P-ISSN 0858-4435
E-ISSN 2651-1231
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Homepage : http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj
ปีที่ 30 ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน 2565) หน้า [33-46]

การใช้สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่เป็นดัชนีชีวภาพเพื่อประเมินคุณภาพแหล่งน้ำบริเวณแม่น้ำป่าสัก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

Using Benthic Macrofauna as Biological Index for Water Resources Quality Assessment in Pasak River, Ayutthaya Province

ณัฐกิตติ์ โตอ่อน*
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พระนครศรีอยุธยา 13000
Natthakitt To-orn*
Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology and Agro Industry,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000
Received 7 July 2021; Received in revised 5 April 2022; Accepted 21 April 2022

บทคัดย่อ

สัตว์หน้าดินสามารถใช้ประเมินคุณภาพแหล่งน้ำเพราะมีการดำรงชีวิตที่สัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมในแหล่งอาศัย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิดของสัตว์หน้าดินและใช้ดัชนีชีวภาพ BMWP^{thai} score (Biological Monitoring Working Party) และ ASTP^{thai} (Average Score Per Taxa) ประเมินคุณภาพน้ำบริเวณแม่น้ำป่าสักจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ผลการศึกษาพบสัตว์หน้าดินทั้งสิ้น 23 ชนิด 17 วงศ์ สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นเป็นพวกทนต่อสภาวะมลพิษจากสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ได้แก่ ไส้เดือนน้ำในวงศ์ Tubificidae โพลิคีตในวงศ์ Nereididae และ Nephtyidae หอยฝาเดียวในวงศ์ Viviparidae หอยสองฝาในวงศ์ Corbiculidae และตัวอ่อนแมลงในวงศ์ Chironomidae สำหรับดัชนีชีวภาพ BMWP^{thai} score และ ASTP^{thai} ชี้ให้เห็นว่าแม่น้ำป่าสักเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยาจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภท 4 คือคุณภาพน้ำค่อนข้างสกปรก งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าดัชนีชีวภาพ BMWP^{thai} score และ ASTP^{thai} สามารถนำมาใช้ประเมินคุณภาพแหล่งน้ำซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการพิจารณาองค์ประกอบชนิดของสัตว์หน้าดิน ดัชนีความหลากหลายทางชนิด (diversity index) และปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน

คำสำคัญ: สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่; ดัชนีชีวภาพ; แม่น้ำป่าสัก; จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** natthakitt.t@rmutsb.ac.th **doi:** 10.14456/tstj.2022.31

Abstract

Using benthic macrofauna to assess the water resource quality has been proposed because they are intimately related to a living environment. The objective of this study was to observe the benthic diversity, and to use the biotic index, $BMWP^{thai}$ (biological monitoring working party) score and $ASTP^{thai}$ (average score per taxa) of macrofauna for water quality assessment of the Pasak river, Ayutthaya province. The study showed that the discovery of macrofauna was totally found 23 species in 17 families. The dominant macrofauna related to the pollution-tolerant species, including aquatic oligochaete (family Tubificida), polychaete (families Nephtyidae and Nephtyidae), gastropod (family Viviparidae), bivalve (family Corbiculidae), and insect larvae (family Chironomidae) were discovered. According to $BMWP^{thai}$ score and ASP^{Tthai}, it was indicated that the Pasak river was considered to be a poor water quality depending on the standard criteria of surface water quality category 4 (poor water quality). This research warranted that $BMWP^{thai}$ and $ASPT^{thai}$ scores could be used to assess the water quality, which is associated with the consideration of benthic species composition, diversity index, and sediment organic matter.

Keywords: Benthic macrofauna; Biological index; Pasak river; Ayutthaya province

1. บทนำ

สัตว์หน้าดินสามารถใช้บ่งชี้คุณภาพของแหล่งน้ำเนื่องจากมีการดำรงชีวิตในลักษณะฝังตัวขุดรูหรือยึดเกาะอยู่กับที่บริเวณพื้นดินตะกอนใต้ท้องน้ำ สัตว์เหล่านี้มีการเคลื่อนที่ได้น้อยและเชื่องช้า การเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อมจึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อความหลากหลายชนิดและความชุกชุมของสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น จากความสามารถในการปรับตัวให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันทำให้พบสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่ได้ตั้งแต่ในแหล่งน้ำสะอาดจนถึงแหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม สัตว์หน้าดินที่พบในแหล่งน้ำสะอาด เช่น ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว (mayflies) แมลงเกาะหิน (stoneflies) แมลงหนอนปลอกน้ำ (caddisflies) สัตว์ในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม บางชนิดพบในแหล่งน้ำคุณภาพปานกลางหรือพอใช้ เช่น หอยฝาเดียวน้ำจืด กุ้ง ปู และบางชนิดพบในแหล่งน้ำสกปรก เช่น ตัวอ่อนริ้นน้ำจืด (Chironomid larvae) และไส้เดือนน้ำ (aquatic oligochaetes) เป็นต้น ปัจจุบันมีการพัฒนาดัชนีชีวภาพสัตว์หน้าดินเพื่อใช้ประเมินคุณภาพแหล่งน้ำร่วมกับการประเมินผลกระทบและติดตามคุณภาพน้ำด้วยวิธีทางกายภาพและเคมี [1-3] ทั้งนี้ได้มีการทดลองใช้ในแหล่งน้ำหลายพื้นที่ เช่น การประยุกต์ใช้ดัชนีชีวภาพ Belgian Biotic Index (BBI) ประเมินคุณภาพน้ำจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มในจังหวัดชลบุรี [4] ดัชนีชีวภาพ $BMWP^{thai}$ score (Biological Monitoring Working Party) และ $ASTP^{thai}$ (Average Score Per Taxa) ประเมินคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำอูน จังหวัดสกลนคร [5]

แม่น้ำป่าสักเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นแม่น้ำที่ไหลมาจากจังหวัดสระบุรีเข้าสู่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาบริเวณอำเภอท่าเรือ ผ่านอำเภอนครหลวงแล้วบรรจบกับแม่น้ำเจ้าพระยาในเขตอำเภอพระนครศรีอยุธยาบริเวณหน้าวัดพนัญเชิง ความยาวของแม่น้ำป่าสักที่ไหลผ่านจังหวัดพระนครศรีอยุธยาประมาณ 52 กิโลเมตร แม่น้ำสายนี้มีปัญหาคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมจากปัญหาน้ำทิ้งและสารพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม

