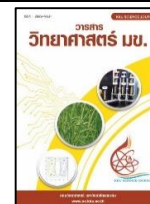




KKU SCIENCE JOURNAL

Journal Home Page : <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ>

Published by the Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand



โครงสร้างชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและความหลากหลายชนิด ตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำในตำบลสหกรณ์นิคม อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ในช่วงการท่องเที่ยวแบบความปกติใหม่

Community Structure of Benthic Macroinvertebrates and Species Diversity of Caddisfly Adults in Sahakornnikom Sub-district, Thong Pha Phum District, Kanchanaburi Province during the New Normal Tourism

นฤมล แสงประดับ^{1,2*} ชุตินา หาญจวนิช² ขวัญศิริ รัตนวิไล² สิริกมล พลายงาม²

ปฏิพัทธ์ เทวาภวัต² รุ่งนภา สมนา³ และเวียงคร วรณจักร²

Narumon Sangpradub^{1,2*} Chutima Hanjavanit² Kwansiri Rattanawilai²

Sirikamon Phlai-ngam² Patipat Tevapawat² Runghapa Somnark³

and Viengkhone Vannachak²

¹ศูนย์ความเป็นเลิศด้านความหลากหลายทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

³สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดนนทบุรี 11120

¹Center of Excellence on Biodiversity, Department of Biology, Faculty of Science,
Chulalongkorn University, Bangkok, 10330, Thailand

²Department of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

³Office of Research and Development, Royal Irrigation Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Nonthaburi,
11120, Thailand

บทคัดย่อ

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเป็นสัตว์ขนาดเล็กที่อาศัยอยู่ในตะกอนท้องน้ำ มีความสำคัญมากต่อกระบวนการสลายซากอินทรีย์ในแหล่งน้ำและเป็นแหล่งอาหารของปลา สัตว์น้ำอื่นๆ รวมทั้งสัตว์บก เช่น นกและค้างคาว ดังนั้นสัตว์เหล่านี้จึงมีบทบาทสำคัญในความสมดุลและการไหลเวียนของพลังงานและสารอาหารตามธรรมชาติ การศึกษารังนี้ได้สำรวจโครงสร้างชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน และความหลากหลายชนิดของตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติที่อุโมงค์เหมืองแร่ ดร.ผล กลีบบัว ลำธารข้างอุโมงค์ฯ ฝ่ายประปาภูเขาและน้ำตกสะพานลาว ที่ตำบลสหกรณ์นิคม อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ในเดือนพฤศจิกายน 2564 และ มีนาคม 2565 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการท่องเที่ยวแบบวิถีปกติใหม่และมีนักท่องเที่ยวน้อยมาก การศึกษารังนี้พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินทั้งสิ้น 121 แทกซาจาก 58 วงศ์ ลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวมีความหลากหลายและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมากกว่าบริเวณ

*Corresponding Author, E-mail: narumon@kku.ac.th

ปากอุโมงค์ฯ และฝายประปาภูเขามาก สัตว์ที่พบส่วนมากเป็นแมลงน้ำในอันดับ Trichoptera (แมลงหนอนปลอกน้ำ) Ephemeroptera (แมลงชีปะขาว) และ Diptera (แมลงสองปีก) หอยน้ำจืดพบเฉพาะที่น้ำตกสะพานลาว ความหลากหลายและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในเดือนมีนาคม 2565 ใน 3 สถานีมี มากกว่าเดือนพฤศจิกายน 2564 ยกเว้นที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ เนื่องจากช่องทางน้ำบางส่วนของสถานีนี้แห้งขอดจากระดับน้ำที่ลดลงตามธรรมชาติทำให้พื้นที่อาศัยของสัตว์ลดลง ผลการเปรียบเทียบระหว่างลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวพบว่าโครงสร้างชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมีความคล้ายคลึงกันประมาณร้อยละ 61 และแหล่งคาร์บอนหลักที่เข้าสู่ระบบนิเวศมาจากระบบนิเวศบก สัดส่วนของสัตว์กลุ่มกรอกกินมีมากที่สุด แสดงว่าอาหารของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ขนาดเล็ก (fine particular organic matter: FPOM) ที่ถูกขนส่งมากับกระแสน้ำ ตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำพบรวม 35 ชนิด จาก 10 วงศ์ ส่วนมากอยู่ในวงศ์ Hydropsychidae และ Philopotamidae ซึ่งสอดคล้องกับระยะตัวอ่อนที่พบ การประเมินคุณภาพน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพพบว่าลำธารข้างอุโมงค์ฯ มีคุณภาพน้ำดีกว่าน้ำตกสะพานลาว ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตเมื่อมีกิจกรรมการท่องเที่ยวมากขึ้น ทุกสถานีต่างเป็นแหล่งอนุรักษ์พันธุกรรมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ซึ่งการคงอยู่ของทรัพยากรธรรมชาติเหล่านี้ส่วนหนึ่งขึ้นกับพื้นที่ป่าโดยรอบที่ทำให้เกิดลักษณะของพื้นที่อาศัย ร่มเงา และเป็นต้นกำเนิดของแหล่งพลังงานที่เข้าสู่ระบบนิเวศลำธาร ดังนั้นการดูแลปกป้องพื้นที่ป่าโดยรอบจึงมีความสำคัญต่อความยั่งยืนของแหล่งท่องเที่ยวและเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้บรรลุเป้าหมายที่ 15 (ชีวิตบนบก) ของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

ABSTRACT

Benthic macroinvertebrates are aquatic animals that live on or just below the stream-bed. They are important in detrital process and as food source for fish, other aquatic animals as well as terrestrial animals such as birds and bats. Thus, they play a critical role in the balance and natural flow of energy and nutrients. In the present study, benthic macroinvertebrate community structure and species diversity of caddisfly adults were explored in natural tourist attractions at Dr. Phol Kleepbua mine tunnel, stream beside the tunnel, mountain water supply weir and Saphanlao Waterfall in Sahakornnikom Sub-district, Thong Pha Phum District, Kanchanaburi Province. The field samplings were conducted in November 2021 and March 2022 which was the New Normal tourism period with very few tourists. A total of 121 taxa in 58 families of benthic invertebrates were found. The streams beside the tunnel and the Saphanlao Waterfall had more diversity and abundance of benthic macroinvertebrates than those of the access point into the tunnel and mountain water supply weir. Most of them were aquatic insects in the orders Trichoptera (Caddisfly), Ephemeroptera (Mayfly) and Diptera (True fly). Freshwater snails were found only at Saphanlao Waterfall. The diversity and abundance of benthic invertebrates in March 2022 was higher than November 2021, except at the stream beside the tunnel as some waterways were dried up due to naturally low water levels which decreased the animal's habitat. Benthic macroinvertebrate community structure between streams beside the tunnel and Saphanlao Waterfall, was similar about 61%; the main source of carbon entering ecosystems is from terrestrial ecosystems (allochthonous). The highest proportion of filtering-collectors suggest that the majority of available diets for benthic macroinvertebrates are fine particular organic matter (FPOM) that transported by water current. Thirty-five species in 10 families of caddisfly adults were found; most of them in families Hydropsychidae and Philopotamidae were corresponded to the larval stage.

Biological assessment of water quality showed that the stream beside the tunnel had better water quality than Saphanlao Waterfall. The results from this study will be used as a baseline to compare future changes with increased tourism activities. Each studied site served as a genetic preservation site for benthic macroinvertebrates. The existence of these natural resources depends on the surrounding forests, which provide habitat, shade, and energy sources for stream ecosystems. Therefore, protecting the surrounding forests is essential to the sustainability of the site and contributes to Goal 15 (Lives on Land) of the Sustainable Development Goals.

คำสำคัญ: แมลงน้ำ แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ อำเภothong Pha Phum, ความปรกติใหม่

Keywords: Aquatic Insects, Natural Attractions, Thong Pha Phum, New Normal

บทนำ

การท่องเที่ยวเป็นแหล่งทำรายได้ที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย รายได้จากการท่องเที่ยวลดลงมากในช่วงปี พ.ศ. 2563 ถึง 2564 หลังจากมีการประกาศสถานการณ์ฉุกเฉินเมื่อเดือนมีนาคม 2563 เนื่องจากโรคระบาดไวรัสโคโรนา 19 (กองเศรษฐกิจ การท่องเที่ยวและกีฬา, 2563; 2565) ประชาชนมีการปรับตัวดำเนินชีวิตแบบความปรกติใหม่ (new normal) มีมาตรการต่างๆ เช่น การงดการเดินทางท่องเที่ยวทั้งภายในและต่างประเทศ การเว้นระยะห่างทางสังคม การสวมหน้ากากอนามัย เป็นต้น ต่อมามีการผ่อนคลามาตรการและกระทรวงสาธารณสุขได้ออกประกาศยกเลิกโควิด 19 จากการเป็นโรคติดต่ออันตรายและกำหนดให้เป็นโรคติดต่อที่ต้องเฝ้าระวังตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2565 เป็นต้นไป (กระทรวงสาธารณสุข, 2565) ทำให้การท่องเที่ยวเริ่มฟื้นตัวขึ้น สำหรับจังหวัดกาญจนบุรีมีรายได้จากการท่องเที่ยวปี พ.ศ. 2562 และปี พ.ศ. 2565 ที่มาจากนักท่องเที่ยวไทยเป็นเงิน 25,660 และ 21,194 ล้านบาทตามลำดับ ในขณะที่รายได้จากนักท่องเที่ยวต่างประเทศเป็นเงิน 2,284 และ 286 ล้านบาทตามลำดับ สถิติจำนวนนักท่องเที่ยวที่จังหวัดกาญจนบุรีตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม 2566 จัดเป็นอันดับที่ 3 รองจากกรุงเทพมหานครและจังหวัดชลบุรี และมีรายได้จากการท่องเที่ยวเป็นอันดับที่ 9 ของประเทศ (สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬา จังหวัดกาญจนบุรี, 2566) จังหวัดกาญจนบุรีมีแหล่งท่องเที่ยวหลากหลายแบบรวมทั้งแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ เช่น อุทยานแห่งชาติทองผาภูมิ น้ำตกเอราวัณ น้ำตกห้วยแม่ขมิ้น แม่น้ำแคว เป็นต้น ปัจจุบันในหลายประเทศมีผู้สนใจท่องเที่ยวในพื้นที่ธรรมชาติมากขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์แตกต่างกัน เช่น เพื่อชื่นชมกับสภาพธรรมชาติ ผจญภัย และนันทนาการ เป็นต้น (Buckley, 2003) การวิจัยในต่างประเทศพบว่า กิจกรรมนันทนาการทำให้ลักษณะทางกายภาพของที่อยู่อาศัยในแหล่งน้ำจืดหลายแห่งเสื่อมโทรม เกิดมลพิษทางน้ำที่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งพืชและสัตว์ (Venohr *et al.*, 2018; Schafft *et al.*, 2021) สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเป็นสัตว์กลุ่มหนึ่งที่ได้รับผลกระทบเพราะเป็นดัชนีชีวภาพชี้วัดผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีประสิทธิภาพ และเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในสายใยอาหารและกระบวนการสลายซากอินทรีย์ของระบบนิเวศ (Barbour *et al.*, 1999; Welianje *et al.*, 2017) ผลกระทบจากการรบกวนของมนุษย์ทำให้ความหลากหลายและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินโดยเฉพาะกลุ่มแมลงน้ำลดลง (Kerans and Karr, 1994; Dinakaran and Anbalagan, 2007; Bispo *et al.*, 2015) กิจกรรมต่างๆ เช่น การพายเรือผ่านลำธารในป่า การเดินป่าที่ข้ามลำธาร และการเดินย่ำพื้นอาศัยในลำธาร ล้วนส่งผลด้านลบต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน (Hardiman and Burgin, 2011; Escarpinati *et al.*, 2014; Kidd, *et al.*, 2014; Heth *et al.*, 2016) สำหรับช่วงที่มีการปิดประเทศทั่วโลกมีการวิจัยพบว่าสภาพธรรมชาติและสิ่งมีชีวิตมีแนวโน้มฟื้นตัว (Ormaza-González *et al.*, 2021; Edward *et al.*, 2021) ในประเทศไทยการศึกษาสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินกลุ่มแมลงน้ำระยะตัวอ่อนส่วนมากระบุได้ถึงระดับสกุล เนื่องจากการระบุชนิดต้องใช้ลักษณะโครงสร้างของอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ของตัวเต็มวัย แต่โครงสร้างนี้ยังไม่เจริญในระยะตัวอ่อน ระยะตัวเต็มวัยที่มีการศึกษามากที่สุดในประเทศไทยคือแมลงหนอนปลอกน้ำ (order Trichoptera) ทราบชื่อแล้วว่า

