

Study of Macroinvertebrates Community Structure in Summer and Autumn from Tai Lake National Wetland Park, Heilongjiang Province

Yuxi Zhao¹, Di Liu¹, Yongfu Ju², Xu Sun¹, Hongxian Yu^{1*}

¹College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²Harbin University, Harbin Heilongjiang

Email: *china.yhx@163.com

Received: Oct. 22nd, 2019; accepted: Nov. 6th, 2019; published: Nov. 13th, 2019

Abstract

Seven species of macroinvertebrates were found in 12 sampling sites in Tai Lake National Wetland Park in summer (July) and autumn (September) of 2018. Five species of *Chironomid larvae* were found in summer, and four species of *Chironomid larvae* were found in autumn. The dominant species were *Chironomus*, *Parachironomus*, *Polypedilum* and *Procladius*. The abundance of macroinvertebrates in summer and autumn both ranged from 0 ind./m² to 320 ind./m². The largest number and abundance of macroinvertebrates were observed at S3, while no macroinvertebrates were found at S1, S10, S11 and S12. The average of Simpson diversity index in summer is 1.73, and that in autumn is 1.79. The diversity index between sampling sites was not changed much, which indicates that the species of macroinvertebrates in Tai Lake National Wetland Park are not abundant.

Keywords

Tai Lake National Wetland Park, Macroinvertebrates, Community Structure, Summer and Autumn

黑龙江省泰湖国家湿地公园夏秋季大型底栖无脊椎动物群落结构研究

赵予熙¹, 柳迪¹, 鞠永富², 孙旭¹, 于洪贤^{1*}

¹东北林业大学野生动物与保护地学院, 黑龙江 哈尔滨

²哈尔滨学院, 黑龙江 哈尔滨

*通讯作者。

文章引用: 赵予熙, 柳迪, 鞠永富, 孙旭, 于洪贤. 黑龙江省泰湖国家湿地公园夏秋季大型底栖无脊椎动物群落结构研究[J]. 世界生态学, 2019, 8(4): 294-302. DOI: 10.12677/ije.2019.84039

Email: *china.yhx@163.com

收稿日期: 2019年10月22日; 录用日期: 2019年11月6日; 发布日期: 2019年11月13日

摘要

分别于2018年夏季(7月)和秋季(9月)对太湖国家湿地公园设置的12个采样点进行大型底栖无脊椎动物采样调查分析,共发现大型底栖无脊椎动物7种,其中夏季发现5种摇蚊幼虫,秋季发现4种摇蚊幼虫。优势种属于摇蚊属(*Chironomus*)、拟摇蚊属(*Parachironomus*)、多足摇蚊属(*Polypedilum*)和前突摇蚊属(*Procladius*)。夏季和秋季的丰度均处于0~320 ind./m²之间,两季均为3号样点的大型底栖无脊椎动物种类数最多,丰度也最大,而1、10、11、12号样点则均未发现大型底栖无脊椎动物。夏季的Simpson多样性指数平均值为1.73,秋季的平均值为1.79,各样点之间的多样性指数变化也不大,说明太湖国家湿地公园的大型底栖无脊椎动物物种不丰富。

关键词

太湖国家湿地公园,大型底栖无脊椎动物,群落结构,夏秋季

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

湿地生态系统是处于陆地和水体之间的自然综合体,其生物多样性十分丰富,生产力强[1]。同时具有很强的调节环境的能力,湿地不仅具有储蓄地下水、泥炭积累等水文功能,同时具有保护生物多样性、维持物种库,为野生动植物尤其是一些稀少或濒危物种提供栖息地等生态功能[2]。国际上对湿地的保护及研究经历了从无到有的过程,但我国湿地保护工作起步相对滞后[3]。国内由于过度的开垦农田、工农业污染、城市建设等多方面的影响,给湿地生态带来了严重的破坏,有必要加强湿地的保护与监测工作[4]。

大型底栖无脊椎动物是指生活史的全部或至少一段时间聚居于水体底部的大于 0.5 mm 的水生无脊椎动物[5]。大型底栖无脊椎动物被广泛应用于监测水生生态系统的损伤,同时也是水生食物网的重要组成部分,是生态系统营养循环和生态平衡的基础[6]。大型底栖无脊椎动物具备物种丰富、分布广泛的特性,生活周期长且迁移距离短,易于采集且对生境的变化反应敏感,将其作为湿地生态系统监测的主要生物类群[7]。