ริมฝั่ง เกษตรกรรมและน้ำเสียจากแหล่งชุมชนบ้านเรือน [6] ตลอดจนกิจกรรมจากเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่ที่มีเป็นจำนวนมากในแม่น้ำ [7] การศึกษาสัตว์หน้าดินในแม่น้ำป่าสักจังหวัดพระนครศรีอยุธยาพบองค์ประกอบหลักเป็นกลุ่มไส้เดือนน้ำ หอยและโพลีคีต เป็นการศึกษาโครงสร้างประชาคมของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่และปัจจัยสิ่งแวดล้อมในภาพรวม [7] ตลอดจนความหลากหลายและการกระจายของหอยน้ำจืดในบริเวณนี้ [8] ทั้งนี้การประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมในแม่น้ำป่าสักบริเวณนี้หากมีการประยุกต์ใช้ดัชนีชีวภาพสัตว์หน้าดินมาร่วมประเมินควบคู่กับการพิจารณาองค์ประกอบชนิดความหลากหลายของสัตว์หน้าดินและปัจจัยสิ่งแวดล้อมจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำมาใช้บริหารจัดการทรัพยากรแหล่งน้ำ งานวิจัยนี้ต้องการเสนอวิธีประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมในบริเวณแม่น้ำป่าสักเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยการประยุกต์ใช้ดัชนีชีวภาพ $BMWP^{thai}$ score และ $ASTP^{thai}$ ร่วมกับการพิจารณาองค์ประกอบความหลากหลายชนิดของสัตว์หน้าดิน ดัชนีทางนิเวศวิทยา และปัจจัยสิ่งแวดล้อมคุณภาพน้ำ รวมถึงคุณสมบัติของดินตะกอน ผลที่ได้จะเป็นข้อมูลที่มีส่วนในการพัฒนาประยุกต์ใช้ดัชนีชีวภาพสัตว์หน้าดินประเมินคุณภาพน้ำให้เป็นมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พื้นที่ดำเนินการศึกษา

ทำการศึกษาบริเวณแม่น้ำป่าสักเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยกำหนดสถานีเก็บตัวอย่างจำนวน 10 สถานี (Figure 1) ตั้งแต่บริเวณต้นแม่น้ำอำเภอท่าเรือจนถึงปลายแม่น้ำในอำเภอพระนครศรีอยุธยา บริเวณละติจูด 14°20′40″-14°33′5″N ลองจิจูด 100°34′39″-100°45′18″E ได้แก่ สถานี PS1 (บ้านหัวหิน ตำบลท่าหลวง อำเภอท่าเรือ) เป็นสถานีเก็บตัวอย่างต้นแม่น้ำเหนือเขื่อนพระรามหก PS2 (เทศบาลตำบลท่าเรือ ตำบลท่าเรือ อำเภอท่าเรือ) PS3 (บ้านวังแดงเหนือ ตำบลวังแดง อำเภอท่าเรือ) PS4 (บ้านปากท่า ตำบลปากท่า อำเภอท่าเรือ) PS5 (บ้านท่าช้าง ตำบลท่าช้าง อำเภอนครหลวง) PS6 (บ้านลาย ตำบลบางพระครู อำเภอนครหลวง) PS7 (บ้านนครหลวง ตำบลนครหลวง อำเภอนครหลวง) PS8 (บ้านท่าวัด ตำบลบ่อโพง อำเภอนครหลวง) PS9 (ตำบลหัวรอ อำเภอพระนครศรีอยุธยา) และสถานี PS10 (ตำบลคลองสวนพลู อำเภอพระนครศรีอยุธยา) เป็นสถานีเก็บตัวอย่างปลายแม่น้ำป่าสักบริเวณจุดบรรจบกันของแม่น้ำป่าสักกับแม่น้ำเจ้าพระยา

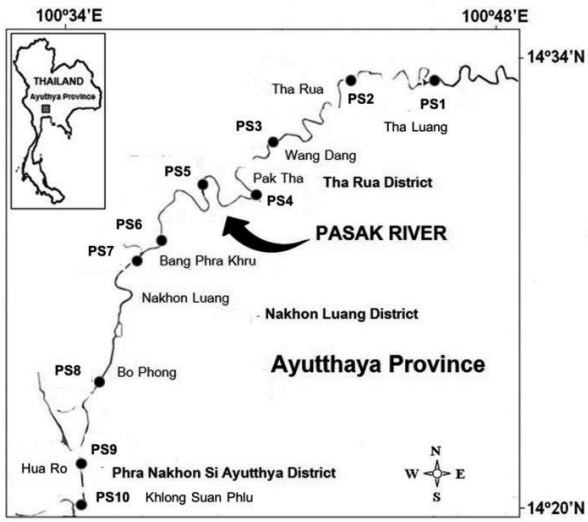

Figure 1 Map and location of sampling station (●) in Pasak river, Ayuthaya province.

2.2 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวอย่างสัตว์หน้าดิน

ทำการเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินในเดือนพฤษภาคม 2554 เป็นตัวแทนของฤดูฝนและเดือนธันวาคม 2554 เป็นตัวแทนของฤดูแล้ง แต่เนื่องจากในช่วงเดือนกันยายนและตุลาคม 2554 เกิดภาวะน้ำท่วมใหญ่ทำให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำป่าสักมีมากผิดปกติจนเอ่อล้นตลิ่งท่วมบ้านเรือนประชาชน อิทธิพลของกระแสน้ำที่ไหลแรงมากรบกวนดินตะกอนพื้นท้องน้ำที่เป็นแหล่งอาศัยของสัตว์หน้าดินซึ่งยังส่งผลต่อประชาคมสัตว์หน้าดินในช่วงเดือนธันวาคม 2554 ผู้วิจัยจึงทำการเก็บตัวอย่างอีกครั้งในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 (ฤดูแล้ง) ซึ่งคาดว่าเป็นสภาพแวดล้อมปกติที่ประชาคมสัตว์หน้าดินตามพื้นท้องน้ำมีการฟื้นตัวแล้ว โดยเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องตักดินแบบ Petersen Grab (พื้นที่ 0.126 ตารางเมตร) จำนวน 3 ซ้ำต่อสถานี นำดินตะกอนที่เก็บได้มาร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องตา 0.5 มิลลิเมตร เพื่อแยกสัตว์หน้าดินและเศษซากวัตถุออกจากดินแล้วทำการดองตัวอย่างทั้งหมดด้วยน้ำยาฟอร์มาลินความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นำตัวอย่างกลับมาในห้องปฏิบัติการทำการร่อนตัวอย่างอีกครั้งด้วยตะแกรงขนาดช่องตา 0.5 มิลลิเมตร แยกสัตว์หน้าดินออกจากเศษซากวัตถุแล้วรักษาสภาพด้วยเอทานอล (ethanol) ความเข้มข้นร้อยละ 80 ทำการจำแนกชนิดสัตว์หน้าดินภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Stereo Microscope) โดยใช้เอกสารประกอบการจำแนก [9,10,11,12] และนับจำนวนสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดหรือวงศ์ (Family) เพื่อนำมาคำนวณความหนาแน่น (ตัวต่อตารางเมตร) ข้อมูลองค์ประกอบสัตว์หน้าดินในระดับวงศ์และความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินในเดือนพฤษภาคมและธันวาคม 2554 เป็นข้อมูลทุติยภูมิจากรายงานของ To-orn (2015) [7]

