเลกุลของสารจะเปลี่ยนไปสู่ระดับชั้นที่มีพลังงานสูงขึ้น (excited state) เมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงานที่เหมาะสม และจะปล่อยพลังงานออกมาเพื่อกลับเข้าสู่สถานะพื้น (ground state) โดยระดับของพลังงานที่กระตุ้น (excitation) และปล่อยออก (emission) จะมีความเฉพาะเจาะจงกับโครงสร้างโมเลกุลของสารนั้น ซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้ในการระบุองค์ประกอบของ

DOM ในตัวอย่างหลายประเภท เช่น การศึกษาลักษณะและความผันแปรของ DOM ในแหล่งน้ำ และน้ำทิ้งจากกิจกรรมของมนุษย์ การระบุแหล่งที่มาของ DOM ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม (Coble *et al.*, 1998, Baker, 2002a, 2002b, Nagao *et al.*, 2003, Sasaki *et al.*, 2005, Stedmon & Markager, 2005, Suksomjit *et al.*, 2009, Fellman *et al.*, 2010) การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของ DOM ที่ปลดปล่อยจากเศษซากพืชในป่าชายเลนโดยการชะละลาย ด้วยเทคนิค FEEM Spectroscopy โดยเลือกใช้ใบไม้ของต้นแสมขาว (*Avicennia alba*) สองช่วงอายุเป็นตัวแทน ข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้เราทราบถึงลักษณะของ DOM ที่ปลดปล่อยจากใบไม้ในป่าชายเลน รวมทั้งความแตกต่างของลักษณะและปริมาณของ DOM ระหว่างใบไม้สองช่วงอายุ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างภาคสนาม

ผู้เก็บตัวอย่างใบแสมขาว ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดชลบุรี (ภาพที่ 1) โดยเก็บใบไม้สองช่วงอายุ ได้แก่ ใบเหลือง (ใบที่ร่วงหล่น) และใบเขียว (ใช้ใบคู่ที่ 3 ที่ติดอยู่กับกิ่งบนลำต้น) คัดเฉพาะใบไม้ที่มีขนาดใกล้เคียงกันสำหรับใช้ทำการทดลอง เก็บตัวอย่างใบไม้ทั้งหมดในที่มืด ชื้น และเย็นระหว่างขนส่ง กลับมายังห้องปฏิบัติการนิเวศวิทยาทางทะเล สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงจุดเก็บและวิธีการเก็บตัวอย่างใบไม้ ภายในศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนฯ



2. การศึกษาการชะละลาย

นำไปไม้ (ใบเหลือง หรือใบเขียว) ที่เก็บได้ทั้งหมดมารวมกัน คัดเฉพาะใบไม้ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมาใช้ทำการทดลอง สุ่มแบ่งตัวอย่างใบไม้แต่ละช่วงอายุออกเป็น 15 ชุด โดยน้ำหนักใบไม้แต่ละชุดต้องแตกต่างกันไม่เกิน ± 0.5 กรัม บันทึกร้าน้ำหนัก และนำไปไม้แต่ละชุดใส่ในขวดแก้วที่ผ่านการล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ออกแล้วและมีน้ำทะเลธรรมชาติ (กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C เพื่อกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก) ที่เติมสาร NaN_3 (1%) เพื่อควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำระหว่างทำการทดลอง ตามวิธีของ Davis *et al.* (2003) ก่อนนำขวดแก้วที่มีใบไม้แช่อยู่ไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ที่กำหนด อุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 30 ± 0.5 องศาเซลเซียส และไม่สัมผัสแสงตลอดระยะเวลาการทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างครั้งละ 3 ขวด ในวันที่ 1, 2, 5, 10, และ 21 ของการทดลอง กรองตัวอย่างน้ำแช่ใบไม้แต่ละขวดทันทีด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Whatman GF/F) ขนาด 47 มิลลิเมตร (ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่อาจตกค้างอยู่บนกระดาษกรอง) เก็บตัวอย่างน้ำที่กรองได้ในขวดแก้วสีชาและนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป นำใบไม้ที่เหลืออยู่ไปตรวจวัดหาปริมาณสารอินทรีย์รวม โดยวิธี Ignition Loss ก่อนนำไปเปรียบเทียบหาปริมาณสารอินทรีย์ในใบไม้ที่เปลี่ยนแปลงไป