太湖国家湿地公园位于黑龙江省泰来县城区[8],主要水源来自于周边降水。近年来由于水量减少,湿地呈现明显的缺水状态,为了补充湿地水资源,泰来县政府设计从嫩江引水入太湖。为了验证太湖引水修复的效果,同时要求了解补水对太湖湿地生态系统中生物栖息和繁殖的影响,以便科学有效地治理,既可以达到湿地水资源充沛,又对湿地生物栖息繁殖更有利。通过本次调查,对太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物进行采集、鉴定和生物特征分析,获得大型底栖无脊椎动物群落特征,根据其在水环境中的指示作用,对太湖国家湿地公园水环境进行监测,并且为湿地生态系统的恢复提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 研究地概况

太湖国家湿地公园位于黑龙江省泰来县城区,地理坐标为 E123°25'14.17"~123°29'00.97",

N46°24'12.10"~46°21'15.10", 属中温带大陆性季风气候, 总面积 1365 hm², 是省内为数不多毗邻城区、生态环保的国家湿地公园之一[8]。如图 1, 泰湖国家湿地公园东西宽 4180 米, 南北长 5310 米, 总面积 1365 公顷, 其中水域面积 7 平方公里。公园以沼泽、草甸、湖泊、林地等景观组成, 并融合人文景观。湿地公园野生动植物资源丰富, 有种子植物 65 科 250 属 494 种, 有鱼类 7 科 31 种, 鸟类 34 科 162 种, 其中国家一、二级保护鸟类 21 种(如丹顶鹤、东方白鹳、白琵鹭、大天鹅)[9]。独特的生态环境, 使湿地在调解气候、降解污染、保护生物多样性、保护生态平衡等方面发挥着重要作用。