2.3 การศึกษาคุณภาพน้ำ

ตรวจวัดคุณภาพน้ำขณะเก็บตัวอย่างภาคสนามโดยการวัดความลึกของน้ำด้วยลูกดิ่ง (เมตร) ความโปร่งแสงของน้ำ (transparency) ด้วย Secchi disc (เซนติเมตร) แล้วทำการวัดอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) (มิลลิกรัมต่อลิตร) ความนำไฟฟ้าของน้ำ (conductivity) (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (total dissolved solids, TDS) (กรัมต่อลิตร) ด้วยเครื่อง Multiparameter รุ่น YSI 650 MDS ทำการเก็บตัวอย่างดินแล้วนำกลับมาวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของดินด้วยวิธี Mechanical sieving method [13] และปริมาณสารอินทรีย์รวม (total organic content) ด้วยวิธี Ignition loss [14] ทั้งนี้คุณภาพน้ำและดินตะกอนในเดือนพฤษภาคมและธันวาคม 2554 เป็นข้อมูลทุติยภูมิจากรายงานของ To-orn (2015; 2018) [7,8]

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ดัชนีความชุกชุมของชนิด (Richness index; d) ดัชนีความหลากหลายทางชนิด (Shannon–Weiner diversity index; H) และดัชนีความสม่ำเสมอทางชนิด (Evenness index; E) ในระดับวงศ์ (Family) [15,16] ทั้งนี้ค่าดัชนีความชุกชุมของชนิด ดัชนีความหลากหลายทางชนิด และดัชนีความสม่ำเสมอทางชนิดในเดือนพฤษภาคมและธันวาคม 2554 เป็นข้อมูลทุติยภูมิจากรายงานของ To-orn (2015) [7] วิเคราะห์ดัชนีชีวภาพ $BMWP^{thai}$ Score (Biological Monitoring Working Party) แล้วนำมาหาค่า $ASPT^{thai}$ score (Average Score per Taxa) [17] ซึ่งเป็นการให้คะแนนความสามารถของสัตว์หน้าดินในการปรับตัวให้ทนต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จึงทำให้พบสัตว์หน้าดินอาศัยอยู่ได้ตั้งแต่แหล่งน้ำสะอาดจนถึงแหล่งน้ำที่มีคุณภาพเสื่อมโทรม สัตว์หน้าดินที่ทนต่อมลพิษได้น้อยจะมีค่าคะแนนสูงส่วนพวกที่ทนต่อมลพิษได้มากหรือทนทานสูงจะมีค่าคะแนนต่ำ โดย $BMWP^{thai}$ score มีค่าคะแนนเริ่มจาก 1 ถึง 10 ดังสูตร

$$BMWP^{thai}\ score = \sum ti$$

เมื่อ ti = ค่าคะแนนของระบบที่กำหนดของแต่ละวงศ์

จากนั้นนำค่าคะแนน $BMWP^{thai}$ score ของสัตว์หน้าดินแต่ละวงศ์มารวมกัน แล้วหารด้วยจำนวนวงศ์ของสัตว์หน้าดินที่พบในแต่ละสถานีซึ่งจะได้ค่าคะแนนเฉลี่ย (average score per taxa = ASPT) ดังสูตร

$$ASPT^{thai} = \sum ti / n$$

เมื่อ ti = ค่าคะแนนของระบบที่กำหนดของแต่ละวงศ์ n = จำนวนวงศ์ที่พบทั้งหมด

และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficients) ระหว่างดัชนีชีวภาพ $BMWP^{thai}$ Score และ $ASPT^{thai}$ Score กับความหลากหลายชนิด ความหนาแน่น ดัชนีความชุกชุมของชนิด ดัชนีความหลากหลายทางชนิดและดัชนีความสม่ำเสมอทางชนิดของสัตว์หน้าดิน

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 คุณภาพน้ำและดินตะกอนบริเวณแม่น้ำป่าสัก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

คุณภาพน้ำในแม่น้ำป่าสัก (Figure 2) พบความลึกของน้ำมีค่าผันแปรในช่วง 0.50-8.50 เมตร สถานี PS1 (บ้านหัวหิน ตำบลท่าหลวง อำเภอท่าเรือ) เหนือเขื่อนพระรามหกมีค่าสูงสุด ความโปร่งแสงของน้ำมีค่าผันแปรในช่วง 6.5-65.0 เซนติเมตร อุณหภูมิของน้ำมีค่าผันแปรในช่วง 24.86-31.82 องศาเซลเซียส โดยมีค่าต่ำสุดในฤดูแล้งช่วงเดือนธันวาคม 2554 และสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2555 (24.86-25.49 และ 30.92-31.82 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำพบในช่วง 8.07-9.38 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าผันแปรในช่วง 3.66-10.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่างของน้ำและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูงสุดในสถานี PS1 (บ้านหัวหิน ตำบลท่าหลวง อำเภอท่าเรือ) ความนำไฟฟ้าของน้ำมีค่าผันแปรในช่วง 228-436 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำมีค่าผันแปรในช่วง 0.14-0.26 กรัมต่อลิตร คุณภาพน้ำในแม่น้ำป่าสักโดยทั่วไปจัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภทที่ 3 เพื่อการเกษตร อุปโภคและบริโภค (ปรับปรุงทั่วไป) ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน [6] โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาจากความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (8.07-9.38) และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (3.66-10.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งกำหนดเกณฑ์กำหนดไว้ที่ 5-9 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร [18]

คุณสมบัติของดินตะกอนบริเวณแม่น้ำป่าสักในเดือนพฤษภาคมและเดือนธันวาคม 2544 [7] มีปริมาณเนื้อดินโคลนละเอียด (silt-clay; ขนาดอนุภาค <0.063 มิลลิเมตร) แปรผันในช่วงร้อยละ 5.56-65.17 ในเดือนพฤษภาคม 2544 (เฉลี่ยร้อยละ 40.38±20.14) พบมากกว่าในเดือนธันวาคม 2544 (เฉลี่ยร้อยละ 38.75±13.04) เนื่องจากเป็นช่วงเดือนพฤษภาคม 2544 เป็นต้นฤดูฝนมีการทับถมของดินโคลนละเอียดปริมาณมากตามพื้นท้องน้ำ ซึ่งในเดือนกันยายนและตุลาคม 2554 ปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำป่าสักมีมากจากภาวะน้ำท่วมใหญ่ปี พ.ศ. 2554 จนท่วมล้นริมตลิ่งเข้าสู่บ้านเรือนประชาชน ส่งผลให้ปริมาณดินโคลนละเอียดตามพื้นท้องน้ำถูกพัดพาไปตามการไหลของน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินมีค่าแปรผันในช่วงร้อยละ 1.54-7.33 สัมพันธ์ตามกับปริมาณเนื้อดินโคลนละเอียด ($r=0.81$, $p<0.05$) ส่วนใหญ่ในเดือนพฤษภาคม 2544 (เฉลี่ยร้อยละ 4.26±1.62) ดินตะกอนมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่ในเกณฑ์สูงถึงสูงมาก (ร้อยละ 3.46-7.33) เมื่อเทียบกับเดือนธันวาคม 2544 (เฉลี่ยร้อยละ 3.20±1.03)