3. การศึกษาลักษณะของสารอินทรีย์ละลายน้ำ

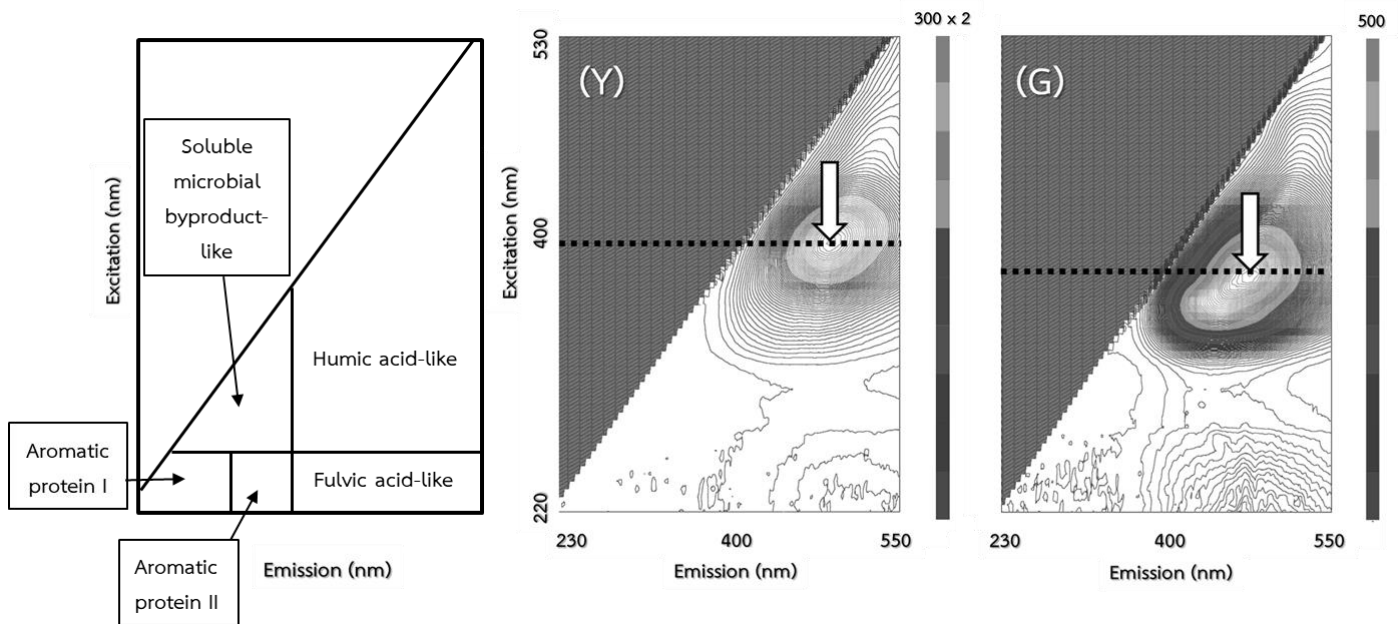
ตรวจวัดลักษณะของ DOM ในตัวอย่างน้ำแช่ใบไม้ที่กรองได้ และน้ำทะเลธรรมชาติที่ใช้ทำการทดลอง ด้วยเครื่อง JASCO Spectrofluorometer รุ่น FP-6200 โดยตั้งค่าความยาวคลื่น excitation และ emission ระหว่าง 220-550 นาโนเมตร ตั้งค่า Band Width ที่ 5 นาโนเมตร และกำหนดความเร็วในการตรวจวัด 1,000 นาโนเมตรต่อวินาที ใช้คิวเวตต์ที่ทำจาก quartz ขนาด 1 เซนติเมตร ในการตรวจวัด ใช้น้ำ Milli-Q เป็น blank และใช้สารละลาย Quinine sulfate dihydrate (Wako) เข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ใน $0.05 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ ในการตรวจสอบสถานะของเครื่องมือตามวิธีการของ Nagao *et al.* (1997) ค่าที่ตรวจวัดได้จะถูกนำมาสร้างเป็น 3-dimension excitation emission (3D-EEM) ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัม โดยแกน x แทนค่า emission และแกน y แทนค่า excitation มีหน่วยเป็นนาโนเมตร (nm) สำหรับแกน z แทนค่าความเข้ม (Fluorescence intensity, FI, ไม่มีหน่วย) ที่ตรวจวัดได้ ระบุตำแหน่งของ Peak โดยพิจารณาจากตำแหน่งที่มีค่า FI สูงสุดที่ปรากฏบน 3D-EEM ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัม โดยรายงานเป็นค่า excitation และ emission (ex./em.)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ระบุชนิดของ DOM ที่พบในตัวอย่างน้ำทั้งหมดโดยเปรียบเทียบตำแหน่งของ Peaks ที่ปรากฏในตัวอย่างกับตำแหน่งของ Peaks ของสารต่างๆ ที่เคยมีการรายงานไว้ในการศึกษาในอดีต