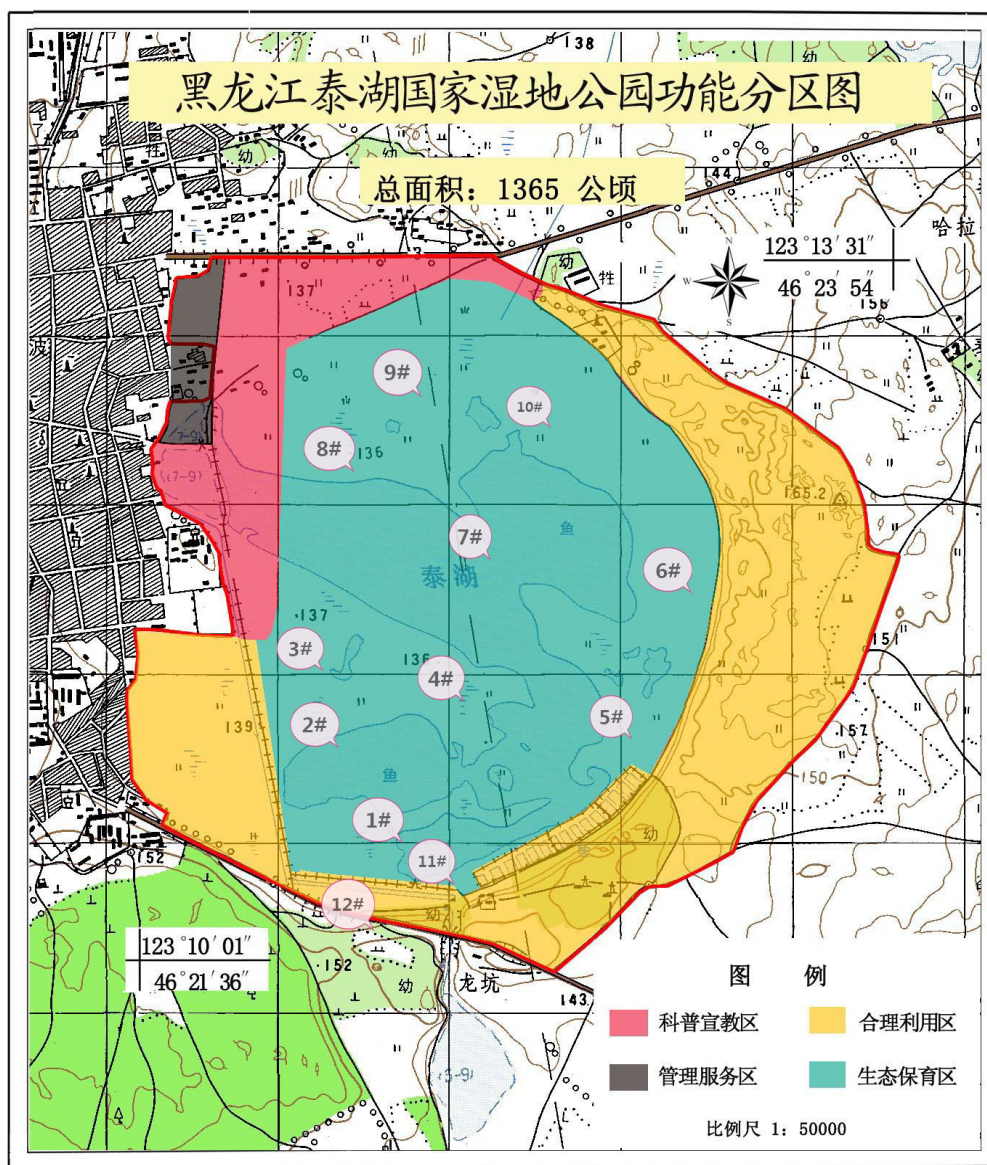


Figure 1. Map of sampling sites in Tai Lake National Wetland Park

图 1. 泰湖国家湿地公园采样点分布图

2.2. 底栖动物采集

泰湖国家湿地公园的水体水深达 2.5 米, 并且均为富含腐殖质的淤泥底质, 因此本研究大型底栖无脊椎动物样本的采集工具主要是改良彼得生采泥器, 采样面积为 1/16 m² [10]。使用时将彼得生采泥器打

开, 挂好提钩, 然后缓缓放入水中, 接触底质时将提钩抖脱, 慢慢提起, 提出水面后打开采泥器, 重复采样三次, 将采集到的底泥倒入 40 目分样筛除去污泥浊水及小型和微型动物, 剩余部分倒入白瓷盘中, 用镊子仔细挑选出所有的大型底栖无脊椎动物后保存。

样品在现场挑拣出来后即用 85% 的酒精固定, 带回实验室后换用 80% 的酒精固定, 常温保存, 在鉴定完成前, 经常检查并添加酒精保存液, 确保样本浸没样品, 对完整和有长期保存价值意义的样品进行标本制作, 长期保存。

依据物种检索表, 在肉眼、解剖镜或显微镜下, 主要对照大型底栖无脊椎动物的外部形态进行鉴定, 种类分类鉴定参照的文献主要有: 《中国北方摇蚊幼虫》[11]。大多数样本鉴定至种, 鉴定不到种的鉴定至科、属。

2.3. 数据处理与分析

采用物种优势度指数 $Y = Pi \times fi$ 确定优势种, 当 $Y > 0.02$ 时, 该物种即为群落中的优势种。式中: Pi 为种 i 的个体数占所有种总个体数的比例; fi 为出现种 i 的样点个数占总样点个数的比例[10]。

采用 Simpson 多样性指数分析大型底栖无脊椎动物的多样性, 具体计算公式为 $D = 1/\sum Pi^2$ 。式中: Pi 为种 i 的个数占所有种总个体数的比例[12]。

3. 结果与分析

3.1. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物物种特征分析

本次调查分别于 2018 年夏季(7 月)和秋季(9 月)进行样本采集, 结果共发现太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物 7 种(属)(表 1), 并且全部隶属于节肢动物门, 均为双翅目摇蚊科的水生昆虫幼虫。其中夏季采集到的样本共 5 种(属), 总计有 61 只; 秋季采集到的样本共 4 种(属), 总计有 73 只。

表 2 和表 3 分别为太湖国家湿地公园夏季和秋季的各样点数据, 通过两次采集到的样本数据对比, 3 号样点的摇蚊幼虫在数量和种类上已经占据所有样点中的优势, 而 1 号样点则没有发现大型底栖无脊椎动物; 4 号样点至 9 号样点的摇蚊幼虫, 秋季相对于夏季, 在种类和数量上都略微有所提升, 根据大型底栖无脊椎动物和太湖国家湿地公园的地理因素特性, 夏季的水温略高, 可以促进加速摇蚊幼虫的繁殖和羽化, 为此导致摇蚊幼虫的数量减少。

