การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในหอยนางรมธรรมชาติบริเวณป่าชายเลนของจังหวัดระยอง

Contamination of microplastics in natural oysters (*Saccostrea commercialis*) in the mangrove forests of Rayong Province

ธนภูมิ กลัดสุวรรณ[1*], ภานุช หงษ์สวัสดิ์[2] และ พนิดา ปรารัตน์[3]

Thanapoom Kludsuwan[1*], Parnuch Hongsawat[2] and Panida Prarat[3]

[1] นักศึกษาระดับปริญญาโท, สาขากระบวนการอุตสาหกรรมเคมี และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ พลังงาน และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

[1] Graduate student, Department of Chemical Industrial Process and Environment, Faculty of Science, Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology North Bangkok Rayong Campus

[2] รองศาสตราจารย์, สาขากระบวนการอุตสาหกรรมเคมี และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ พลังงาน และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

[2] Associate Professor, Department of Chemical Industrial Process and Environment, Faculty of Science, Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology North Bangkok Rayong Campus

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขากระบวนการอุตสาหกรรมเคมี และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ พลังงาน และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

[3] Assistant Professor, Department of Chemical Industrial Process and Environment, Faculty of Science, Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology North Bangkok Rayong Campus

[*]**Corresponding author, E-mail:** s6413011810023@email.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในอาหารทะเลเป็นเรื่องที่น่ากังวลอย่างมาก เนื่องจากมีผลกระทบต่อความปลอดภัยของอาหาร และอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในหอยสองฝาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ได้แก่ หอยนางรม (*Saccostrea Commercialis*) ในธรรมชาติบริเวณป่าชายเลนของชายฝั่งจังหวัดระยอง ได้แก่ ป่าชายเลนบริเวณคลองลาวน ตำบลชากโดน (LV) และป่าชายเลนศูนย์การเรียนรู้(ศูนย์การเรียนรู้วิถีประมง ตำบลเนินฆ้อ) ตำบลเนินฆ้อ (NK) จากการศึกษาพบว่า ปริมาณไมโครพลาสติกโดยเฉลี่ยที่พบในตัวอย่างหอยนางรมอยู่ในช่วงระหว่าง 3.86 ถึง 4.39 อนุภาค/กรัมน้ำหนักเปียก และ 7.70 ถึง 10.87 อนุภาค/ตัว โดยปริมาณของไมโครพลาสติกที่พบในป่าชายเลน LV และ NK มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p value < 0.01) รูปร่างไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมของป่าชายเลน LV มากที่สุดคือรูปร่างเส้นใย (Fiber) แตกต่างจากป่าชายเลน NK ที่พบรูปร่างชิ้นส่วน (Fragment) มากที่สุด ไมโครพลาสติกที่พบส่วนใหญ่ในป่าชายเลยทั้ง 2 หาง มีสีดำและสีฟ้ามากที่สุด และมีขนาดเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตร จากการตรวจสอบ

ประเภทพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกด้วยเทคนิค μ-FTIR พบพอลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีน (Polyethylene) มากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าหอยนางรมบริเวณป่าชายเลนจังหวัดระยองที่ตั้งอยู่ในประเทศไทยมีการปนเปื้อนไมโครพลาสติก และข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ปริมาณการได้รับการสัมผัส และประเมินค่าความเสี่ยงของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในหอยที่นิยมบริโภค เพื่อใช้เป็นความรู้ความเข้าใจสำหรับการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของมนุษย์

คำสำคัญ: ไมโครพลาสติก, หอยนางรม, ป่าชายเลน, ระยอง

Abstract

Microplastic contamination in seafood has been a considerable concern due to its impact on food safety and its potential to harm human health. This study aimed to investigate the presence of microplastics in economically important bivalve species: oysters (*Saccostrea commercialis*). These oyster samples were collected from the wild environment of two mangrove sites located in Rayong province, namely Lavon Canal Mangrove, Chak Don Subdistrict (LV), and the mangrove forest in the Fisheries Learning Center, Noen Kho Subdistrict (NK). The average abundance of microplastics in the oyster samples ranged from 3.86 to 4.39 particles/gram-wet weight and 7.70 to 10.87 particles/individual. There was a significant difference in microplastic abundance among the different sampling sites (p value < 0.01). The predominant shape of the microplastics in LV mangrove was fiber, while a fragment was the predominant shape found in NK mangrove, with colors of black and blue. The size of the microplastics discovered was less than 0.25 mm. According to the polymer analysis by μ-FTIR, polyethylene (PE) was the most prevalent type detected in oysters. The information obtained from this research can be used to analyze the amount of exposure and evaluate the risk of microplastic contamination in commonly consumed shellfish species, to be used for understanding human health risk assessment.

Keywords: Microplastics, Oysters, Mangrove, Rayong

บทนำ

ปัญหามลพิษทางทะเลที่เกิดจากไมโครพลาสติก (Microplastic) ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก (Fang et al., 2019; Seltenrich, 2015) เนื่องจากมีรายงานว่าผลกระทบของไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มที่เกิดขึ้นได้จากการดูดซับหรือการสะสมของสารพิษบนไมโครพลาสติก เช่น สารกลุ่มพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic

Hydrocarbons, PAHs) สารเหล่านี้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จึงทำให้สามารถเกิดการดูดซับและการคายซับโดยไมโครพลาสติกได้ดี รวมทั้งสามารถเกิดการสะสมในชั้นไขมันและเซลล์ของสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation) นอกจากนี้ไมโครพลาสติกยังสามารถดูดซับสารอนินทรีย์จำพวกโลหะหนักเช่นเดียวกัน เช่น ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) สังกะสี (Zn) และปรอท (Hg) เป็นต้น (Deng et al., 2020) ซึ่งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์กลุ่มดังกล่าวเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตแม้ในระดับความเข้มข้นต่ำ และจากความเป็นพิษของสารดังกล่าวจึงทำให้ไมโครพลาสติกก่อให้เกิดความเสี่ยงด้านสุขภาพต่อมนุษย์เมื่อได้รับผ่านห่วงโซ่อาหาร (Desforges et al., 2015 ; Devriese et al., 2015; Fossi et al., 2016; Li et al., 2016; Li et al., 2022; Lusher et al., 2013)

ปัจจุบันมีรายงานตรวจพบการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมทั่วโลก ได้แก่ การปนเปื้อนในน้ำทะเล (Andrady, 2011) ตะกอนดิน (Van et al., 2013) แหล่งน้ำจืด (Fahrenfeld et al., 2019) และมีการรายงานการตรวจพบไมโครพลาสติกในสิ่งมีชีวิตทางทะเล (Daniel et al., 2021; Sparks et al., 2021; Ta et al., 2022) รวมทั้งในอาหารทะเลที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดอีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น ไมโครพลาสติกในหอยแมลงภู่ *Cerastoderma lamarcki* บริเวณอ่าวกอร์แกน ทะเลแคสเปียน มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 19.8 ชิ้น/กรัมน้ำหนักเปียก (Bagheri et al., 2020) ไมโครพลาสติกในหอยแครง *Tegillarca granosa* ที่ซื้อจากตลาดท้องถิ่นในเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน มีค่า 7 ชิ้น/กรัมน้ำหนักเปียก (Li et al., 2015) ในสัตว์น้ำที่มีเปลือกแข็งลักษณะเชิงพาณิชย์ (กุ้ง ปู และปลาหมึก) จากท่าเรือประมงของรัฐเกรละ ประเทศอินเดีย โดยมีค่าเฉลี่ย 2.7 ± 12 ชิ้น/กิโลกรัมของเนื้อที่บริโภคได้ (Daniel et al., 2021) นอกจากนี้ ยังพบไมโครพลาสติกในหอยนางรมที่วางขายในตลาด ภาคตะวันออกของประเทศไทย มีค่าเฉลี่ย 0.37 ± 0.57 ชิ้น/กรัม (Thushari et al., 2017)

