



การใช้สัตว์หน้าดินเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพเพื่อประเมินสภาวะมลพิษจากสารอินทรีย์ ในแหล่งน้ำ บริเวณเกาะยอ จ.สงขลา

Using Macrobenthic Fauna as Bio-Indicator for Assessment of the Organic Pollution at Koh Yo, Songkhla Province

ธนพรธณ จอมบดินทร์¹, สุธินี หีมยิ² และเอกนรินทร์ รอดเจริญ^{1*}

Thanaphan Jombodin¹, Sutinee Himyi² and Eknarin Rodcharoen^{1*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมกรรมการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

¹Aquatic Science and Innovative Management Division, Faculty of Natural Resources Prince of Songkla University

²Program in Biology, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University

Received : 9 May 2021

Revised : 9 September 2021

Accepted : 6 October 2021

บทคัดย่อ

เกาะยอเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการทำประมงที่สำคัญของประเทศไทย รวมทั้งปัจจุบันบริเวณรอบเกาะยอมีกิจกรรมมนุษย์และการเจริญเติบโตของชุมชนที่เพิ่มมากขึ้น จึงเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งและของเสียจากกิจกรรมมนุษย์ วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้คือ ศึกษาสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่และปัจจัยสิ่งแวดล้อมเพื่อประเมินสภาวะมลพิษจากสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำบริเวณเกาะยอ เก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 ทั้งหมด 3 สถานี ได้แก่ สถานีบ้านอ่าวทราย (สถานี A), ป่าชายเลน (สถานี M) และวัดท้ายยอ (สถานี T) โดยเก็บตัวอย่างสถานีละ 5 จุดที่ระยะห่างจากขอบชายฝั่ง 0, 100, 300, 600 และ 1,200 เมตร ผลการศึกษาพบว่าความคล้ายคลึง (cluster analysis) ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทุกสถานีมีความคล้ายคลึงกันสูง (92.44% – 97.34%) ส่วนสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่พบทั้งหมด 3 ไฟลัม 34 ชนิด มีความชุกชุมรวมเฉลี่ย 3,099±63 ตัวต่อตารางเมตร สถานีบ้านอ่าวทรายมีความหลากหลายและชุกชุมมากที่สุด (30 ชนิด, H' = 2.6, 3,849±88 ตัวต่อตารางเมตร) รองลงมาคือสถานีป่าชายเลน (23 ชนิด, H' = 2.2, 3,084±296 ตัวต่อตารางเมตร) และสถานีวัดท้ายยอพบความหลากหลายและความชุกชุมของสัตว์หน้าดินน้อยที่สุด (15 ชนิด, H' = 2.1, 2,363±139 ตัวต่อตารางเมตร) ทาโนดาเขียนชนิด *Ctenapseudes sapensis* เป็นสัตว์หน้าดินชนิดเด่นและมีความหนาแน่นมากที่สุดในทุกสถานี ความคล้ายคลึงของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่แต่ละสถานีพบว่ามีความคล้ายคลึงกันต่ำถึงปานกลาง (26.13% – 74.65%) เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมพบว่าคุณภาพตะกอนดินมีผลต่อการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณเกาะยอมากกว่าคุณภาพน้ำ เมื่อประเมินระดับการเกิดมลพิษจากสารอินทรีย์ด้วยดัชนี AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) พบว่าทั้ง 3 สถานี มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับการเกิดมลพิษเล็กน้อย (BC=2.0 – 2.5) และบริเวณสถานีบ้านอ่าวทรายที่ระยะ 300 เมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเลี้ยงปลาในกระชังและการสร้างโฮมสเตย์ มีค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวภาพมากที่สุด (BC= 3.4) ซึ่งเกิดมลพิษในระดับปานกลาง

คำสำคัญ : สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ ; ปัจจัยสิ่งแวดล้อม ; มลพิษ ; ทะเลสาบสงขลา ; ดัชนีบ่งชี้ชีวภาพ



Abstract

Koh Yo is an important aquacultures and fisheries area of Thailand and has surrounded increasing human activities. Consequently, most of waste from the activities was drained into Songkhla Lake. The aim of this study is to investigate macrobenthic fauna and environmental factors for assessment of organic pollution at Koh Yo. The sample were collected in February 2019 at three areas, including Ban Ao Sai (station A), Mangrove (station M) and Wat Tai Yo (station T). In each area, sample were collected at five stations from nearshore to offshore at a distance of 0, 100, 300, 600 and 1,200 meters. The cluster analysis of environmental factors among all stations showed high similarities (92.44% – 97.34%). Macrobenthic fauna consisted of 3 phyla 34 species with the average abundance of $3,099 \pm 63$ ind/m². Ban Ao Sai has the highest diversity and abundance (30 species, $H' = 2.6$, $3,849 \pm 88$ ind/m²) followed by Mangrove (23 species, $H' = 2.2$, $3,084 \pm 296$ ind/m²), and Wat Tai Yo, showed the lowest diversity and abundance (15 species, $H' = 2.1$, $2,363 \pm 139$ ind/m²). Tanaidacean *Ctenapseudes sapensis* was the dominant species and had the highest density in all stations. The cluster analysis of macrobenthic fauna among all stations revealed low to moderate similarities in range of 26.13% – 74.65%. The canonical correspondence analysis revealed that sediment had more effected on distribution of macrobenthic fauna compared to water quality. The result of the AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) in each station indicated that Koh Yo was under slightly polluted condition (BC= 2.0 – 2.5). Moreover, Ban Ao Sai at a distance 300 meters, the area of fish cages and homestays showed the highest Biotic Coefficient (BC= 3.4), which is indicated meanly polluted condition.

Keywords : macrobenthic fauna ; environmental factors ; pollution ; Songkhla lake ; bioindicator index



บทนำ

เกาะยอ ตั้งอยู่บริเวณกลางทะเลสาบสงขลาตอนล่าง ใกล้กับทางเปิดติดต่อกับทะเล จึงได้รับอิทธิพลจากน้ำเค็มตามฤดูกาล ทำให้เกาะยอและทะเลสาบสงขลาตอนล่างมีความหลากหลายทั้งสัตว์น้ำเค็ม น้ำกร่อย และน้ำจืด (Angsupanich, 2012; Riamcharoen *et al.*, 2013) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่างรวมถึงเกาะยอมีการขยายตัวของกิจกรรมมนุษย์อย่างต่อเนื่องทั้งด้านอุตสาหกรรม ปศุสัตว์ เกษตรกรรม การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมถึงการเจริญเติบโตของชุมชน (Predalumpaburt & La-onsiriwong, 1997) จึงทำให้มีการปล่อยน้ำทิ้งที่เป็นของเสียจากชุมชน สารเคมีและโลหะหนักจากโรงงานอุตสาหกรรม และการทำเกษตรกรรมที่ชะล้างลงสู่ทะเลสาบ นอกจากนี้ยังมีการเพาะเลี้ยงปลาในกระชัง การปลูกสร้างโฮมสเตย์และร้านอาหารล่องลำลงไปในทะเลสาบเป็นจำนวนมาก ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวอาจจะส่งผลให้เกิดขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลในแหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้น (Sareewasarat *et al.*, 2018) จากการศึกษาของ Boadi & Kuitunen (2002) รายงานว่าปัญหาหลักของแหล่งน้ำลากูน คือปัญหาการชะล้างมลพิษและของเสียต่าง ๆ โดยเฉพาะของเสียพวกสารอินทรีย์จากแหล่งชุมชนไปสะสมในตะกอนดิน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อตรงต่อการดำรงชีวิตของประชาคมสัตว์น้ำดินที่อาศัยในบริเวณนั้นด้วย

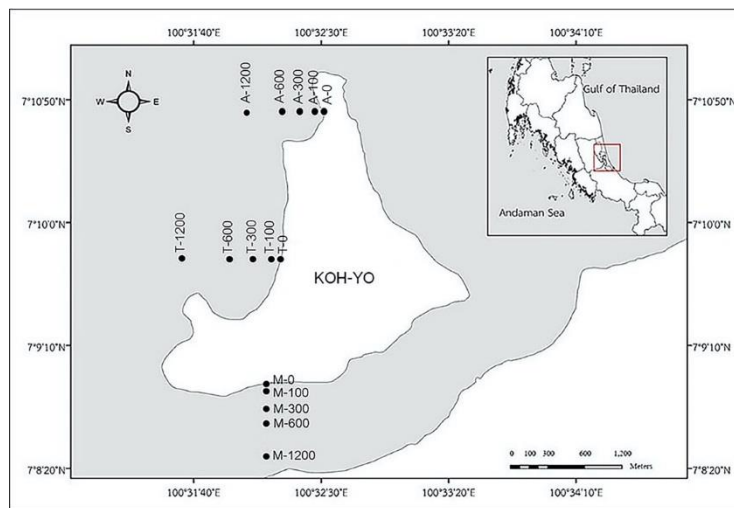
สัตว์น้ำดินขนาดใหญ่มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่งคือ เป็นตัวเชื่อมโยงสายใยอาหารระหว่างผู้ผลิตเบื้องต้นกับผู้บริโภคในระดับสูง (Bertness *et al.*, 2001; Angsupanich *et al.*, 2005; Merritt & Cummins, 2009; Lloret & Marine, 2011; Sa-ah *et al.*, 2017) นอกจากนี้สัตว์น้ำดินบางชนิดยังเป็นตัวช่วยในการหมุนเวียนออกซิเจนและธาตุอาหารในระบบนิเวศแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนถ่ายเทอากาศ น้ำ และอาหารในดิน ส่งผลให้สัตว์อื่น ๆ ที่อาศัยอยู่ระหว่างเม็ดดินได้รับอาหาร น้ำ และอากาศใหม่ไปด้วย (Govindan, 2002; Cummins *et al.*, 2005; Gray & Elliot, 2010; Angsupanich & Rodcharoen, 2012) ปัจจุบันนิยมใช้สัตว์น้ำดินขนาดใหญ่เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพแหล่งน้ำทางชีวภาพ (Biological indicators) (Chiarelli & Roccheri, 2014; Chatzinikolaou *et al.*, 2018) เนื่องจากมีวงจรชีวิตอยู่ในน้ำ มีพฤติกรรมดำรงชีวิตอยู่ร่วมกับที่ เคลื่อนไหวช้า อีกทั้งสัตว์น้ำดินแต่ละชนิดมีความทนทานต่อการต้านมลพิษที่แตกต่างกัน ดังนั้นการพบสัตว์น้ำดินชนิดใดชนิดหนึ่งเพิ่มขึ้นในขณะที่ชนิดอื่น ๆ ลดลงหรือหายไป สามารถเป็นสัญญาณเตือนให้รู้ว่าคุณภาพน้ำและตะกอนดินบริเวณนั้นกำลังเสื่อมโทรมหรือกำลังเกิดมลพิษ (Borja *et al.*, 2000; Taggliapietra & Sigorini, 2010; Sampantarak *et al.*, 2011) โดยทั่วไปบริเวณแหล่งน้ำที่มีชุมชนน้อยและอยู่ในสภาวะไร้มลพิษมักพบสัตว์น้ำดินกลุ่มครัสตาเซีย (crustaceans) เป็นสัตว์กลุ่มเด่น ในขณะที่บริเวณที่มีชุมชนหนาแน่นและอยู่ในสภาวะเกิดมลพิษ มักพบได้เดือนทะเล (polychaetes) โอลิโกคิต (oligochaetes) และหอย (mollusks) ชุกชุมมาก (Angsupanich & Kuwabara, 1999; Phuttapreecha, 2009; Belal *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตามในอดีตที่ผ่านมาบริเวณทะเลสาบสงขลามีเพียงการศึกษาองค์ประกอบชนิดและความชุกชุมของสัตว์น้ำดินร่วมกับคุณภาพน้ำและตะกอนดิน เพื่อใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์และบ่งชี้ถึงสภาวะมลพิษเท่านั้น แต่ยังไม่เคยมีการนำค่าดัชนีทางชีวภาพมาใช้ประเมินสภาวะมลพิษจากสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำบริเวณเกาะยอ ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการศึกษาในครั้งนี้คือ การศึกษาประชาคมสัตว์น้ำดินร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง และการนำค่าดัชนี AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) มาเป็นดัชนีชีวภาพเพื่อประเมินสภาวะมลพิษจากสารอินทรีย์ในบริเวณชุมชนรอบเกาะยอและทะเลสาบสงขลา ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและนำมาใช้ประเมินสภาวะมลพิษ

กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Plathong *et al.*, 2014; Tantikamton, *et al.*, 2017; Qiu *et al.*, 2018; Mehdipour *et al.*, 2018; Fouad *et al.*, 2019; Yan *et al.*, 2020) ข้อมูลดังกล่าวเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการศึกษาต่อยอด เพื่อวางแผนในการจัดการปัญหาด้านมลพิษบริเวณเกาะยอและทะเลสาบสงขลาต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

การศึกษาศัตรูหน้าดินขนาดใหญ่และปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของบริเวณที่มีกิจกรรมมนุษย์รอบเกาะยอ ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 โดยการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 3 สถานี โดยแต่ละสถานีวางแนวเก็บตัวอย่างจากชายฝั่งออกไปนอกฝั่งเป็นจำนวน 5 สถานีย่อย ที่ระยะ 0, 100, 300, 600 และ 1,200 เมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 1) ประกอบด้วยสถานีที่เป็นที่ตั้งชุมชนบ้านเรือนและเป็นที่ยอมรับสารอินทรีย์จากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ สถานีบ้านอ่าวทราย (สถานี A) ($7^{\circ}10'48.64''$ N, $100^{\circ}32'25.55''$ E) โดยบริเวณสถานีใกล้ฝั่ง (0 – 300 เมตร) เป็นบริเวณที่มีการสร้างโฮมสเตย์ร้านอาหารและการเพาะเลี้ยงปลาในกระชังอย่างหนาแน่น ส่วนบริเวณสถานีไกลฝั่ง (600 – 1,200 เมตร) เป็นบริเวณที่มีการวางเครื่องมือประมง และสถานีวัดท้ายยอ (สถานี T) ($7^{\circ}9'45.10''$ N, $100^{\circ}32'10.46''$ E) บริเวณสถานีใกล้ฝั่ง (0 – 300 เมตร) เป็นบริเวณที่มีแหล่งชุมชน มีการสะสมของสาหร่าย (eutrophication) และการเพาะเลี้ยงปลาในกระชัง ส่วนบริเวณสถานีไกลฝั่ง (600 – 1,200 เมตร) เป็นบริเวณที่มีการวางเครื่องมือประมง ส่วนสถานีป่าชายเลน (สถานี M) ($7^{\circ}8'51.27''$ N $100^{\circ}32'9.01''$ E) เป็นบริเวณที่มีกิจกรรมของมนุษย์น้อยและเป็นพื้นที่ป่าชายเลน โดยสารอินทรีย์บริเวณนี้มาจากการสะสมของซากพืชซากสัตว์ในป่าชายเลนบริเวณสถานีริมขอบชายฝั่ง (0 เมตร) ส่วนระยะอื่น ๆ เป็นบริเวณที่มีการวางเครื่องมือประมง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไชนิ่ง และโพงพาง เป็นต้น



ภาพที่ 1 พื้นที่เก็บตัวอย่างในแต่ละสถานีบริเวณเกาะยอ จังหวัดสงขลา



2. การเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่

เก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ โดยใช้ Ekman's grab ขนาดพื้นที่หน้าตัด 15x15 ตารางเซนติเมตร จุดละ 5 ซ้ำ ร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรงร่อนที่มีขนาดตา 5, 1 และ 0.5 มิลลิเมตร ศึกษาลักษณะตัวอย่างด้วยน้ำยาฟอรัมาลินเป็นกลาง ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการโดยการจำแนกในระดับสกุลและชนิดภายใต้กล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ (compound microscope) และแบบสเตอริโอ (stereo microscope) โดยใช้คู่มือจำแนกของ Carpenter & Niem (1998), Angsupanich & Himyi (2012) และ Angsupanich & Rodcharoen (2012) เป็นหลัก และนับจำนวนแต่ละชนิดแล้วรายงานผลในหน่วยตัวต่อตารางเมตร

3. การเก็บตัวอย่างปัจจัยสิ่งแวดล้อม

เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวัดคุณภาพน้ำ จุดละ 3 ซ้ำ โดยวัดความลึกด้วย Depth sounder รุ่น Hondex PS-7 ใช้กระบอกเก็บน้ำที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร จากพื้นท้องน้ำเพื่อนำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดคุณภาพน้ำหั่วรวม (multi probe) รุ่น Horiba U-50 ส่วนความเค็มใช้ Hand refractometer ของ ATAGO รุ่น MASTER-53α ในขณะที่ออกซิเจนละลายน้ำ เก็บตัวอย่างน้ำด้วยขวด BOD และทำ oxygen fixation ด้วยวิธี Azide-modification จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการไทเตรท (APHA, AWWA & WEF, 1998) ส่วนคุณภาพดิน เก็บตะกอนดินจุดละ 3 ซ้ำด้วย Ekman's grab ขนาดพื้นที่หน้าตัด 15x15 ตารางเซนติเมตร เอาตัวอย่างดินแช่แข็งเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุตามวิธี Walkley and Black modified (Nelson & Sommers, 1982) และขนาดอนุภาคตะกอนดิน (grain size) ด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (Gee & Bauder, 1986) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของดินตะกอน ได้แก่ อนุภาคทราย (%sand) ทรายแป้ง (%silt) และดินเหนียว (%clay)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยความชุกชุมของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (ตัวต่อตารางเมตร) โดยการนับจำนวนของสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดในแต่ละสถานี วิเคราะห์ความคล้ายคลึง (cluster analysis: CA) ของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ ปัจจัยคุณภาพน้ำ และคุณภาพตะกอนดินระหว่างจุดของแต่ละสถานี ซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ได้ตัดแปลงเป็น $\log(x+1)$ ก่อนด้วยโปรแกรม microsoft excel แล้วนำมาจัดกลุ่มโดยวิธี UPGMA (unweight pair group average method) ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม (canonical correspondence analysis: CCA) และวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลาย (diversity index) ของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ตามวิธีของ Shannon-Wiener diversity index (Nkwoji *et al.*, 2010) โดยใช้โปรแกรม MVSP (Multivariate Statistical Package Version 3.22)

ดัชนีความหลากหลาย ตามวิธี Shannon Wiener's Index โดยใช้สูตร

$$H' = -\sum P_i \log P_i$$



เมื่อ $H' =$ ดัชนีความหลากหลาย

$P_i =$ สัดส่วนจำนวนสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดต่อจำนวนสัตว์หน้าดินทั้งหมด

$\log P_i =$ Natural log of P_i

การประเมินสถานะมลพิษของปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำบริเวณเกาะยอโดยใช้สัตว์หน้าดินเป็นตัวบ่งชี้ด้วยดัชนี AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) ตามวิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวภาพของ Borja *et al.* (2000) การจำแนก ระดับความทนทานต่อการถูกรบกวนจากปริมาณสารอินทรีย์ของสัตว์หน้าดินในแต่ละชนิด อ้างอิงตามเกณฑ์ของ Pearson & Rosenberg (1978), Grall & Glémarec (1997), Carvalho *et al.* (2006), Cheung *et al.* (2008) และ Wang (2019) สามารถ แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 (GI) คือชนิดที่มีความไวต่อภาวะที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง มักพบได้ในสภาวะปกติ และ จะพบในบริเวณที่ไม่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์, กลุ่มที่ 2 (GII) คือชนิดที่ทนต่อสภาวะที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงได้ในระดับ ปานกลาง และจะพบว่ามีความหนาแน่นต่ำและไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา, กลุ่มที่ 3 (GIII) คือชนิดที่มีความทนทานต่อ สภาวะที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงได้ดี สามารถพบได้ทั้งในสภาพแวดล้อมปกติ แต่จะเพิ่มจำนวนประชากรได้อย่างรวดเร็วตาม การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารอินทรีย์, กลุ่มที่ 4 (GIV) คือชนิดที่เป็นชนิดฉวยโอกาสอันดับสอง (second opportunistic species) สามารถสร้างกลุ่มประชากรได้อย่างรวดเร็วเป็นลำดับที่ 2 และกลุ่มที่ 5 (GV) คือชนิดที่เป็นชนิดฉวยโอกาสอันดับแรก (first opportunistic species) สามารถสร้างกลุ่มประชากรได้อย่างรวดเร็วเป็นลำดับที่ 1 หลังจากนั้นจึงนำมาคำนวณหาค่า สัมประสิทธิ์ดัชนีชีวภาพ (Biotic Coefficient: BC) ตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{Biotic Coefficient} = \{(0 \times \%GI) + (1.5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4.5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)\} / 100$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวภาพ (BC) สามารถบ่งชี้ระดับสภาวะมลพิษของปริมาณสารอินทรีย์ ดังนี้

$0.0 < BC \leq 1.2$: ไม่เกิดมลพิษ/ปกติ (undisturbed/ unpolluted)

$1.2 < BC \leq 3.3$: เกิดมลพิษเล็กน้อย (slightly disturbed/slightly polluted)

$3.3 < BC \leq 5.0$: เกิดมลพิษปานกลาง (moderately disturbed/meanly polluted)