物种特征结果表明, 太湖国家湿地公园生态系统中, 大型底栖无脊椎动物物种稀缺, 数目也少, 群落结构过于单调, 摇蚊幼虫是湿地中的鲤鱼最适口的饵料, 为此削弱了大型底栖无脊椎动物群落在生态系统中物质循环的功能、以及其发挥的水环境自净作用。

Table 1. List of macroinvertebrate in Tai Lake National Wetland Park

表 1. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物名录

目	科	属	种		
Order	Family	Genus	Specie		
双翅目 Diptera	摇蚊科 Chironomidae	摇蚊属 <i>Chironomus</i>	苍白摇蚊 <i>Chironomus pallidivittatus</i>		
			萨摩亚摇蚊 <i>Chironomus samoensisedwards</i>		
			溪流摇蚊 <i>Chironomus riparius</i>		
				多足摇蚊属 <i>Polypedilum</i>	云集多足摇蚊 <i>Polypedilum nubifer</i>
				环足摇蚊属 <i>Cricotopus</i>	三轮环足摇蚊 <i>Cricotopus triannulatus</i>
				弯拟摇蚊属 <i>Parachironomus</i>	弯拟摇蚊属一种 <i>Parachironomus</i> sp.
				前突摇蚊属 <i>Procladius</i>	前突摇蚊属一种 <i>Procladius</i> sp.

Table 2. Abundance (ind./m²) of macroinvertebrate of Tai Lake National Wetland Park in Summer
表 2. 太湖国家湿地公园夏季大型底栖无脊椎动物(个/平方米)

采样点	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
苍白摇蚊 <i>Chironomus pallidivittatus</i>		4	6	1	5	2	7	3	5			
萨摩亚摇蚊 <i>Chironomus samoensisedwards</i>		1	2									
云集多足摇蚊 <i>Polypedilum nubifer</i>		2	3				1					
弯拟摇蚊一种 <i>Parachironomus</i> sp.		5	6					3				
三轮环足摇蚊一种 <i>Procladius</i> sp.			3						2			

Table 3. Abundance (ind./m²) of macroinvertebrate of Tai Lake National Wetland Park in Autumn
表 3. 太湖国家湿地公园秋季大型底栖无脊椎动物(个个/平方米)

采样点	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
苍白摇蚊 <i>Chironomus pallidivittatus</i>		1	6	1	5	2	7	8	5			
弯拟摇蚊属一种 <i>Parachironomus</i> sp.			5									
溪流摇蚊 <i>Chironomus riparius</i>			4	2					5			
前突摇蚊属一种 <i>Procladius</i> sp.			5	3	3	2			9			

3.2. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物丰度特征分析

夏季大型底栖无脊椎动物的丰度处于 0~320 ind./m² 之间, 丰度最大者为 3 号采样点, 为 320 ind./m², 其次为 2 号采样点, 为 192 ind./m², 最小者则为 1 号采样点未发现大型底栖无脊椎动物; 秋季大型底栖无脊椎动物的丰度也处于 0~320 ind./m² 之间, 丰度最大者仍为 3 号采样点, 为 320 ind./m², 其次为 9 号采样点, 为 304 ind./m², 最小者仍为 1 号采样点, 为 0 ind./m², 并不存在大型底栖无脊椎动物(表 4, 图 2)。

两次样本采集结果显示, 夏季和秋季均为 3 号样点的大型底栖无脊椎动物种类数最多, 丰度也最大, 而 1、10、11、12 号样点则均未发现大型底栖无脊椎动物, 双翅目摇蚊科幼虫是大型底栖无脊椎动物中种类众多的类群, 耐污性也较强, 在本次太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物调查中也是唯一被发现的类群, 但是仍然在 1、10、11、12 号样点没有出现, 耐污染的种类都已经消失, 说明 1、10、11、12 号样点水质污染已经极其严重。

Table 4. Abundance (ind./m²) of macroinvertebrate in Tai Lake National Wetland Park
表 4. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物丰度(ind./m²)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
夏季	0	192	320	16	80	32	128	128	80	0	0	0
秋季	0	16	320	96	128	64	112	128	304	0	0	0