3.2 องค์ประกอบชนิดและการกระจายของสัตว์หน้าดิน

สัตว์หน้าดินบริเวณแม่น้ำป่าสักเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบทั้งสิ้นจำนวน 23 ชนิด 17 วงศ์ จากสัตว์หน้าดิน 6 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ ไส้เดือนน้ำ (oligochaetes) โพลิคีต (polychaetes) หอยฝาเดียว (gastropod) หอยสองฝา (bivalves) ครัสตาเซียน (crustaceans) และตัวอ่อนแมลง (insect larvae) (Table 1)

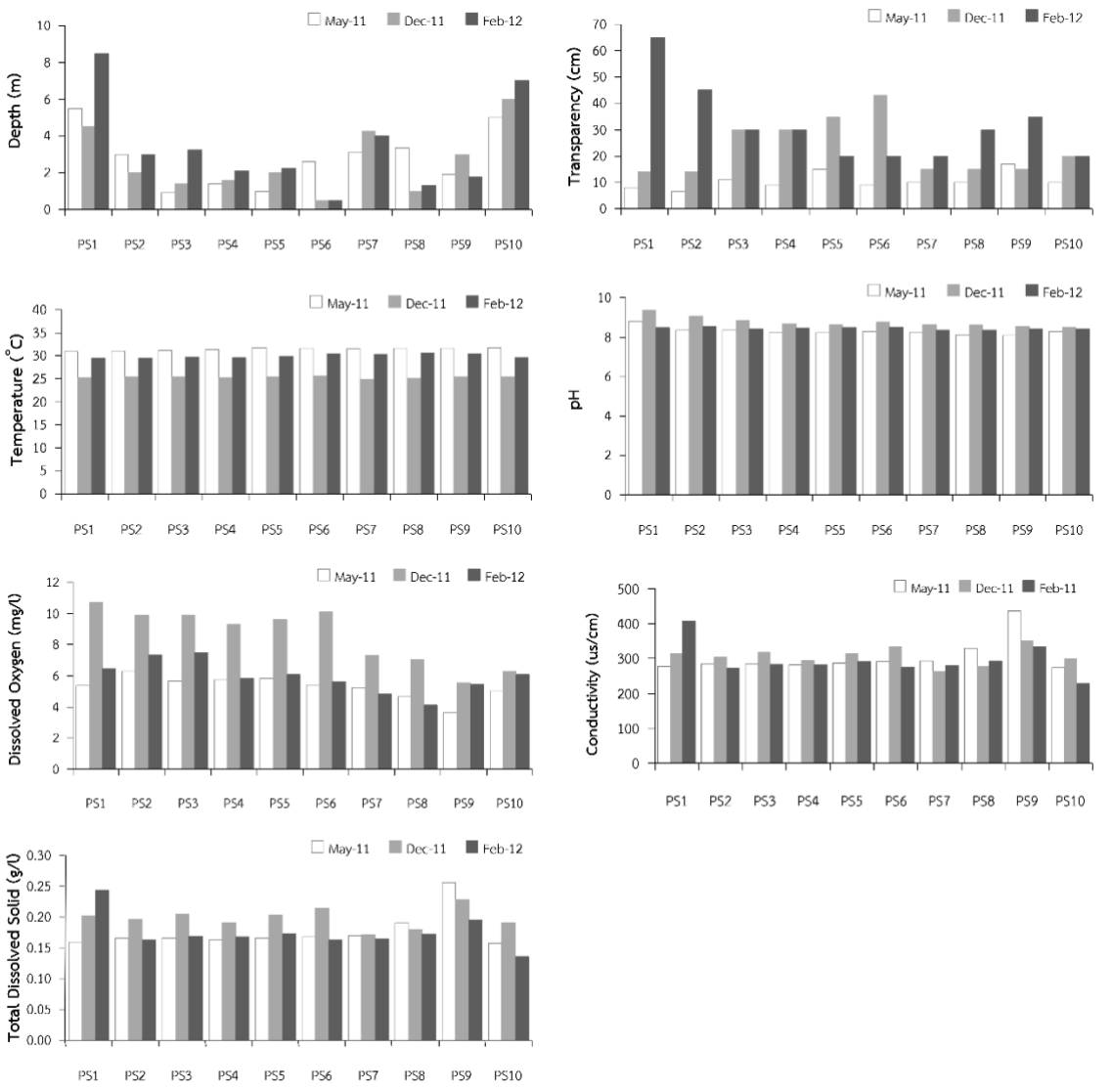

Figure 2 Physicochemical factors of water in Pasak river, Ayutthaya province.

สัตว์หน้าดินชนิดเด่นที่พบชุกชุมได้แก่ ไส้เดือนน้ำ *Branchiura* sp. และ *Tubifex* sp. ในวงศ์ Tubificidae จัดเป็นพวกทนต่อมลพิษจากปริมาณสารอินทรีย์สูง ไส้เดือนน้ำ *Branchiura* sp. เป็นพวกขนาดตัวใหญ่ มีรยางค์เหงือกช่วยหายใจในสภาวะออกซิเจนละลายน้ำต่ำ ส่วนไส้เดือนน้ำ *Tubifex* sp. มีขนาดเล็กสามารถใช้ออกซิเจนต่ำเพื่อการดำรงชีวิต โพลิคีต *Nereis* sp. ในวงศ์ Nereididae และ *Nepthys* sp. ในวงศ์ Nephtyidae ทั้งสองชนิดนี้ส่วนมากพบอาศัยบริเวณเดียวกับที่พบไส้เดือนน้ำชุกชุม หอยฝาเดียวชนิดเด่นคือหอยทราย *Mekongia swainsoni brueri* ในวงศ์ Viviparidae เป็นพวกทนต่อมลภาวะปริมาณสารอินทรีย์สูงระดับปานกลาง (moderately tolerant of organic enrichment) [4,8] หอยสองฝาชนิดเด่นพบหอยเล็บม้า *Corbicula* sp. ในวงศ์ Corbiculidae ส่วนกลุ่มตัวอ่อนแมลงพบตัวอ่อนริ้นน้ำจืด *Chironomus* sp. ในวงศ์ Chironomidae เป็นตัว