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า 3D-EEM ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมของน้ำทะเลธรรมชาติที่นำมาใช้ทำการทดลอง (เก็บจากหน้าสถานีวิจัยประมงศรีราชา จังหวัดชลบุรี) มี Peaks ปรากฏที่ตำแหน่ง 300/337 นาโนเมตร และเมื่อนำไบโสมขาวทั้งสองช่วงอายุแช่ในน้ำทะเลดังกล่าวพบว่า 3D-EEM ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำทะเลแช่ไบโสมขาว ทั้งไบเหลืองและไบเขียว มี Peaks ปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งใหม่ โดยอยู่ในช่วงความยาวคลื่นสูงกว่าเดิม



ภาพที่ 2 ภาพจำลองแสดงสาร DOM ที่แบ่งตามตำแหน่งของ Peaks ตาม Chen *et al.* (2003) และ 3D-EEM ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำทะเลแช่ไบโสมขาวนาน 21 วัน (Y) ไบเหลือง (G) ไบเขียว ลูกศรแสดงตำแหน่งของ Peaks

ในส่วนของคุณสมบัติของ DOM ที่ถูกชะละลายออกมา ผลการศึกษาพบว่า 3D-EEM ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำทะเลแช่ไบโสมขาว ไบเหลือง มี Peaks ปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยอยู่ที่ตำแหน่ง 390/479-482 (แช่นาน 1 วัน), 385-395/479-485 (แช่นาน 2 วัน), 395/486-489 (แช่นาน 5 วัน), 395-400/488-490 (แช่นาน 10 วัน), 395-400/488-492 (แช่นาน 21 วัน) นาโนเมตร ในส่วนของตัวอย่างน้ำทะเลแช่ไบโสมขาว ไบเขียว มี Peaks ปรากฏอยู่ในตำแหน่งที่ความยาวคลื่นที่สั้นกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับไบเหลือง และส่วนใหญ่มีตำแหน่งใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยอยู่ที่ตำแหน่ง 375 /475-480 (แช่นาน 1 วัน), 370/461-471 (แช่นาน 2 วัน), 345-364/441-449 (แช่นาน 5 วัน), 365/451-453 (แช่นาน 10 วัน), 375-380/469-475 (แช่นาน



21 วัน) นาโนเมตร ดังแสดงตัวอย่างตามภาพที่ 2 ซึ่งสรุปได้ว่าลักษณะของ DOM ที่ถูกชะละลายจากใบผสมขาวทั้งใบเหลืองและใบเขียวไม่มีความแตกต่างกัน