3.3. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物优势种特征分析

表 5 中列出太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物群落中的优势种及其优势度指数, 夏季秋季的优势种均为苍白摇蚊, 优势度指数最大, 其次夏季中依次为弯拟摇蚊属和云集多足摇蚊, 秋季中依次为前突摇蚊属和溪流摇蚊。摇蚊幼虫属的特性在很大程度上决定了其某一类群的特性, 其中苍白摇蚊和溪流

摇蚊均属于摇蚊属，云集多足摇蚊则属于多足摇蚊属。

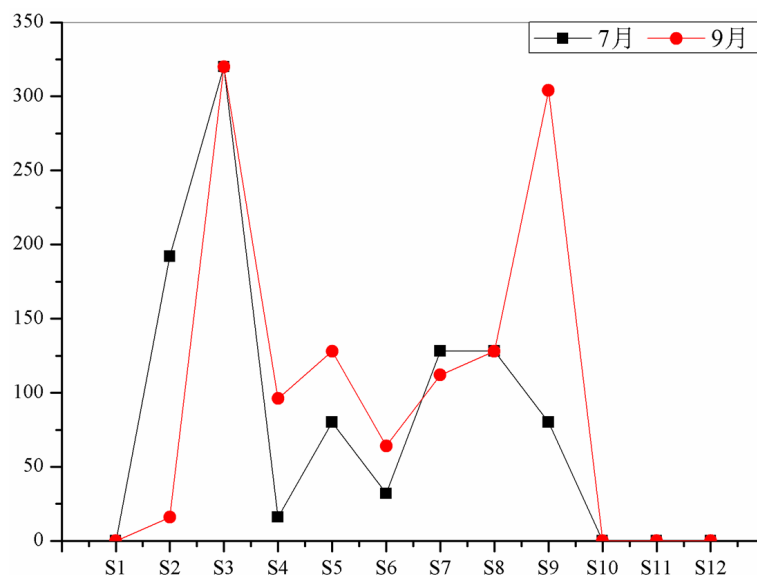


Figure 2. Abundance (ind./m²) of macroinvertebrate in Tai Lake National Wetland Park

图 2. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物丰度分析(ind./m²)

Table 5. Dominant species of macroinvertebrate in Tai Lake National Wetland Park

表 5. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物优势种

夏季		秋季	
优势种	优势度	优势种	优势度
苍白摇蚊	0.481	苍白摇蚊	0.426
云集多足摇蚊	0.033	溪流摇蚊	0.05
弯拟摇蚊属	0.077	前突摇蚊属	0.167

1) 摇蚊属(苍白摇蚊、溪流摇蚊): 本属种类分布极为广泛, 除南极洲外均有分布, 本属幼虫喜爱软淤泥底质, 分布于各种静水水体底部, 流水中罕见, 数种幼虫可生活于低溶解氧的腐殖质丰富的黑色淤泥中, 常有众多的数量, 部分种类幼虫喜欢生长在盐分较高的环境中。本属种类耐有机物污染, 并且耐受酸性环境。

2) 多足摇蚊属(云集多足摇蚊): 本属是世界性分布的属, 是摇蚊科最大的属级分类单元之一, 目前已记录种类共计 428 种。幼虫生活于各种类型的水体中, 取食各种腐殖质或底泥, 多营自由生活。一些种类的幼虫对水质的变化, 如营养盐、重金属、pH 和溶解氧等极为敏感, 有些种类则适应有机污染、重金属类毒物污染。

3) 弯拟摇蚊属: 本属幼虫分布于各种类型水体的软、硬沉积物中。

4) 前突摇蚊属: 本属幼虫喜欢生活于静水或缓流的水体底部淤泥中, 是世界性分布的属, 其中种类耐重金属污染。

3.4. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物 Simpson 多样性指数特征分析

夏季和秋季各采样点的大型底栖无脊椎动物 Simpson 多样性指数数值如图 3 所示。夏季的平均值为

1.73, 各样点之间的多样性指数变化并不大, 除去 1 号样点并不存在大型底栖无脊椎动物以外, 指数最大的为 3 号样点, 数值为 4.26, 指数最小的则有 4 个样点, 分别为 4 号、5 号、6 号和 9 号样点, 数值均为 1, 仅发现 1 种摇蚊幼虫。秋季的平均值为 1.79, 各样点之间的多样性指数变化也不大, 1 号样点同样并不存在大型底栖无脊椎动物, 此外指数最大的同为 3 号样点, 数值为 3.92, 指数最小的则有 3 个样点, 分别为 2 号、7 号和 8 号样点, 数值均为 1, 仅发现 1 种摇蚊幼虫。