$5.0 < BC \leq 6.0$: เกิดมลพิษสูง (extremely disturbed/ extremely polluted)

ผลการวิจัย

1. คุณภาพน้ำ

ความลึกของน้ำ (ภาพที่ 2a) มีค่าอยู่ในช่วง $0.40 \pm 0.00 - 2.60 \pm 0.00$ เมตร โดยสถานีบ้านอ่าวทราย (สถานี A) มี แนวโน้มลึกมากขึ้นตามระยะที่ห่างจากชายฝั่งออกไป ในขณะที่สถานีวัดท้ายอ (สถานี T) และสถานีป่าชายเลน (สถานี M) มีความลึกสูงสุดที่ระยะห่างจากขอบชายฝั่ง 300 เมตร ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (ภาพที่ 2b) มีความเป็นกรดอ่อนจนถึงเป็น กลางคือมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง $6.55 \pm 0.00 - 7.57 \pm 0.07$ อุณหภูมิของน้ำ (ภาพที่ 2c) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง $27.76 \pm 0.01 -$



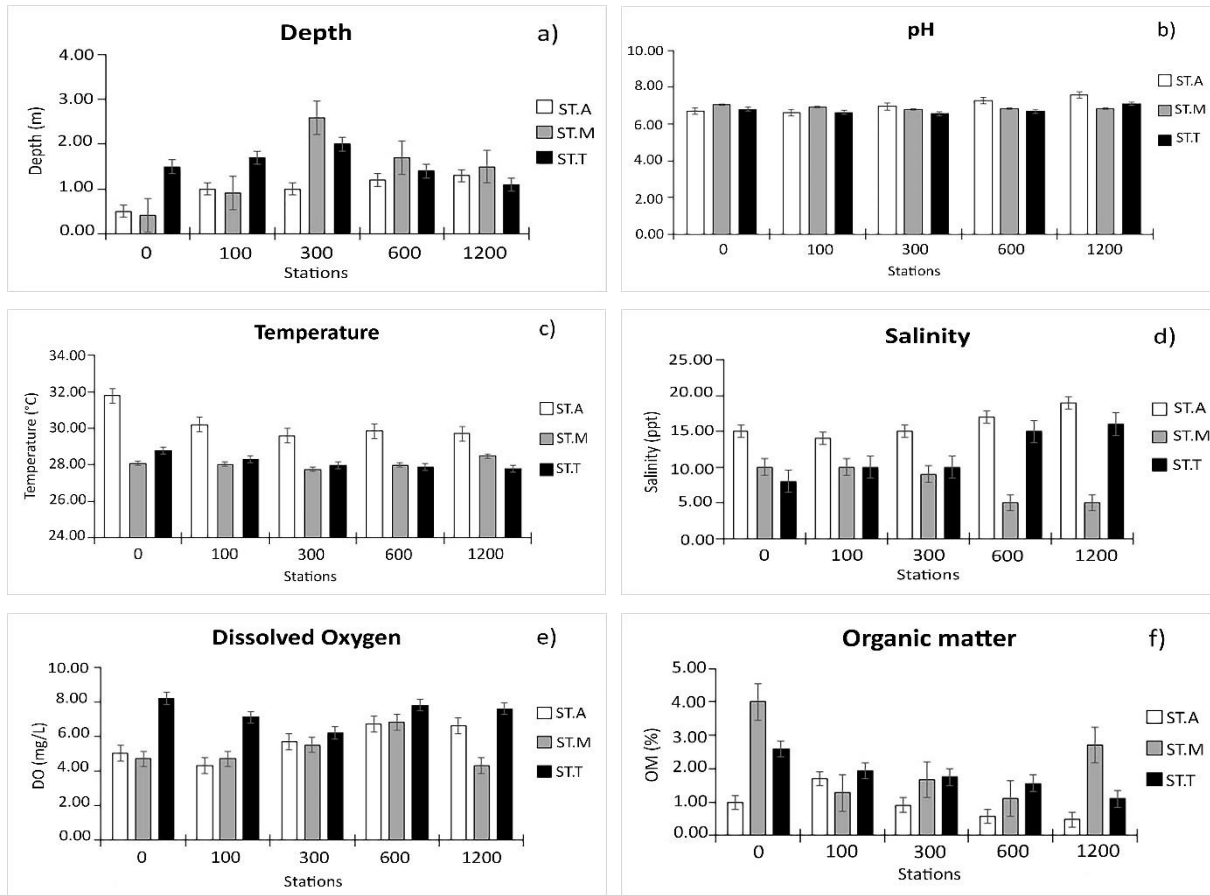
31.77±0.12 องศาเซลเซียส โดยสถานีบ้านอ่าวทราย (สถานี A) มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำสูงกว่าอีกสองสถานีในทุกๆ ระยะความเค็มของน้ำ (ภาพที่ 2d) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.00±0.00 – 19.00±0.00 พีพีที สถานีบ้านอ่าวทรายและสถานีวัดท้ายยอด มีแนวโน้มพบค่าสูงขึ้นตามระยะห่างจากชายฝั่งออกไป ในขณะที่สถานีป่าชายเลน มีแนวโน้มพบค่าลดลงที่ระยะห่างจากชายฝั่งออกไป โดยสถานีบ้านอ่าวทรายมีค่าเฉลี่ยความเค็มของน้ำสูงกว่าอีกสองสถานีในทุกๆ ระยะ และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (ภาพที่ 2e) อยู่ในช่วง 4.30±0.10 – 8.20±0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบค่าสูงสุดที่ระยะห่างจากชายฝั่งออกไป โดยสถานีวัดท้ายยอด (สถานี T) มีค่าเฉลี่ยค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าอีกสองสถานีในทุกๆ ระยะ

2. คุณภาพตะกอนดิน

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดิน (ภาพที่ 2f) มีค่าอยู่ในช่วง 0.47±0.03% – 4.00±0.15% มีแนวโน้มพบค่าสูงสุดที่ระยะริมขอบชายฝั่ง (ระยะ 0 เมตร) และมีแนวโน้มลดลงตามระยะที่ห่างจากขอบชายฝั่งออกไป ยกเว้นสถานีบ้านอ่าวทรายที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าสูงสุดที่ระยะ 100 เมตร ส่วนขนาดอนุภาคตะกอนดิน (ตารางที่ 1) พบว่าโครงสร้างของตะกอนดินทุกสถานีมีลักษณะเป็นดินเหนียว (clay) โดยในแต่ละสถานีมีค่าเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว (%clay) อยู่ในช่วง 42.63±3.33% – 75.97±8.82% เปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง (%silt) อยู่ในช่วง 6.50±3.13 – 26.50±3.80 และเปอร์เซ็นต์ทราย (%sand) อยู่ในช่วง 8.00±6.20 – 41.33±0.47 โดยสถานีป่าชายเลนที่ระยะห่างจากฝั่ง 600 และ 1,200 เมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว (%clay) สูงที่สุด แต่มีค่าเปอร์เซ็นต์ทราย (%sand) ต่ำกว่าจุดอื่น ๆ ส่วนเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง (%silt) มีค่าต่ำสุดบริเวณบ้านอ่าวทรายที่ระยะห่างจากฝั่ง 300 เมตร

ตารางที่ 1 ขนาดอนุภาคตะกอนดิน (ค่าเฉลี่ย±ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) และลักษณะเนื้อดิน (Soil texture)

Stations	%Clay	%Silt	%Sand	Soil Texture
A-0	52.63±3.33	12.23±3.33	35.13±3.33	Clay
A-100	55.97±3.33	15.57±3.33	28.47±3.33	Clay
A-300	59.30±10.00	6.50±3.13	34.20±6.91	Clay
A-600	59.30±5.77	13.17±6.45	27.53±8.92	Clay
A-1200	42.63±3.33	16.03±2.87	41.33±0.47	Clay
M-0	62.63±3.33	19.37±5.37	18.00±3.13	Clay
M-100	60.97±7.26	23.90±10.41	15.13±3.33	Clay
M-300	67.63±6.01	11.03±4.35	21.33±6.18	Clay
M-600	75.97±8.82	16.03±3.59	8.00±6.20	Clay
M-1200	75.97±3.33	15.57±3.33	8.47±6.67	Clay
T-0	64.30±2.89	22.70±3.13	13.00±3.97	Clay
T-100	49.30±5.77	19.37±0.47	31.33±5.79	Clay
T-300	55.97±3.33	26.03±6.45	18.00±3.13	Clay
T-600	62.63±3.33	26.50±3.80	10.87±0.47	Clay
T-1200	64.30±2.89	17.70±5.70	18.00±3.13	Clay



ภาพที่ 2 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแต่ละสถานี (ค่าเฉลี่ย±ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 บริเวณเกาะยอ จังหวัดสงขลา

3. สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่

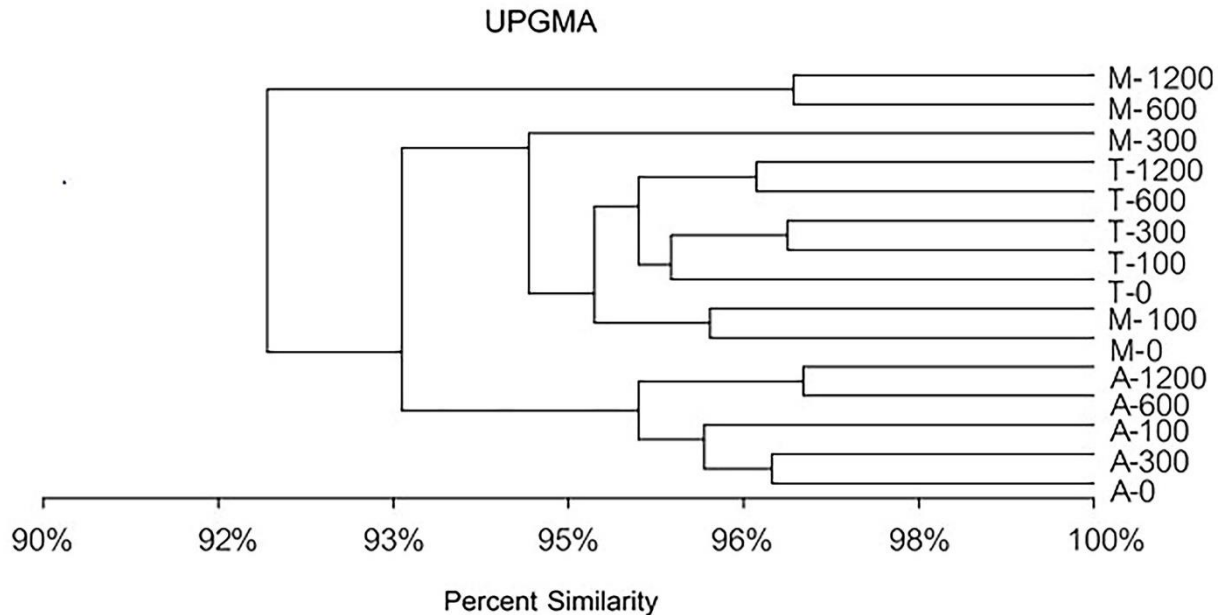
3.1 ความหลากหลายและความชุกชุมของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่

จากการศึกษาประชาคมสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ทั้งหมด 3 ไฟลัม 34 ชนิด (ตารางที่ 2) ได้แก่ ไฟลัมอาร์โทรพอดา (Phylum Arthropoda) ซึ่งมีความหลากหลายมากที่สุดคือ 19 ชนิด ประกอบด้วย กลุ่มครัสตาเซียน พบกลุ่มทาไนดาเซียน (tanaidaceans) ชนิด *Ctenapseudes sapensis* แอมฟิพอด (amphipods) ชนิด *Paraniphargus latiflagella* และ *Grandidierella gilesi* เป็นสัตว์ชนิดเด่น รองลงมาคือ ไฟลัมแอนเนลิดา (Phylum Annelida) 9 ชนิด ประกอบด้วย กลุ่มไส้เดือนทะเล และโอลิโกคิต โดยไส้เดือนทะเลชนิด *Nephtys polybranchia* และ *Heteromastus filiformis* เป็นสัตว์ชนิดเด่น และไฟลัมมอลลัสกา (Phylum Mollusca) 6 ชนิด ประกอบด้วย กลุ่มหอยสองฝา (bivalves) และหอยฝาเดียว (gastropods) หอยสองฝาชนิด *Corbula* sp. และหอยฝาเดียวชนิด *Sermyla riquetii* เป็นสัตว์ชนิดเด่น โดยที่สถานีบ้าน

อ่าวทราย (สถานี A) พบจำนวนชนิดของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่มากที่สุด (30 ชนิด) รองลงมาคือสถานีป่าชายเลน (สถานี M; 23 ชนิด) และสถานีวัดท้ายขอ (สถานี T; 15 ชนิด) น้อยที่สุด

ความชุกชุมของสัตว์หน้าดินเฉลี่ยคือ $3,099 \pm 63$ ตัวต่อตารางเมตร เมื่อพิจารณาในแต่ละสถานี พบว่าที่สถานีบ้านอ่าวทรายมีความชุกชุมเฉลี่ยมากที่สุด ($3,849 \pm 88$ ตัวต่อตารางเมตร) รองลงมาคือสถานีป่าชายเลน ($3,084 \pm 296$ ตัวต่อตารางเมตร) และน้อยที่สุดที่สถานีวัดท้ายขอ ($2,363 \pm 139$ ตัวต่อตารางเมตร) ส่วนสัตว์หน้าดินชนิดเด่นที่พบแพร่กระจายทุกสถานี ได้แก่ ทาโนดาเซียนชนิด *C. sapensis* ($1,734 \pm 8$ ตัวต่อตารางเมตร) แอมฟิพอดชนิด *P. latiflagella* (487 ± 11 ตัวต่อตารางเมตร) และ *G. gilesi* (207 ± 81 ตัวต่อตารางเมตร)

ดัชนีความหลากหลายของสัตว์หน้าดิน (Shannon-Wiener Diversity Index) มีค่าแตกต่างกันในแต่ละสถานีและแต่ละระยะ มีค่าอยู่ในช่วง 1.6 – 2.7 โดยสถานีบ้านอ่าวทรายมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($H' = 2.6$) อยู่ในช่วง 2.4 – 2.7 รองลงมาคือสถานีป่าชายเลน ($H' = 2.2$) อยู่ในช่วง 1.6 – 2.5 และน้อยที่สุดที่สถานีวัดท้ายขอ ($H' = 2.1$) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.9 – 2.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 เปรอริเซ็นต์ความคล้ายคลึงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม



ตารางที่ 2 การแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (ค่าเฉลี่ย±ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) (ตัวเลขตัวหนาและขีดเส้นใต้ คือ ระยะของจุดเก็บตัวอย่างที่พบความหนาแน่นมากที่สุด; 1 = 0, 2 = 100, 3 = 300, 4 = 600 และ 5 = 1,200 เมตร ตามลำดับ; Code หมายถึง อักษรย่อของสัตว์หน้าดินแต่ละชนิด; ind/m² คือ ตัวต่อตารางเมตร)

Taxa/Stations	Code	ST.T	ST.A	ST.M	Max (ind/m ²)	AMBI group
Phylum Annelida						
Class Polychaeta						
Family Capitellidae						
<i>Barantolla sculpta</i>	Bar		<u>1</u>	<u>1,3</u>	9±9	II
<i>Heteromastus filiformis</i>	Het	2,3,4,5	<u>1,2,4</u>	1,2,3,5	116±79	IV
<i>Mediomastus</i> sp.	Med	4	4,5	2,3,4, <u>5</u>	62±33	III
Family Nephtyidae						
<i>Nephtys polybranchia</i>	Nep	3,4,5	1,3, <u>4,5</u>	1,2,3,5	80±29	II
Family Nereididae						
<i>Dendronereis aestuarina</i>	Den	4, <u>5</u>	2,4		44±44	I
<i>Neanthes</i> sp.1	Nea	2	<u>3</u>		27±18	III
Family Pilargidae						
<i>Sigambra</i> sp.	Sig			<u>2</u>	9±9	IV
Family Spionidae						
<i>Prionospio japonica</i>	Prj	<u>4,5</u>		5	53±53	IV
Class Oligochaeta						
	Oli			<u>5</u>	9±9	V
Phylum Arthropoda						
Class Crustacea						
Order Amphipoda						
Family Amphiloichidae						
<i>Amphiloichus</i> sp.	Amp		<u>2</u>	2	44±44	I
Family Aoridae						
<i>Grandidierella gilesi</i>	Gra	1,2,3,4	1,2,3,4,5	1,2, <u>3,4,5</u>	1,467±1,467	III
Family Corophiidae						
<i>Apocorophium acutum</i>	Apo	1	<u>3</u>	3,5	373±142	I
<i>Corophium</i> sp.	Coro		<u>3</u>	3,5	293±174	I
Family Eriopisidae						
<i>Eriopisella</i> cf. <i>sechellensis</i>	Eri	2,5	<u>2,4</u>		89±24	I
<i>Victoriopisa chilensis</i>	Vic	1,2,5	<u>1,2,5</u>	2,5	222±104	I
Family Kamakidae						
<i>Kamaka appendiculata</i>	Kam		<u>4,5</u>	2,4	124±41	I
Family Maeridae						
<i>Quadrivisio bengalensis</i>	Qua		<u>1,3,5</u>	<u>5</u>	9±9	I
Family Melitidae						
<i>Paraniphargus latiflagella</i>	Pal	1,2,3,4,5	<u>1,2,3,4,5</u>	2,3,4,5	1,947±298	I

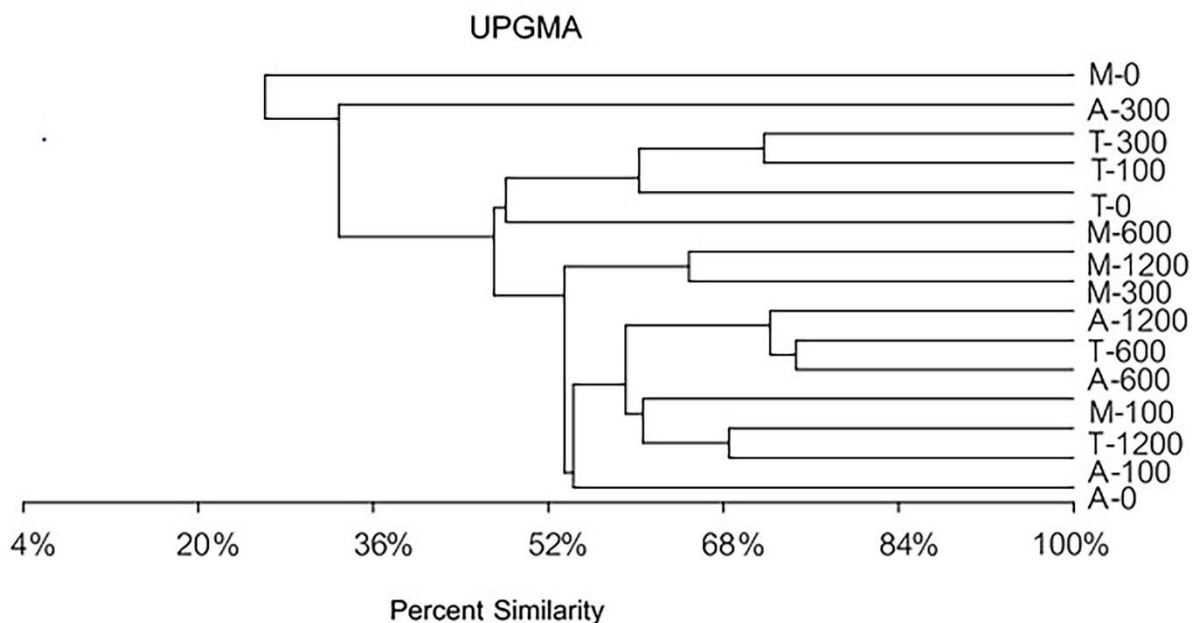


ตารางที่ 2 (ต่อ) การแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ (ค่าเฉลี่ย ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) (ตัวเลขตัวหนาและขีดเส้นใต้ คือ ระยะของจุดเก็บตัวอย่างที่พบความหนาแน่นมากที่สุด; 1 = 0, 2 = 100, 3 = 300, 4 = 600 และ 5 = 1,200 เมตร ตามลำดับ; Code หมายถึง อักษรย่อของสัตว์หน้าดินแต่ละชนิด; ind/m² คือ ตัวต่อตารางเมตร)