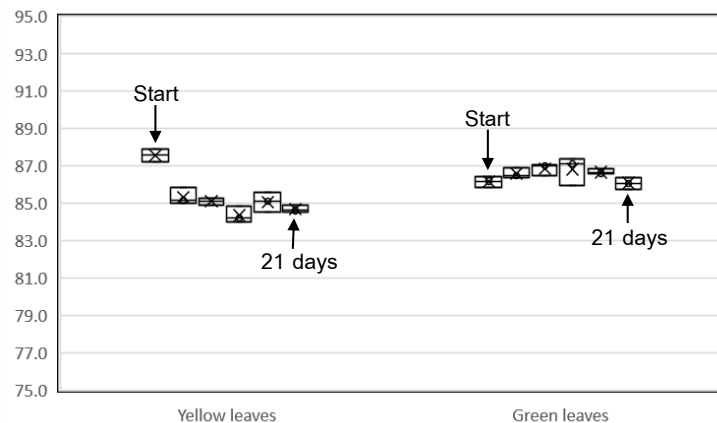
เมื่อนำตำแหน่งของ Peaks ที่ปรากฏเปรียบเทียบกับตำแหน่งของ Peaks ของสารต่างๆ ตามรายงานการศึกษาของ Chen *et al.* (2003) ที่ได้จัดกลุ่ม DOM ตามตำแหน่งของ Peaks ที่ปรากฏบน 3D-EEM ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัม พบว่า DOM ที่ถูกชะละลายออกจากใบผสมขาวทั้งสองช่วงอายุจัดอยู่ในกลุ่ม Humic acid-like ซึ่ง Coble (1996) ระบุว่าใช้เช่นเดียวกันว่าน้ำทะเลที่ Humic acid ปะปนอยู่จะมี Peaks ปรากฏบน 3D-EEM ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมที่ตำแหน่ง 350/420-480 นาโนเมตร Baker (2002) ระบุว่าน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ที่มี Humic acid ปนเปื้อนอยู่จะมี Peaks ปรากฏที่ตำแหน่ง 370-390/460-480 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามเมื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับรายงานการศึกษาของ Maie *et al.* (2007 และ 2008) กลับพบว่า Peaks สำคัญที่พบในการศึกษาครั้งนี้มีตำแหน่งใกล้เคียงกับ Peaks ที่ปรากฏของตัวอย่างน้ำกลั่นและตัวอย่างน้ำทะเลธรรมชาติเดิมสารแทนนินที่สกัดจากใบต้นโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mangle*) ที่มี peak ปรากฏที่ตำแหน่ง 365-375/461-475 และ 370-385/470-479 นาโนเมตร ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของ DOM ที่ถูกชะละลายออกจากใบผสมขาวทั้งสองช่วงอายุ โดยพิจารณาจากค่าความเข้ม (FI) ของ Peaks ที่ปรากฏ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของ DOM ที่ถูกชะล้างออกจากใบผสมขาวใบเหลืองมีค่ามากกว่าใบเขียวตลอดระยะเวลาการศึกษา โดยมีค่า FI อยู่ในช่วง 90.8 – 183.4 ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ปริมาณของ DOM ที่ถูกชะล้างออกจากใบผสมขาวใบเขียว มีค่า FI อยู่ในช่วง 43.4 – 50.3 ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 1) และเมื่อพิจารณาปริมาณของ DOM ที่ถูกชะละลายออกจากใบผสมขาวตลอดระยะเวลาการศึกษานาน 21 วัน พบว่ารูปแบบการชะละลาย DOM ออกจากใบผสมขาวทั้งสองช่วงอายุไม่มีความแตกต่างกัน โดยปริมาณของ DOM ที่ถูกชะละลายจากใบไม้ทั้งสองช่วงอายุจะมีค่าสูงสุดเมื่อแช่ใบไม้ในน้ำทะเลนาน 1 วัน หลังจากนั้นจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเมื่อใบไม้ของต้นผสมขาวร่วงหล่นหรือตกลงสู่ น้ำ DOM ที่สะสมอยู่ในใบไม้จะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 1 ปริมาณของ DOM ที่ถูกชะล้างออกจากใบผสมขาวใบเหลือง และใบเขียว ที่เวลาต่างๆ