从 Simpson 多样性指数来看, 夏秋两季各个样点之间的指数数值差别不大, 尤其均值较小, 说明太湖国家湿地公园的大型底栖无脊椎动物物种不丰富, 可见太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物的生存已经岌岌可危, 基于大型底栖无脊椎动物在水生态系统中的作用, 必然对水生态系统的鱼类和鸟类等生物群落造成威胁。

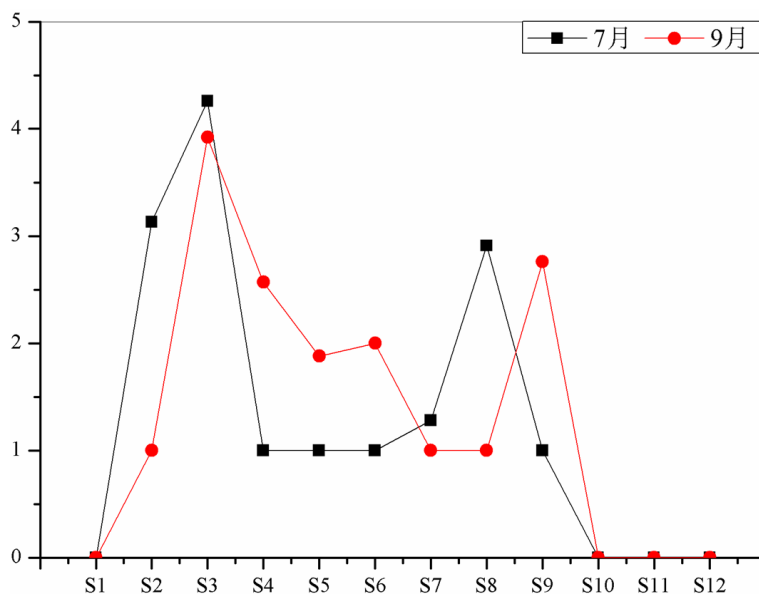


Figure 3. Simpson diversity index of macroinvertebrate in Tai Lake National Wetland Park

图 3. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物 Simpson 多样性指数

4. 讨论

4.1. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物群落特征分析

本次调查仅发现大型底栖无脊椎动物 7 种, 并且均为水生昆虫中双翅目摇蚊科幼虫, 归属于 5 个属。水生昆虫是大型底栖无脊椎动物中数目最多、种类最多、群落结构最复杂的类群[13], 其中摇蚊幼虫也最为常见, 摇蚊幼虫的耐污性较强, 本次调查中发现的摇蚊幼虫均为世界性分布的属, 分布极其广泛, 适应大多数类型的水体环境, 对地理因素表现出的差异并不明显[14]。

结合太湖国家湿地公园中夏、秋两次采集的大型底栖无脊椎动物鉴定结果, 和太湖国家湿地公园的各种非生物因子状态: 大型底栖无脊椎动物的生存已经岌岌可危, 只存在少量的摇蚊幼虫, 并且水体理化因子呈现出严重富营养化的状态, 水体中的水生维管束植物并不存在, 仅水体周围着生芦苇和香蒲, 非常单调的植物群落结构, 水体的底质也是腐殖质丰富的淤泥底质, 综合以上因素分析太湖国家湿地公园的水体已经达到重度污染, 各项非生物因子均不支持大型底栖无脊椎动物的生存和繁殖, 而大型底栖无脊椎动物的状况也响应了这一调查结果。

4.2. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物对水环境的指示作用

在长期的观察中发现,自然界中存在部分动植物对环境中的某些物质反应很敏感。它们对这些物质的多少和变化能产生各种反应或信息。因此,环境学家就用它们来定性地监测和评价环境质量的好坏和趋势,并且把有这种特性的动植物叫做指示生物。在一定地区范围内,能通过指示生物的特性、数量、种类或群落等变化,指示环境或某一环境因子的特征。