1,020 ชนิด (Somnark and Sangpradub, 2023) การระบุชนิดตัวอ่อนจำเป็นต้องใช้วิธีการเชื่อมโยงตัวอ่อนกับตัวเต็มวัยที่ทราบชนิด (Zhou *et al.*, 2007) การศึกษาครั้งนี้เป็นการสำรวจสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติบางแห่งของตำบลสหกรณ์นิคม อำเภอกองคา จันทบุรี เช่น อุโมงค์ 3 มิติ (อุโมงค์เหมืองแร่ ดร.ผล กลีบบัว) ที่เป็นอุโมงค์เหมืองตะกั่วเก่า ลำธารที่อยู่ใกล้เคียง และน้ำตกสะพานลาว เป็นต้น ในช่วงการท่องเที่ยวแบบความปรกติใหม่ เพื่อ 1) เสริมข้อมูลด้านความหลากหลายทางชีวภาพสำหรับการจัดการท่องเที่ยวศึกษาธรรมชาติที่ประชาชนในพื้นที่มีส่วนร่วมมากขึ้นของจังหวัดจันทบุรี ให้บรรลุวิสัยทัศน์สนับสนุน “การท่องเที่ยวอัตลักษณ์เมืองกาญจน” และพันธกิจ “ส่งเสริมและพัฒนาการท่องเที่ยวให้เป็นการท่องเที่ยวคุณค่าสูง เติบโตอย่างยั่งยืน เพิ่มศักยภาพแหล่งท่องเที่ยวและการให้บริการด้านการท่องเที่ยวให้มีคุณภาพในระดับสากล” ซึ่งจะเป็นแหล่งรายได้หนึ่งของประชาชนในพื้นที่ 2) ได้ข้อมูลความหลากหลายชนิดของตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำสำหรับการศึกษาเชื่อมโยงกับตัวอ่อนสกุลเดียวกันในอนาคต เนื่องจากลำธารเป็นแหล่งน้ำจืดในแผ่นดิน (inland freshwater) การศึกษาครั้งนี้จะช่วยสนับสนุนเป้าหมายที่ 15 (ชีวิตบนบก) ของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ประเด็น การใช้ระบบนิเวศบนบกและแหล่งน้ำจืดในแผ่นดิน รวมทั้งการบริการทางระบบนิเวศอย่างยั่งยืน (15.1) การอนุรักษ์ระบบนิเวศภูเขาและความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศเหล่านั้น เพื่อเพิ่มพูนขีดความสามารถของระบบนิเวศในการสร้างผลประโยชน์อันสำคัญต่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (15.4)

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. สถานที่ศึกษา

ศึกษาในแหล่งน้ำ 4 สถานที่คือ ลำธารข้างอุโมงค์เหมืองแร่ ดร.ผล กลีบบัว (S1) อุโมงค์เหมืองแร่ ดร.ผล กลีบบัว (S2) ฝายประปาภูเขา (S3) และน้ำตกสะพานลาว (S4) ดังรูปที่ 1

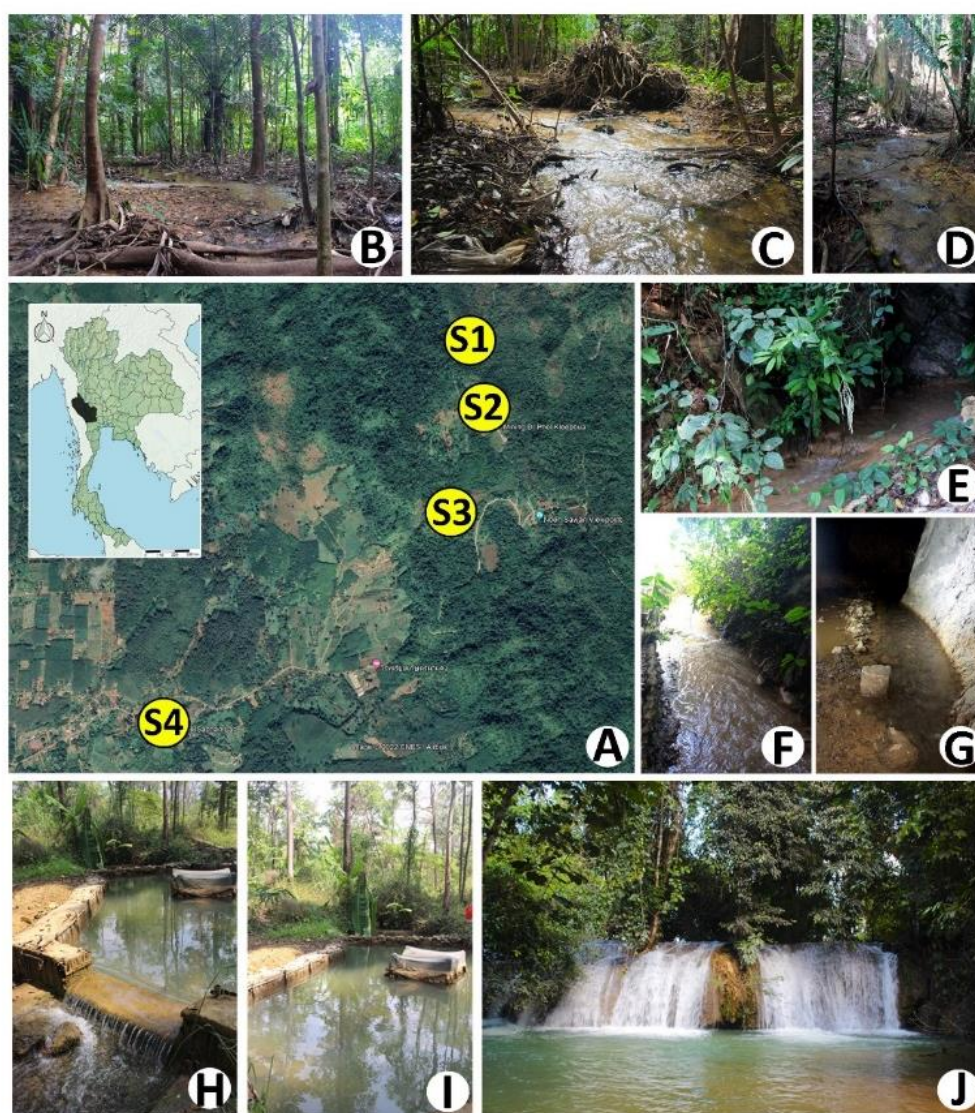
ลำธารข้างอุโมงค์เหมืองแร่ ดร.ผล กลีบบัว (S1) ตั้งอยู่ที่ ละติจูด $14^{\circ}45'7.95''\text{N}$ ลองจิจูด $98^{\circ}48'39.99''\text{E}$ ความสูงเฉลี่ย 660 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีลักษณะเป็นลำธารขนาดเล็กและตื้น ไหลผ่านป่าธรรมชาติที่มีร่มเงามาก แสงส่องผ่านประมาณร้อยละ 40 เนื่องจากมีต้นไม้ขึ้นอยู่มากทำให้ลำธารแยกเป็นแขนงเล็กแคบๆ จำนวนมาก พืชปกคลุมได้แก่ ต้นตาว ต้นเตยป่า พันธุ์ลำธารประกอบด้วยหินขนาดใหญ่ร้อยละ 40 หินขนาดกลาง หินขนาดเล็ก กรวดและทรายปะปนกันร้อยละ 45 และกองเศษซากใบไม้ร้อยละ 15 (รูปที่ 1B-D) เป็นลำธารต้นน้ำอยู่ในเขตป่าดิบชื้นไม่ได้รับการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ น้ำไหลลงสู่หมู่บ้านสะพานลาวไปรวมกับแม่น้ำแควน้อย

อุโมงค์เหมืองแร่ ดร.ผล กลีบบัว (S2) เป็นส่วนหนึ่งของเหมืองสองท่อ ระยะทางในอุโมงค์ยาวประมาณ 2.2 กิโลเมตร เดิมเป็นเหมืองแร่ดีบุกและตะกั่วเริ่มเปิดดำเนินการประมาณปี พ.ศ. 2521 เมื่อสัมปทานเหมืองแร่สิ้นสุดลงปัจจุบันอุโมงค์ฯ นี้ อยู่ในความดูแลของเทศบาลสหกรณ์นิคมและได้รับการส่งเสริมเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ที่มีผู้นิยมมากแห่งหนึ่งของจังหวัดจันทบุรี บริเวณปากอุโมงค์ฯ ตั้งอยู่ที่ ละติจูด $14^{\circ}44'49.46''\text{N}$ ลองจิจูด $98^{\circ}48'52.47''\text{E}$ ความสูงเฉลี่ย 651 เมตรจากระดับน้ำทะเล แสงจากภายนอกสาดเข้าถึงภายในอุโมงค์ฯ ได้เพียงไม่กี่เมตร ภายในมีตมบางบริเวณเป็นแอ่งน้ำตื้นๆ พื้นล่างเป็นตะกอนดิน กรวดและทรายละเอียด และมีตาน้ำที่ผุดขึ้นมาทางด้านข้างภายในอุโมงค์ฯ ทำให้เกิดเป็นช่องทางน้ำแคบๆ ไหลออกมาถึงปากอุโมงค์ฯ ช่องทางน้ำบริเวณปากอุโมงค์ฯ มีความลึกและน้ำไหลเร็วกว่าภายในอุโมงค์ฯ พื้นล่างเป็นปูนซีเมนต์ที่ถูกทับด้วยหินขนาดกลางร้อยละ 70 หินขนาดเล็ก กรวดและทรายที่ถูกน้ำพัดพามาจากภายในอุโมงค์ร้อยละ 30 ไม่มีการสะสมของเศษซากใบไม้ มีพืชขึ้นคลุมทั้งสองข้างและพืชบางส่วนทอดตัวลงไปในน้ำ การเก็บตัวอย่างเก็บที่ช่องทางน้ำบริเวณปากอุโมงค์ฯ และภายในอุโมงค์ฯ (รูปที่ 1E-G)

ฝายประปาภูเขา (S3) มีใช้แหล่งท่องเที่ยว เป็นฝายที่กั้นทางน้ำเพื่อเก็บกักน้ำไว้ทำประปาสำหรับชุมชน ตั้งอยู่ที่ ละติจูด $14^{\circ}44'25.95''\text{N}$ ลองจิจูด $98^{\circ}48'41.06''\text{E}$ ความสูงเฉลี่ย 600 เมตรจากระดับน้ำทะเล น้ำเข้าสู่ฝายมาจากสองแหล่งคือ สายแรกมาจากลำธารข้างอุโมงค์ฯ และอีกสายหนึ่งมาจากเหมืองสองท่อโดยมีท่อลอดผ่านถนนมาสู่ช่องทางน้ำเข้าฝาย

ประปาภูเขา ทำให้ประชาชนมีความกังวลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ พื้นของฝายเป็นซีเมนต์ พื้นช่องทางน้ำออกของฝายเป็นลานหิน มีหินปูนสะสม มีก้อนหินขนาดเล็กและกรวดปะปน (รูปที่ 1H-I) ช่องทางน้ำยาวประมาณ 2 เมตร จากฝายก่อนไหลลงหุบเขาที่ปกคลุมด้วยป่าไม้ ผ่านหมู่บ้านสะพานลาวแล้วไหลต่อไปรวมกับแม่น้ำแควน้อย

น้ำตกสะพานลาว (S4) ตั้งอยู่ที่ ละติจูด $14^{\circ}43'34.90''\text{N}$ ลองจิจูด $98^{\circ}47'27.99''\text{E}$ ความสูงเฉลี่ย 510 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีต้นน้ำเกิดจากป่าเป็นห้วยขนาดเล็กไหลผ่านหมู่บ้านมาถึงบริเวณลานด้านบนแล้วไหลลงมาเป็นน้ำตกด้านล่าง เกิดเป็นแอ่งใต้น้ำตกและไหลต่อไปเป็นลำธารผ่านป่าที่มีต้นไม้ปกคลุมหนาแน่น มีการสะสมหินปูนที่พื้นลำธารซึ่งส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 70 เป็นลานหิน ที่เหลือเป็นหินขนาดใหญ่ หินขนาดกลาง หินขนาดเล็ก กรวด ทรายและเศษซากใบไม้ปะปนกัน ลำธารบริเวณน้ำตกมีลักษณะกว้างกว่าบริเวณอื่น (รูปที่ 1J) บางบริเวณมีกระสอบทรายและยางรถยนต์วางเป็นแนวริมฝั่งมีต้นไม้อายุใหญ่ปกคลุม บริเวณน้ำตกมีแสงส่องถึงประมาณร้อยละ 80 ส่วนลำธารที่ต่อถัดไปมีขนาดแคบลงและมีต้นไม้ปกคลุมมาก เช่นเดียวกับลำธารด้านบนแสงส่องถึงประมาณร้อยละ 60 พื้นส่วนมากเป็นลานหินและมีกองเศษซากใบไม้เป็นหย่อมๆ