ประเทศไทยจัดอยู่ในอันดับที่ 11 ของโลกที่ส่งออกพลาสติกมากที่สุด (Khanunthong, 2021) โดยมีขยะพลาสติกประมาณ 1.03 ล้านตันถูกทิ้งลงสู่สภาพแวดล้อมทางทะเลของประเทศไทย (Babel et al., 2020) ส่งผลให้ประเทศไทยเป็นผู้ปล่อยพลาสติกทางทะเลรายใหญ่อันดับที่ 10 ของโลก (Meijer et al., 2021) ประกอบกับจังหวัดบริเวณชายฝั่งทะเลในภาคตะวันออกของประเทศไทย เช่น จังหวัดระยองและลชลบุรี เป็นศูนย์กลางอุตสาหกรรมของประเทศไทยในโครงการระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ส่งผลให้การเพิ่มจำนวนประชากรจากการขยายพื้นที่ของเมือง และการเจริญของภาคการท่องเที่ยวก่อให้ให้เกิดการปนเปื้อนของพลาสติกตามแนวชายฝั่งของภาคตะวันออกมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่า บริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทยเป็นจุดรวมของมลพิษจากไมโครพลาสติก (Akkajit et al., 2021; Bissen and Chawchai, 2020; Prarat and Hongsawat, 2022; Vibhatabandhu and Srithongouthai, 2022; Wang et al., 2020) การศึกษาบางส่วนมีการรายงานเกี่ยวกับการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในหอยสองฝา เช่น หอยเสียบ *Donax* sp. และหอยกระปุก *Paphia* sp.) บริเวณชายหาดเจ้าหลาว และชายหาดคุ้งวิมาน จังหวัดจันทบุรี (Tharamon et al., 2016) หอยนางรม (Akkajit et al., 2023 ; Thushari et al., 2017) หอยแครง และหอยแมลงภู่จากฟาร์ม และ

ตลาด (Ta et al., 2022) นอกจากนี้มีการรายงานดัชนีความเสี่ยงด้านสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นในการบริโภครายวัน (Health Risk Assessment : HRA) จากการบริโภคหอยกาบ (*Marcia optima*) และหอยตะเกียง (*Lingula anatina*) ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก (Cd, Pb และ Zn) ในจังหวัดภูเก็ต ประเทศไทย (Akkajit et al., 2023) การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์จากทะเลอาจเป็นแหล่งที่มาสำคัญของการสัมผัสไมโครพลาสติกในมนุษย์

จากการสืบค้นข้อมูลการรายงานสถานการณ์การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในอาหารทะเลของประเทศไทยนั้นมีจำกัด และจากการศึกษาข้อมูลเชิงเปรียบเทียบชนิดของสิ่งมีชีวิตทางทะเลที่มีการตรวจพบไมโครพลาสติก เช่น กุ้ง หอย ปู และปลา และพบว่าหอยสองฝา (Bivalves) ได้ถูกเลือกในการนำมาเป็นตัวบ่งชี้ หรือตัวแทนทางชีวภาพ (Bioindicator) ของสิ่งมีชีวิตทางทะเลในการศึกษาการสะสมไมโครพลาสติกและสารพิษที่มากับไมโครพลาสติก เนื่องมาจากหอยสองฝามีความสามารถในการทนต่อสารพิษที่หลากหลาย สามารถทนต่อความเป็นพิษที่ความเข้มข้นสูง มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสารอาหาร (Metabolism rate) และการเคลื่อนที่ (Immobility) ที่ต่ำ รวมทั้งหอยสองฝาได้รับความนิยมในการบริโภคในวงกว้าง นอกจากนี้หอยสองฝายังมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสารอาหาร (Metabolism rate) และการเคลื่อนที่ (Immobility) ที่ต่ำ ซึ่งลักษณะดังข้างต้นเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาการสะสมของไมโครพลาสติกในอาหารทะเลเป็นอย่างมาก (Zhou et al., 2008; Cho et al., 2019) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณ การแพร่กระจาย ลักษณะและชนิดของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในหอยสองฝา โดยใช้หอยนางรมพันธ์เล็ก (*Saccostrea commercialis*) เป็นตัวแทน เนื่องจากเป็นหอยชนิดหนึ่งที่การบริโภคมากที่สุดในจังหวัดระยอง ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะนำไปสู่แนวทางการจัดการปัญหาขยะทะเลที่ยั่งยืนในอนาคต และเป็นแนวทางให้กับการวิเคราะห์ความเป็นอันตรายของไมโครพลาสติกที่เข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและการเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ในอนาคต เป็นการบูรณาการในการวางแผนการตรวจสอบ และเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม รวมทั้งใช้เป็นฐานข้อมูลในการกำหนดแนวทางและมาตรการในการบริหารจัดการปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เพื่อรองรับนโยบายของรัฐบาลภายใต้โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกที่จะมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นในภูมิภาคนี้ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณของไมโครพลาสติกในตัวอย่างหอยนางรมตามธรรมชาติบริเวณป่าชายเลนของจังหวัดระยอง

2. เพื่อศึกษาลักษณะของไมโครพลาสติกที่ตรวจพบได้แก่ รูปร่าง ขนาด สี และชนิดของพอลิเมอร์ที่ปนเปื้อนในหอยนางรมตามธรรมชาติ

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

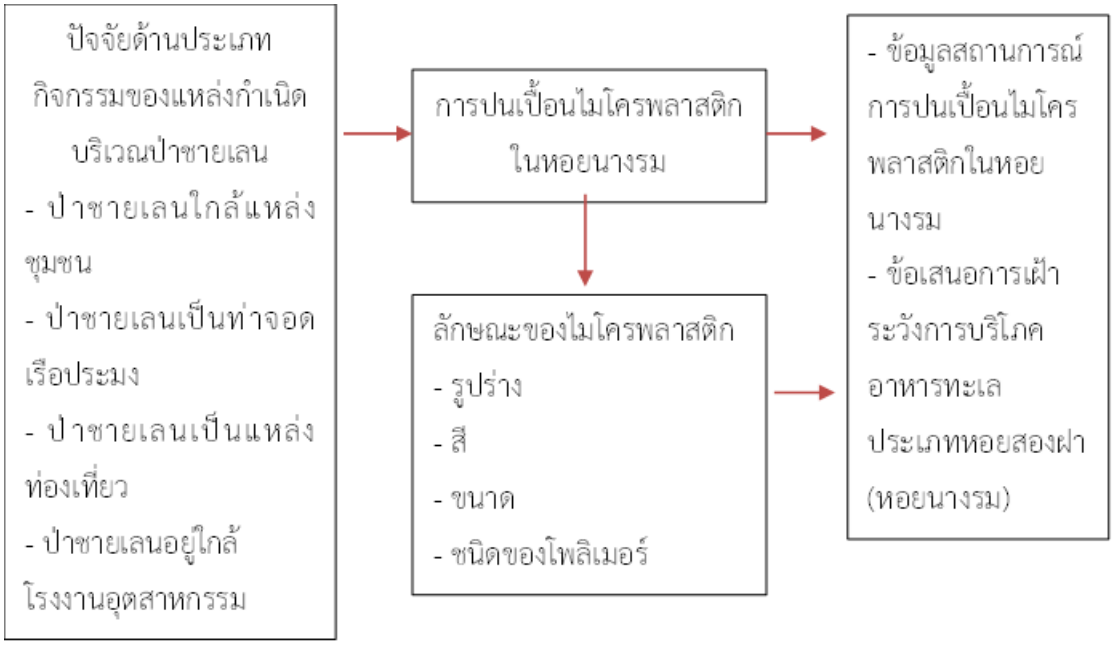
1. ไมโครพลาสติก

ไมโครพลาสติกเป็นชิ้นส่วนของพลาสติกที่เกิดการแตกหักด้วยกระบวนการย่อยสลายทางกายภาพ เคมี และชีวภาพรวมทั้งกระบวนการย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายด้วยความร้อนที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Thermooxidative degradation) และการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ (Biodegradation by microorganism) จนเกิดเป็นพลาสติกที่มีขนาดแตกต่างกัน ได้แก่ ชิ้นพลาสติกขนาดใหญ่ (Macroplastic) ชิ้นพลาสติกขนาดกลาง (Mesoplastic) ที่มีขนาดตั้งแต่ 5 – 25 มิลลิเมตร และชิ้นพลาสติกขนาดเล็ก (Microplastic) ที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร (Desforges et al., 2014) และสามารถแบ่งประเภทของไมโครพลาสติกตามแหล่งที่มาได้ 2 ประเภท ได้แก่