摇蚊幼虫为完全变态类昆虫,由于其主要以水底有机物碎屑为食,且摄食量相当可观,因而在加速水体物质循环中的有机物矿化作用和消除有机物污染方面具有显著作用[15]。摇蚊科昆虫又因种类丰富,个体众多,分布广泛,不同种类对水域生境要求不同,从而成为监测水体环境和污染状况的优良指示生物,在生态学和环境科学领域中得到广泛的应用。在加强水生态毒理学应用研究中,摇蚊幼虫被广泛应用于毒性测试。依据摇蚊幼虫对水体中重金属的敏感性,已经开展了重金属对摇蚊幼虫的急性和慢性毒性实验。按照水污染的轻重程度划分,水体严重污染的指示生物就包括摇蚊幼虫,以及颤蚓类、毛蠓、绿色裸藻等,均有在低溶解氧条件下生活的能力。

本次调查发现的摇蚊幼虫中,摇蚊属幼虫(苍白摇蚊、溪流摇蚊)尤其喜欢生长在盐分较高的环境中,对有机物污染耐受性极强,并且耐受酸性环境;多足摇蚊属幼虫(云集多足摇蚊)对水质的变化,如营养盐、重金属、pH和溶解氧等的变化反应极为敏感,并且更加适应有机污染、重金属类毒物污染的水体;前突摇蚊属幼虫同样耐受重金属污染,综合调查中发现的摇蚊幼虫的特性,它们的存在已经指示了太湖国家湿地公园的水质污染特性,其重金属和有机物污染程度较大,并且营养盐的含量也很多,水体富营养化状况严重,而对太湖国家湿地公园水体理化指标的检测结果也响应了这一结论。

4.3. 太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物与底质和植被的关系

生境的复杂性是决定大型底栖无脊椎动物多样性的关键因子,相关学者对于环境因子与大型底栖无脊椎动物多样性关系的研究认为大型底栖无脊椎动物的群落结构、空间分布与水质、底质、植被、温度和盐度等环境因子有关[16][17][18]。大型底栖无脊椎动物群落结构通常由栖息地的物理结构及其复杂性决定,尤其依赖于水体基质中的粗颗粒有机物,并且大型底栖无脊椎动物长期生活于水体底部,底质成分组成对大型底栖无脊椎动物的种类组成、丰度及多样性有着直接的影响[19]。水生维管束植物是湿地生态系统中最明显的生物特征,大型底栖无脊椎动物的分布同样由植被类型决定,尤其是占主导地位的水生维管束植物的结构和生长形式,水生维管束植物通过吸收和释放化学物质(如营养物质、对抗性物质)影响水下气候和化学性质,也影响了大型底栖无脊椎动物的分布[20]。

在本次太湖国家湿地公园的大型底栖无脊椎动物调查中,样点均布设在湖中,湖水底质为腐殖质含量非常多的淤泥底质,淤泥底质非常适合摇蚊幼虫的生存,腐殖质含量多也为摇蚊幼虫提供生命活动的资源[21]。但是,淤泥底质并不适合其他类群的大型底栖无脊椎动物,与软体动物、甲壳动物等耐污性较弱的类群所需的环境相差甚远。湖中也未发现水生维管束植物,浮水植物、沉水植物均不存在,仅有挺水植物如芦苇、香蒲等常见物种生长于湖周围,水生维管束植物群落结构单调,种类极少,既不利于对湖水水体的净化,也无法为大型底栖无脊椎动物提供充足的食物或是合适的栖息环境。

5. 结论

本次对太湖国家湿地公园大型底栖无脊椎动物的调查中,夏季共发现5种摇蚊幼虫,秋季共发现4种摇蚊幼虫。优势种属于摇蚊属(*Chironomus*)、拟摇蚊属(*Parachironomus*)、多足摇蚊属(*Polypedilum*)和前突摇蚊属(*Procladius*)。这些类别的摇蚊幼虫尤其喜爱中至重污染水体。这说明太湖国家湿地公园水体已经污染严重,通过夏季和秋季两次采样结果对比,水质并未得到明显的改善。

基金项目

“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0500406)。中央高校基金项目, 编号 2572019DF09。