รูปที่ 1 แสดงพื้นที่ศึกษาจำนวน 4 สถานี ในตำบลสหกรณ์นิคม อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (รูปที่ 1A) และภาพสถานีเก็บตัวอย่างในแต่ละสถานี (รูปที่ 1B-J) ประกอบด้วย ลำธารข้างอุโมงค์เหมืองแร่ ดร.ผล กลีบบัว (S1) (รูปที่ 1B-D) อุโมงค์เหมืองแร่ ดร.ผล กลีบบัว (S2) (รูปที่ 1E-G) ฝายประปาภูเขา (S3) (รูปที่ 1H-I) และน้ำตกสะพานลาว (S4) (รูปที่ 1J)

2. การเก็บตัวอย่างน้ำ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน และตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน และตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำ 2 ครั้ง ครั้งแรกในเดือนพฤศจิกายน 2564 ครั้งที่สองในเดือนมีนาคม 2565 ตัวอย่างน้ำและตัวอย่างสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเก็บจากพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 บริเวณดังกล่าวข้างต้น ส่วนตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำ เก็บจากลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาว เนื่องจากเป็นลำธารธรรมชาติและมีพื้นที่ขนาดใหญ่ ไม่ได้เก็บในอีก 2 สถานีที่มีพื้นที่ขนาดเล็ก เนื่องจากบริเวณปากอุโมงค์ฯ อยู่ไม่ไกลจากลำธารข้างอุโมงค์ฯ และฝ่ายประปาอยู่ระหว่างลำธารที่ไหลสู่ฝายกับลำธารในป่าเบื้องล่าง ทำให้ไม่สามารถระบุแหล่งที่มาหลักของแมลงถ้ำวางกับดักแสงไฟที่ 2 บริเวณนี้

เก็บตัวอย่างน้ำผิวดินในแต่ละสถานีฯ ละ 3 ขี้ดัววิธีจ้วง (สำนักการจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) เก็บข้อมูลกายภาพและเคมีของแหล่งน้ำจำนวน 8 พารามิเตอร์ คือ อุณหภูมิอากาศด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท ความกว้างของลำธาร และความลึกของน้ำด้วยเทปวัดระยะ ความเร็วกระแสน้ำด้วยเครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ (Teledyne Gurley model 625 Pygmy Water Current meter) อุณหภูมิน้ำและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำด้วยเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (YSI model 550A) ปริมาณของแข็งละลายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ และความเป็นกรด – ด่างของน้ำด้วยเครื่องวัด pH/EC/TDS (Hanna model HI 98129)

เก็บตัวอย่างสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินด้วยสวิงรูปตัว D ขนาดปากสวิง 30 x 30 เซนติเมตร ขนาดตาข่าย 450 ไมโครเมตร เก็บทวนทิศทางการไหลของน้ำสถานีละ 20 สวิง โดยคิดตามสัดส่วนร้อยละของพื้นที่อาศัยแล้วนำมารวมเป็นตัวอย่างเดียวต่อสถานี (Boonsoong *et al.*, 2009) ตัวอย่างสัตว์ที่ได้รักษาสภาพทันทีด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จากนั้นนำกลับมาที่ห้องปฏิบัติการสาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อคัดแยกตัวอย่าง จัดจำแนกตัวอย่างตามคู่มือของ Sangpradub and Boonsoong (2006) เป็นหลัก แมลงน้ำส่วนมากจำแนกถึงระดับสกุล (genus) กุ้ง ปู หอย จำแนกถึงระดับวงศ์ (Family) เนื่องจากระดับการจัดจำแนกแตกต่างกันจึงเรียกรวมว่า แทกซา (taxa) นับจำนวนตัวที่พบในแต่ละแทกซา

เก็บตัวอย่างตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำด้วยกับดักแสงไฟ (ใช้หลอดแบล็คไลท์ UV-A ขนาด 8 วัตต์ แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์) เปิดไฟหลอดแมลงตั้งแต่วันที่ 18.00 - 07.00 น. ของวันรุ่งขึ้น สถานีละหนึ่งอัน ตัวอย่างแมลงที่ได้รักษาสภาพด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ในห้องปฏิบัติการแยกเฉพาะตัวเต็มวัยของแมลงหนอนปลอกน้ำ เตรียมอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้สำหรับการระบุชนิดโดยตัดส่วนอวัยวะสืบพันธุ์ แช่ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 (10% KOH) เป็นเวลา 30-60 นาทีหรือจนใส แล้วนำมาเก็บรักษาในขวดบรรจุกลีเซอรอล จัดจำแนกและระบุชนิดภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Nikon model C-LEDS, China) โดยใช้เอกสารของ Malicky (2010) และเอกสารตีพิมพ์ชนิดใหม่ หลังจากนั้น นับจำนวนตัวที่พบในแต่ละชนิด ตัวอย่างสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำถูกเก็บไว้ที่สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลกายภาพและเคมีบางประการของแหล่งน้ำแสดงผลด้วยค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\text{mean} \pm \text{SD}$) วิเคราะห์ความแตกต่างของแต่ละพารามิเตอร์ในระหว่างสถานีด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) หรือการทดสอบแบบครัสคาล-วอลลิส (Kruskal-Wallis test) ขึ้นกับการกระจายของข้อมูลและเปรียบเทียบรายคู่หลังพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญด้วย LSD หรือ Dunn's multiple comparison test ตามลำดับ การวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรม IBM SPSS version 23 (IBM Corp, 2015) ข้อมูลสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินแสดงผลการพบในแต่ละสถานีด้วยจำนวนแทกซา ความชุกชุม (จำนวนตัว) ดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener (H') ดัชนีความสม่ำเสมอ (E) และสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงกัน (Sorensen similarity coefficient) (Krebs, 1999) จำแนกกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่พบในแต่ละสถานีตามบทบาทหน้าที่การกินอาหาร (Functional feeding group) ซึ่งยึดตามพฤติกรรมการ

ได้รับอาหารเพื่อเชื่อมโยงกับกลุ่มอาหารพื้นฐานที่มีในแหล่งน้ำ การศึกษาครั้งนี้ได้จัดจำแนกตาม Merrit *et al.* (2008) แสดงผลร้อยละของสัตว์แต่ละกลุ่มที่พบ ประเมินคุณภาพน้ำของสถานศึกษาโดยใช้ข้อมูลการพบจำนวนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินด้วย “นาฬิกาสัตว์หน้าดิน” (นฤมล, 2542) เพื่อเป็นแนวทางเฝ้าระวังคุณภาพน้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งชุมชนท้องถิ่นสามารถดำเนินการด้วยตนเอง ผลการสำรวจตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำแสดงด้วยจำนวนชนิด ความชุกชุม และดัชนีความหลากหลายชนิด (H') ในแต่ละสถานี

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของสถานศึกษา

ลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของแต่ละสถานีแสดงในตารางที่ 1 เดือนพฤศจิกายน 2564 บริเวณฝายประปาภูเขาเขื่อนน้ำท่มสูงเป็นบริเวณกว้าง ระดับน้ำลึกมาก ไม่สามารถลงไปวัดความกว้างของลำธาร ความลึกของน้ำ และความเร็วกระแสน้ำได้ จึงได้ตักน้ำขึ้นมาเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เหลือ ผลการทดสอบทางสถิติระหว่างสถานีในเดือนนี้พบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรด - ด่างของน้ำไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) พารามิเตอร์อื่นๆ ที่เหลือแตกต่างกันระหว่างสถานีอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เดือนมีนาคม 2565 ไม่ได้ศึกษาในอุโมงค์ เนื่องจากผลการสำรวจเดือนพฤศจิกายน 2564 พบว่ามีสัตว์น้อยมากเพียง 4 ตัว เดือนมีนาคมนี้พบว่าความเร็วกระแสน้ำ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำ และอุณหภูมิระหว่างสถานีไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) พารามิเตอร์อื่นๆ ที่เหลือแตกต่างกันระหว่างสถานีอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) น้ำตกสะพานลาวแตกต่างจากสถานีอื่นๆ คือมีความกว้างและความลึกมากกว่า แต่ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำและปริมาณของแข็งละลายน้ำมีค่าต่ำกว่าสถานีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำแม้จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่น้ำตกสะพานลาวมีค่าต่ำกว่าสถานีอื่นๆ ลำธารข้างอุโมงค์ บริเวณปากอุโมงค์ ในอุโมงค์ และฝายประปาภูเขา มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่แตกต่างกันมาก ยกเว้นค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ เดือนพฤศจิกายน 2564 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบริเวณในอุโมงค์ สูงกว่าลำธารข้างอุโมงค์ ปากอุโมงค์ และฝายประปาภูเขา ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เดือนมีนาคม 2565 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำและปริมาณของแข็งละลายน้ำที่ลำธารข้างอุโมงค์ มีค่าสูงกว่าที่ฝายประปาภูเขา และบริเวณปากอุโมงค์ ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตำแหน่งที่ตั้งของลำธารข้างอุโมงค์ อยู่ใกล้เคียงกับบริเวณปากอุโมงค์ เมื่อเกิดน้ำหลากจึงมีการผสมกันของน้ำทั้งสองบริเวณนี้ ส่วนฝายประปาภูเขารับน้ำที่ไหลผ่านอุโมงค์ จึงทำให้ทั้งสามบริเวณดังกล่าวนี้มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แตกต่างกันน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ที่น้ำตกสะพานลาว แหล่งน้ำในสถานีที่สำรวจเป็นแหล่งน้ำผิวดินไหลผ่านภูมิประเทศที่เป็นหินปูน ในระหว่างการเก็บตัวอย่างภาคสนามได้รับทราบถึงความกังวลใจของประชาชนในพื้นที่เกี่ยวกับคุณภาพของน้ำประปาจากฝายประปาภูเขาที่ปัจจุบันชาวบ้านไม่กล้าบริโภคแต่ใช้เฉพาะการอุปโภค มาตรฐานน้ำประปาดื่มได้ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขต้องมีค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร และต้องมีปริมาณโลหะหนักและสารพิษไม่เกินที่กำหนดไว้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2563) การศึกษาครั้งนี้วัดปริมาณของแข็งละลายน้ำในสถานีศึกษาได้ค่าเฉลี่ย 170.33 - 287.7 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ไม่ได้ตรวจวัดปริมาณโลหะหนักและสารพิษตามประกาศ ดังนั้นไม่สามารถระบุคุณภาพน้ำประปาภูเขาได้ การตรวจวัดปริมาณโลหะหนักและสารพิษโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและมีการประชาสัมพันธ์ผลการตรวจวัดให้ประชาชนในพื้นที่ทราบ จะทำให้ประชาชนมีความมั่นใจต่อคุณภาพของน้ำประปาภูเขา

ตารางที่ 1 ค่าของพารามิเตอร์ (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ด้านกายภาพและเคมีของสถานีศึกษาและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (AN) หรือการทดสอบแบบ ครัสคาล-วอลลิส (KW) ในเดือนพฤศจิกายน 2564 และมีนาคม 2565