อ่อนแมลงที่มีลำตัวสีแดงเนื่องจากมีสารคล้ายฮีโมโกลบินในเลือดที่มีคุณสมบัติช่วยเก็บกักออกซิเจนจึงพบอาศัยในบริเวณที่มีมลพิษจากสารอินทรีย์ [19] ความหลากหลายชนิดของสัตว์หน้าดินพบมากที่สุดในสถานี PS7 (บ้านนครหลวง ตำบลนครหลวง อำเภอนครหลวง) และสถานี PS8 (บ้านท่าวัด ตำบลบ่อโพง อำเภอนครหลวง) พบเท่ากันเท่ากับ 13 ชนิด ในจำนวน 9 และ 8 วงศ์ ตามลำดับ รองลงมาคือสถานี PS9 (ตำบลหัวรอ อำเภอพระนครศรีอยุธยา) พบจำนวน 12 ชนิดใน 10 วงศ์ และพบน้อยที่สุดในสถานี PS10 (ตำบลคลองสวนพลู อำเภอพระนครศรีอยุธยา) (5 ชนิด ใน 5 วงศ์) สัดส่วนความชุกชุมของสัตว์หน้าดินที่พบมาก 5 วงศ์แรกในแต่ละสถานีในแต่ละเดือน (Figure 3)

3.3 ดัชนีความชุกชุมของชนิด ดัชนีความหลากหลายทางชนิด และดัชนีความสม่ำเสมอทางชนิดของสัตว์หน้าดิน

ความหลากหลายชนิดของสัตว์หน้าดินในระดับวงศ์มีค่าผันแปรในช่วง 0-9 วงศ์ ความหนาแน่นมีค่าสูงสุดในสถานี PS2 (ตำบลท่าเรือ อำเภอท่าเรือ) ในช่วง 155-1,881 ตัวต่อตารางเมตร รองลงมาคือสถานี PS8 (บ้านท่าวัด ตำบลบ่อโพง อำเภอนครหลวง และสถานี PS9 (ตำบลหัวรอ อำเภอพระนครศรีอยุธยา) ในช่วง 75-666 และ 12-410 ตัวต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนสถานี PS10 (ตำบลคลองสวนพลู อำเภอพระนครศรีอยุธยา) มีความหนาแน่นต่ำสุดในช่วง 24-32 ตัวต่อตารางเมตร (Figure 4) สถานีนี้เป็นบริเวณที่แม่น้ำป่าสักและแม่น้ำเจ้าพระยาไหลมาบรรจบกัน ความแรงของกระแสน้ำทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของดินตะกอนประกอบกับความลึกของน้ำค่อนข้างมาก (5-6 เมตร) ลักษณะดินมีสีดำและกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากน้ำทิ้งชุมชนบริเวณเกาะเมืองพระนครศรีอยุธยาเป็นปัจจัยจำกัดต่อการอาศัยของสัตว์หน้าดิน [8] แสดงสภาวะปนเปื้อนของปริมาณสารอินทรีย์สูงบริเวณนี้พบสัตว์หน้าดินกลุ่มที่ทนต่อสภาวะมลพิษได้แก่ไส้เดือนน้ำ *Branchiura* sp. โพลิคีต *Nepthys* sp. และ *Dendronereis* sp. แอมฟิพอด (Amphipods) วงศ์ Gammaridae และตัวอ่อนริ้นน้ำจืด *Chironomus* sp.

Table 1 Species composition and distribution of benthic macrofauna in Pasak river, Ayutthaya province.

	Stations									
TAXA	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	PS6	PS7	PS8	PS9	PS10
Phylum Annilida										
Class Oligochaeta										
Family Tubificidae										
Branchiura sp.	+	+++	+	+	+	+	+	++	++	+
Tubifex sp.	+	+++	+	+	++	-	+	+	+	-
Family Naididae										
Dero sp.	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-
Class Polychaeta										
Family Nephtyidae										
Nepthys sp.	-	+	-	+	+	+	+	+	++	+
Family Nereididae										
Nereis sp.	-	-	+	+	+	+	+	++	+	-
Namalycastis sp.	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-
Dendronereis sp.	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+

Table 1 (continued)

TAXA	Stations									
	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	PS6	PS7	PS8	PS9	PS10
Phylum Mollusca										
Class Gastropoda										
Family Ampullariidae										
Pomacea canaliculata (Lamarck, 1822)	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Family Bithyniidae										
Bithynia (Digoniostoma) siamensis	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Family Buccinidae										
Clea (Anentome) helena (von dem Busch,	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-
Family Marginllidae										
Rivomarginella morrisoni Brandt, 1968	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-
Family Viviparidae										
Filopaludina (Filopaludina) sumatrensis	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-
Filopaludina (siamopaludina) martensi	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-
Filopaludina (siamopaludina) martensi	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-
Mekongia swainsoni brueri (Kobelt, 1908)	+	+++	++	++	++	-	++	++	++	-
Class Bivalvia										
Family Mytilidae										
Limnoperna supoti Brandt, 1974	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Family Amblemidae										
Scabies crispate (Gould, 1843)	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Uniandra contradens ascia (Hanley, 1856)	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Family Corbiculidae										
Corbicula sp.	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-
Family Gammaridae	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Order Isopoda										
Family Cirolanidae	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Order Decapoda										
Family Palaemonidae										
Macrobrachium sp.	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Class Insecta										
Family Chironomidae										
Chironomus sp.	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+
Family Culicidae										
Chaoborus sp.	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-

Remark (-) non-detected, (+) 1-100 inds.m^{-2}, (++) 101-500 inds.m^{-2}, (+++) >500 inds.m^{-2}