Day	Yellow leaves			Green leaves		
	Excitation (nm)	Emission (nm)	FI (g ⁻¹ DW)	Excitation (nm)	Emission (nm)	FI (g ⁻¹ DW)
1	390	479-482	150.36-183.46	375	475-480	46.35-50.33
2	385-395	479-485	130.59-157.25	370	461-471	43.42-49.87
5	395	486-489	116.18-131.74	345-364	441-449	44.54-47.20
10	395-400	488-490	106.67-116.62	365	451-453	45.12-47.64
21	395-400	488-492	90.88-117.82	375-380	469-475	43.76-48.77

ในส่วนของปริมาณสารอินทรีย์รวมในใบผสมขาวทั้งใบเหลืองและใบเขียว พบว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมในใบไม้ทั้งสองช่วงอายุที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลจะมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์รวมในใบผสมขาวเมื่อเริ่มต้นทำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอินทรีย์รวมในใบผสมขาวหลังจากแช่ในน้ำทะเลนาน 21 วัน มีค่าเท่ากับร้อยละ 84.68 สำหรับใบเหลือง และร้อยละ 86.07 สำหรับใบเขียว (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ปริมาณสารอินทรีย์รวม (%) ในใบไม้เมื่อเริ่มต้น และหลังจากแช่ในน้ำทะเลนาน 1 ถึง 21 วัน

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้พบความแตกต่างระหว่าง 3D-EEM ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำทะเลธรรมชาติที่นำมาใช้ทำการทดลองที่มี DOM กลุ่ม soluble microbial by-product ที่พบได้ในแหล่งน้ำทะเลธรรมชาติใกล้แหล่งชุมชนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (Suksomjit *et al.*, 2016) และน้ำทะเลแช่ใบผสมขาวทั้งสองช่วงอายุ แสดงให้เห็นว่ามี DOM ถูกน้ำทะเลชะละลายออกจากใบของต้นผสมขาว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Shank *et al.* (2010a) ที่รายงานการพบ DOM ในตัวอย่างน้ำทะเลแช่ใบต้นโกงกางใบใหญ่สามช่วงอายุ ได้แก่ ใบเหลือง ใบส้ม และใบน้ำตาล นานระหว่าง 2-48 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเศษซากพืชในป่าชายเลนเป็นแหล่งปลดปล่อย DOM ออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอีกแห่งหนึ่ง นอกเหนือจากการปลดปล่อยผ่านการระบายน้ำทิ้งที่มี DOM ปะปนอยู่จากกิจกรรมของมนุษย์ การชะล้างโดยน้ำฝน และกระบวนการตามธรรมชาติอื่น

ในส่วนของคุณสมบัติของ DOM ที่ถูกชะละลายจากใบผสมขาว ที่ศึกษาโดยใช้เทคนิค FEEM Spectroscopy พบว่า DOM ที่ถูกชะละลายออกจากใบผสมขาวทั้งใบเหลืองและใบเขียวตลอดระยะเวลาการศึกษา มีลักษณะใกล้เคียงกับ Peaks ที่ปรากฏในตัวอย่างน้ำกลั่นเติมสารแทนนินที่สกัดจากใบต้นโกงกางใบใหญ่ใบเหลือง ตามรายงานการศึกษาของ Maie *et al.* (2007) และ Peaks ที่ปรากฏในตัวอย่างน้ำทะเลธรรมชาติเติมสารแทนนินที่สกัดจากใบต้นโกงกางใบใหญ่เช่นเดียวกัน ตามรายงานการศึกษาของ Maie *et al.* (2008) โดย Peaks ที่ปรากฏในน้ำตัวอย่างที่เก็บในที่มีดปราศจากแสง ตลอดระยะเวลาการ



ทดลองนาน 7 และ 28 วัน อยู่ที่ตำแหน่ง 365-375/461-475 และ 370-385/470-479 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า DOM ที่ถูกชะละลายจากใบแสมขาวทั้งใบเหลืองและใบเขียวมีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสารแทนนินเป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ และพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืชกลุ่มที่มีท่อลำเลียง (Vascular Plant) นอกจากนี้ Wisespongpan et al. (2012) ยังระบุว่าสารแทนนินเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลที่สามารถพบได้ในพืชทะเลทุกชนิด เช่น หญ้าทะเล สาหร่ายทะเล รวมทั้งพรรณไม้ในป่าชายเลน

อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบ DOM ชนิดอื่นถูกชะละลายออกจากใบแสมขาว แตกต่างจากรายงานการศึกษาของ Shank et al. (2010a) ที่พบ Peaks สำคัญปรากฏบน 3D-EEM ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำทะเลธรรมชาติแช่ใบโกงกางใบใหญ่นาน 5 ชั่วโมง ที่ตำแหน่ง 220-275/357-563 นาโนเมตร และพบ Peaks ย่อยอีก 3 ตำแหน่ง ได้แก่ 287-337/395-445, 320-370/435-485 และ 250-300/305-355 นาโนเมตร ซึ่ง DOM ดังกล่าวมีลักษณะจัดอยู่ในสารกลุ่ม Marine Humic-like Terrestrial fulvic และ Protein-like ตามลำดับ ความแตกต่างดังกล่าวคล้ายคลึงกับผลการศึกษาของ Adam et al. (2015) ที่พบความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของ DOM ที่ถูกชะละลายจากใบของต้นฝ้ายต่างสายพันธุ์ ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวจะมีผลต่อบทบาทของ DOM ที่ปลดปล่อยจากพรรณไม้แต่ละชนิดในสิ่งแวดล้อม Maie et al. (2006) ระบุว่าความแตกต่างของลักษณะของ DOM จะส่งผลกระทบต่อหน้าที่ และการเกิดปฏิกิริยา (Reactivity) ของ DOM ในสิ่งแวดล้อม เช่น DOM กลุ่มโปรตีนจะเป็นสารกลุ่มที่ถูกสิ่งมีชีวิตอื่นนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย (bioavailable) ในขณะที่สารประกอบฟีนอลิกจะมีความคงตัวมากกว่า เช่นเดียวกับการศึกษาของ Shank et al. (2010b) ที่ทำการศึกษาความแตกต่างของค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวด้วยแสง (Photobleaching half-life) ของ DOM ที่ชะละลายจากใบของต้นโกงกางใบใหญ่ และพบว่า DOM กลุ่ม Protein-like และ Terrestrial fulvic ที่ถูกชะละลายจากใบของต้นโกงกางใบใหญ่จะมีค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวด้วยแสงน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารกลุ่มอื่น เช่น Marine Humic-like

เมื่อพิจารณาปริมาณของ DOM ที่ถูกชะละลายออกจากใบแสมขาวทั้งสองช่วงอายุ พบว่าปริมาณของ DOM ที่ถูกชะล้างออกจากใบแสมขาวใบเหลืองมีค่ามากกว่าใบเขียวตลอดระยะเวลาการศึกษา สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Wisespongpan et al. (2012) ที่ศึกษาปริมาณสารแทนนินในใบไม้ของพรรณไม้ในป่าชายเลน 22 ชนิด พร้อมทั้งเปรียบเทียบปริมาณแทนนินในใบไม้ตามช่วงอายุต่างๆ ได้แก่ ใบเขียว ใบเหลือง ใบน้ำตาล และพบว่าปริมาณสารแทนนินในใบโกงกางใบใหญ่ โกงกางใบเล็ก และแสมดำ จะมีความแตกต่างกันตามช่วงอายุ โดยใบเหลืองจะมีปริมาณแทนนินสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบในช่วงอายุอื่น เช่น ปริมาณสารแทนนินในใบแสมดำ (*A. officinalis*) ใบเหลืองมีค่าร้อยละของสารแทนนินเท่ากับ 7.90 ± 0.86 ในขณะที่ใบเขียวมีค่าต่ำกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 5.06 ± 0.34 และปริมาณสารแทนนินใบน้ำตาลมีค่าต่ำสุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.75 ± 0.85 ซึ่งปริมาณสารแทนนินในใบที่มีค่าต่ำในใบอ่อน (ใบเขียว) และมีค่าสูงขึ้นในใบแก่ (ใบเหลือง) ก่อนที่จะมีค่าลดต่ำที่สุดในใบที่ร่วงหล่น (ใบน้ำตาล) เป็นกระบวนการสะสมสารที่พืชสร้างขึ้นเพื่อป้องกันการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และ



การถูกกินโดยสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ และจะมีปริมาณลดลงเพื่อให้อำนาจให้สิ่งมีชีวิตอื่นใช้ประโยชน์จากใบที่ร่วงหล่นได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Shank *et al.* (2010a) ที่พบว่าปริมาณ DOM ที่ถูกชะละลายจากใบต้นโกงกางใบใหญ่ใบเหลือง มีค่าสูงกว่าใบส้ม และใบน้ำตาล ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเป็นผลมาจากปริมาณ DOM ที่สะสมในใบไม้แต่ละช่วงอายุ ที่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเศษซากของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนจะเป็นแหล่ง DOM ที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง โดยมีการปลดปล่อย DOM ออกจากใบเสมขาวซึ่งเป็นหนึ่งในพรรณไม้สำคัญในป่าชายเลนของประเทศไทย ทั้งใบเหลืองและใบเขียวผ่านกระบวนการชะละลาย โดยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 1 วัน ในส่วนของลักษณะของ DOM ที่ถูกชะละลาย ออกจากใบเสมขาวทั้ง 2 ช่วงอายุ มีความคล้ายคลึงกับสารแทนนินที่สกัดจากใบต้นโกงกางใบใหญ่ อย่างไรก็ตามปริมาณ DOM ที่ปลดปล่อยจากใบไม้สองช่วงอายุกลับมีความแตกต่างกัน โดยปริมาณ DOM ที่ถูกชะละลายจากใบเหลืองมีค่ามากกว่าใบเขียว นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างขององค์ประกอบของ DOM ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้กับข้อมูลของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนชนิดอื่น เช่น ต้นโกงกางใบใหญ่ ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อบทบาทและการเกิดปฏิกิริยาของ DOM ในสิ่งแวดล้อม เช่น การเป็นแหล่งพลังงานของแบคทีเรียในแหล่งน้ำ หรือบทบาทในวัฏจักรชีวธรณีเคมีในแหล่งน้ำ

เอกสารอ้างอิง

Adam, S.W., Zacchaeus, G.C., William, H.M., Jody, D.P., Bruce, A.H., Thomas, G.W. & Jane, C.M. (2015).

Leaf-litter leachate is distinct in optical properties and bioavailability to stream heterotrophs.

Freshwater Science, 34(3), 000-000.

Anderson, D.M., Burkholder, J.M., Cochlan, W.P., Glibert, P.M., Gobler, C.J., Heil, C.A., Kudela, R.M.,

Parsons, M.L., Rensel, J.E., Townsend, J.D.W., Trainer, V.L. & Vargo, G.A. (2008). Harmful algal blooms and eutrophication: Examining linkages from selected coastal regions of the United States. *Harmful*

Algae, 8, 39-53.

Baker, A. (2002a). Fluorescence properties of some farm wastes: implications for water quality monitoring.

Water Research, 36, 189–195.

Baker, A. (2002b). Fluorescence Excitation-Emission Matrix Characterization of River Waters Impacted by a

Tissue Mill Effluent. *Environmental Science and Technology*, 36, 1377-1382.