พารามิเตอร์ด้าน กายภาพและเคมี	ลำธารข้างอุโมงค์		ปากอุโมงค์		ในอุโมงค์		ฝ่ายประปาภูเขา		น้ำตกสะพานลาว		p-Value
	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65	
ความกว้างลำธาร (ม) ^{AN}	1.83±0.65 ^a	2.39±0.30 ^a	1.15±0.26 ^a	1.29±0.16 ^a	1.10±0.12 ^a	9.37±2.90 ^b	ไม่ได้วัด	16.33±4.37 ^b	7.50±2.18 ^b	<0.001*	0.002*
ความลึกของน้ำ (ซม) ^{AN}	16.40±2.97 ^a	12.67±3.01 ^a	19.33±5.03 ^{ab}	13.33 ±3.33 ^a	15.33±2.08 ^a	10.83±5.97 ^a	ไม่ได้วัด	27.33±5.30 ^b	45.67±11.37 ^b	0.041*	<0.001*
ความเร็วกระแส (ม/วินาที) ^{AN}	0.59±0.03 ^{ab}	0.24±0.07	0.86±0.02 ^b	0.27±0.01	0.34±0.07 ^b	0.49±0.08	ไม่ได้วัด	0.94±0.44 ^b	0.36±0.12	0.043*	0.069
ปริมาณออกซิเจน ละลายน้ำ (มก/ล) ^{KW}	5.26±0.45	5.23±0.63	5.07±0.26	6.26±0.85	4.76±0.20	5.37±0.27	5.61±0.51	4.69±0.22	5.17±0.24	0.059	0.137
ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโคร ซีเมนส์/ซม) ^{AN}	526.33±4.93 ^c	526.00±4.36 ^d	466.67±3.21 ^b	456.33 ±7.64 ^b	545.33±3.51 ^d	472.00±2.65 ^b	472.00±2.65 ^b	360.33±2.52 ^a	383.00±7.81 ^a	<0.001*	<0.001*
ปริมาณของแข็งละลาย น้ำทั้งหมด (มก/ล) ^{AN}	280.30±0.60 ^b	278.33±2.31 ^{bc}	245.70±2.10 ^b	242±30 ^b	287.70±2.30 ^{bc}	250.33±0.58 ^b	250.33±0.58 ^b	190.33±1.53 ^{ab}	200.70±0.60 ^{ab}	0.009*	0.015*
ความเป็นกรด-ด่าง ^{KW}	7.22±0.16	7.77±0.56	7.20±0.04	7.58±0.01	7.17±0.03	7.69±0.14	7.69±0.14	7.23±0.03	7.52±0.04	0.071	0.217
อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส) ^{AN}	22.33±0.06 ^b	24.57±0.90	23.17±0.21 ^b	22.07±0.12	22.83±0.12 ^b	21.67±0.59 ^{ab}	21.67±0.59 ^{ab}	24.80±0.10 ^{bc}	25.03±0.51	0.009*	0.39

ภายในแต่ละแถวของค่าเฉลี่ย ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (a, b, c, d) บ่งบอกถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ตามด้วยการเปรียบเทียบแบบครัสคาล-วอลลิส และการเปรียบเทียบแบบพหุคูณของ LSD ของการวิเคราะห์ ความแปรปรวนทางเดียว * ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

2. โครงสร้างชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ความหลากหลายและความสม่ำเสมอของชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่พบรวมทั้งสิ้น 3,931 ตัว จาก 58 วงศ์ 121 แทกซา แบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ กลุ่มแรกคือ กลุ่มไม่ใช่แมลงน้ำ (non-aquatic insect group) ได้แก่ หอย กุ้ง ปู และกลุ่มแมลงน้ำ (aquatic insect group) เดือนพฤศจิกายน 2564 พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินจากทุกสถานีวิจัยทั้งสิ้น 1,548 ตัว จาก 50 วงศ์ 81 แทกซา เป็นกลุ่มไม่ใช่แมลงน้ำ 6 วงศ์ 44 ตัว แมลงน้ำ 44 วงศ์ จำนวน 1,504 ตัว (ตารางที่ 2) สำหรับเดือนมีนาคม 2565 พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินจากทุกสถานีวิจัยทั้งสิ้น 2,383 ตัว จาก 55 วงศ์ 88 แทกซา เป็นกลุ่มไม่ใช่แมลงน้ำ 6 วงศ์ 173 ตัว แมลงน้ำ 49 วงศ์ จำนวน 2,210 ตัว ในทั้งสองเดือนที่ศึกษาพบว่าที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวมีจำนวนแทกซาและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมากเป็นสองลำดับแรก เดือนพฤศจิกายน 2564 ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำ (order Trichoptera) ตัวอ่อนแมลงสองปีก (order Diptera) และตัวอ่อนแมลงชีปะขาว (order Ephemeroptera) มีความชุกชุมมากในเกือบทุกสถานี ในขณะที่เดือนมีนาคมพบตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำ ตัวอ่อนแมลงสองปีกและด้วงน้ำ (order Coleoptera) มีความชุกชุมมากในเกือบทุกสถานี (ตารางที่ 2)

ในภาพรวมสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่พบในทุกสถานีส่วนมากเป็นกลุ่มแมลงน้ำ มีสัตว์กลุ่มอื่น เช่น หอย กุ้ง ปู อยู่บ้างเป็นจำนวนน้อยซึ่งเป็นลักษณะของลำธารน้ำจืดทั่วไป (Min and Kong, 2020) กุ้งและปูพบทุกสถานียกเว้นภายในอุโมงค์ฯ หอยพบเฉพาะที่น้ำตกสะพานลาว เดือนมีนาคม 2565 บริเวณปากอุโมงค์ฯ ฝ่ายประปาภูเขาและน้ำตกสะพานลาวมีจำนวนแทกซาและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเดือนพฤศจิกายน 2564 ซึ่งตรงกันข้ามกับลำธารข้างอุโมงค์ฯ ที่มีจำนวนแทกซาและความชุกชุมลดลง ทั้งนี้เนื่องจากระดับน้ำที่ลดลงในเดือนมีนาคมทำให้ช่องทางน้ำบางบริเวณของลำธารข้างอุโมงค์ฯ แห้งขอดและส่วนที่เหลือมีน้ำน้อย ส่งผลให้ที่อาศัยของสัตว์ลดลงจึงพบจำนวนแทกซาและความชุกชุมลดลง ผลการศึกษาระหว่าง 4 สถานี พบว่าลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวมีพื้นที่อาศัยธรรมชาติและมีจำนวนแทกซาและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมาก (33 - 47 วงศ์ 238 - 1,740 ตัว) แตกต่างจากบริเวณที่ถูกตัดแปลงด้วยกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ปากอุโมงค์ฯ ภายในอุโมงค์ฯ และฝ่ายประปาภูเขา (3 - 26 วงศ์ 4 - 133 ตัว) การวิเคราะห์ข้อมูลลำดับต่อไปจึงทำเฉพาะในสองสถานียังกล่าว

ชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่พบในลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวมีความคล้ายคลึงกันประมาณร้อยละ 61 (Sorensen similarity coefficient = 0.609) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองสถานียังพบว่าแตกต่างกัน เดือนพฤศจิกายน 2564 จำนวนแทกซาและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในลำธารข้างอุโมงค์ฯ มีมากกว่าที่น้ำตกสะพานลาว แต่ดัชนีความหลากหลายและดัชนีความสม่ำเสมอที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ มีค่าต่ำกว่า ส่วนเดือนมีนาคม 2565 จำนวนแทกซาและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในลำธารข้างอุโมงค์ฯ มีน้อยกว่าที่น้ำตกสะพานลาว แต่มีค่าดัชนีความหลากหลายและดัชนีความสม่ำเสมอสูงกว่า ดัชนีความสม่ำเสมอมีค่าต่ำแสดงว่าในชุมชนประกอบด้วยสัตว์เพียงไม่กี่แทกซาที่มีจำนวนตัวมากๆ ชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในสองสถานียังต่างกันเนื่องจากลักษณะลำธารที่ต่างกันมาก ทั้งร่มเงา ความกว้าง ความลึก ความเร็วกระแสน้ำและลักษณะของพื้นอาศัย และการได้รับผลจากการลดลงของช่องทางน้ำที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ ในเดือนมีนาคม 2565 โดยพบว่า เมื่อช่องทางน้ำบางบริเวณแห้งขอดไป จำนวนแทกซาและความชุกชุมของแมลงชีปะขาว แมลงสโตนฟลายและแมลงหนอนปลอกน้ำ ลดลงมากจาก 28 แทกซา 939 ตัวในเดือนพฤศจิกายน 2564 เป็น 15 แทกซา 199 ตัวในเดือนมีนาคม 2565 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับแม่น้ำหิโนนที่ไหลผ่านถ้ำหิโนนของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวพบว่าแตกต่างกัน โดยที่แม่น้ำหิโนนบริเวณถ้ำกองลอ แขวงคำม่วน เป็นแม่น้ำต้นๆ พื้นอาศัยส่วนมากเป็นตะกอนขนาดเล็กพวกกรวดและทรายและน้ำไหลช้า พบตัวอ่อนแมลงชีปะขาวหลากหลายกว่าตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำมาก (Sripanya *et al.*, 2022) ในขณะการศึกษาครั้งนี้พบว่าความหลากหลายของตัวอ่อนแมลงทั้งสองอันดับนี้ไม่ต่างกันมาก พื้นอาศัยของลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวที่ประกอบด้วยตะกอนหลายขนาดตั้งแต่หินก้อนใหญ่

หินขนาดกลาง หินขนาดเล็ก กรวดและทราย กองเศษซากใบไม้ และมีกระแสน้ำไหลเร็วกว่า ขนาดของตะกอนพื้นอาศัยและกระแสน้ำเป็นปัจจัยกายภาพที่มีบทบาทสำคัญควบคุมการกระจายตัวของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน พื้นอาศัยที่มีตะกอนหลากหลายส่งเสริมให้มีความหลากหลายของชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมากกว่าบริเวณพื้นทราย (Leitner *et al.*, 2015; Pacioglu *et al.*, 2020)

3. การจำแนกกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินตามบทบาทหน้าที่การกินอาหาร (Functional feeding group)

จำแนกกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวตามบทบาทหน้าที่การกินอาหารซึ่งเป็นวิธีการจำแนกประเภทตามพฤติกรรมการได้รับอาหาร พบทั้ง 5 กลุ่ม คือ กลุ่มกัดกินสารอินทรีย์อนุภาคหยาบ (shredder) กลุ่มกรองกิน (filtering-collector) กลุ่มเก็บกิน (gathering-collector) กลุ่มขูดกิน (scraper) และกลุ่มผู้ล่า (predator) และไม่สามารถระบุกลุ่ม ร้อยละของสัตว์แต่ละกลุ่มในลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวแสดงดังรูปที่ 2 ทั้งสองสถานีในเดือนพฤศจิกายน 2564 และมีนาคม 2565 มีร้อยละของกลุ่มสัตว์กินสารอินทรีย์อนุภาคหยาบและสารอินทรีย์อนุภาคละเอียด (คือ กลุ่มกัดกิน กลุ่มกรองกินและกลุ่มเก็บกิน) รวมกันมากกว่ากลุ่มขูดกินแสดงว่าแหล่งคาร์บอน (อาหาร) หลักของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในทั้งสองลำธาร มาจากภายนอกกระบบคือมาจากระบบนิเวศบก (Merritt *et al.*, 2008) และเป็นสารอินทรีย์อนุภาคละเอียด (fine particulate organic matter: FPOM) มากกว่าสารอินทรีย์อนุภาคหยาบ (coarse particulate organic matter: CPOM) ร้อยละจำนวนตัวกลุ่มสัตว์ที่กินสารอินทรีย์อนุภาคละเอียด คือกลุ่มเก็บกินและกลุ่มกรองกินมีมากที่สุด ซึ่งสัตว์กลุ่มกรองกินมีมากกว่าแสดงว่าสารอินทรีย์อนุภาคละเอียดส่วนมากถูกขนส่งเคลื่อนไปในกระแสน้ำมากกว่าที่ตกสะสมอยู่บนพื้นอาศัย ที่น้ำตกสะพานลาวเดือนมีนาคม 2565 พบตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำสกุล *Chimarra* วงศ์ Philopotamidae เป็นจำนวนมากประมาณร้อยละ 40 ของจำนวนตัวสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินทั้งหมดแสดงว่าสถานีนี้มีสารอินทรีย์อนุภาคละเอียดมาก (very fine FPOM) เนื่องจากตัวอ่อนของแมลงหนอนปลอกน้ำวงศ์ Philopotamidae สร้างเส้นใยที่มีขนาดเล็กกว่าแมลงหนอนปลอกน้ำวงศ์อื่นๆ มากสำหรับถักทอเป็นที่กำบังและใช้กรองอาหาร (Edington and Hildrew, 1995) สัตว์พวกกรองกินในเดือนพฤศจิกายน 2564 มีร้อยละจำนวนตัวมากกว่าเดือนมีนาคม 2565 สอดคล้องกับความเร็วกระแสน้ำที่เดือนพฤศจิกายน 2564 มีค่าเฉลี่ยความเร็วสูงกว่าในเดือนมีนาคม 2565 ร้อยละจำนวนตัวของสัตว์กลุ่มเก็บกินในลำธารข้างอุโมงค์ฯ เดือนมีนาคม 2565 ลดลงมากเพราะการลดลงของจำนวนตัวอ่อนแมลงชีปะขาวที่ส่วนมากเป็นพวกเก็บกินเนื่องจากน้ำในลำธารแห่งนี้แห้งขอดไปหลายบริเวณ สัตว์กลุ่มขูดกินที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ มีร้อยละจำนวนตัวไม่ต่างกันมากในทั้งสองเดือนเป็นเพราะลำธารข้างอุโมงค์ฯ เป็นลำธารที่มีช่องทางน้ำแคบๆ หลายช่อง บริเวณลำธารมีต้นไม้ปกคลุมตลอดทั้งปีทำให้ได้รับแสงแดดไม่แตกต่างกันมาก แต่ที่น้ำตกสะพานลาวร้อยละกลุ่มขูดกินเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 6.3 ในเดือนพฤศจิกายน 2564 เป็นร้อยละ 22.7 ในเดือนมีนาคม 2565 เนื่องจากน้ำตกสะพานลาวมีความกว้างมากและมีต้นไม้ปกคลุมลำธารเพียงบางส่วน เดือนมีนาคม 2565 อาจได้รับแสงแดดมากกว่าในเดือนพฤศจิกายน 2564 ส่งผลให้ผู้ผลิตพวกสาหร่ายและไดอะตอมที่ขึ้นเคลือบก้อนหินพื้นอาศัยมีการสังเคราะห์แสงเจริญมากขึ้น กลายเป็นแหล่งอาหารของพวกขูดกินร้อยละจำนวนตัวของพวกขูดกินจึงเพิ่มมากขึ้น ส่วนพวกผู้ล่าพบมีความผันแปรมากทั้งสองลำธาร