1.1) Primary microplastics คือ พลาสติกที่ถูกผลิตใหม่มีขนาดเล็กตั้งแต่ต้น เช่น เม็ดพลาสติกที่เป็นวัสดุตั้งต้นของการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก เม็ดพลาสติกที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เช่น โฟม ล้างหน้า ครีมขัดผิว ครีมอาบน้ำ ยาสีฟัน เป็นต้น ซึ่งภาคอุตสาหกรรมนิยมผลิตในปัจจุบันมักเรียกว่า ไมโครบีดส์ (Microbeads) หรือ “เม็ดสครับ” ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร

1.2) Secondary microplastics คือ พลาสติกที่เกิดจากการแตกหักของผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่าง ๆ ด้วยกระบวนการทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะทำให้สาร แต่งเติมในพลาสติกหลุดออกจากพลาสติก ทำให้โครงสร้างของพลาสติกเกิดการแตกตัวจนมีขนาดที่เล็ก คล้ายกับ primary microplastics

2. กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา และการเก็บตัวอย่าง

การศึกษานี้ทำการเก็บตัวอย่างหอยนางรมจากป่าชายเลนเป็นจำนวน 2 แหล่ง ได้แก่ ป่าชายเลนชุมชนคลองลาวน (LV) และป่าชายเลนศูนย์การเรียนรู้วิถีประมง ตำบลเนินฆ้อ (NK) จังหวัดระยอง แสดงดังภาพที่ 1 โดยทำการเก็บสุ่มตัวอย่างหอยนางรม สถานที่ละ 30 ตัว ให้มีขนาดใกล้เคียงกันห่อด้วยฟอยล์อะลูเนียม จากนั้นใส่กล่องโฟม และนำมาเก็บรักษาโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนทำกระบวนการต่อไป

ภาพที่ 2 แสดงสถานที่เก็บตัวอย่าง

2. การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างหอยนางรมมาล้างด้วยน้ำสะอาด ซับให้แห้ง และวัดความกว้างและความยาวด้วยเวอร์เนีย บันทึกข้อมูลความกว้าง-ความยาวของเปลือกและน้ำหนักของตัวอย่างหอยนางรมก่อนแกะเปลือกและชำแหละเนื้อหอยพร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักเปียกของเนื้อหอยแต่ละตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างหอยนางรมจากป่าชายเลน LV และ NK ที่นำมาวิเคราะห์มีความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 3.26 ± 0.92ซม. และ 2.68 ± 0.61 ซม. ตามลำดับ และมีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 4.7 ± 0.92 ซม. และ 3.84 ± 0.52 ซม. ตามลำดับ โดยน้ำหนักเปียกต่อตัว (ไม่รวมเปลือก) เท่ากับ 3.1 ± 1.41 กรัม และ 2.47 ± 0.99 กรัม ตามลำดับ (ลักษณะของหอยแสดงดังภาพที่ 2 และข้อมูลสัณฐานวิทยาของหอยนางรมแสดงดังตารางที่ 1)

ภาพที่ 3 หอยนางรม (*Saccostrea commercialis*)

ตารางที่ 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของหอยนางรม

ลักษณะสัณฐานวิทยา	สถานที่	
	LV	NK
จำนวน (ตัว)	30	30
ความกว้างเฉลี่ย (ซม.)	3.26 ± 0.92	2.68 ± 0.61
ความยาวเฉลี่ย (ซม.)	4.7 ± 0.92	3.84 ± 0.52
น้ำหนักตัวเฉลี่ย (กรัม)	16.11 ± 7.55	11.58 ± 2.63
น้ำหนักเปียกเฉลี่ย (กรัม)	3.1 ± 1.41	2.47 ± 0.99

3. การสกัดไมโครพลาสติก

การสกัดไมโครพลาสติกในหอยนางรม ดัดแปลงวิธีการจาก Thushari et al., 2017 โดยมีวิธีการดังนี้ นำตัวอย่างเนื้อหอย 1 ตัวใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 ml จากนั้นเติม 69% กรดไนตริก (HNO_3) (อัตราส่วน 1 : 5 %w/v) ตั้งทิ้งไว้ให้ย่อย เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปั่นกวนด้วย Magnetic bar ที่ 350 รอบต่อนาทีจากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI) (อัตราส่วน 1 : 10 %v/v) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ลงไป (อัตราส่วน 1: 0.27 %v/w) เพื่อแยกความหนาแน่นของไมโครพลาสติก แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วกรองแยกไมโครพลาสติกโดยใช้กระดาษกรอง Whatman GF/C และนำกระดาษกรองใส่ในเพลทแก้ว และทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากนั้นจึงนำแผ่นกระดาษกรองมาวิเคราะห์เพื่อจำแนกลักษณะทางกายภาพของไมโครพลาสติก ได้แก่ ขนาด รูปร่าง สี และจำนวนที่พบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo microscope) จำแนกลักษณะทางเคมีของไมโครพลาสติกโดยใช้เครื่อง Micro-Fourier Transform Infrared Microscope

(μ-FTIR) จากนั้นเทียบสเปกตรัมกับฐานข้อมูล (IR Library) ของโพลิเมอร์ ได้แก่ HR Polymer Additives and Plasticizers, HR Hummel Polymer and Additives, HR Comprehensive Forensic FT-IR Collection, HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR, และ Hummel Polymer Sample Library สำหรับเกณฑ์การยอมรับของงานวิจัยนี้คือ มี %matching ตั้งแต่ร้อยละ 60 ขึ้นไป

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแตกต่างของปริมาณไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมโดยใช้โปรแกรม SPSS version 29.0.1 ในการวิเคราะห์ข้อมูล และใช้สถิติ Two Sample Independent t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p value < 0.5)

5. การประเมินความเสี่ยงเนื่องจากการสัมผัสไมโครพลาสติก โดยใช้ดัชนีความเสี่ยงพอลิเมอร์ (Polymer Risk Index: H)

เป็นวิธีการประเมินระดับความเสี่ยง และลักษณะความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมเมื่อได้สัมผัสกับไมโครพลาสติกโดยอาศัยข้อมูลชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติก ดังสมการที่ 1

$$H = \Sigma Pn \times Sn \quad \text{(สมการที่ 1)}$$

เมื่อ Pn คือ ร้อยละของปริมาณไมโครพลาสติกแต่ละชนิดพอลิเมอร์ในแต่ละตัวอย่าง

Sn คือ ระดับความเป็นพิษของไมโครพลาสติกแต่ละชนิดอ้างอิงจาก (เรียบร้อย & จิรายุ ,2022)

ผลการประเมินระดับความเสี่ยงของไมโครพลาสติกสามารถจำแนกออกเป็น 4 ระดับ (ดังตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ระดับความเสี่ยงจากการประเมินดัชนีความเสี่ยงพอลิเมอร์ (Ranjani et al., 2021)

H	ระดับความเสี่ยง
< 10	I
10-100	II
100-1000	III
>1000	IV

ผลการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ พบว่า ไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมของป่าชายเลน LV มีค่าเท่ากับ 4.39 ± 2.34 ชิ้น/กรัม หรือ 10.87 ± 2.9 ชิ้น/ตัว และหอยนางรมที่เก็บตัวอย่างจากป่าชายเลน NK พบจำนวน 3.86 ± 2.76 ชิ้น/กรัม หรือ 7.7 ± 2.1 ชิ้น/ตัว (ภาพที่ 3) ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยปริมาณไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมที่พบในจังหวัดระยองมีค่าเท่ากับ 9.28 ± 2.5 ชิ้น/ตัว หรือ 4.13 ± 2.55 ชิ้น/กรัม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไมโครพลาสติกที่พบ