- Chen, W., Westerhoff, P., Leenheer, J.A. & Booksh, K. (2003). Fluorescence Excitation-Emission Matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter. *Environmental Science and Technology*, 37, 5701-5710.
- Coble, P.G. (1996). Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission Matrix spectroscopy. *Marine Chemistry*, 51, 325–346.
- Coble, P.G., Castillo, C.E.D. & Avril, B. (1998). Distribution and optical properties of CDOM In The Arabian Sea during the 1995 Southwest Monsoon. *Deep-Sea Research II*, 45, 2195–2223.
- Davis, S.E., Corronado-Molina, C., Childers, D.L., & Day, J.W. Jr. (2003). Temporally dependent C, N, and P dynamics associated with the decay of *Rhizophora mangle* L. leaf litter in oligotrophic mangrove wetlands of the Southern Everglades. *Aquatic Botany*, 75, 119-215.
- Dittmar, T., Hertkorn, N., Kattner, G. & Lara, R.J. (2006). Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. *Global Biogeochemical Cycles*, 20, 1-7.
- Fellman, J.B., Hood, E. & Spencer, R.G.M. (2010). Fluorescence spectroscopy opens new windows into dissolved organic matter dynamics in freshwater ecosystems: A review. *Limnology and Oceanography*, 55, 2452-2462.
- Fernando, S.M.C. & Bandeira, S.O. (2009). Litter fall and decomposition of mangrove species *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata* in Maputo Bay, Mozambique. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 8(2), 173-182.
- Kathiresan, K. (2012). Importance of Mangrove Ecosystem. *International Journal of Marine Science*, 2(10), 70-89.
- Maie, N., Jaffe, R., Miyoshi, T. & Childers, D. (2006). Quantitative and qualitative aspects of dissolved organic carbon leached from senescent plants in an oligotrophic wetland. *Biogeochemistry*, 78, 285–314.



Maie, N., Pisani, O. & Jaffe, R. (2008). Mangrove tannins in aquatic ecosystems: Their fate and possible influence on dissolved organic carbon and nitrogen cycling. *Limnology Oceanography*, 53(1), 160–171.

Maie, N., Scully, N.M., Pisani, O. & Jaffe, R. (2007). Composition of a protein-like fluorophore of dissolved organic matter in coastal wetland and estuarine ecosystems. *Water Research*, 41, 563-570.

Nagao, S., Suzuki, Y., Nakaguchi, Y., Senoo, M. & Hiraki, K. (1997). Direct measurement of the Fluorescence characteristics of aquatic humic substances by a three-dimensional fluorescence spectrometer. *Bunseki Kagaku*, 46, 335–342.

Nagao, S., Matsunaga, T., Suzuki, Y., Ueno, T. & Amano, H. (2003). Characteristics of humic substances in the Kuji River waters as determined by high-performance size exclusion chromatography with fluorescence detection. *Water Research*, 37, 4159–4170.

Ogawa, H. & Tanoue, E. (2003). Dissolved Organic Matter in Oceanic Waters. *Journal of Oceanography*, 59, 129-147.

Sasaki, H., Miyamura, T., Saitoh, S. & Ishizaka, J. (2005). Seasonal variation of absorption of particles and colored dissolved organic matter (CDOM) in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64, 447–458.

Shank, G.C., Lee, R., Vähätalo, A., Zepp, R.G., & Bartels, E. (2010a). Production of chromophoric dissolved organic matter from mangrove leaf litter and floating Sargassum colonies. *Marine Chemistry*, 119, 172–181.

Shank, G.C., Zepp, R.G., Vähätalo, A., Lee, R. & Bartels, E. (2010b). Photobleaching kinetics of chromophoric dissolved organic matter derived from mangrove leaf litter and floating Sargassum colonies. *Marine Chemistry*, 119, 162–171.

Stedmon, C.A. & Markager, S. (2005). Tracing the production and degradation of autochthonous fractions of dissolved organic matter by fluorescence analysis. *Limnology and Oceanography*, 50, 1415–1426.



- Suksomjit, M., Nagao, S., Ichimi, K., Yamada, T. & Tada, K. (2009). Variation of Dissolved Organic Matter and Fluorescence Characteristics before, during and after Phytoplankton Bloom. *Journal of Oceanography*, 65, 835-846.
- Suksomjit, M., Vichkovitten, T. & Phunark, K. (2016). Study of characteristics of dissolved organic matter in Mae Klong River using fluorescence spectroscopy. In *Proceeding of the 54th Kasetsart University Annual Conference*. (pp. 1131-1138). Kasetsart University. (in Thai)
- Wafar, S., Untawale, A.G., & Wafar, M. (1997). Litter Fall and Energy Flux in a Mangrove Ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44, 111-124.
- Wispongpan, P., Prommas, R., Kanthawong, A. & Srichomngam, W. (2012). The amount of tannin in different parts of mangroves. In *Proceeding of the 50th Kasetsart University Annual Conference*. (pp. 470-479). Kasetsart University. (in Thai)