Taxa/Stations	Code	ST.T	ST.A	ST.M	Max (ind/m ²)	AMBI group
Family Oedicerotidae						
<i>Perioculodes</i> sp.	Per	1,2, <u>4</u>	4,5		36±17	I
Family Photidae						
<i>Dodophotis digitata</i>	Pho		<u>3</u>	<u>4</u>	27±27	I
Family Alpheidae						
<i>Alpheus</i> sp.	Alp		4,5	4, <u>5</u>	36±17	II
Family Upogebiidae						
<i>Upogebia</i> sp.	Upo		<u>1,2,3,4,5</u>		27±18	I
Order Isopoda						
Family Anthuridae						
<i>Amakusanthura</i> sp.	Ama		1, <u>4,5</u>		27±27	I
Family Cirolanidae						
<i>Cirolana fluviatilis</i>	Cirf		2, <u>3</u>	3	320±112	I
Family Hyssuridae						
<i>Kupellonura</i> sp.	Kup		<u>1,5</u>		53±26	I
Order Tanaidacea						
Family Pagurapseudopsididae						
<i>Pagurapseudopsis thailandica</i>	Pag	3,4,5	1,2, <u>4,5</u>	2,3,5	249±30	I
Family Parapseudidae						
<i>Ctenapseudes sapensis</i>	Cte	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	2,3,4, <u>5</u>	5,964±758	III
<i>Longiflagrum koyonense</i>	Lon		1, <u>3</u>		18±18	I
Phylum Mollusca						
Class Bivalvia						
Family Corbulidae						
<i>Corbula</i> sp.	Corb		<u>3</u>	3	4,098±805	IV
Family Mytilidae						
<i>Arcuatula senhousia</i>	Arcs		<u>3,5</u>	3	231±81	II
Class Gastropoda						
Family Clenchiellidae						
<i>Clenchiella microscopica</i>	Cle		2	<u>2</u>	142±142	II
Family Marginellidae						
	Mar		<u>4</u>		27±27	II
Family Nassariidae						
<i>Nassarius</i> sp.	Nas		<u>3</u>		160±160	II
Family Thiaridae						
<i>Sermyla riquetii</i>	Ser	<u>1,2,3</u>			427±83	III

3.2 เปรอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมและสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่

เมื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม พบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมทุกสถานี่มีความคล้ายคลึงกันสูง อยู่ในช่วง 92.44% – 97.34% (ภาพที่ 3) โดยสามารถแบ่งกลุ่มความคล้ายคลึงออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยสถานี่ป่าชายเลนที่ระยะไกลฝั่ง M-600 และ M-1200 (97.25%) และกลุ่มที่ 2 แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อย ที่ระดับความคล้ายคลึง 93.67% โดยกลุ่มย่อยที่ 1 ประกอบด้วยสถานี่ป่าชายเลนที่ระยะใกล้ฝั่ง (M-0, M-100 และ M-300) และสถานี่วัดท้ายขยทุกระยะ ส่วนกลุ่มย่อยที่ 2 ประกอบด้วยสถานี่บ้านอ่าวทรายทุกระยะ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ระหว่างสถานี่มีความคล้ายคลึงกันอยู่ในช่วง 26.13% – 74.65% (ภาพที่ 4) สถานี่ป่าชายเลนที่ระยะริมขอบชายฝั่ง (M-0) มีความคล้ายคลึงกับสถานี่อื่น ๆ น้อยที่สุด และสถานี่วัดท้ายขยที่ระยะ 600 เมตร (T-600) และสถานี่บ้านอ่าวทรายที่ระยะ 600 เมตร (A-600) มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด

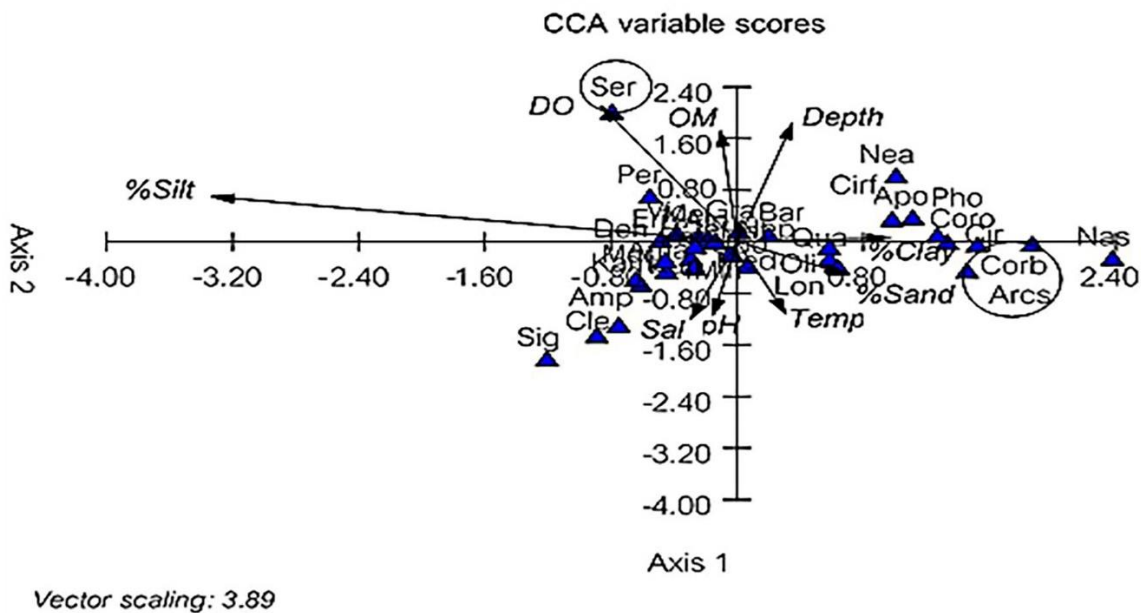


ภาพที่ 4 เปรอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึงของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม พบว่าขนาดอนุภาคตะกอนดินแบบทรายแป้ง (%silt) มีผลต่อการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่มากที่สุด (ภาพที่ 5) โดยสัตว์หน้าดินชนิดเด่น ได้แก่

หอยฝาเดียวชนิด *Sermyla riquetii* (Ser) มีความหนาแน่นสูงในบริเวณที่มีลักษณะดินตะกอนที่มีเปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่าออกซิเจนละลายน้ำสูง โดยพบหอยชนิดนี้เฉพาะบริเวณสถานีวัดท้ายยอด ที่ระยะใกล้ฝั่ง (0, 100 และ 300 เมตร) เท่านั้น ในขณะที่หอยสองฝาชนิดชนิดเด่น ได้แก่ *Arcuatula senhousia* (Arcs) และ *Corbula* sp. (Corb) พบว่ามีความหนาแน่นมากในบริเวณที่มีลักษณะดินตะกอนที่มีเปอร์เซ็นต์ทรายแป้งต่ำ แต่มีเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว (%clay) และทราย (%sand) สูง โดยหอยสองฝาสองชนิดดังกล่าวมีความหนาแน่นสูงในสถานีบ้านอ่าวทรายและสถานีป่าชายเลนเฉพาะที่ระยะใกล้ฝั่ง 300 เมตร และไม่พบการแพร่กระจายของหอยสองฝาสองชนิดนี้เลยในสถานีวัดท้ายยอด ในขณะที่สัตว์หน้าดินที่ชนิดเด่น ได้แก่ ทาไนดาเซียชนิด *C. sapensis* (Cte) แอมฟิพอดชนิด *P. latiflagella* (Pal) และ *G. gilesi* (Gra) และได้เดือนทะเลชนิด *N. polybranchia* (Nep) พบว่ามีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมน้อย จึงทำให้สามารถแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินชนิดเหล่านี้ได้ในทุกสถานี



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์ CCA แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

3.4 การประเมินสภาวะมลพิษในแหล่งน้ำด้วยดัชนี AMBI (AZTI's Marine Biotic Index)

สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่พบทั้งหมดสามารถจัดกลุ่มระดับความไวต่อปริมาณสารอินทรีย์ตามดัชนี AMBI ได้ทั้งหมด 5 กลุ่ม (ตารางที่ 2) เมื่อนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวภาพ เพื่อประเมินระดับสถานภาพการเกิดมลพิษจากสารอินทรีย์ในแต่ละสถานีพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวภาพหรือค่าบ่งชี้การเกิดมลพิษมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.0 – 2.5 (ตารางที่ 3) หรือมีสถานภาพการเกิดมลพิษเล็กน้อย (slightly polluted) แต่เมื่อพิจารณาในแต่ละระยะของแต่ละสถานีพบว่า



มีเพียงสถานีบ้านอ่าวทรายที่ระยะ 0 เมตรเท่านั้น ที่ไม่เกิดมลพิษ (BC=0.9: unpolluted) นอกจากนั้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวะภาพบ่งชี้ว่าเกิดมลพิษในทุกระยะของทุกสถานี โดยส่วนใหญ่ที่ระยะใกล้ฝั่ง (ระยะ 0 – 300 เมตร) มีแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวะภาพมากกว่าสถานีไกลฝั่งออกไป โดยสถานีบ้านอ่าวทรายมีค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวะภาพสูงสุดที่ระยะ 300 เมตร (BC=3.4: meanly polluted) ซึ่งอยู่ในสถานภาพมลพิษปานกลาง เช่นเดียวกับสถานีป่าชายเลนที่พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวะภาพมีค่าสูงสุดที่ระยะ 300 เมตร (BC=2.7: slightly polluted) อยู่ในสถานภาพเกิดมลพิษเล็กน้อย ในขณะที่สถานีวัดท้ายอ้อมมีค่าสูงที่สุดที่ระยะ 0 และ 600 เมตร (BC=2.6: : slightly polluted) อยู่ในสถานภาพเกิดมลพิษเล็กน้อย

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวะภาพ (Biotic Coefficient: BC) แต่ละระยะ

Stations	0	100	300	600	1,200	AMBI (Mean)	Ecological status
A	0.9	2.0	3.4	2.0	1.8	2.0	slightly polluted
M	2.6	2.5	2.7	2.0	2.6	2.5	slightly polluted
T	2.6	1.7	1.8	2.6	2.2	2.2	slightly polluted

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ คุณภาพน้ำ ประกอบด้วย อุณหภูมิ, ความเค็ม, ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (Pollution Control Department, 2014) ส่วนคุณภาพตะกอนดิน พบว่าขนาดอนุภาคตะกอนดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวหรือดินโคลน (clay) เหมือนกันทุกสถานี และปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 0.47 – 3.00% ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานของชายฝั่งทะเลทั่วโลก (Hyland *et al.*, 2000) ยกเว้นในสถานีป่าชายเลนที่ระยะริมขอบชายฝั่ง 0 เมตร (4.00%) ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน อาจเนื่องมาจากบริเวณนี้เป็นบริเวณป่าชายเลน ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น-น้ำลง มีการพัดพาธาตุอาหารมาสะสมในตะกอนดิน (Alongi, 2015; Saavedra-Hortua *et al.*, 2020) ทั้งจากกิจกรรมมนุษย์ในบริเวณระบบนิเวศใกล้เคียง และจากกิจกรรมที่เกิดในกระบวนการตามธรรมชาติ เช่น การทับถมของใบไม้ป่าชายเลน หรือ กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน (Paibulkichakul *et al.*, 2008; Grémare *et al.*, 2013) อีกทั้งดินตะกอนบริเวณป่าชายเลนมีอนุภาคดินเหนียว (clay) เป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง ซึ่งดินเหนียวเป็นดินที่มีเนื้อละเอียดที่สุด มีคุณสมบัติจับยึดและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารได้ดี จึงทำให้ดินตะกอนประเภทนี้มีธาตุอาหารอยู่มาก (Sukudom *et al.*, 2015)

สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ บริเวณเกาะยอ จังหวัดสงขลา พบทั้งหมด 3 ไฟลัม ได้แก่ ไฟลัม Arthropoda ไฟลัม Annelida และไฟลัม Mollusca ซึ่งเป็นสัตว์หน้าดินกลุ่มหลักที่พบเสมอในทะเลสาบสงขลาตอนนอก โดยคิดเป็น 98.9% ของสัตว์หน้าดินที่พบทั้งหมด สอดคล้องกับการศึกษาของ Angsupanich & Kuwabara (1995), Predalumpaburt & La-ongsiriwong (1997), Ruangnu (2000) และ La-ongsiriwong (2001) ส่วนสัตว์หน้าดินชนิดเด่น ได้แก่ ทาไนดาเซียนชนิด *C. sapensis* สอดคล้องกับการศึกษาของ Angsupanich & Rodcharoen (2012) ที่รายงานว่าทาไนดาเซียนชนิด *C. sapensis*

เป็นสัตว์ชนิดเด่นในทะเลสาบสงขลา เนื่องจากสัตว์หน้าดินชนิดนี้สามารถทนความเค็มได้ในช่วงกว้าง (2 – 20 พีพีที) (Angsupanich & Siripech, 2001; Ariyama *et al.*, 2010) ส่วนกลุ่มเด่นที่พบรองลงมาคือ แอมฟิพอดชนิด *P. latiflagella* และ *G. gilesi* ที่มีรายงานพบการแพร่กระจายของแอมฟิพอดสองชนิดนี้ได้ทั้งบริเวณพื้นที่ธรรมชาติและบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก (Rattanama *et al.*, 2015) จากการศึกษาค้นคว้าพบความชุกชุมสูงที่สถานีบ้านอ่าวทรายและสถานีป่าชายเลน เป็นบริเวณที่มีกระชังปลา รวมถึงเครื่องมือประมง เช่น ไชนึ่ง ซึ่งตาข่ายของเครื่องมือประมงเหล่านี้เป็นแหล่งอาศัยของแอมฟิพอดได้ (Angsupanich & Rodcharoen, 2012) ส่วนไส้เดือนทะเลชนิด *N. polybranchia* และ *H. filiformis* ซึ่งเป็นไส้เดือนทะเลกลุ่มที่กินสารอินทรีย์เป็นอาหาร แม้ว่าไส้เดือนทะเลสองชนิดนี้โดยรวมมีความชุกชุมไม่สูงมากนัก แต่สามารถพบแพร่กระจายได้เกือบทุกระยะในทุกสถานี โดยมีความชุกชุมสูงสุดบริเวณที่ระยะใกล้ฝั่งที่มีการเลี้ยงปลาในกระชังที่สถานีบ้านอ่าวทราย และเป็นบริเวณที่มีการสะสมปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดินค่อนข้างสูงกว่าจุดอื่น ๆ ในสถานีเดียวกัน (0.91% – 1.70%) โดยอินทรีย์วัตถุเหล่านี้เป็นอาหารให้แก่ไส้เดือนทะเลกลุ่มกินสารอินทรีย์เป็นอาหาร ส่งผลให้ไส้เดือนทะเลทั้งสองชนิดมีความชุกชุมสูงในบริเวณดังกล่าว สอดคล้องกับการศึกษาบริเวณปากคลองลำโรง ปากคลองพะวง และคลองอู่ตะเภา ซึ่งเป็นคลองที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาตอนนอก (Angsupanich & Kuwabara, 1999) บริเวณอ่าวปากพนังฝั่งตะวันออกจังหวัดนครศรีธรรมราช (Nootcharoen, 2009) และบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด (Poonapa-amporn *et al.*, 2019) ซึ่งสามารถพบการแพร่กระจายของไส้เดือนทะเลสองชนิดนี้เสมอในบริเวณที่ถูกรบกวนจากกิจกรรมมนุษย์ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดินค่อนข้างสูง เมื่อวิเคราะห์ความคล้ายคลึงของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่พบว่ามีความคล้ายคลึงกันต่ำถึงปานกลางอยู่ในช่วง 26.13% – 74.65% ในขณะที่ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละสถานีมีความคล้ายคลึงกันสูง (92.44% – 97.34%) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมพบว่า ขนาดอนุภาคตะกอนดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดินมีผลต่อการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณเกาะยอมมากที่สุด ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าขนาดตะกอนดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุเป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินในบริเวณเกาะยอมมากกว่าคุณภาพน้ำ (Rodcharoen, 2009; Castro & Huber, 2016)

การประเมินระดับการเกิดมลพิษจากสารอินทรีย์ด้วยดัชนี AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) โดยใช้สัตว์หน้าดินเป็นตัวบ่งชี้สภาวะมลพิษบริเวณเกาะยอม พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.0 – 2.5 นั่นคือแสดงว่าบริเวณพื้นที่รอบเกาะยอมเริ่มเกิดภาวะมลพิษจากสารอินทรีย์ ซึ่งอยู่ในระดับการถูกรบกวนหรือเกิดมลพิษเล็กน้อย (slightly polluted) โดยส่วนใหญ่ค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวภาพหรือค่าบ่งชี้การเกิดมลพิษที่บริเวณระยะใกล้ฝั่งมีค่าสูงกว่าระยะที่ห่างจากฝั่งออกไป จากผลการศึกษาพบว่าสถานีบ้านอ่าวทรายที่ระยะ 300 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวภาพหรือค่าการเกิดมลพิษสูงที่สุด ซึ่งมลพิษอยู่ในระดับปานกลาง (BC=3.4: meanly polluted) ในขณะที่บริเวณริมขอบชายฝั่งที่ระยะ 0 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวภาพต่ำที่สุดกว่าทุกสถานี โดยอยู่ในระดับไม่เกิดมลพิษ (BC=0.9: unpolluted) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะบริเวณริมขอบชายฝั่งที่ระยะ 0 เมตรเป็นพื้นที่โล่ง ไม่มีการเพาะเลี้ยงปลาในกระชัง หรือการวางสิ่งปลูกสร้างใด ๆ เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินตามการจำแนกระดับความทนทานต่อการถูกรบกวนจากปริมาณสารอินทรีย์ พบเปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินกลุ่มที่ 1 (GI) เป็นกลุ่มเด่น (74.41%) ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความไวต่อภาวะที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงและมักพบได้ในสภาวะ

ปกติที่ไม่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Carvalho *et al.* (2006) บริเวณโอบิดอสลาญ ประเทศโปรตุเกส และ Sahidin *et al.* (2018) บริเวณชายหาดต้นจุงปาเซอร์ ประเทศอินโดนีเซีย รายงานว่าบริเวณชายฝั่งในพื้นที่ที่พบเปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินกลุ่มที่ 1 (GI) สูง มักพบค่าดัชนี AMBI ต่ำกว่าสถานอื่น ๆ นั่นคือแสดงว่าบริเวณนั้นมีการถูกรบกวนจากภาวะปริมาณสารอินทรีย์ต่ำกว่าสถานอื่น ๆ เช่นกัน ส่วนที่ระยะ 300 เมตรเป็นบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงปลาในกระชังและมีการก่อสร้างโฮมสเตย์ค่อนข้างหนาแน่น ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมดังกล่าวอาจมีการสะสมลงในแหล่งน้ำและส่งผลให้บริเวณนี้อยู่ในสภาวะการเกิดมลพิษจากสารอินทรีย์สูงกว่าระยะอื่น ๆ โดยที่ระยะดังกล่าวพบหอยสองฝา กลุ่มนักฉวยโอกาส (opportunistic species) ชนิด *Corbula sp.* เป็นชนิดเด่น (4,098±1,800 ตัวต่อตารางเมตร) และไม่พบการแพร่กระจายของหอยชนิดนี้โดยที่ระยะอื่น ๆ สอดคล้องกับการศึกษาของ Mutlu & Ergev (2012) บริเวณอ่าวเมอร์ซิน ทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และ Neves *et al.* (2012) บริเวณอ่าวกวานาบารา ประเทศบราซิล รายงานพบว่าหอยสองฝาสกุลนี้ชุกชุมสูงที่ระยะห่างจากขอบชายฝั่ง 100 ถึง 300 เมตร ในบริเวณพื้นที่โคลนปนทรายละเอียดที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในดินสูง และในภาวะออกซิเจนของน้ำต่ำ (Giberto *et al.*, 2004; Kimmerrer, 2006) อีกทั้งหอยสกุลนี้เป็นชนิดฉวยโอกาสลำดับที่ 2 จัดอยู่ในกลุ่มที่ 4 (GIV) ตามดัชนี AMBI (Grall & Glémarec, 1997; Wang, 2019) มีพฤติกรรมกินอินทรีย์สารบริเวณพื้นท้องทะเลเป็นอาหาร (deposit-feeder) ซึ่งสามารถทนทานต่อการสะสมของสารอินทรีย์ส่วนเกินในตะกอนดิน และปรับตัวต่อภาวะขาดออกซิเจนในน้ำได้ (Talman & Keough, 2001; Paganini *et al.*, 2010) ในขณะที่สถานีวัดท้ายอ่าว พบว่าบริเวณที่ระยะริมขอบชายฝั่งที่ระยะ 0 เมตร เป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้ง ของเสียและสิ่งปฏิกูลจากชุมชนโดยตรง และมีการเพาะเลี้ยงปลาในกระชังในบริเวณใกล้เคียงจุดเก็บตัวอย่าง ตะกอนดินมีลักษณะเป็นโคลนเหลวสีดำ และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดิน (2.59%) สูงกว่าระยะอื่น ๆ ในสถานีเดียวกัน ประกอบกับบริเวณดังกล่าวเป็นอ่าวน้ำตื้นและกระแสน้ำค่อนข้างนิ่ง จึงอาจเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้มีการสะสมของปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนดินในบริเวณดังกล่าวมากกว่าระยะอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีชีวภาพซึ่งพบว่ามีค่าสูงกว่าระยะอื่น ๆ เช่นเดียวกัน (BC=2.6: slightly polluted) โดยในบริเวณนี้พบหอยฝาเดียว *S. riquetii* เป็นชนิดเด่น (427±83 ตัวต่อตารางเมตร) และไม่พบการแพร่กระจายของหอยฝาเดียวชนิดนี้เลยในสถานีอื่น ๆ เช่นเดียวกับการศึกษาสัตว์หน้าดินบริเวณที่มีกิจกรรมมนุษย์ในทะเลสาบสงขลาตอนนอกของ Phuttapreecha (2009) บริเวณท่าเทียบเรือ แพลลา และบริเวณปากคลองสำโรง สามารถพบหอยชนิดนี้แพร่กระจายที่เฉพาะระยะห่างจากขอบฝั่งที่ระยะ 2 เมตร (เฉลี่ย 2±3 ตัวต่อตารางเมตร) และบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี (Sri-aroon *et al.*, 2004) โดยพบความชุกชุมของหอยชนิดนี้สูง (257 ตัวต่อตารางเมตร) ในบริเวณแหล่งรองรับน้ำทิ้ง ของเสีย และสิ่งปฏิกูลจากชุมชนโดยตรง รวมถึงจากฟาร์มกุ้งและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเมื่อจำแนกกลุ่มทางนิเวศตามดัชนี AMBI พบว่าหอยชนิดนี้อยู่ในกลุ่มที่ 3 (GIII) ซึ่งเป็นชนิดที่ทนทานต่อสภาวะที่มีปริมาณอินทรีย์สารสูง มีพฤติกรรมกินเศษซากสารอินทรีย์ที่ผิวดินเป็นอาหาร (surface-deposit feeders) และเพิ่มจำนวนประชากรได้รวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์สารได้ (Grall & Glémarec, 1997; Priawandiputra *et al.*, 2017; Wang, 2019) นอกจากนี้ยังพบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ชนิดอื่น ๆ ที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มนักฉวยโอกาส ที่เป็นตัวบ่งชี้ภาวะที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงบริเวณชายฝั่งเช่นกัน ได้แก่ ไข่เดือนทะเลชนิด *Mediomastus sp.* ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่ 3 (GIII) สามารถทนทานต่อสภาวะที่มีปริมาณอินทรีย์สูงและเพิ่มประชากรได้อย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของ