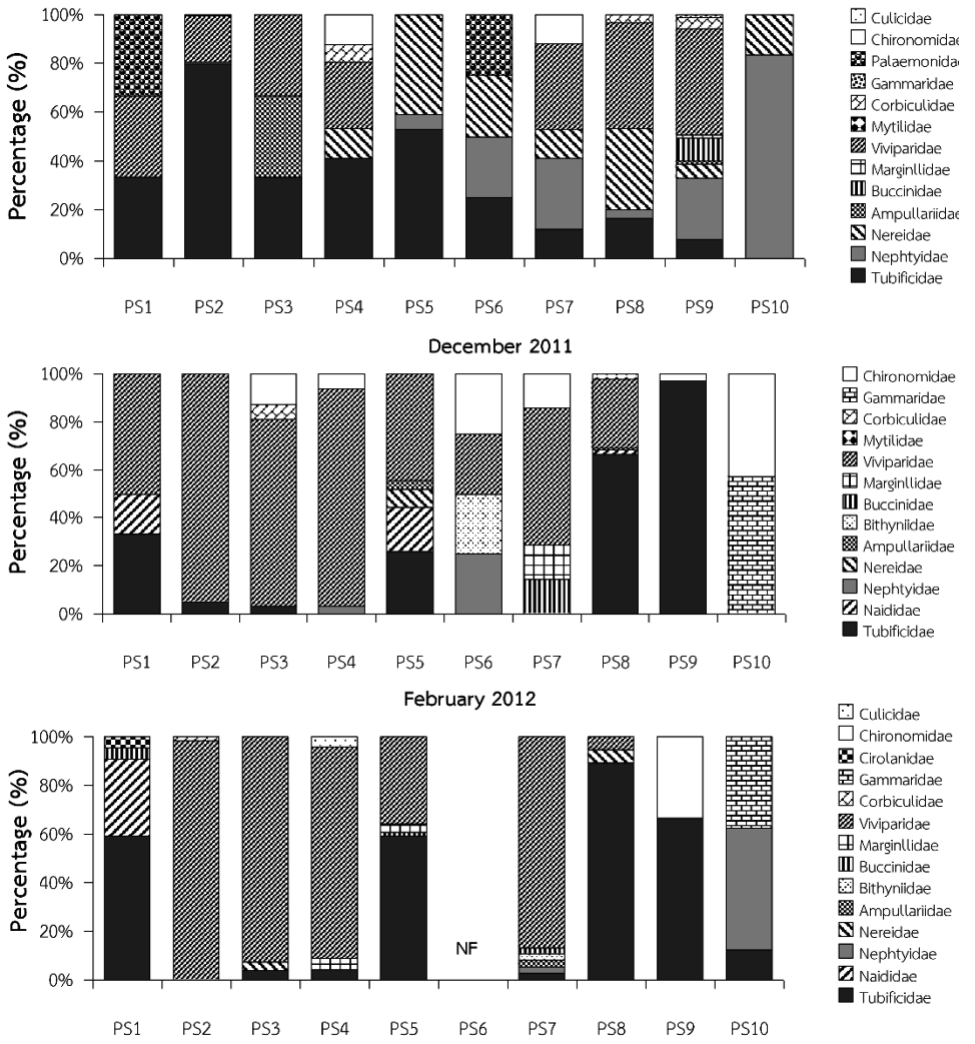

Figure 3 Dominant families of macrofauna in Pasak river, Ayutthaya province. (NF=Not found)

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความชุกชุมของชนิด (Richness index; d) ดัชนีความหลากหลายทางชนิด (Shannon–Weiner diversity index; H) และดัชนีความสม่ำเสมอทางชนิด (Evenness index; E) ในระดับวงศ์ของสัตว์หน้าดินในแต่ละสถานีและแต่ละเดือน (Figure 4) ดัชนีความชุกชุมของชนิดในระดับวงศ์มีค่าผันแปรในช่วง 0.32-1.33 ดัชนีความหลากหลายทางชนิด และดัชนีความสม่ำเสมอทางชนิดระดับวงศ์พบค่าแปรผันในช่วง 0.45-1.58 และ 0.35-1.00 ตามลำดับ โดยมีค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม 2554 (0.451-1.58 และ 0.35-1.00 ตามลำดับ) และมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2555 (0.00-0.97 และ 0.00-0.92 ตามลำดับ) ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากภาวะน้ำท่วมใหญ่ในช่วงเดือนกันยายนและตุลาคม 2554 ที่ผ่านมาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบสัตว์หน้าดินในแม่น้ำสายนี้ เมื่อพิจารณาเกณฑ์กำหนดคุณภาพน้ำโดยใช้ดัชนีความหลากหลายทางชนิดของสัตว์หน้าดิน ซึ่งกำหนดค่าดัชนีน้อยกว่า 1.5 แสดงถึงแหล่งน้ำนั้นมีการปนเปื้อนสูง ดัชนีระหว่าง 1.5-3 แสดง

ว่าแหล่งน้ำมีการปนเปื้อนปานกลาง และ 3-4 แสดงถึงแหล่งน้ำไม่มีการปนเปื้อน [20] การศึกษานี้พบดัชนีความหลากหลายทางชนิดของสัตว์หน้าดินมีค่าต่ำกว่า 1.5 แสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำมีการปนเปื้อนของมลพิษสูง

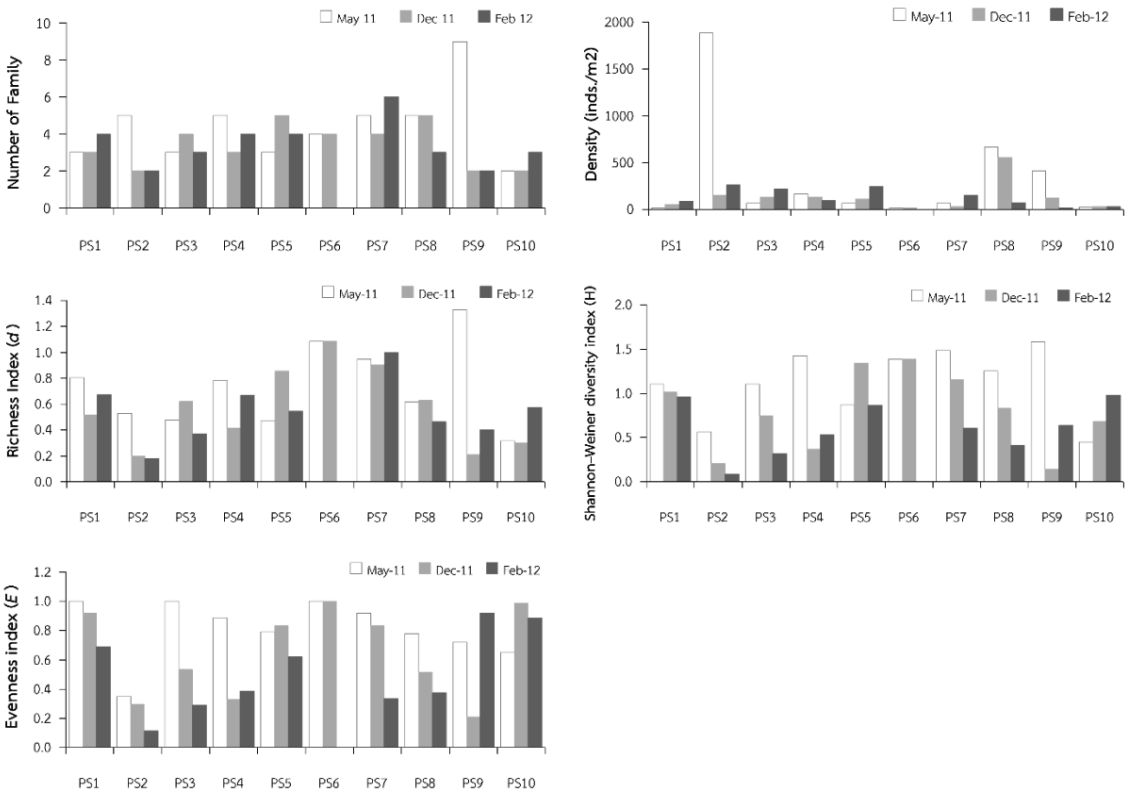

Figure 4 Numbers of family, density (inds./m^2), richness index (*d*), Shannon–Weiner diversity index (*H*) and evenness index (*E*) of macrofauna in Pasak river, Ayutthaya province.