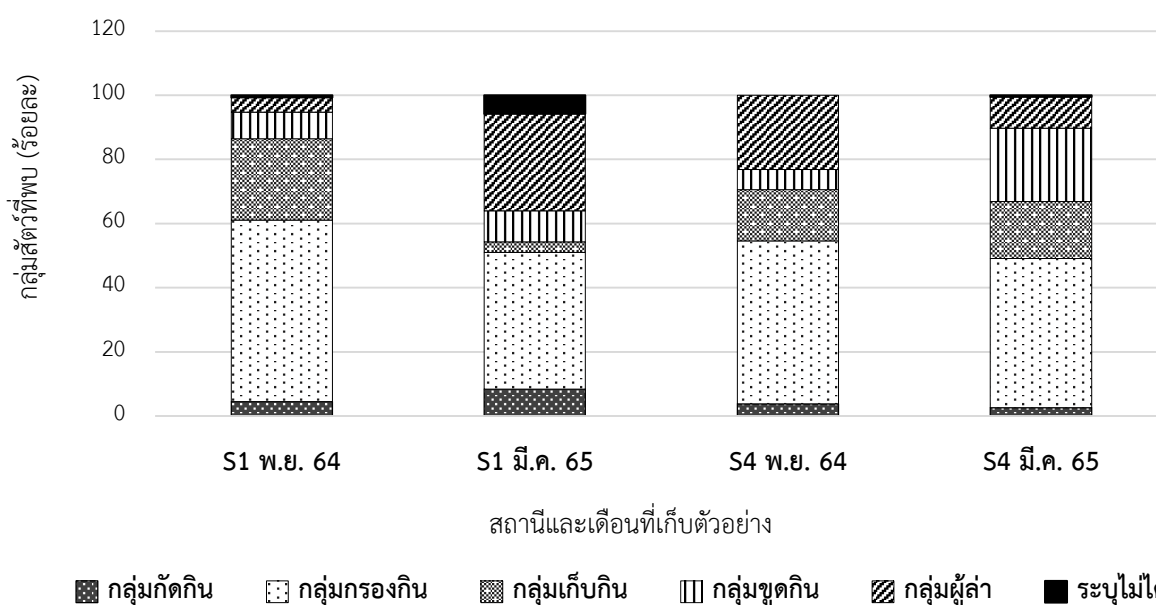
ตารางที่ 2 จำนวนแทกซา (จำนวนตัว) ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้ำดินที่พบในแต่ละวงศ์จากการเก็บตัวอย่างในเดือนพฤศจิกายน 2564 และเดือนมีนาคม 2565 ในแต่ละสถานี

ไฟลัม/คลาส/อันดับ/วงศ์	ลำธารข้างอุโมงค์ฯ		ปากอุโมงค์ฯ		ในอุโมงค์ฯ		ฝายประปาภูเขา		น้ำตกสะพานลาว		รวม (จำนวนตัว)	
	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65	ทั้งหมด
ไฟลัม Mollusca												
อันดับ Mesogastropoda												
Bithyniidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	1(6)	1	6	7
Pachychilidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(2)	2(34)	2	34	36
อันดับ Veneroida												
Corbiculidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(4)	0	4	4
Gecarcinocidae	1(18)	1(8)	0(0)	1(1)	0(0)	1(3)	1(2)	1(3)	1(4)	24	15	39
ไฟลัม Arthropoda												
คลาส Crustacea												
อันดับ Decapoda												
Palaemonidae	1(6)	1(17)	1(5)	1(75)	0(0)	1(4)	1(3)	1(2)	1(19)	17	114	131
คลาส Insecta												
อันดับ Coleoptera												
Dryopidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(2)	1(1)	2	1	3
Dytiscidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(2)	0	2	2
Elmidae	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	2(4)	2(5)	5	5	10
Gyrinidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	1(2)	1	2	3
Hydrophilidae	1(1)	1(12)	0(0)	1(1)	0(0)	0(0)	1(1)	1(1)	2(4)	2	18	20
Lampyridae	0(0)	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1 (1)	0(0)	1(1)	0	3	3
Psephenidae	1(2)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	2(4)	1(3)	6	3	9
Scirtidae	1(26)	1(28)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(4)	0(0)	1(324)	26	356	382
Staphylinidae	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1	0	1
อันดับ Diptera												
Athericidae	1(25)	2(37)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	2(5)	2(3)	3(10)	29	52	81
Ceratopogonidae	2(6)	2(2)	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	2(10)	7	12	19
Chironomidae	2(42)	1(3)	1(2)	1(5)	1(1)	2(3)	1(14)	2(15)	2(87)	63	109	172
Orthoclaadiinae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	0(0)	1(1)	0(0)	0(0)	1	1	2
Tanypodinae	1(2)	1(8)	0(0)	1(2)	0(0)	1(1)	1(6)	1(1)	1(69)	4	85	89
Dixidae	1(1)	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1	1	2
Psychodidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	1(1)	1	1	2
Simuliidae	1(71)	1(3)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(2)	1(9)	1(134)	80	139	219
Stratiomyidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1	0	1
Tipulidae	3(95)	1(23)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	3(10)	1(7)	105	31	136
อันดับ Ephemeroptera												
Baetidae	4(90)	1(2)	0(0)	1(10)	0(0)	2(14)	1(19)	1(4)	2(22)	108	53	161
Caenidae	3(19)	2(2)	0(0)	2(4)	0(0)	0(0)	0(0)	2(2)	4(48)	21	54	75
Ephemerellidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	0(0)	1	0	1
Ephemeridae	1(5)	1(2)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(3)	5	5	10
Heptageniidae	4(35)	2(7)	1(1)	0(0)	0(0)	1(5)	0(0)	1(4)	3(21)	45	28	73
Leptophlebiidae	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(3)	2(12)	4	12	16
Teloganodidae	1(5)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	1(1)	6	1	7

ตารางที่ 2 จำนวนแทกซา (จำนวนตัว) ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้ำดินที่พบในแต่ละวงศ์จากการเก็บตัวอย่างในเดือนพฤศจิกายน 2564 และเดือนมีนาคม 2565 ในแต่ละสถานี (ต่อ)

ไฟลัม/คลาส/อันดับ/วงศ์	ลำธารข้างอุโมงค์ฯ		ปากอุโมงค์ฯ		ในอุโมงค์ฯ		ฝายประปาภูเขา		น้ำตกสะพานลาว		รวม (จำนวนตัว)	
	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65	ทั้งหมด
อันดับ Hemiptera												
Gerridae	1(2)	3(18)	0(0)	1(8)	0(0)	0(0)	1(1)	1(1)	2(2)	3	29	32
Veliidae	0(0)	1(2)	1(1)	2(2)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(2)	1	5	6
อันดับ Lepidoptera												
Crambidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	2(2)	1(1)	0(0)	1	2	3
อันดับ Megaloptera												
Corydalidae	2(3)	1(5)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(15)	1(7)	18	12	30
อันดับ Odonata												
Calopterygidae	1(3)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	3	1	4
Chlorocyphidae	0(0)	1(2)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	1(2)	1(9)	2	12	14
Coenagrionidae	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	0(0)	0(0)	1(4)	1(1)	0(0)	1	5	6
Corduliidae	0(0)	1(2)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(3)	0	5	5
Euphaeidae	1(2)	1(2)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(4)	1(10)	6	12	18
Gomphidae	2(9)	2(21)	0(0)	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	1(4)	5(15)	13	36	49
Libellulidae	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	0(0)	1(1)	1(2)	4(13)	3(7)	14	9	23
Platycnemididae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	0(0)	0(0)	0	1	1
Platystictidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	0	1	1
Synthemistidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	1(1)	1	1	2
อันดับ Plecoptera												
Nemouridae	3(24)	0(0)	1(2)	1(2)	1(1)	2(2)	1(1)	0(0)	0(0)	29	3	32
Perlidae	1(3)	2(7)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	1(2)	1(1)	0(0)	5	9	14
อันดับ Trichoptera												
Calamoceratidae	2(5)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	2(6)	5	6	11
Dipseudopsidae	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	1	1	2
Ecnomidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(2)	0(0)	0(0)	0	2	2
Hydropsychidae	2(701)	3(148)	2(3)	1(1)	0(0)	0(0)	3(52)	3(116)	3(129)	820	329	1149
Leptoceridae	2(3)	0(0)	0(0)	1(1)	0(0)	0(0)	1(1)	0(0)	0(0)	3	2	5
Limnephilidae	0(0)	1(8)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(2)	0(0)	1(15)	0	25	25
Odontoceridae	0(0)	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0	1	1
Philopotamidae	1(7)	1(20)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	1(5)	1(676)	12	697	709
Polycentropodidae	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)	0(0)	0(0)	1(2)	0(0)	1(5)	0	8	8
Psychomyiidae	1(39)	1(2)	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(5)	40	7	47
Rhyacophilidae	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(12)	0	12	12
Stenopsychidae	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1	0	1
รวม	53	39	9	18	4	13	30	45	69	1,548	2,383	3,931
	(1,255)	(394)	(16)	(116)	(4)	(35)	(133)	(238)	(1,740)			
ดัชนีความหลากหลาย (H')	2.372	2.702						2.855	2.427			
ความสม่ำเสมอ (Evenness)	0.598	0.737						0.755	0.573			

การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของกลุ่มสัตว์ที่จำแนกตามบทบาทหน้าที่การกินอาหารช่วยให้สันนิษฐานความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น หากมีกลุ่มชุดกินเพิ่มมากขึ้นอาจสันนิษฐานว่าในน้ำมีผู้ผลิตพวกสาหร่ายและไดอะตอมเพิ่มขึ้น คือมีการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นที่อาจมาจากการได้รับแสงแดดมากขึ้นจากการผลัดใบของต้นไม้ตามฤดูกาล หรืออาจมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การตัดต้นไม้ ทำให้แสงแดดส่องถึงลำธารมากขึ้น การปนเปื้อนของสารอินทรีย์หรือปุ๋ยทำให้มีธาตุอาหารของผู้ผลิตเพิ่มขึ้น เป็นต้น อย่างไรก็ตาม Hagen *et al.* (2010) พบว่าในพื้นที่ต้นน้ำที่รัฐจอร์เจีย สหรัฐอเมริกา บริเวณที่ทำเกษตรกรรมอย่างมากและได้รับผลกระทบจากการเหยียบย่ำของฝูงปศุสัตว์ ทำให้เกิดการสะสมของตะกอนบนพื้นที่ท้องน้ำมาก ขัดขวางการเจริญของกลุ่มผู้ผลิต แม้จะได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่ สารอินทรีย์ (CPOM และ FPOM) จากภายนอก ระบบ (allochthonous) ยังคงเป็นแหล่งคาร์บอนหลักที่เข้าสู่ระบบนิเวศลำธาร ต่างจากบริเวณที่ทำเกษตรกรรมอย่างมากแต่ไม่มีผลกระทบจากปศุสัตว์ พบว่าผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงของผู้ผลิตภายในลำธาร (autochthonous) กลายเป็นแหล่งคาร์บอนหลักของระบบนิเวศนั้น



รูปที่ 2 ร้อยละสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินแบ่งตามบทบาทหน้าที่การกินอาหาร ที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ (S1) และน้ำตกสะพานลาว (S4) ในเดือนพฤศจิกายน 2564 และเดือนมีนาคม 2565