ปริมาณสารอินทรีย์ *H. filiformis* และ *Prionospio japonica* จัดอยู่ในกลุ่มที่ 4 (GIV) เป็นชนิดฉวยโอกาสอันดับที่ 2 และสามารถสร้างประชากรได้อย่างรวดเร็วเป็นอันดับที่ 2 และกลุ่มโอลิโกคิต (oligochaetes) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่ 5 (GV) เป็นชนิดฉวยโอกาสอันดับที่ 1 และสามารถสร้างประชากรได้อย่างรวดเร็วเป็นอันดับที่ 1 และจะพบได้ในบริเวณที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงมาก

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในบริเวณที่เกิดมลพิษจากสารอินทรีย์มากส่งผลให้พบความหลากหลายของสัตว์หน้าดินอยู่น้อยมาก และพบเฉพาะกลุ่มของสัตว์หน้าดินที่ทนทานต่อสภาวะมลพิษจากสารอินทรีย์ได้สูงเท่านั้น ในขณะที่บางชนิดที่ทนทานได้ต่ำจะไม่สามารถแพร่กระจายอยู่ในบริเวณที่ถูกรบกวน ถึงแม้ว่าการศึกษารังนี้จะเป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นที่ใช้ดัชนี AMBI มาประเมินสภาวะมลพิษในบริเวณที่มีกิจกรรมมนุษย์บริเวณเกาะยอ แต่ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าบริเวณที่ทำการศึกษานั้นเริ่มเกิดภาวะมลพิษจากสารอินทรีย์โดยอยู่ในระดับการถูกรบกวนเล็กน้อยจากกิจกรรมมนุษย์บริเวณรอบเกาะยอ ดังนั้นหากไม่มีการจัดการการอย่างเหมาะสม การสะสมของมลพิษรอบเกาะยออาจจะเกิดเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ทั้งหมด 3 ฟิล์ม 34 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มอาร์โทรพอด กลุ่มครัสเตเชีย 19 ชนิด ฟิล์มแอนเนลิดา กลุ่มไส้เดือนทะเลและกลุ่มไส้เดือนน้ำ 9 ชนิด และฟิล์มมอลลัสกา กลุ่มหอยฝาเดียวและหอยสองฝา 6 ชนิด โดยขนาดอนุภาคตะกอนดินมีผลต่อการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณเกาะยอมากที่สุด สัตว์หน้าดินชนิดเด่นที่พบแพร่กระจายได้ทุกสถานี ได้แก่ ทาเนาเซียชนิด *C. sapensis* และแอมฟิพอดชนิด *P. latiflagella* และ *G. gilesi* บริเวณสถานีวัดท้ายยอ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีแหล่งชุมชนหนาแน่นมีความหลากหลายและความชุกชุมของสัตว์หน้าดินน้อยที่สุด ส่วนคุณภาพน้ำและตะกอนดินส่วนใหญ่แม้ว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง แต่เมื่อประเมินระดับการเกิดมลพิษโดยใช้ดัชนี AMBI พบว่าบริเวณเกาะยอทั้ง 3 สถานีเริ่มเกิดภาวะมลพิษจากสารอินทรีย์ ซึ่งอยู่ในระดับการถูกรบกวนเล็กน้อย โดยเฉพาะบริเวณที่ถูกรบกวนจากกิจกรรมมนุษย์มาก ได้แก่ บริเวณที่มีการเลี้ยงปลาในกระชังและการสร้างโฮมสเตย์บริเวณบ้านอ่าวทราย และบริเวณวัดท้ายยอบริเวณที่เป็นแหล่งชุมชนที่มีการสร้างโฮมสเตย์ที่สถานีใกล้ฝั่งซึ่งมีการเกิดมลพิษมากกว่าบริเวณสถานีที่ห่างฝั่งออกไป ดังนั้นในอนาคตจึงควรมีมาตรการและการจัดการที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของมลพิษรอบเกาะยอเพิ่มมากขึ้นได้ในอนาคต อีกทั้งการศึกษารังนี้เป็นการศึกษาในช่วงเดือนกุมภาพันธ์เท่านั้น จึงควรมีการศึกษาให้ครอบคลุมทุกฤดูกาลเพื่อติดตามสภาวะการเกิดมลพิษได้ตลอดทั้งปี

กิตติกรรมประกาศ

ที่วิจัยขอขอบคุณสมาชิกห้องปฏิบัติการสัตว์พื้นท้องทะเล สำหรับการช่วยเก็บตัวอย่างภาคสนาม และสาขาวิชาวาริชศาสตร์และนวัตกรรมจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับอุปกรณ์และสถานที่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน (แผนบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม) ปี 2562 รหัสโครงการวิจัย NAT6201013S และทุนสนับสนุนนักศึกษาบัณฑิต สาขาความเป็นเลิศการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



เอกสารอ้างอิง

- Alongi, D.M. (2015). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6(1), 195–219.
- Angsupanich, S., & Himyi, S. (2012). Macrobenthic Annelids: Polychaetes in Songkhla Lagoon. (1). Bangkok: Office of the National Research Council of Thailand. (in Thai)
- Angsupanich, S. & Kuwabara, R. (1995). Macrobenthic fauna in Thale Sap Songkhla, a brackish lake in southern Thailand. *Lake and Reservoirs: Research and Management*, (1), 115–125.
- Angsupanich, S. & Kuwabara, R. (1999). Distribution of macrobenthic fauna in Phawong and U-Taphao canals flowing into a lagoonal lake, Songkhla, Thailand. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 4, 1–13.
- Angsupanich, S. (2012). Songkhla Lagoon Ecosystem. Office of the National Research Council of Thailand. Bangkok. 96 pp. (in Thai)
- Angsupanich, S., & Rodcharoen, E. (2012). *Macrobenthic Crustacean: Ostracod, Amphipod, Isopod, and Tanaidacea in Songkhla Lagoon*. (1). Bangkok: Office of the National Research Council of Thailand. (in Thai)
- Angsupanich, S. & Siripect, A. (2001). Role and distribution of the dominant benthic fauna, *Apseudes sapensis* Chilton 1926 (Crustacean: Tanaidacea) in Songkhla Lake, southern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 23(4), 515–525. (in Thai)
- Angsupanich, S., Somsak, S., & Phrommoon, J. (2005). Stomach contents of the catfishes *Osteogeneiosus militaris* (Linnaeus, 1758) and *Arius maculatus* (Thunberg, 1792) in the Songkhla Lake. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 27(1), 391–402. (in Thai)
- APHA, AWWA & WEF. (1998). Standard Methods for the examination of water and wastewater. (20). Washington, DC: American Public Health Association.



- Ariyama, H., Angsupanich, S. & Rodcharoen, E. (2010). Two new species of the genus Kamaka (Crustacea: Amphipoda: Kamakidae) from Songkhla Lagoon, southern Thailand. *Zootaxa*, 2404(1), 55–68.
- Belal, M.A., El-Sawy, A.M. & Dar, A.M. (2016). The effect of water quality on the distribution of macro-benthic fauna in Western lagoon and Timsah lake, Egypt.I. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 42, 437–448.
- Bertness, M.D., Gaines. S.D. & Hay, M.E. (2001). *Marine Community Ecology*. Sinauer Associates, Inc. USA.
- Boadi, K.O. & Kuitinen, M. (2002). Urban waste pollution in the Korle lagoon, Accra, Ghana. *The Environmentalist*, 22, 301–309.
- Borja, A., Franco, J. & Perez, V. (2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40(12), 1100–1114.
- Carpenter, E.K. & Niem, H.V. (1998). Bivalves and Gastropods. In Carpenter, E.K. & Niem, H.V. (Eds.), *The living marine resources of the Western Central Pacific Seaweeds, corals, bivalves and gastropods*. (pp. 123–646). New York: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Carvalho, S., Gaspar, M.B., Moura, A., Vale, C., Antunes, P., Gil, O., Fonseca, L.C. & Falcao, M. (2006). The use of the marine biotic index AMBI in the assessment of the ecological status of the Óbidos lagoon (Portugal). *Marine Pollution Bulletin*, 52(11), 1414–1424.
- Castro, P. & Huber, M.E. (2016). *Introduction to marine biology*. New York: McGraw-Hill Education.
- Chatzinikolaou, E., Mandalakis, M., Damianidis, P., Dailianis, T., Gambineri, S., Rossano, C., Scapini, F., Carucci, A. & Arvanitidis, C. (2018). Spatio-temporal benthic biodiversity patterns and pollution pressure in three Mediterranean touristic ports. *Science of the Total Environment*, 624, 648–660.