3.4 การใช้สัตว์หน้าดินเป็นดัชนีชีวภาพประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณแม่น้ำป่าสัก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

การวิเคราะห์ดัชนีชีวภาพโดยใช้ $BMWP^{thai}$ Score และคำนวณ $ASPT^{thai}$ Score เพื่อใช้ประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณแม่น้ำป่าสัก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (Table 2) โดยกำหนดค่า $ASPT^{thai}$ Score ในช่วง 1-2 จัดเป็นมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5 (คุณภาพน้ำสกปรก) ค่าในช่วง 3-4 เป็นประเภทที่ 4 (คุณภาพน้ำค่อนข้างสกปรก) ค่าในช่วง 5-6 เป็นประเภทที่ 3 (คุณภาพน้ำปานกลาง) ค่าในช่วง 7-8 เป็นประเภทที่ 2 (คุณภาพน้ำค่อนข้างดี) และค่าในช่วง 9-10 เป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 1 (คุณภาพน้ำดีจัดเป็นน้ำสะอาด) [5] การศึกษานี้พบคะแนน $ASPT^{thai}$ Score ของแม่น้ำป่าสักในภาพรวมมีค่าเท่ากับ 3.86 เมื่อแปรผลดัชนีชีวภาพพบว่าจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมโดยจัดอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภท 4 (คุณภาพน้ำค่อนข้างสกปรก) โดยค่าคะแนน $ASPT^{thai}$ Score ระหว่างสถานีโดยรวมมีค่าแปรผันในช่วง 2.00-4.25 ส่วนใหญ่จัดเป็นแหล่งน้ำ

ประเภทคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมประเภท 4 (แหล่งน้ำค่อนข้างสกปรก) ตามประกาศมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินของกรมควบคุมมลพิษ ยกเว้นบริเวณสถานี PS5 (บ้านท่าช้าง ตำบลท่าช้าง อำเภอนครหลวง) มีคะแนน ASPT^{thai} Score ต่ำสุดเท่ากับ 2.00 จัดเป็นแหล่งน้ำประเภทคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมมากประเภทที่ 5 (คุณภาพน้ำสกปรก) ส่วนความผันแปรของค่าคะแนน ASPT^{thai} Score ระหว่างสถานีและระหว่างเดือนมีค่าแปรผันในช่วง 0.00-5.00 (Figure 5) พบตั้งแต่แหล่งน้ำประเภทคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมมากในประเภท 5 (คุณภาพน้ำสกปรก) ในสถานี PS5 (บ้านท่าช้าง ตำบลท่าช้าง อำเภอนครหลวง) ในฤดูฝนเดือนพฤษภาคม 2554 สถานี PS9 (ชุมชนตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา) ในช่วงฤดูแล้งเดือนธันวาคม 2554 และเดือนกุมภาพันธ์ 2555 และสถานี PS1 (บ้านหัวหิน ตำบลท่าหลวง อำเภอท่าเรือ) ในฤดูแล้งเดือนกุมภาพันธ์ 2555 จนถึงแหล่งน้ำประเภทคุณภาพน้ำปานกลาง (ประเภทที่ 3 คุณภาพน้ำปานกลาง) ในสถานี PS1 (บ้านหัวหิน ตำบลท่าหลวง อำเภอท่าเรือ) และสถานี PS6 (บ้านบางพระครู ตำบลบางพระครู อำเภอนครหลวง) ในฤดูฝนเดือนพฤษภาคม 2554 และสถานี PS2 (เทศบาลตำบลท่าเรือ อำเภอท่าเรือ) ในช่วงฤดูแล้งเดือนกุมภาพันธ์ 2555 แต่โดยส่วนใหญ่จัดเป็นแหล่งน้ำประเภทคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมประเภท 4 (คุณภาพน้ำค่อนข้างสกปรก) ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินของกรมควบคุมมลพิษ

Table 2 The biological monitoring working rarty (BMWP^{thai}) scores and average score per taxa (ASPT^{thai}) of macrofauna in Pasak river, Ayutthaya province.

Families	BMWP	Stations									
	scores	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	PS6	PS7	PS8	PS9	PS10
Tubificidae	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Naididae	1	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-
Nephtyidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nereidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ampullariidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bithyniidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Buccinidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marginllidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Viviparidae	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	-
Mytilidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amblemidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corbiculidae	3	-	3	3	3	-	-	-	3	3	-
Gammaridae	6	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6
Cirolanidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Palaemonidae	8	8	-	-	-	-	8	-	-	-	-
Chironomidae	2	-	-	2	2	-	2	2	-	2	2
Culicidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BMWP^{thai} scores	27	16	10	12	12	8	17	9	11	18	9
Number of Family	7	4	3	4	4	4	4	3	4	5	3
ASPT^{thai}	3.86	4.00	3.33	3.00	3.00	2.00	4.25	3.00	2.75	3.60	3.00

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficients) ระหว่างดัชนีชีวภาพ BMWP^{thai} score และ ASPT^{thai} กับความหลากหลายชนิด (ระดับวงศ์) ความหนาแน่น ดัชนีความชุกชุมของชนิด ดัชนีความหลากหลายทางชนิดและดัชนีความสม่ำเสมอทางชนิดของสัตว์หน้าดิน พบว่าดัชนีชีวภาพ BMWP^{thai} score แสดงความสัมพันธ์ทางเดียวกับความหลากหลายชนิด (ระดับวงศ์) ดัชนีความชุกชุมของชนิด และดัชนีความหลากหลายทางชนิดของสัตว์หน้าดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r=0.84, 0.52, 0.43, p<0.05 ตามลำดับ) ค่าคะแนน ASPT^{thai} แสดงความสัมพันธ์ทางเดียวกับความหลากหลายชนิด (ระดับวงศ์) และดัชนีความชุกชุมของชนิด (r=0.55, 0.43, p<0.05 ตามลำดับ) เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าแม้คุณภาพน้ำในแม่น้ำป่าสักเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยาแม้โดยทั่วไปยังจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 เพื่อการเกษตร [6] แต่ผลการประเมินโดยใช้ดัชนีชีวภาพ BMWP^{thai} score และ ASPT^{thai} บ่งชี้คุณภาพน้ำค่อนข้างสกปรกในแหล่งน้ำประเภทที่ 4 ประกอบกับดัชนีความหลากหลายทางชนิดของสัตว์หน้าดินมีค่าต่ำและปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สูงถึงสูงมากบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมจากมลภาวะปริมาณสารอินทรีย์สูงในแหล่งน้ำ