4. การประเมินคุณภาพน้ำด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน

การประเมินคุณภาพน้ำด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินโดยใช้ดัชนีค่าดัชนีน้ำดิน พบว่าเดือนพฤศจิกายน 2564 น้ำที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ มีคุณภาพดีค่อนข้างดี และที่น้ำตกสะพานลาวมีคุณภาพค่อนข้างดี เดือนมีนาคม 2565 น้ำที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ มีคุณภาพค่อนข้างดี ส่วนที่น้ำตกสะพานลาวมีคุณภาพพอใช้ค่อนข้างดี (ตารางที่ 3) น้ำในลำธารข้างอุโมงค์ฯ มีคุณภาพดีกว่าน้ำตกสะพานลาวทั้งสองเดือน และคุณภาพน้ำเดือนพฤศจิกายน 2564 ดีกว่าเดือนมีนาคม 2565 ผลการประเมินสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ มีค่ามากกว่าที่น้ำตกสะพานลาว

ตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณภาพน้ำในลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวในเดือนพฤศจิกายน 2564 และเดือนมีนาคม 2565 ด้วยข้อมูลสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินโดยใช้นาฬิกาสัตว์หน้าดิน

กลุ่มสัตว์	ลำธารข้างอุโมงค์ฯ		น้ำตกสะพานลาว	
	พ.ย. 64	มี. ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65
ตัวอ่อนแมลงสโตนฟลายและ	182	13	17	107
ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว				
ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำ	755	179	121	849
ตัวอ่อนแมลงปอ และกิ้ง ปู	38	52	30	70
ตัวอ่อนรินน้ำจืด	44	11	16	156
ผล คุณภาพน้ำ	ดี-ดีมาก	ค่อนข้างดี	ค่อนข้างดี	พอใช้-ดี

5. ความหลากหลายของแมลงหนอนปลอกน้ำระยะตัวเต็มวัย

ตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำที่เก็บได้จากกับดักแสงไฟที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาว (ตารางที่ 4) ในเดือนพฤศจิกายน 2564 และเดือนมีนาคม 2565 พบรวม 562 ตัวจาก 35 ชนิด 19 สกุล 10 วงศ์ ดัชนีความหลากหลายมีค่าสูงในเดือนพฤศจิกายน 2564 ที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ และในเดือนมีนาคม 2565 ที่น้ำตกสะพานลาว วงศ์ที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดสองอันดับคือ วงศ์ Hydropsychidae (13 ชนิด 4 สกุล) Philopotamidae (7 ชนิด 3 สกุล) และ Leptoceridae (6 ชนิด 4 สกุล) ลำธารข้างอุโมงค์ฯ พบรวม 26 ชนิด 14 สกุล 6 วงศ์ น้ำตกสะพานลาวพบรวม 19 ชนิด 10 สกุล 9 วงศ์

ตารางที่ 4 ตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำที่พบในลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวเดือนพฤศจิกายน 2564 และเดือนมีนาคม 2565

วงศ์	ชนิด	ลำธารข้างอุโมงค์ฯ		น้ำตกสะพานลาว	
		พ.ย. 64	มี.ค. 65	พ.ย. 64	มี.ค. 65
Calamoceratidae	<i>Anisocentropus pan</i>	7	0	0	0
Ecnomidae	<i>Ecnomus aktaion</i>	0	0	0	2
Glossosomatidae	<i>Agapetus abimelech</i>	0	0	1	0
Hydropsychidae	<i>Cheumatopsyche chrysothemis</i>	1	0	0	1
	<i>Cheumatopsyche cornix</i>	13	1	0	1
	<i>Cheumatopsyche dhanikari</i>	1	0	0	0
	<i>Cheumatopsyche erawan</i>	7	0	0	0
	<i>Cheumatopsyche globosa</i>	2	0	5	37
	<i>Cheumatopsyche jaekam</i>	116	1	1	2
	<i>Cheumatopsyche lucida</i>	0	0	5	0
	<i>Diplectrona aurovittata</i>	3	0	0	0
	<i>Diplectrona dulitensis</i>	211	0	6	4
	<i>Diplectrona jacobsoni</i>	2	0	0	0
Hydroptilidae	<i>Hydroptila thuna</i>	0	0	0	1
Lepidostomatidae	<i>Lepidostoma doligung</i>	0	0	0	1
Leptoceridae	<i>Adicella koronis</i>	1	0	0	0
	<i>Adicella pulcherrima</i>	1	0	0	0
	<i>Leptocerus dirghachuka</i>	0	0	0	2
	<i>Leptocerus suthepensis</i>	1	0	0	0
	<i>Setodes hekatocheiros</i>	3	0	0	0
	<i>Triaenodes dusra</i>	3	0	0	0

ตารางที่ 4 ตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำที่พบในลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวเดือนพฤศจิกายน 2564 และเดือนมีนาคม 2565 (ต่อ)

วงศ์	ชนิด	ลำธารข้างอุโมงค์ฯ		น้ำตกสะพานลาว	
		พฤศจิกายน	มีนาคม	พฤศจิกายน	มีนาคม
		2564	2565	2564	2565
Philopotamidae	<i>Chimarra akkaorum</i>	1	2	4	19
	<i>Chimarra moira</i>	1	0	1	20
	<i>Chimarra okuihorum</i>	3	0	4	8
	<i>Chimarra uppita</i>	0	0	8	0
	<i>Chimarra usal</i>	0	0	0	5
	<i>Gunungiella myrrha</i>	6	0	0	0
	<i>Wormaldia graia</i>	1	0	0	0
Polycentropodidae	<i>Nyctiophylax nahum</i>	2	0	1	0
	<i>Nyctiophylax pongdiatensis</i>	4	0	0	0
	<i>Pahamunaya taleban</i>	1	0	0	0
Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila heliada</i>	1	0	0	4
จำนวนชนิด		26	3	13	14
จำนวนตัว		404	4	45	107
ดัชนีความหลากหลาย (H')		1.542	1.039	0.307	1.968

แมลงหนอนปลอกน้ำวงศ์ Hydropsychidae และ Philopotamidae มีความชุกชุมมากที่สุดทั้งระยะตัวอ่อนและระยะตัวเต็มวัยในลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาว สำหรับระยะตัวอ่อนในเดือนพฤศจิกายน 2564 พบตัวอ่อนวงศ์ Hydropsychidae มากที่สุดในทั้งสองลำธาร โดยที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ พบตัวอ่อนสกุล *Diplectrona* คิดเป็นร้อยละ 41 ของจำนวนตัวแมลงน้ำทั้งหมดที่ลำธารนี้ ส่วนเดือนมีนาคม 2565 ที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ พบว่าตัวอ่อนของแมลงหนอนปลอกน้ำวงศ์ Hydropsychidae ยังคงมีความชุกชุมมากที่สุด แต่น้ำตกสะพานลาวพบตัวอ่อนวงศ์ Philopotamidae มากกว่าโดยพบจำนวนตัวประมาณร้อยละ 40 ของแมลงน้ำทั้งหมดในลำธารแห่งนี้ ที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ พบตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำเดือนพฤศจิกายน 2564 มากกว่าเดือนมีนาคม 2565 แตกต่างจากน้ำตกสะพานลาวที่เดือนมีนาคม 2565 พบตัวเต็มวัยมากกว่า

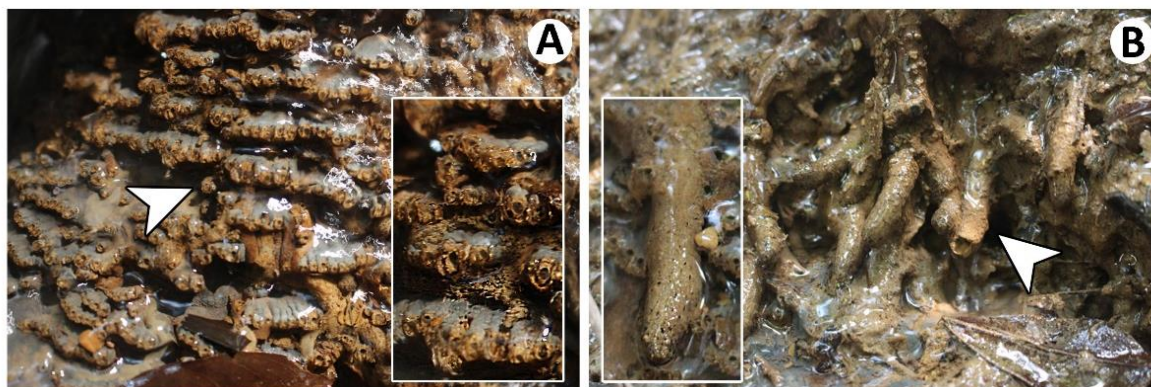
เมื่อเปรียบเทียบระยะตัวอ่อนและระยะตัวเต็มวัยของแมลงหนอนปลอกน้ำที่พบในระดับวงศ์ วงศ์ที่พบทั้งระยะตัวอ่อนและตัวเต็มวัยมี 7 วงศ์คือ Calamoceratidae Ecnomidae Hydropsychidae Leptoceridae Philopotamidae Polycentropodidae และ Rhyacophilidae ที่พบเฉพาะระยะตัวอ่อนมี 4 วงศ์คือ Dipseudopsidae Odontoceridae, Psychomyiidae และ Stenopsychidae ทั้ง 4 วงศ์นี้ พบที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ แต่วงศ์ Odontoceridae และ Stenopsychidae ไม่พบที่น้ำตกสะพานลาว โดยพบเฉพาะวงศ์ Dipseudopsidae และ Psychomyiidae เท่านั้น แมลงหนอนปลอกน้ำที่พบเฉพาะระยะตัวเต็มวัยมี 3 วงศ์คือ Glossosomatidae Hydroptilidae และ Lepidostomatidae โดยพบวงศ์ละ 1 ตัวที่น้ำตกสะพานลาว การที่พบระยะตัวอ่อนแต่ไม่พบระยะตัวเต็มวัยของแมลงหนอนปลอกน้ำวงศ์เดียวกันนั้น อาจเนื่องจากเวลาที่ไปเก็บตัวอย่างไม่ใช่ช่วงเวลาทั้ง 4 วงศ์นี้จะกลายเป็นตัวเต็มวัย การศึกษาชีวประวัติของของแมลงหนอนปลอกน้ำในประเทศไทยมีไม่มาก ภาคเหนือมีรายงานในวงศ์ Hydroptilidae 2 ชนิด คือ *Ugandatrichia maliwan* Malicky and Chantaramongkol, 1991 (Thani and Chantaramongkol, 1999) และ *U. kerdmuang* Malicky and Chantaramongkol, 1991 (Laudee, 2004) ว่ามีแบบแผนการเจริญแบบไม่เป็นฤดูกาล (non-seasonal pattern) แต่ไม่ระบุว่ามีการขึ้นต่อปี Somnark (2018) พบว่า *Chimarra okuihorum* Mey, 1998 ในลำธาร 2 สายที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว มีวงจรชีวิต 1 รุ่นต่อปีและไม่เป็นฤดูกาล (non-seasonal univoltine life cycle) โดยพบตัวอ่อนทุกเดือนตลอดทั้งปี ตัวเต็มวัยพบ

6 - 9 เดือน ส่วนวงศ์ที่พบเฉพาะตัวเต็มวัยอาจเนื่องมาจากเป็นตัวเต็มวัยที่บินมาจากแหล่งน้ำอื่น เนื่องจากมีรายงานในต่างประเทศว่าแมลงหนอนปลอกน้ำบางกลุ่มบินได้เป็นระยะทางไกล (Griffith *et al.*, 1998; Petersen *et al.*, 2004)