กับงานวิจัยอื่นๆ ในหน่วยของชิ้น/กรัม พบว่าปริมาณไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมในงานวิจัยนี้มีปริมาณสูงกว่าหลาย ๆ ประเทศที่มีการรายงาน ได้แก่ เกาหลีใต้ สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศษ เป็นต้น (ตารางที่ 4)

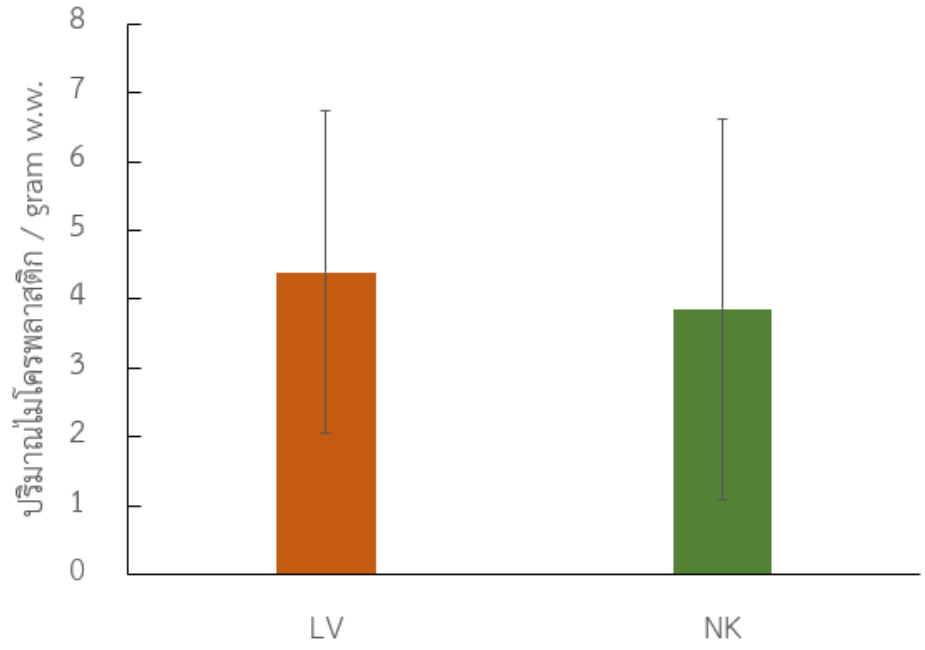
จากการศึกษารูปร่างของไมโครพลาสติกที่ตรวจพบในหอยนางรม พบว่า รูปร่างไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมของป่าชายเลน LV พบลักษณะเส้นใย (Fiber) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 75.46 รองลงมาคือชิ้นส่วน (Fragment) คิดเป็นร้อยละ 23.31 และฟิล์ม (Film) คิดเป็นร้อยละ 1.23 ตามลำดับ ในขณะที่รูปร่างไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมป่าชายเลน NK พบรูปร่างลักษณะชิ้นส่วนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 69.26 รองลงมาคือเส้นใย คิดเป็นร้อยละ 30.74 (ภาพที่ 4) สีของไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมทั้ง 2 แหล่ง คือ พบสีดำมากที่สุด (ร้อยละ 53.07 – 61.9) รองลงมาคือ สีฟ้า (ร้อยละ 33.33 – 17.18) (ภาพที่ 6) นอกจากนี้ขนาดของไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมทั้ง 2 แหล่ง คือขนาดน้อยกว่า 0.25 มิลลิเมตร โดยป่าชายเลน LV พบร้อยละ 48.47 และป่าชายเลน NK พบสูงถึงร้อยละ 74.03

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไมโครพลาสติกโดยใช้เครื่อง (μ-FTIR) พบว่าชนิดของพอลิเมอร์ที่พบในหอยนางรมป่าชายเลน LV มากที่สุดคือชนิด Polyethylene (PE) ร้อยละ 55.56 รองลงมาคือชนิด Polypropylene (PP) ร้อยละ 44.44 และป่าชายเลน NK พบไมโครพลาสติกชนิด Polyethylene (PE) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 73.68 รองลงมาคือชนิด Cellulose/linen ร้อยละ 21.05 และพบชนิด Polyester (PES) คิดเป็นร้อยละ 5.26 ตามลำดับ (ภาพที่ 7)

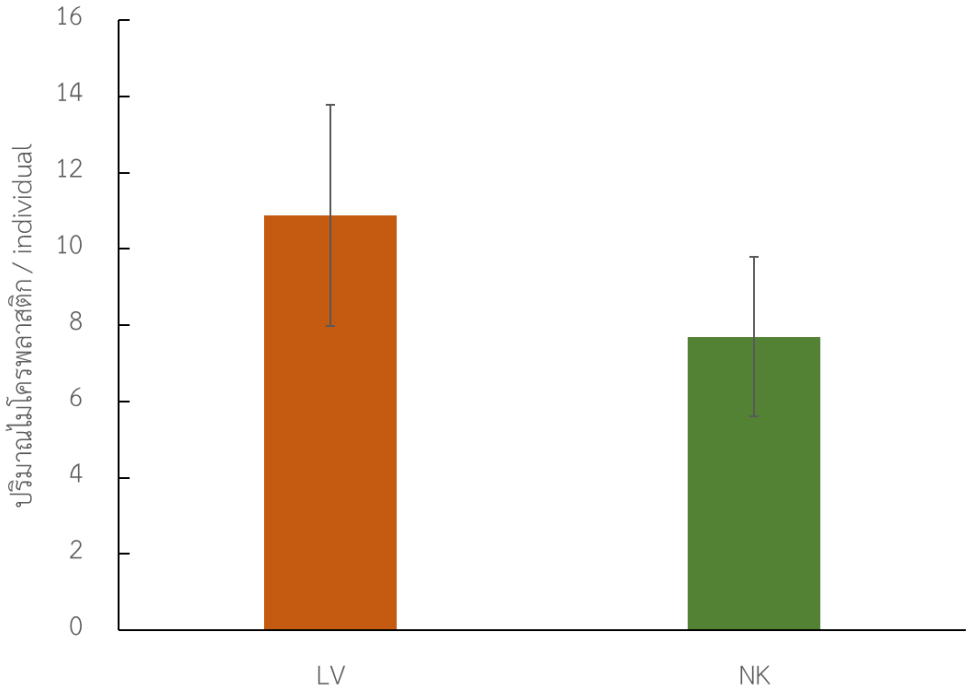
จากการประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศของไมโครพลาสติกในหอยนางรมโดยใช้ดัชนีความเสี่ยงพอลิเมอร์ (H) พบว่าความเสี่ยงของไมโครพลาสติกในหอยนางรมป่าชายเลน LV มีระดับความเสี่ยงที่ H_{III} = 600 และไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมป่าชายเลน NK มีระดับความเสี่ยงที่ H_{III} = 847 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมิน Polymer risk index (H) ของไมโครพลาสติกแต่ละชนิดในหอยนางรม ป่าชายเลน LV และ NK

ชนิดของพอลิเมอร์	ระดับความอันตราย (Sn)	ดัชนีความเสี่ยงพอลิเมอร์ (H)	
		ป่าชายเลน LV	ป่าชายเลน NK
PE	10	555.6	823.5
PP	1	44.44	-
PES	4	-	23.52
รวม		600.04	847.02
ระดับความเสี่ยง		H_{III}	H_{III}



(ก)