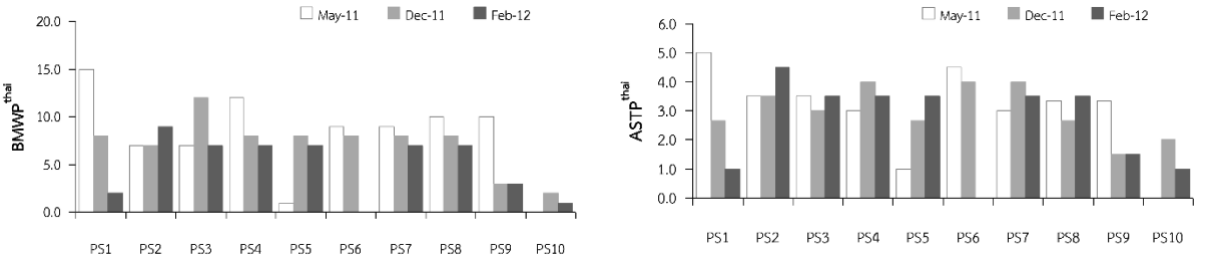

Figure 5 The biological monitoring working party (BMWP^{thai}) scores and average score per taxa (ASPT^{thai}) of macrofauna in Pasak river, Ayutthaya province.

4. สรุป

องค์ประกอบชนิดของสัตว์หน้าดินบริเวณแม่น้ำป่าสักจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบจำนวน 23 ชนิด 17 วงศ์ สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นเป็นพวกไส้เดือนน้ำในวงศ์ Tubificidae โพลิคีตในวงศ์ Nereididae และ Nephtyidae หอยฝาเดียวในวงศ์ Viviparidae หอยสองฝาในวงศ์ Corbiculidae และตัวอ่อนแมลงในวงศ์ Chironomidae สัตว์หน้าดินที่พบส่วนใหญ่เป็นพวกทนต่อสภาวะมลพิษจากสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ผลการใช้สัตว์หน้าดินเป็นดัชนีชีวภาพ BMWP^{thai} Score และ ASP^{Tthai} Score ประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมพบว่าจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภท 4 (คุณภาพน้ำค่อนข้างสกปรก) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าดัชนีชีวภาพ BMWP^{thai} Score และ ASPT^{thai} Score สามารถนำมาใช้ประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมแหล่งน้ำได้ และหากมีการปรับใช้ดัชนีชีวภาพของสัตว์หน้าดินให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาเนื่องจากสัตว์หน้าดินในแต่ละแห่งมีความแตกต่างทางชนิดกัน ย่อมทำให้ผลการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมแหล่งน้ำมีแม่นยำมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย “การติดตามและประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมในแม่น้ำป่าสัก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา” ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยครั้งนี้

6. References

[1] Rosenberg, D.M. and Resh, V.H., 1993, Introduction, pp. 1-9, In Rosenberg, D.M. and Resh, V.H. (Eds.), Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates, Chapman & Hall, New York.

[2] Thanee, I., 2014, Use of Benthic Macroinvertebrates for Biological Monitoring, SDU Res. J. 7(1): 125-138. (in Thai)

[3] Sangpradab, N., 2006, Evaluation of freshwater water quality by benthic invertebrate, KKU Science Journal. 34(1): 34-36. (in Thai)

[4] Khlangklang, N. and Roachanakanan, R., 2011, The Use of Benthic Macroinvertebrates as Biotic Index of Water Quality by Application of the Belgian Biotic Index (BBI) Case Study of the River Near the Palm Oil Factory in Amphur Nong Yai, Chonburi Province, pp. 765-773, The 12th Khon Kaen University 2011 Graduate Research Conference. (in Thai)

[5] Chartchumni, B., Rangsiwiwat, A., Kaewdonree, S. and Rayan, S., 2017, Species Diversity of Benthic Macroinvertebrate and Application as Bioindicators of Water Quality in Nam Oun Reservoir, Sakon Nakhon Province, Burapha Science Journal. 22(3): 83-94. (in Thai)

[6] Pollution Control Department, 2015, Thailand state of Pollution Report 2014, Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok, 190 p.

[7] To-orn, N., 2015, Benthic Macrofaunal Community Structure in the Pasak River, Ayutthaya Province, Ramkhamhaeng Research Journal of Sciences and Technology. 18(2): 13-28. (in Thai)

[8] To-orn, N., 2018, Species Diversity and Distribution of Freshwater Molluscs in the Pasak River, Ayutthaya Province, Thai Science and Technology Journal (TSTJ). 26(4): 604-618. (in Thai)

[9] Jivalak, J., Nagachinta, A. and Piumtipmanus, M., 2007, Thai Economic Fresh-water Clam, Technical Paper No. 8/2007, Inland Fisheries Institute, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Department of Fisheries, 187 p. (in Thai)

[10] Brinkhurst, R.O., 1971, A Guide for the Identification of British Aquatic Oligochaeta, 2nd ed., University of Toronto, Toronto, Titus Wilson & Sons LTD, 55 p.

[11] Brandt, R.A.M., 1974, The non-marine aquatic Mollusca of Thailand, Archiv für Molluskenkunde, 105, 1-423.

[12] Fauchald, K., 1977, The Polychaete Worms Definitions and Keys to the Orders, Families and Genera, Los Angeles, The Natural History Museum, 188 p.

[13] Buchanan, J.B., 1984, Sediment analysis, pp. 41–65, In Holme, N.A., and McIntyre, A.D. (Eds.), Methods for the study of

marine benthos, Blackwell Scientific Publications, California, USA.

[14] Nelson, D.W. and Sommers, L.E., 1982, Total carbon, organic carbon and organic matter, pp. 539–579, In Page, A.L. (Ed), Methods of soil analysis Part 2 Agronomy Monographs 9, ASA and SSSA, Madison. WI.

[15] Clarke, K.R. and Warwick, R.M., 1994, Change in Marine Communities: an approach to statistical analysis and interpretation, Plymouth, Plymouth Marine Laboratory, United Kingdom, PRIMER-E Ltd.

[16] Ludwig, A.J. and Reynolds, J.F., 1986, Statistical Ecology: a primer on methods and computing, John Wiley and Sons Inc, New York.

[17] Mustow, S.E., 2002, Biological monitoring of rivers in Thailand: use and adaptation of the BMWP score, Hydrobiologia. 479: 191-229.

[18] Pollution Control Department, The Surface Water Quality Standard in Thailand, Available Source: http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_water05.html, January 16 2021. (in Thai)

[19] To-orn, N., 2018, Benthic Macrofauna as Indicator for Aquatic Environmental Quality: A Case Study of Cages Culture in the Noi River, Ayutthaya Province, Thai Science and Technology Journal (TSTJ). 26(8) (Supplement Issue 2018): 1365-1380. (in Thai)

[20] Wilhm, J.L., 1970, Range of diversity index in benthic macroinvertebrate communities, Journal (Water Pollution Control Federation). 42(5): 221-224.