参考文献

- [1] 安睿, 王凤友, 于洪贤, 马成学. 三环泡湿地浮游动物功能群季节变化及其影响因子[J]. 生态学报, 2017, 37(6): 1851-1860.
- [2] 安睿, 王凤友, 于洪贤, 马成学. 小兴凯湖浮游植物功能群特征及其影响因子[J]. 环境科学研究, 2016, 29(7): 985-994.
- [3] 芦康乐, 武海涛, 吕宪国, 管强, 陈展彦. 基于水生无脊椎动物完整性指数的三江平原沼泽湿地健康评价[J]. 湿地科学, 2017, 15(5): 670-679.
- [4] 芦康乐, 武海涛, 杨萌尧, 王清波, 吕宪国. 沼泽湿地水生无脊椎动物完整性指数构建与健康评价[J]. 中国环境监测, 2018, 34(6): 122-129.
- [5] 孟瑶, 蔡艳, 耿飞飞, 刘曼红, 陈菲. 哈尔滨太阳岛外滩湿地春季大型底栖无脊椎动物群落结构及与环境因子的关系[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(5): 142-150.
- [6] 耿飞飞, 于洪贤, 刘曼红, 孟瑶. 汞胁迫对红裸须摇蚊幼虫抗氧化酶活性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(4): 97-100.
- [7] 陈菲, 刘曼红, 蔡艳, 马玉堃. Hg^{2+} 对花翅摇蚊 *Chironomus kiiensis* 幼虫口器致畸作用及抗氧化酶活性的影响[J]. 水产学杂志, 2016, 29(5): 55-59.
- [8] 陈楠, 王莹, 杨天雄, 于洪贤, 马成学. 秦湖夏季浮游植物功能群特征及水质状况[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(3): 69-73.
- [9] 张余广. 白琵鹭(*Platalea leucorodia*)不同时期栖息地生境比较研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.
- [10] 刘曼红, 孟瑶, 曹晶晶, 崔兴波, Al Mohammedi Nagam. 挠力河湿地大型底栖动物功能特性[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(1): 76-82.
- [11] 王俊才, 王新华. 中国北方摇蚊幼虫[M]. 北京: 中国言实出版社, 2011.
- [12] 王皓冉, 陈永灿, 刘昭伟, 朱德军, 段亚飞. 牡丹江中游底栖动物分布及其与栖境因子的关系[J]. 中国环境科学, 2015, 35(4): 1197-1204.
- [13] 黄小清, 蔡笃程. 水生昆虫在水质生物监测与评价中的应用[J]. 华南热带农业大学学报, 2006, 12(2): 72-75.
- [14] 梁新民. 摇蚊幼虫人工采集养殖技术[J]. 科学种养, 2019(6): 60-61.
- [15] 汪洋. 青海湖裸鲤仔稚鱼工厂化培育中投喂摇蚊幼虫对生长的影响[J]. 科学养鱼, 2019(3): 64-65.
- [16] 王慧博, 黄晓丽, 吴计生, 都雪, 王秋实, 宋聃, 霍堂斌. 农业面源污染对莫力达瓦旗某水库浮游生物和底栖动物群落结构的影响[J]. 水产学杂志, 2019, 32(4): 55-62.
- [17] 邢圆, 吴小平, 欧阳珊, 张君倩, 徐靖, 银森录, 谢志才. 赣江水系大型底栖动物多样性与受胁因子初探[J]. 生物多样性, 2019, 27(6): 648-657.
- [18] 黄昆, 陈岚, 傅婷婷, 黄智伟, 陈凯. 厦门湾大型底栖动物多样性指数空间分布及其与环境因子的关系[J]. 渔业研究, 2019, 41(4): 293-301.
- [19] 李亚芳, 杜飞雁, 王亮根, 王雪辉, 宁加佳. 底质类型对三亚湾潮间带大型底栖动物生态功能的影响[J]. 水产学报, 2018, 42(10): 1559-1571.
- [20] 田功太, 许国晶, 李壮, 张金路, 张明磊. 高等水生植物与底栖动物对中华绒螯蟹养殖底质环境的协同净化效果[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(12): 212-215.
- [21] 李纯厚, 林燕棠, 彭炬, 杨美兰, 全桂英, 张勤奋. 香港维多利亚港疏浚淤泥对海洋底栖动物的毒性累积效应[J]. 中国环境科学, 1999, 19(5): 450-453.