- Cheung, S.G., Lam, N.W.Y., Wu, R.S.S. & Shin, P.K.S. (2008). Spatio-temporal changes of marine macrobenthic community in sub-tropical waters upon recovery from eutrophication. II. Life-history traits and feeding guilds of polychaete community. *Marine Pollution Bulletin*, 56, 297–307.
- Chiarelli, R. & Roccheri, M. (2014). Marine Invertebrates as Bioindicators of Heavy Metal Pollution. *Open Journal of Metal*, 4(4), 93–106.
- Cummins, K.W., Merrit, R.W. & Priscila, A.C.N. (2005). The use of invertebrate functional group to characterize ecosystem attributes in selected stream and rivers in South Brazil. *Studies on Neotropical and Funa and Environment*, 40(1), 69–89.
- Fouad, M., Bessi, H., Benhra, A. & Bouhallaoui, M. The Benthic Community used as Bioindicator for Assessment of the Quality of a Moroccan Coastal Ecosystem: Moulay Bouselham Lagoon. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8(3), 127–133.
- Gee, G.W. & Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis. In method of soil analysis part 1, physical and mineralogical method. In Klute, A.E. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Wisconsin: American Society of Agronomy-Soil Science Society of America.
- Giberto, D. A., Bremec, C.S., Acha, E.M. & Mianzan, H. (2004). Large-scale spatial patterns of benthic assemblages in the SW Atlantic: the Rio de la Plata estuary and adjacent shelf waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(1), 1–13.
- Grall, J. & Glémarec, M. (1997). Using Biotic Indices to Estimate Macrobenthic Community Perturbations in the Bay of Brest. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44(1), 43–53.
- Gray, J.S. & Elliot, M. (2010). *Ecology of marine sediments: from science to management*. (2). New York: Oxford University Press.



- Govindan, K. (2002). Marine benthos – a future perspective. In *Proceeding of the national seminar on creeks, estuaries and mangroves – pollution and conservation 2002 Thane*. (pp. 28–30). India: Bandodkav College of Science.
- Grémare, A., Medernach, L., DeBovee, F., Amouroux, J.M., Charles, F., Dinet, A., Vétion, G., Albert, P. & Colomines, J.C. (2013). Relationship between sedimentary organic matter and benthic fauna within the Gulf of Lion: Synthesis on the identification of new biochemical descriptors of sedimentary organic nutritional value. *Oceanologica Acta*, 26(4), 391–406.
- Hyland, J., Karakassis, I., Magni, P., Petrov, A. & Shine, J. (2000). *Summary Report: Results of initial planning meeting of the United Nations Educational*. France: Scientific and Cultural organization (UNESCO).
- Kimmerer, W.J. (2006). Response of anchovies dampens effects of the invasive bivalve *Corbula amurensis* on the San Francisco Estuary food web. *Marine Ecology Progress Series*, 324, 207–218.
- La-ongsiriwong, N. (2001). Macrobenthic Community in the Outer Part of Songkhla lake. National Institute of Coastal, Aquaculture Department of Fisheries, Songkhla province. (2), 36 pp. (in Thai)
- Lloret, J. & Marine, A. (2011). The contribution of benthic macrofauna to the nutrient filter in coastal lagoons. Murcia University, Spain. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2732–2740.
- Mehdipour, N., Gerami, M.H. & Nemat, H. (2018). Assessing benthic health of hard substratum macrobenthic community using soft bottom indicators and their relationship with environmental condition. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 17(4), 641–656.
- Merritt, R.W., Cummins, K., & Berg, M.B. (2009). An introduction to the aquatic insects of North America. 4th ed. *Journal of the North American Benthological Society*, 28(1), 266–267.
- Mutlu, E. & Ergev, B.M. (2012). Distribution of soft-bottom mollusks (Mollusca) in Mersin Bay (eastern Mediterranean Sea). *Turkish Journal of Zoology*, 36(4), 430–446.



- Nelson, D.W. & Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In Page, A.L., Miller, R.H. & Keeney, D.R. (Eds.), *Method of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. (pp. 539–579). Wisconsin: American Society of Agronomy.
- Neves, R.A.F., Echeverria, C.A., Pessoa, L.A., Paiva, P.C., Paranhos R. & Valentin, J.L. (2012). Factors influencing spatial patterns of molluscs in a eutrophic tropical bay. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93(3), 577–589.
- Nkwoji, J.A., Igbo, J.K., Adeleye, A.O., Obienu, J.A. & Tony-Obiagwu, M.J. (2010). Implications of bioindicators in ecological health: study of a coastal lagoon, 53 Lagos, Nigeria. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), 683–689.
- Nootcharoen, D. (2009). Polychaetes in organic-enriched condition in Pak Phanang bay, Nakhon Si Thammarat province. M.S. Thesis. Chulalongkorn University. (in Thai)
- Paganini, A., Kimmerer, J. W. & Stillman, H. J. (2010). Metabolic responses to environmental salinity in the invasive clam *Corbula amurensis*. *Aquatic Biology*, 11, 139–147.
- Paibulkichakul, C., Sriklai, J., Ngernlor, T., Chimplee, S., Putchakarn, S. & Paibulkichakul, B. (2008). Variation of benthic fauna community in mangrove forest at Nong-Sanamchai, Chanthaburi Province. In *Proceedings of 46th Kasetsart University Conference*. (pp. 501–508). Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Pearson, T.H. & Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 16, 229–311.
- Phuttapreecha, R. (2009). Macrobenthic fauna communities in human activity areas in the outer Songkhla lake. M.S. Thesis. Prince of Songkla University. (in Thai)



- Plathong, J., Hemnukul, P., Sutthinun, S., Ninyong, N., Theppulpon, W., Sawetwes, C., Sangsen, V., Kassen, N., Billee, N., Sripoka, W., Pradoo, S., Jaroenmart, K. & Plathong, S. (2014). Temporal Variation of Macro-benthic community in the Sea of Songkhla province. In *The 4th Marine Science Conference: Blue Ocene Science 10-12 June 2014, Prince of Songkla University*. (pp. 179–189). (in Thai)
- Pollution Control Department. (2014). *Coastal water quality standards*. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment.
- Poonapa-amporn, C., Thaipichitburapa, P. & Meksumpun, C. (2019). Diversity of benthos in Trat bay, Trat province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(1), 1195–1200. (in Thai)
- Predalumpaburt, Y. & La-onsiriwong, N. (1997). Variations and Relationship Between Sediment Qualities and Macro-benthos in Songkhla Lake. *Technical paper*, (3), 1–37. (in Thai)
- Priawandiputra, W., Nasution, D.J. & Prawasti, T.S. (2017). Comparison of Freshwater Mollusc Assemblages between Dry and Rainy Season in Situ Gede System, Bogor, Indonesia. In *The 3rd International Seminar On Sciences "Sciences On Precision And Sustainable Agriculture" (ISS-2016) 4 November 2016, Bogor, Indonesia*. (pp. 1–9). Indonesia: IOP Publishing Ltd.
- Qiu, B., Zhong, X. & Liu, X. (2018). Assessment of the benthic ecological status in the adjacent waters of Yangtze River Estuary using marine biotic indices. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 104–112.
- Rattanama, K., Gomalanon, P., Wongkamhaeng, K. & Boonyanusith, C. (2015). Species Diversity and Distribution of Gammarid Amphipod in Pristine and Aquacultural Areas of Outer Songkhla Lake. *KMUTT Research and Development Journal*, 38(4), 383–392. (in Thai)
- Riamcharoen, C., Chusuwan, W. & Kaeokliang, J. (2013). Variation of water qualities in Songkhla lake. In *Proceeding of Marine Sciences Conference 2012 October 17-19, 2012*. (pp. 478-490). Bangkok. (in Thai)



- Rodcharoen, E. (2009). Macro-benthic Fauna Communities at Ko Nu, Songkhla province. M.S. Thesis. Prince of Songkla University. (in Thai)
- Ruangnu, K. (2000). Effects of Sea Bass, *Lates calcarifer* (Bloch) Farming on the Macro-benthos Diversity at Ban Lang Tha Sao, the Lower Songkhla Lake. M.S. Thesis. Prince of Songkla University. (in Thai)
- Sa-ah, S., Kuakram, W. & Jantararat, P. (2017). The study of natural food in the stomach of spotted catfish from the local fishery community in Thasaan village, Phawong subdistrict, Muang district, Songkhla province. *Journal of Fishery Technology Research*, 11(2), 83–97. (in Thai)
- Saavedra-Hortua, A.D., Friess, A.D, Zimmer, M. & Gillis, G.L. (2020). Sources of particulate organic matter across mangrove forests and adjacent ecosystems in different geomorphic settings. *Wetlands*, 40(5), 1047–1059.
- Sahidin, A., Zahidah, Herawati, H., Wardiatno, Y., Setyobudiandi, I. & Partasasmita, R. (2018). Macrozoobenthos as bioindicator of ecological status in Tanjung Pasir Coastal, Tangerang District, Banten Province, Indonesia. *Biodiversitas*, 19(3), 1123–1129.
- Sampantarak, U., Kongchouy, N. & Angsupanich, S. (2011). Regression-based modeling of environmental factors affecting macro-benthic fauna in middle Songkhla Lake, Thailand. *Chiang Mai Journal of Science*, 38(3), 412–429.
- Sareewasarat, M., Klanarong, N. & Huttha, K. (2018). Synthesis of Patterned Media by self-assembly of magnetic nanoparticles: A case study of Koh Yo Subdistrict, Mueang District, Songkhla Province. In *The 10th Walailak Research National Conference 27-28 March 2018, Walailak University*. (pp. 1–8). (in Thai)
- Sri-aroon, P., Lohachit, C. & Harada, M. (2004). Survey of brackish-water snails in Eastern Thailand. *The Southeast Asian journal of tropical medicine and public health*, 35(1), 150–155.



- Sukudom, C., Kaewnern, M., Wudtisn, I., Yoshikawa, T., Okamoto, Y., Watanabe, K., Ishikawa, S. & Salaenoi, J. (2015). Organic contents and pH profiles of sediments in cockle farm at Bandon Bay, Surat Thani Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 43(2), 265–276. (in Thai)
- Tagliapietra, D. & Sigorini, M. (2010). Benthic fauna: Collection and identification of macrobenthic invertebrates. *Terre et Environnement*. 88, 253–261.
- Talman, G.S. & Keough, J.M. (2001). Impact of an exotic clam, *Corbula gibba*, on the commercial scallop *Pecten fumatus* in Port Phillip Bay, south-east Australia: evidence of resource restricted growth in a subtidal environment. *Marine Ecology Progress Series*, 221, 135–143.
- Tantikamton, K., Jitpukdee, S., Srinakorn, P. & Sagulsawasdipan, K. (2017). Spatial and Temporal Distribution of Benthic Macrofauna and Using AMBI index to Assess Sikao Canal and Rajamangala Beach, Trang Province. Rajamangala University of Technology Srivijaya. (in Thai)
- Wang, Z. (2019). Responses of macrobenthic communities to pollution control and fisheries management measures in Hong Kong. Ph.D. Thesis. Hong Kong Baptist University.
- Yan, J., Sui, J., Xu, Y., Li, X., Wang, H. & Zhanga, B. (2020). Assessment of the benthic ecological status in adjacent areas of the Yangtze River Estuary, China, using AMBI, M-AMBI and BOPA biotic indices. *Marine Pollution Bulletin*, 153, 1–9.