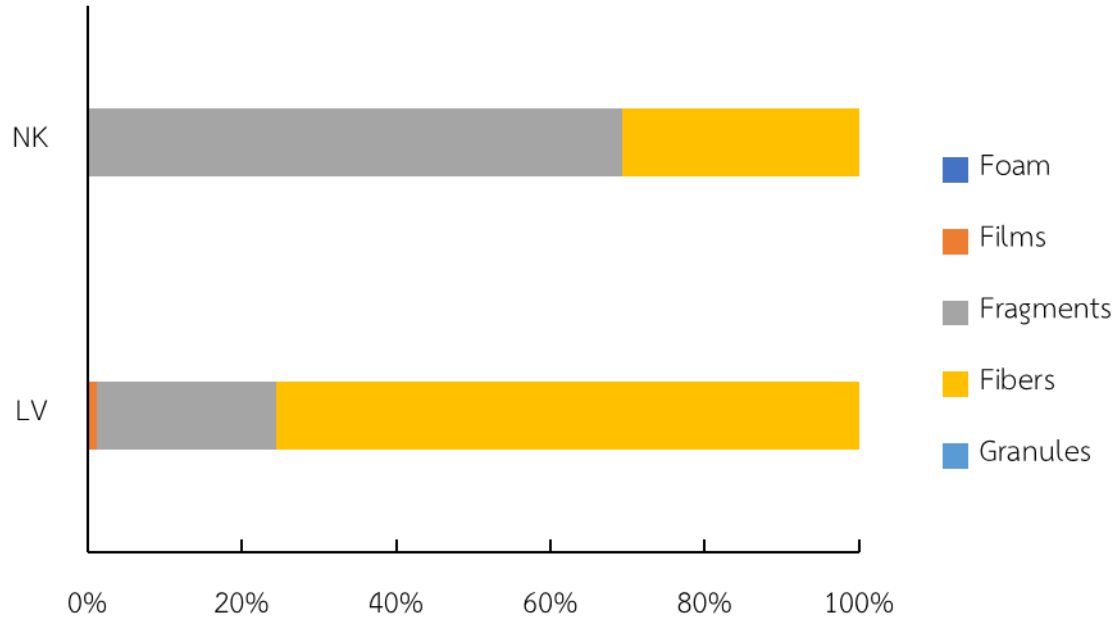
(ข)

ภาพที่ 4 ความเข้มข้นของไมโครพลาสติกในตัวอย่างหอยนางรม (ก) ชิ้น/กรัม และ (ข) ชิ้น/ตัว น้ำหนักเปียก

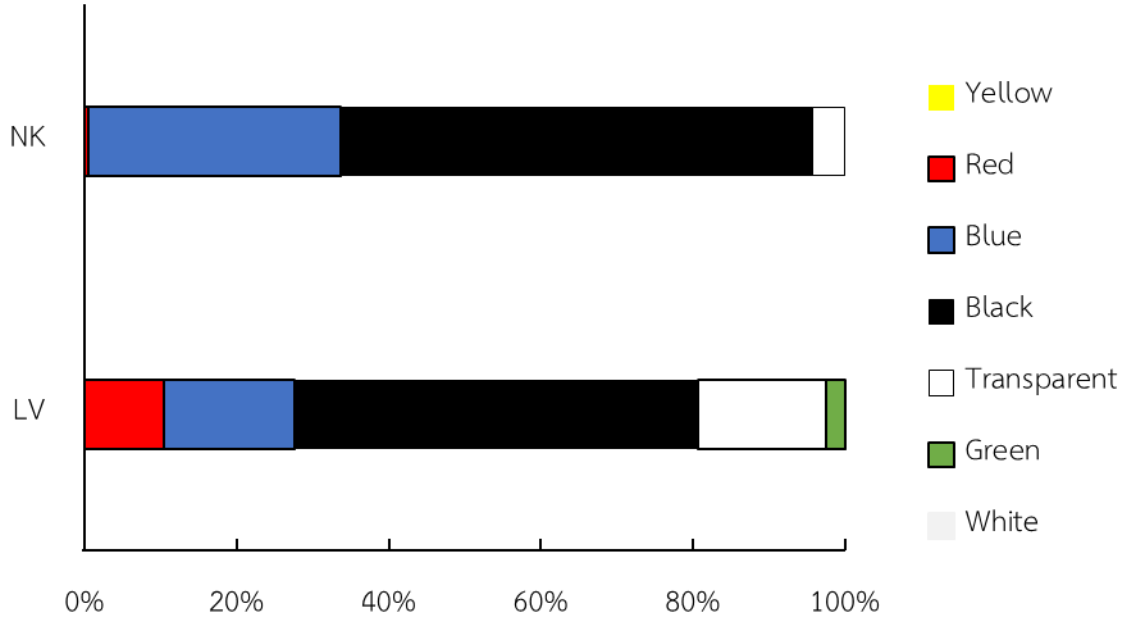
ตารางที่ 4 ลักษณะของไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมแต่ละสถานที่

สถานที่	การสกัด	ปริมาณ	รูปร่าง	ขนาด (มม.)	สี	ชนิด	อ้างอิง
จังหวัดระยอง ประเทศไทย	NaCl	4.13 ± 2.55 ชิ้น/กรัม	ชิ้นส่วน เส้นใย	< 0.25	ดำ และ ฟ้า	PE, PP	การศึกษานี้
อ่างศิลา บางแสน แสมสาร ประเทศไทย	N/A	0.37 ± 0.57 ชิ้น/กรัม	เส้นใย	0.01	แดง น้ำเงิน น้ำตาล และใส	PET, PS, PA	Thushari *et al.*, 2017
แอตแลนติก ประเทศฝรั่งเศส	KI	2.1 ± 1.7 ชิ้น/ตัว	ชิ้นส่วน	0.05 -0.1	เทา ดำ เขียว เหลือง แดง ขาว และฟ้า	PE, PP ABS	Phuong et al., 2018
ประเทศเกาหลีใต้	N/A	0.07 ± 0.06 ชิ้น/กรัม	เส้นใย ชิ้นส่วน	0.1 - 0.2	ขาว	PE PP PS	Cho et al., 2019
ตลาดประมงชลบุรี ประเทศไทย	NaCl	49.60±10 ชิ้น/ตัว หรือ 9.5±0.71 ชิ้น/กรัม	เส้นใย และ ชิ้นส่วน	0.28 ± 0.22	ขาว เขียว เหลือง น้ำเงิน ดำ และแดง	PE, PTFE	Saelee et al., 2021
อ่าวกีนี ประเทศปาปัวนิวกินี	$ZnCl_2$	1.4 - 3.4 ชิ้น/ตัว หรือ 0.34 - 1.7 ชิ้น/กรัม	เส้นใย ชิ้นส่วน	< 1	ขาว เขียว เหลือง น้ำเงิน ดำ และแดง	PE, PP, PS	Addo et al., 2022
รัฐมิสซิสซิปปี ประเทศสหรัฐฯ	$ZnCl_2$	30.7± 11.5 to 4.7 ± 0.25 ชิ้น/กรัม	N/A	0.03 -0.09	ใส ดำ น้ำเงิน	PU, PA, PE	Wonter et al., 2023
ประเทศกรีซ	NaCl	1.54 ± 0.63 to 3.56 ± 0.35 ชิ้น/กรัม	เส้นใย ชิ้นส่วน	0.008 – 0.15	N/A	PET, PE, PP	Manolaki et al., 2023