6. การอนุรักษ์แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติให้ยั่งยืน

ปัจจุบันการท่องเที่ยวในสถานที่ธรรมชาติทั้งในและนอกอุทยานแห่งชาติเป็นที่นิยมมากขึ้น ลำธารข้างอุโมงค์ฯ และ น้ำตกสะพานลาวเป็นสถานที่ธรรมชาติที่เหมาะสมกับการท่องเที่ยวเชิงนิเวศหรือการศึกษาภาคสนามของชั้นเรียนและกิจกรรม วิทยาศาสตร์ศึกษา เพราะมีป่าที่สมบูรณ์และมีความหลากหลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินโดยเฉพาะกลุ่มแมลงน้ำ ปรกติจังหวัดกาญจนบุรีได้จัดกิจกรรม “เดิน-วิ่ง-แรลลี่” ผ่านบริเวณใกล้ลำธารข้างอุโมงค์ฯ แต่ได้งดจัดช่วงปี พ.ศ. 2562 - 2565 เนื่องจากสถานการณ์การระบาดของไวรัสโคโรนา 19 หากมีการจัดกิจกรรมนี้อีกควรมีมาตรการเพื่อลดผลกระทบที่ อาจเกิดกับลำธารข้างอุโมงค์ฯ ที่น้ำตกสะพานลาว ควรมีการจัดการเรื่องขยะและเศษแก้วที่พบในน้ำทั้งด้านบนและด้านล่าง ของน้ำตก และมีการประเมินคุณภาพแหล่งน้ำด้วยวิธีทางเคมีหรือวิธีทางชีวภาพที่ชุมชนสามารถดำเนินการเองเป็นระยะๆ จะ ทำให้เห็นแนวโน้มคุณภาพของลำธารซึ่งสามารถนำมาใช้ในการจัดการพื้นที่ ที่น้ำตกสะพานลาวพริ้งอาสัย (retreats) ของ ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำวงศ์ Philopotamidae ที่สร้างบนลานหินโดยเฉพาะบริเวณลำธารด้านบนของน้ำตก รังเก่ามี หินปูนเกาะทำให้มีลักษณะซ้อนทับกันหลายชั้นดูแปลกตา (รูปที่ 3) การเดินย่ำพื้นลำธารของนักท่องเที่ยวด้วยความไม่รู้ อาจทำให้ที่อยู่เหล่านี้รวมทั้งพื้นอาศัยของตัวอ่อนแมลงน้ำหลายชนิดถูกทำลาย Wright and Li (1998) พบว่าแมลง หนอนปลอกน้ำ *Dicosmoecus gilvipes* ในลำธารที่สหรัฐอเมริกามีความชุกชุมลดลงในบริเวณที่ถูกบรบกวนจากกิจกรรม นันทนาการกลางแจ้ง กิจกรรมท่องเที่ยวมักให้ผลด้านลบต่อคุณภาพน้ำและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินโดยเฉพาะแมลงน้ำ (Dinakaran and Anbalagan, 2007; Anbalagan *et al.*, 2011) เช่น ในประเทศอินเดีย Anbalagan *et al.* (2011) พบ ตัวอ่อนแมลงริ้นดำมีความชุกชุมมากขึ้นเป็นร้อยละ 33 - 40 ในลำธารที่ได้รับผลกระทบจากการท่องเที่ยวแต่ในลำธารที่ไม่ได้ รับผลกระทบจากการท่องเที่ยวพบร้อยละ 8 - 19 ในประเทศออสเตรเลียและประเทศบราซิลกิจกรรมการเดินป่า การเดินย่ำ พื้นลำธาร การลงเล่นน้ำและการล่องห่วงยางในลำธารทำให้องค์ประกอบชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเปลี่ยนแปลง คือ จำนวนแทกซาและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินโดยเฉพาะแมลงน้ำกลุ่ม EPT (อันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera) ลดลง (Hardiman and Burgin, 2011; Escarpinati *et al.*, 2014) แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ในลำธารทางตะวันตกเฉียงใต้ของรัฐยูทาห์ สหรัฐอเมริกา ที่มีพื้นที่อาศัยเป็นหินขนาดกลาง (Caires *et al.*, 2010) นอกจากนี้ Bossley and Smiley (2017a; 2017b; 2018) ได้ทดลองผลของการเดินย่ำและกิจกรรมการศึกษา ภาคสนามของนักเรียนต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในลำธารต้นน้ำ พบว่าผลกระทบปรากฏไม่ชัดเจนเมื่อประเมินใน ระยะสั้นเพียงหนึ่งวันหรือหนึ่งสัปดาห์หลังจากกิจกรรม แต่พบว่าความหลากหลายและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง หน้าดินและแมลงน้ำกลุ่ม EPT บริเวณที่มีนักเรียนหลายกลุ่มหมุนเวียนกันเข้าศึกษาในระยะเวลา 6 สัปดาห์ มีจำนวนน้อยกว่า บริเวณที่ไม่มีกิจกรรม เนื่องจากกิจกรรมของนักเรียนทำให้ก้อนหินในลำธารเคลื่อนย้ายบ่อยครั้งขัดขวางการเข้าอาศัยของสัตว์ ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน การจัดกิจกรรมเปลี่ยนที่ไม่ให้เข้ากับบริเวณเดิมจะช่วยลดผลกระทบต่อลำธารและชุมชนสัตว์ใน ลำธารได้ บริเวณอุโมงค์ฯ ดร.ผล กลีบบัว ภายในอุโมงค์ฯ ไม่เหมาะกับการอาศัยของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน แต่บริเวณ ปากอุโมงค์ฯ พบตัวอ่อนแมลงชีปะขาว *Proclonia* ซึ่งการสำรวจครั้งนี้ยังไม่พบในสถานที่อื่นๆ อุโมงค์ฯ นี้เหมาะกับการ ท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์การทำเหมืองแร่และธรณีวิทยา สำหรับฝ่ายประปาภูเขาแม้พื้นที่ไม่มาก ความหลากหลายของ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินบริเวณนี้เป็นผลจากลำธารด้านท้ายน้ำที่อยู่ในป่าไม้บริเวณใกล้เคียง เนื่องจากตัวอ่อนแมลงน้ำ หลายชนิดมีการกระจายตัวเคลื่อนที่ไปทางต้นน้ำ (Elliott, 2003) นอกจากนี้ที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ และฝ่ายประปาภูเขาพบ ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว *Alainites siamensis* Phlai-ngam Tungpairajwong & Gattolliat, 2022 ซึ่งเป็นชนิดใหม่ของโลก เพิ่งได้รับการตั้งชื่อในปี พ.ศ. 2565 จากตัวอย่างที่พบในห้วยหญ้าเครือ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ และพบ กระจายตัวในอีก 3 จังหวัดคือ ที่อำเภอแม่ระมาดและอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ตำบลคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร และ

อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (Phlai-ngam *et al.*, 2022) การดูแลรักษาป่าไม้จึงเป็นการรักษาแหล่งพันธุกรรมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินให้คงอยู่อย่างยั่งยืน



รูปที่ 3 รางอาศัยของตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำวงศ์ Philopotamidae บริเวณลานหินของลำธารด้านบนของน้ำตกสะพานลาว (S4) ประกอบด้วย รางเก่ามีหินปูนสะสม (รูปที่ 3A) และรางปัจจุบันที่ยังมีส่วนต่ายสานกันเป็นรูปคล้ายนิ้ว (รูปที่ 3B)

การให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยวสามารถลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากกิจกรรมท่องเที่ยว ที่อุทยานแห่งชาติ Biribiri ประเทศบราซิล Bispo *et al.* (2015) พบว่าความหลากหลายและความชุกชุมของแมลงน้ำลดลงในลำธารบริเวณสถานที่ถูกรบกวนจากนักท่องเที่ยว และโดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเทศกาลคาร์นิวัลที่มีจำนวนนักท่องเที่ยวมากกว่าปกติ การจัดการที่ดีช่วยลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น งานประเพณีมีสการรอยพระพุทธรูป อุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี ก่อให้เกิดปัญหาขยะมูลฝอย การจัดการของเสีย และน้ำเสียสู่ลำธารเขาพระบาทเป็นประจำทุกปี การศึกษาในปี พ.ศ. 2557 พบว่าชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินได้รับผลกระทบจากกิจกรรมงานประเพณีดังกล่าว (Rattanachan, 2017) ในปี พ.ศ. 2560 จังหวัดจันทบุรี ได้แก้ปัญหาโดยให้งดการขายของ การพักผ่อน และการประกอบอาหาร บนเขาพระบาทอย่างเด็ดขาด พบว่าผลการประเมินคุณภาพน้ำในลำธารเขาพระบาทจากการประเมินด้วยวิธีทางเคมีและกายภาพ และวิธีทางชีวภาพด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินให้ผลสอดคล้องกัน คือไม่แตกต่างกันระหว่างช่วงก่อนและในระหว่างเทศกาล 1 และ 2 เดือน (แก้ววิภา และคณะ, 2560) สำหรับการศึกษาในครั้งนี้เป็นช่วงท่องเที่ยวแบบความปกติใหม่ที่มีนักท่องเที่ยวน้อยมาก โครงสร้างชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินแตกต่างกันในแต่ละสถานี เพราะมีพื้นอาศัยและสภาพแวดล้อมต่างกัน แหล่งน้ำจัดเป็นน้ำในแผ่นดินซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศบนบก การดูแลรักษาป่าไม้โดยรอบสถานีเหล่านี้จะทำให้แต่ละสถานีดำรงความเป็นแหล่งอนุรักษพันธุกรรมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและสิ่งมีชีวิตที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ส่งเสริมความยั่งยืนของแหล่งท่องเที่ยว และช่วยให้บรรลุเป้าหมายที่ 15 (ชีวิตบนบก ปกป้อง พืช และสนับสนุนการใช้ระบบนิเวศบนบกอย่างยั่งยืน) ของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ข้อมูลสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและตัวเต็มวัยของแมลงหนอนปลอกน้ำที่ได้จากการสำรวจครั้งนี้ เป็นข้อมูลพื้นฐานด้านความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตสำหรับส่งเสริมแหล่งการท่องเที่ยวธรรมชาติและใช้เปรียบเทียบกับผลการสำรวจเมื่อการท่องเที่ยวกลับมาเป็นปกติในอนาคต สำหรับข้อมูลความหลากหลายของตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำจะเป็นประโยชน์ในการเชื่อมโยงกับระยะตัวอ่อนเพื่อให้สามารถระบุชนิดตัวอ่อน ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่ากลุ่มแรกที่มีจำนวนตัวและข้อมูลเพียงพอสำหรับการศึกษาเชื่อมโยงคือ วงศ์ Philopotamidae ซึ่งจะได้มีการศึกษาต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การสำรวจโครงสร้างชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน และความหลากหลายของตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำในเดือนพฤศจิกายน 2564 และ มีนาคม 2565 เพื่อเป็นข้อมูลส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง

หน้าดินทั้งสิ้น 121 แทกชา จาก 58 วงศ์ สัตว์ที่พบส่วนมากเป็นแมลงน้ำในอันดับ Trichoptera (แมลงหนอนปลอกน้ำ) Ephemeroptera (แมลงชีปะขาว) และ Diptera (แมลงสองปีก) ลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวมีความหลากหลายและความชุกชุมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมากกว่าบริเวณปากอุโมงค์ฯ และฝายประปาภูเขามาก โครงสร้างชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ และน้ำตกสะพานลาวมีความคล้ายคลึงกันประมาณร้อยละ 61 และแหล่งคาร์บอนหลักที่เข้าสู่สถานีมามาจากระบบนิเวศบก แหล่งอาหารของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินส่วนมากมาจากสารอินทรีย์ขนาดเล็กเฉียด คุณภาพน้ำที่ลำธารข้างอุโมงค์ฯ ดีกว่าน้ำตกสะพานลาว พบตัวเต็มวัยแมลงหนอนปลอกน้ำรวม 35 ชนิดจาก 10 วงศ์ ส่วนมากอยู่ในวงศ์ Hydropsychidae และ Philopotamidae สอดคล้องกับระยะตัวอ่อนที่พบ การสำรวจในช่วงการท่องเที่ยวแบบความปรกติใหม่ที่มีนักท่องเที่ยววันน้อยมาครั้งนี้ ได้ข้อมูลส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ และเป็นข้อมูลพื้นฐาน (baseline data) สำหรับใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเมื่อกิจกรรมการท่องเที่ยวฟื้นตัวมากขึ้น การจัดการที่ดีซึ่งรวมถึงการดูแล ปกป้องพื้นที่ป่าโดยรอบมีความสำคัญต่อความยั่งยืนของแหล่งท่องเที่ยวนี้ และเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้บรรลุเป้าหมายที่ 15 (ชีวิตบนบก) ของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านความหลากหลายทางชีวภาพที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัยนี้ (BDC-PG4-163007-1) และขอขอบคุณชุมชนชาวบ้านสำหรับข้อมูลสถานที่และการเดินทางไปยังสถานที่เก็บตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

- กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2563). ประกาศกรมอนามัย เรื่อง เกณฑ์คุณภาพน้ำประปาดื่มได้น้ำประปา กรมอนามัย พ.ศ. 2563. แหล่งข้อมูล: <https://laws.anamai.moph.go.th/th/practices/201133> ค้นเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2566.
- กระทรวงสาธารณสุข. (2565). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ชื่อและอาการสำคัญของโรคติดต่อที่ต้องเฝ้าระวัง (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2565 ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 139 ตอนพิเศษ 223 ง. แหล่งข้อมูล: http://www.ratchakitcha.soc.go.th/.../2565/E/223/T_0002.PDF. ค้นเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2566.
- กองเศรษฐกิจ การท่องเที่ยวและกีฬา. (2563). สถานการณ์ด้านการท่องเที่ยวเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563. แหล่งข้อมูล: https://www.mots.go.th/download/article_20200428141351.pdf. ค้นเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2566.
- กองเศรษฐกิจ การท่องเที่ยวและกีฬา. (2565). สถานการณ์ด้านการท่องเที่ยวเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564. แหล่งข้อมูล: https://www.mots.go.th/download/article/article_20220127114136.pdf. ค้นเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2566.
- แก้วภวิกา รัตนจันทร์, นงพงา ปาเฉย, อิศรพงษ์ วรผาบ, มรุต เครือหงส์ และนิพนธ์ ภิญโญ. (2560). คุณภาพน้ำของลำธารเขาพระบาทในอุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ ระหว่างงานประเพณีมีสการรอยพระบาท. รายงานวิจัยกรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- นฤมล แสงประดับ. (2542). "นาฬิกาสัตว์หน้าดิน" ทางเลือกของการดูแลเฝ้าระวังคุณภาพแหล่งน้ำโดยชุมชนท้องถิ่น. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 27(4): 279 - 287.
- สำนักการจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553). วิธีการปฏิบัติสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ. กรุงเทพฯ. 58 หน้า.
- สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬา จังหวัดกาญจนบุรี. (2566). รายได้จากการท่องเที่ยวจังหวัดกาญจนบุรี ปี 2560 - 2565 ข้อมูลจากกองเศรษฐกิจการท่องเที่ยวและกีฬา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. แหล่งข้อมูล: https://kanchana.buri.most.go.th/ewt_dl_link.php?nid=1967. ค้นเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2566.