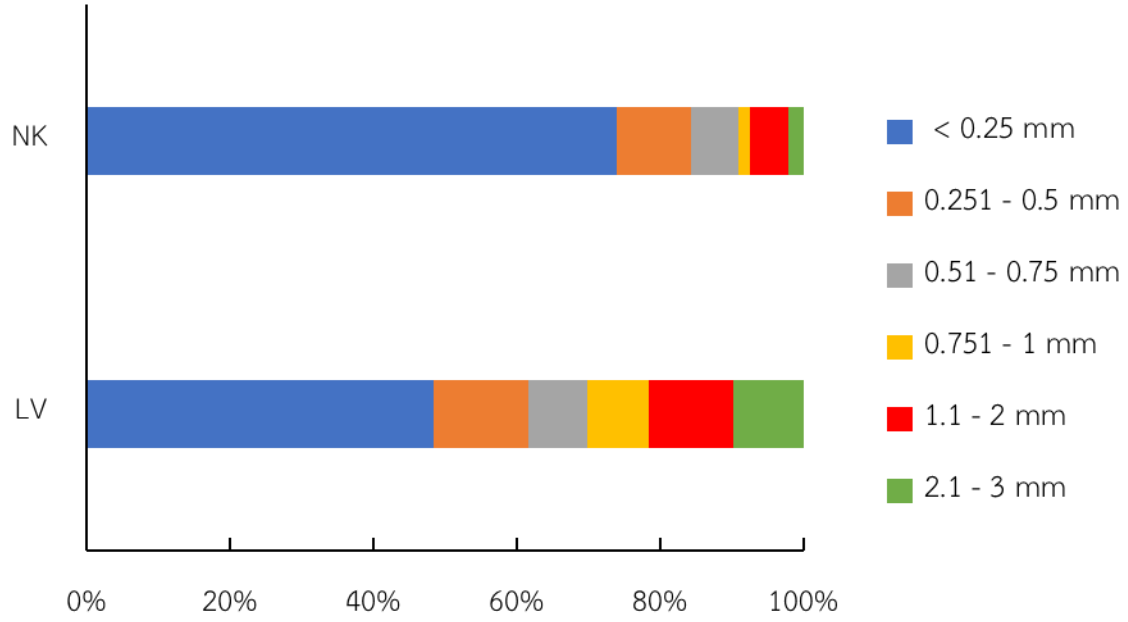
หมายเหตุ : Polystyrene (PS), Polyethylene (PE), Poly tetrafluoroethylene (Teflon: PTFE), Polyethylene terephthalate (PET), Polyamide (PA), Polypropylene (PP), acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS), Polyester (PES), N/A : Not applicable



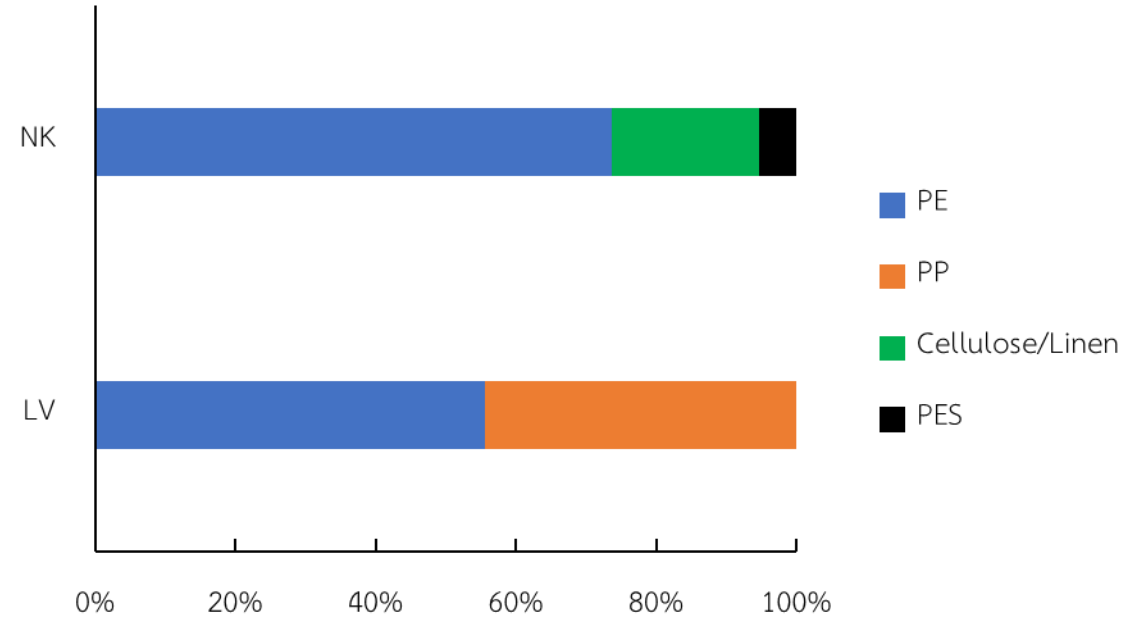
ภาพที่ 5 ร้อยละของรูปร่างไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมแต่ละป่าชายเลน



ภาพที่ 6 ร้อยละของสีไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมแต่ละป่าชายเลน



ภาพที่ 7 ร้อยละของขนาดไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมแต่ละป่าชายเลน



ภาพที่ 8 ร้อยละของชนิดไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมแต่ละป่าชายเลน

อภิปรายผลการวิจัย

ปริมาณเฉลี่ยของไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมของการศึกษานี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.28 ± 2.5 ชิ้น/ตัว หรือ 4.13 ± 2.55 ชิ้น/กรัม โดยที่ไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมของป่าชายเลน LV มีค่าเท่ากับ 4.39 ± 2.34 ชิ้น/กรัม หรือ 10.87 ± 2.9 ชิ้น/ตัว และหอยนางรมที่เก็บตัวอย่างจากป่าชายเลน NK พบจำนวน 3.86 ± 2.76 ชิ้น/กรัม หรือ 7.7 ± 2.1 ชิ้น/ตัว เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณไมโครพลาสติกที่พบในป่าชายเลนทั้ง 2 แห่ง พบว่ามีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t = 4.84$, p-value <0.001) เนื่องจากหอยนางรมทั้งสองบริเวณที่นำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้อาศัยอยู่ตามธรรมชาติ ดังนั้นการสะสมของไมโครพลาสติกคาดว่าขึ้นกับการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในตะกอนดินและน้ำทะเลในบริเวณที่อยู่อาศัยของหอยนางรม (Scott et al., 2019; Phuong et al., 2018) ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ในพื้นที่ป่าชายเลน โดยป่าชายเลน LV มีลักษณะพื้นที่เป็นป่าชายเลนที่มีขดเขี้ยวตามลักษณะของคลองลาวน และตลอดแนวโดยรอบส่วนใหญ่เป็นฟาร์มเพาะเลี้ยงหอยนางรมกระจายอยู่หลายพื้นที่เป็นพื้นที่ชุมชนประมง อีกทั้งเป็นสถานที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศที่สำคัญแห่งหนึ่งของอำเภอแกลง จ.ระยอง เมื่อเทียบกับกิจกรรมโดยรอบของป่าชายเลน NK พบว่าป่าชายเลน NK เป็นป่าชายเลนที่อยู่ใกล้กับชายฝั่งทะเล กิจกรรมในบริเวณดังกล่าวเป็นการทำประมงพื้นบ้าน เขตชุมชนแต่มีการกระจายของชุมชนหนาแน่นน้อยกว่าในพื้นที่ของป่าชายเลน LV ด้วยเหตุผลดังกล่าวคาดว่าส่งผลให้ปริมาณไมโครพลาสติกของป่าชายเลน LV มีค่าสูงกว่าป่าชายเลน NK นอกานี้เมื่อเทียบปริมาณเฉลี่ยของไมโครพลาสติกที่พบในการศึกษานี้กับประเทศอื่น พบว่ามีปริมาณเฉลี่ยของไมโครพลาสติกที่มากกว่าประเทศปาปัวนิวกินี (0.34 - 1.7 ชิ้น/กรัม) ประเทศกรีซ (3.56 ± 0.35 ชิ้น/กรัม) ประเทศเกาหลีใต้ (0.07 ± 0.06 ชิ้น/กรัม) อ่างศิลา บางแสน แสมสาร ประเทศไทย (0.37 ± 0.57 ชิ้น/กรัม) และประเทศฝรั่งเศส(2.1 ± 1.7 ชิ้น/ตัว) แต่พบปริมาณเฉลี่ยของไมโครพลาสติกที่น้อยกว่าประเทศสหรัฐอเมริกา (4.7 ± 0.25 ชิ้น/กรัม) และตลาดประมงจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย (9.5±0.71 ชิ้น/กรัม)

ลักษณะรูปร่างทางกายภาพที่พบในการศึกษานี้มากที่สุดคือ รูปร่างเส้นใย และชิ้นส่วน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Addo et al., 2022; Manolaki et al., 2023; Cho et al., 2019; Saelee et al., 2021 สาเหตุที่พบรูปร่างแบบเส้นใยมากที่สุดที่สุด เนื่องจากในพื้นที่มีกิจกรรมประมง ได้แก่ ฟาร์มเพาะเลี้ยงหอยนางรมที่มีการผูกเชือกให้หอยนางรมลอยในน้ำ การจับสัตว์น้ำโดยใช้แห/อวนตามวิถีชุมชนประมงในพื้นที่ ซึ่งวัสดุสำหรับการพยุงหอยนางรม และแห-อวนผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Prarat และคณะ (2022) ที่พบว่า ไมโครพลาสติกประเภทเส้นใยพบมากที่สุดในน้ำทะเลบริเวณชายหาดของจังหวัดระยอง สำหรับไมโครพลาสติกแบบชิ้นส่วนอาจเกิดได้จากกระบวนการทางกายภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีขนาดใหญ่ สีที่พบในการศึกษานี้ พบสีดำมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phuong et al., 2018; Saelee et al., 2021; Addo et al., 2022; Wonter et al., 2023 โดยสีของไมโครพลาสติกนั้นสามารถใช้ประเมินเบื้องต้นเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมี ประเภท และแหล่งกำเนิดของผลิตภัณฑ์พลาสติกเดิมก่อนจะแตกหักผ่านกระบวนการย่อยสลายทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ อย่างไรก็

ตามสีของไมโครพลาสติกอาจเปลี่ยนแปลงได้เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมเป็นเวลานาน (Stolte et al., 2015) สำหรับขนาดของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดในการศึกษานี้คือ ขนาดน้อยกว่า 0.25 มิลลิเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thushari et al., 2017; Phuong et al., 2018; Cho et al., 2019; Wonter et al., 2023; Manolaki et al., 2023 โดยมีความเป็นไปได้ว่าไมโครพลาสติกขนาดเล็กอาจเกิดจากการแตกหัก ย่อยสลายหรือถูกกัดกร่อนจากสภาวะโดยรอบของไมโครพลาสติกขนาดใหญ่ (Phuong et al., 2018) จึงทำให้เกิดไมโครพลาสติกขนาดเล็กจำนวนมาก ส่งผลให้ไมโครพลาสติกขนาดเล็กก็มีโอกาสเข้าไปเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตได้ง่ายมากยิ่งขึ้น

ชนิดของพอลลิเมอร์ที่พบมากที่สุดในการศึกษานี้คือ ชนิด Polyethylene (PE) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phuong et al., 2018; Cho et al., 2019; Saelee et al., 2021; Addo et al., 2022; Wonter et al., 2023; Manolaki et al., 2023 โดยพลาสติกชนิด Polyethylene (PE) คือสารที่เป็นส่วนผสมของการขึ้นรูปพลาสติก มักถูกใช้ผลิตเป็นอุปกรณ์ประมง และใช้ผลิตเป็นถุง หรือกระสอบพลาสติก (Tangchaiwattana, 2017)

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในหอยนางรมบริเวณป่าชายเลน LV และป่าชายเลน NK พบไมโครพลาสติกปนเปื้อนในหอยนางรมบริเวณป่าชายเลน LV จำนวน 4.39 ± 2.34 ชิ้น/กรัม หรือ 10.87 ± 2.9 ชิ้น/ตัว ที่ป่าชายเลน NK จำนวน 3.86 ± 2.76 ชิ้น/กรัม หรือ 7.7 ± 2.1 ชิ้น/ตัว และเมื่อจำแนกรูปร่างไมโครพลาสติกในหอยนางรมป่าชายเลน LV พบว่ามีลักษณะเส้นใยสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 75.46 และ ป่าชายเลน NK พบว่ามีลักษณะชิ้นส่วนสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 69.26 สีที่พบ ได้แก่ แดง น้ำเงิน ดำ ใส ขนาดของไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมป่าชายเลน LV และป่าชายเลน NK มากที่สุดคือ ขนาดน้อยกว่า 0.25 มิลลิเมตร รูปร่างไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมบริเวณป่าชายเลนคลองลาวนมากที่สุดคือรูปร่างเส้นใย จากการศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในหอยนางรมบริเวณป่าชายเลน LV และป่าชายเลน NK พบปริมาณไมโครพลาสติกปนเปื้อนในหอยนางรมบริเวณป่าชายเลน LV จำนวน 4.39 ± 2.34 ชิ้น/กรัม หรือ 10.87 ± 2.9 ชิ้น/ตัว ในขณะที่หอยนางรมบริเวณป่าชายเลน NK พบจำนวน 3.86 ± 2.76 ชิ้น/กรัม หรือ 7.7 ± 2.1 ชิ้น/ตัว และมีค่าปริมาณเฉลี่ยของไมโครพลาสติกที่พบในการศึกษานี้เท่ากับ 9.28 ± 2.5 ชิ้น/ตัว หรือ 4.13 ± 2.55 ชิ้น/กรัม ซึ่งมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับประเทศอื่นที่มีการรายงาน รูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมบริเวณป่าชายเลนคลองลาวนมากที่สุดคือรูปร่างเส้นใย คิดเป็นร้อยละ 75.46 และ ป่าชายเลน NK พบว่ามีลักษณะชิ้นส่วนสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 69.26 สี และขนาดของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดในป่าชายเลนทั้ง 2 แห่ง คือ สีดำ และขนาดเล็กว่า 0.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ และชนิดพอลิเมอร์ที่พบมากที่สุดในหอยนางรม คือ ชนิดพอลิเอทิลีน (PE) ซึ่งอาจมาจากส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์พลาสติก อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมง ของจากโรงงานอุตสาหกรรม ของเสียจากครัวเรือน เป็นต้น และจากการประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศของไมโครพลาสติกในหอยนางรมโดย

ใช้ดัชนีความเสี่ยงพอลิเมอร์ (H) พบว่าความเสี่ยงของไมโครพลาสติกในหอยนางรมป่าชายเลน LV (H_{III} = 600) และไมโครพลาสติกที่พบในหอยนางรมป่าชายเลน NK (H_{III} = 847) อยู่ในระดับมีความเสี่ยงสูง เนื่องจากในตัวอย่างหอยนางรมมีการปนเปื้อนไมโครพลาสติกชนิด PE ที่มีความเป็นพิษสูง ส่งผลให้คะแนนการประเมินความเสี่ยงพอลิเมอร์มีความเสี่ยงต่อระบบนิเวศสูงมากขึ้นจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันมีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในหอยนางรมที่เป็นหนึ่งในหอยที่คนไทยนิยมบริโภค และวางจำหน่ายในแหล่งตลาดต่าง ๆ ของประเทศไทย ซึ่งส่งผลให้ผู้บริโภคได้มีโอกาสในการสัมผัสไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในหอยที่เป็นที่นิยมบริโภค และข้อมูลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการเฝ้าระวังการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในอาหารทะเลของทางหน่วยงานภาครัฐ และภาคเอกชนได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มสถานที่เก็บตัวอย่างให้มีความหลากหลายมากขึ้น เพื่อนำมาหาความแตกต่างในการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก

2. ควรศึกษาในประเภทของหอยสองฝาชนิดอื่น เช่น หอยแมลงภู่ หอยแครง หอยตลับ เป็นต้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

เรียบร้อย, & จิรายุ. (2022). การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศของไมโครพลาสติก และยาตกค้างในกลุ่มยาต้านการอักเสบชนิดไม่ใช่สเตียรอยด์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล.

Addo, S., Boateng, C. M., Diyie, R. L., Duodu, C. P., Ferni, A. K., Williams, E. A., ... & Nyarko, E. (2022). Occurrence of microplastics in wild oysters (Crassostrea tulipa) from the Gulf of Guinea and their potential human exposure. Heliyon, 8(12).