- Anbalagan, S., Dinakaran, S., Pandiarajan, J. and Krishnan, M. (2011). Effect of tourism on the distribution of larval blackflies (Diptera: *Simulium*) in Palani Hills of South India. *Acta Hydrobiologica Sinica* 35(4): 688 - 692. doi: 10.3724/SP.J.1035.2011.00688.
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. and Stribling, J.B. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. (2nd ed). Washington, DC: US Environmental Protection Agency.
- Bispo, C. A., Loureneo, A. P. and Garraffoni, A. R. S. (2015). Does tourism impact aquatic insects in a high altitude stream?. *EntomoBrasilis* 8(2): 96 - 104. doi: 10.12741/ebrasilis.v8i2.485.
- Boonsoong, B., Sangpradub, N. and Barbour, M.T. (2009). Development of rapid bioassessment approaches using benthic macroinvertebrates in Thai streams. *Environmental Monitoring Assessment* 155: 129-147. doi: 10.1007/s10661-008-0423-2.
- Bossley, J.P. and Smiley Jr, P.C. (2017a). Short-term disturbance effects of outdoor education stream classes on aquatic macroinvertebrates. *Journal of Environmental Protection* 8(11): 1333 - 1353. doi: 10.4236/jep.2017.811082.
- Bossley, J.P. and Smiley Jr, P.C. (2017b). Effect of outdoor education stream classes on substrate movement and macroinvertebrate colonization. *Journal of Ecology* 32(1): 727 - 740. doi: 10.1080/02705060.2017.1402826.
- Bossley, J.P. and Smiley Jr, P.C. (2018). Effects of student-induced trampling on aquatic macroinvertebrates in agricultural headwater streams. *Water* 10: 77. doi: 10.3390/w100100770.
- Buckley, R. (2003). Ecoogical indicators of tourism impacts in Parks. *Journal of Tourism* 2(1): 54 - 66. doi: 10.1080/14724040308668133.
- Caires, A.M., Vinson, M.R. and Brasher, A.M.D. (2010). Impacts of hikers on aquatic macroinvertebrates in the North Fork of the Virgin River, Utah. southwest. *Naturalist* 55(4): 551 - 557. doi: 10.1894/JS-33.1.
- Dinakaran, S. and Anbalagan, S. (2007). Anthropogenic impacts on aquatic insects in six streams of south western Ghats. *Journal of Insect Science* 7(1): 1 - 6. doi: 10.1673/031.007.3701.
- Edington, J. M. and Hildrew, A. G. (1995). Caseless caddis larvae of the British Isles. A key with ecological notes. Freshwater Biological Association Scientific Publication No. 53. Cumbria: Freshwater Biological Association. 134 pp.
- Edward, J.K.P., Jayanthi, M., Malleshappa, H., Jeyasanta, K.I., Laju, R.L., Patterson, J., Raj, K.D., Mathews, G., Marimuthu, A. S. and Grimsditch, G. (2021). COVID- 19 lockdown improved the health of coastal environment and enhanced the population of reef-fish. *Marine Pollution Bulletin* 165: 112124. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112124.
- Elliott, J.M. (2003). A comparative study of the dispersal of 10 species of stream invertebrates. *Freshwater Biology* 48(9): 1652 - 1668. doi: 10.1046/j.1365-2427.2003.01117.x.
- Escarpinati, S.C., Siqueira, T., Medina Jr, P.B. and Roque, F.O. (2014). Short-term effects of visitor trampling on macroinvertebrates in karst streams in an ecotourism region. *Environmental Monitoring and Assessment* 186(3): 1655 - 1663. doi: 10.1007/s10661-013-3483-x.

- Griffith, M. B., Barrows, E. M. and Perry, S. A. (1998). Lateral dispersal of adult aquatic insects (Plecoptera, Trichoptera) following emergence from headwater streams in forested Appalachian catchments. *Annals of the Entomological Society of America* 91(2): 195 - 201. doi: 10.1093/AESA/91.2.195.
- Hagen, E.M., McTammany, M.E., Webster, J.R. and Benfield, E.F. (2010). Shifts in allochthonous input and autochthonous production in streams along an agricultural land-use gradient. *Hydrobiologia* 655(1): 61 - 177. doi: 10.1007/s10750-010-0404-7.
- Hardiman, N. and Burgin, S. (2011). Effects of trampling on in-stream macroinvertebrate communities from canyoning activity in the Greater Blue Mountains World Heritage Area. *Wetland. Ecological Management* 19: 61 - 71. doi: 10.1007/s11273-010-9200-4.
- Heth, R. L. S., Bowles, D. E. and Havel, J. E. (2016). Potential impacts of stream crossing traffic on macroinvertebrate communities in the Missouri Ozark River. *River Research Applications* 32(5): 925 - 934. doi: 10.1002/rra.2898.
- IBM Corp. (2015). IBM SPSS statistics for Windows version 23.0. Armonk, New York.
- Kerans, B.I. and Karr, J.R. (1994). A benthic index of biotic integrity (B-IBI) for rivers of the Tennessee Valley. *Ecological Applications* 4(4): 768 - 785. doi: 10.2307/1942007.
- Kidd, K. R., Aust, W. M. and Copenheaver, C. A. (2014). Recreational stream crossing effects on sediment delivery and macroinvertebrates in southwestern Virginia, USA. *Environmental Management*. 54: 505 - 516.
- Krebs, C.J. (1999). *Ecological Methodology* (2nd ed). California: Benjamin/Cummings. An imprint of Addison Wesley Longman, Inc. pp. 411 - 454.
- Laudee, P. (2004). Life history and larval morphology of the giant microcaddisfly, *Ugandatrichia kerdmuang* Malicky and Chantaramongkol, 1991 (Hydroptilidae: Trichoptera). *Braueria* 31: 21 - 24.
- Leitner, P., Hauer, C., Ofenböck, T., Pletterbauer, F., Schmidt-Kloiber, A. and Graf, W. (2015). Fine sediment deposition affects biodiversity and density of benthic macroinvertebrates: A case study in the freshwater pearl mussel river Waldaist (Upper Austria). *Limnologica* 50: 54 - 57. doi: 10.1016/j.limn.2014.12.003.
- Malicky H. (2010). *Atlas of Southeast Asian Trichoptera*. Chiang Mai: Chiang Mai University. 346 pp.
- Merritt, R.W., Cummins, K.W. and Berg, M.B. (2008). *An introduction to the aquatic insects of north America*. Dubuque: Kendall Hunt Publishing Company. 552 pp.
- Min, J. and Kong, D. (2020). Distribution patterns of benthic macroinvertebrate communities based on multispatial-scale environmental variables in the river systems of Republic of Korea. *Journal of Freshwater Ecology* 25(1): 323 - 347. doi: 10.1080/02705060.2020.1815599.
- Ormaza-González, F.I., Castro-Rodas, D., and Statham, P.J. (2021). COVID-19 impacts on beaches and coastal water pollution at selected sites in Ecuador, and management proposals post-pandemic. *Frontiers in Marine Science* 8: 669374. doi: 10.3389/fmars.2021.669374.
- Pacioglu, O., Duğu, F., Pavel, A.B. and Duğu, L.T. (2022). The influence of hydrology and sediment grain-size on the spatial distribution of macroinvertebrate communities in two submerged dunes from the Danube Delta (Romania). *Limnetica* 41(1): 85 - 100. doi: 10.23818/limn.41.07.

- Petersen, L., Masters, Z., Hildrew, A.G. and Ormerod, S.J. (2004). Dispersal of adult aquatic insects in catchments of differing land use. *Journal of Applied Ecology* 41(5): 934 - 950. doi: 10.1111/j0021-8901.2004.00942.x.
- Phlai-ngam, S., Tungpairojwong, N. and Gattolliat J. (2022). A new species of *Alainites* (Ephemeroptera, Baetidae) from Thailand. *Alpine Entomology* 6: 133 - 146. doi: 10-3897/alpento.6.96284.
- Rattanachan, K. (2017). Benthic Macroinvertebrate Multimetric Index for Rapid Bioassessment of Streams in Thailand. Ph.D. Thesis, Khon Kean University, Khon Kaen.
- Sangpradub, N. and Boonsoong, B. (2006). Identification of freshwater invertebrates of the Mekong River and its tributaries. Vientiane: Mekong River Commission. 274 pp.
- Schafft, M., Wegner, B., Meyer, N, Wolter, C. and Arlinghaus, R. (2021). Ecological impacts of water-based recreational activities on freshwater ecosystems: a global meta-analysis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 288(1959): 2021 - 1623. doi: 10.1098/rspb.2021.1623.
- Somnark, R. (2018). Community structure of freshwater benthic macroinvertebrates, phenology of some species of aquatic insects and leaf litter breakdown in Nam Nao National Park. Ph.D. Thesis, Khon Kaen University, Khon Kaen. 340 pp.
- Somnark, R. and Sangpradub, N. (2023). New records of the caddisflies *Diplectrona erinya* Malicky, 2002 and *Diplectrona extrema* Banks, 1920 (Trichoptera, Hydropsychidae) from Thailand. *Check List* 19(1): 13 - 20. doi: 10.15560/19.1.13.
- Sripanya, J., Rattanawilai, K., Vongsombath, C., Vannachak, V., Hanjavanit, C. and Sangpradub, N. (2022). Benthic macroinvertebrates and Trichoptera adults for bioassessment approach in streams and wadeable rivers in Lao People's Democratic Republic. *Tropical Natural History* 22: 12 - 24.
- Thani, I. and Chantaramongkol, P. (1999). Life history of *Ugandatrichia maliwan* (Trichoptera: Hydroptilidae) in Mae Klang stream, Doi Inthanon range, northern Thailand. In: Malicky, H. and Chantaramongkol, P. (eds.) *Proceedings of the 9th International Symposium on Trichoptera Thailand*. Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai. 411 - 414.
- Venohr, M., Langhans, S., Peters, O., Holker, F., Arlinghaus, R. and Wolter, C. (2018). The underestimated dynamics and impacts of water-based recreational activities on freshwater ecosystems. *Environmental Review* 26(2): 199 - 213. doi: 10.1139/er-2017-0024.
- Welieange, W.S., Leichtfried, M., Amarasinghe, U.S. and Füreder, L. (2017). Longitudinal variation of benthic macroinvertebrate communities in two contrasting tropical streams in Sri Lanka. *International Review of Hydrobiology* 102(3-4): 70 - 82. doi: 10.1002/iroh.201601865.
- Wright, K.K. and Li, J.L. (1998). Effects of recreational activities on the distribution of *Dicosmoecus gilvipes* in a mountain stream. *Journal of the North American Benthological Society* 17(4): 535 - 543. doi: 10.2307/1468370.
- Zhou, X., Kjer, K.M. and Morse, J.C. (2007). Associating larvae and adults of Chinese Hydropsychidae caddisflies (Insecta: Trichoptera) using DNA sequences. *Journal of North American Benthological Society* 26(4): 719 - 742. doi: 10.1899/06-089.1.