Akkajit, P., et al., 2021. Occurrence and distribution of microplastics in beach sediments along Phuket coastline. Marine Pollution Bulletin. 169, 112496.

Akkajit, P., et al., 2023. Microplastics accumulation and human health risk assessment of heavy metals in Marcia opima and Lingula anatina, Phuket. Marine Pollution Bulletin.186,114404.https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114404.https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112496.

Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. Marine pollution bulletin, 62(8), 1596-1605.

Babel, S., Ta, A. T., & Liyanage, T. U. H. (2020). Current situation and challenges of waste management in Thailand. In Sustainable Waste Management Challenges in Developing Countries (pp. 409-440). IGI Global.

Bagheri, T., Gholizadeh, M., Abarghouei, S., Zakeri, M., Hedayati, A., Rabaniha, M., ... & Hafezieh, M. (2020). Microplastics distribution, abundance and composition in sediment, fishes and benthic organisms of the Gorgan Bay, Caspian sea. Chemosphere, 257, 127201.

Bissen, R., & Chawchai, S. (2020). Microplastics on beaches along the eastern Gulf of Thailand–A preliminary study. Marine Pollution Bulletin, 157, 111345.

Cho, Y., Shim, W. J., Jang, M., Han, G. M., & Hong, S. H. (2019). Abundance and characteristics of microplastics in market bivalves from South Korea. Environmental pollution, 245, 1107-1116.

Daniel, D. B., Ashraf, P. M., Thomas, S. N., & Thomson, K. T. (2021). Microplastics in the edible tissues of shellfishes sold for human consumption. Chemosphere, 264, 128554.

Deng, J., Guo, P., Zhang, X., Su, H., Zhang, Y., Wu, Y., & Li, Y. (2020). Microplastics and accumulated heavy metals in restored mangrove wetland surface sediments at Jinjiang Estuary (Fujian, China). Marine Pollution Bulletin, 159, 111482.

Desforges, J. P. W., Galbraith, M., Dangerfield, N., & Ross, P. S. (2014). Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. Marine pollution bulletin, 79(1-2), 94-99.

Devriese, L. I., Van der Meulen, M. D., Maes, T., Bekaert, K., Paul-Pont, I., Frère, L., ... & Vethaak, A. D. (2015). Microplastic contamination in brown shrimp (Crangon crangon, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. Marine pollution bulletin, 98(1-2), 179-187.

Fahrenfeld, N. L., Arbuckle-Keil, G., Beni, N. N., & Bartelt-Hunt, S. L. (2019). Source tracking microplastics in the freshwater environment. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 112, 248-254.

Fang, C., Zheng, R., Chen, H., Hong, F., Lin, L., Lin, H., ... & Bo, J. (2019). Comparison of microplastic contamination in fish and bivalves from two major cities in Fujian province, China and the implications for human health. Aquaculture, 512, 734322.

Fossi, M. C., Marsili, L., Baini, M., Giannetti, M., Coppola, D., Guerranti, C., ... & Panti, C. (2016). Fin whales and microplastics: The Mediterranean Sea and the Sea of Cortez scenarios. Environmental Pollution, 209, 68-78.

Khanunthong, A., 2021. Industry Outlook 2021-2023: Plastics. Krungsri Research. Retrieved fromhttps://www.krungsri.com/en/research/industry/industryoutlook/Petrochemicals/Plastics/IO/io-plastics-21.

Li, H. X., Shi, M., Tian, F., Lin, L., Liu, S., Hou, R., ... & Xu, X. R. (2022). Microplastics contamination in bivalves from the Daya Bay: species variability and spatio-temporal distribution and human health risks. Science of The Total Environment, 841, 156749.

Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P., ... & Shi, H. (2016). Microplastics in mussels along the coastal waters of China. Environmental pollution, 214, 177-184.

Li, J., Yang, D., Li, L., Jabeen, K., & Shi, H. (2015). Microplastics in commercial bivalves from China. Environmental pollution, 207, 190-195.

Li, Q., Ma, C., Zhang, Q., & Shi, H. (2021). Microplastics in shellfish and implications for food safety. Current Opinion in Food Science, 40, 192-197.

Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. FAO.

Lusher, A. L., Mchugh, M., & Thompson, R. C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. Marine pollution bulletin, 67(1-2), 94-99.

Manolaki, S. M., Chatzivasileiou, D., Lampa, M., Dimitriou, P. D., Philippidis, A., Karakassis, I., & Papageorgiou, N. (2023). Microplastic Contamination in Cultured Mussels and Pearl Oysters in Greece. Microplastics, 2(2), 168-181.

Meijer, L. J., Van Emmerik, T., Van Der Ent, R., Schmidt, C., & Lebreton, L. (2021). More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. Science Advances, 7(18), eaaz5803.

Phuong, N. N., Poirier, L., Pham, Q. T., Lagarde, F., & Zalouk-Vergnoux, A. (2018). Factors influencing the microplastic contamination of bivalves from the French Atlantic coast: location, season and/or mode of life?. Marine Pollution Bulletin, 129(2), 664-674.

Prarat, P., & Hongsawat, P. (2022). Microplastic pollution in surface seawater and beach sand from the shore of Rayong province, Thailand: Distribution, characterization, and ecological risk assessment. Marine Pollution Bulletin, 174, 113200.

Ranjani, M., Veerasingam, S., Venkatachalapathy, R., Mugilarasan, M., Bagaev, A., Mukhanov, V., & Vethamony, P. J. M. P. B. (2021). Assessment of potential ecological risk of microplastics in the coastal sediments of India: a meta-analysis. Marine Pollution Bulletin, 163, 111969.

Saelee, P., Wongsoonthornchai, M., & Phasukphan, N. (2021). The Contamination of Microplastics in Mussel (Mytilus edulis), and Oyster (Saccostrea commercialis): A Case Study from a Fish Market, Chonburi Province. Burapha Science Journal, 1726-1744.

Scott, N., Porter, A., Santillo, D., Simpson, H., Williams, S.L., & Lewis, C. (2019). Particle characteristics of microplastics contaminating the mussel Mytilus edulis and their surrounding environments. Marine Pollution Bulletin, 146, 125-133.

Seltenrich, N. (2015). New link in the food chain? Marine plastic pollution and seafood safety.

Sparks, C., Awe, A., & Maneveld, J. (2021). Abundance and characteristics of microplastics in retail mussels from Cape Town, South Africa. Marine Pollution Bulletin, 166, 112186.

Ta, A. T., Pupuang, P., Babel, S., & Wang, L. P. (2022). Investigation of microplastic contamination in blood cockles and green mussels from selected aquaculture farms and markets in Thailand. Chemosphere, 303, 134918.

Tangchaiwattana, S. (2017). Type of Plastic. Bangkok: Physics and Engineering Project Department of Science Service. (in Thai)

Tharamon, P., Praisanklul, S., & Leadprathom, N. (2016). Contamination of microplastic in bivalve at Chaolao and Kungwiman beach Chanthaburi province. Khon kaen Agriculture journal, 44(1), 738-744.

Thushari, G. G. N., Senevirathna, J. D. M., Yakupitiyage, A., & Chavanich, S. (2017). Effects of microplastics on sessile invertebrates in the eastern coast of Thailand: an approach to coastal zone conservation. Marine pollution bulletin, 124(1), 349-355.

Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., & Janssen, C. R. (2013). Microplastic pollution in deep-sea sediments. Environmental pollution, 182, 495-499.

Vibhatabandhu, P., & Srithongouthai, S. (2022). Influence of seasonal variations on the distribution characteristics of microplastics in the surface water of the Inner Gulf of Thailand. Marine Pollution Bulletin, 180, 113747.

Wang, Y., Zou, X., Peng, C., Qiao, S., Wang, T., Yu, W., ... & Kornkanitnan, N. (2020). Occurrence and distribution of microplastics in surface sediments from the Gulf of Thailand. Marine Pollution Bulletin, 152, 110916.