

湖北省湖泊大型底栖动物群落结构及水质生物学评价

胡成龙¹, 姜加虎², 陈宇炜², 李金轩¹, 蔡永久^{2,3*}

1. 东华理工大学, 水资源与环境工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008; 3. 南京水利科学研究院, 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029

摘要: 大型底栖动物是湖泊生态系统的重要生物类群, 在生态系统物质循环和能量流动中起着重要作用。底栖动物具有生命周期长、迁移能力较弱、对环境变化反应敏感等特点, 可有效指示湖泊生态系统的健康状况。湖北省是我国淡水湖泊分布最密集的区域之一, 湖泊总面积为 3 025 km²。近年来, 伴随着工农业、养殖业及城市化的快速发展, 富营养化已成为本地区湖泊面临的一个主要环境问题, 并可能直接影响大型底栖动物的群落结构。目前关于本地区湖泊大型底栖动物群落的研究还较少, 为此本研究对湖北省 27 个浅水湖泊底栖动物进行了调查, 并对水质状况进行生物学评价。共采集到底栖动物 40 种, 隶属于 4 门 7 纲 18 科, 其中寡毛类 5 种, 摇蚊幼虫 16 种, 软体动物双壳类 4 种、腹足类 8 种。霍甫水丝蚓 (*Limnodrilus hoffmeisteri*)、苏氏尾鳃蚓 (*Branchiura sowerbyi*)、花翅前突摇蚊 (*Procladius choreus*)、中国长足摇蚊 (*Tanytus chinensis*)、多巴小摇蚊 (*Microchironomus tabarui*) 及铜锈环棱螺 (*Bellamyia aeruginosa*) 是本地区湖泊最常见的种类。所调查湖泊底栖动物平均密度为 32~1 243 ind·m⁻², 其中 12 个湖泊密度低于 200 ind·m⁻², 摇蚊幼虫和寡毛类对密度的贡献较大, 以摇蚊幼虫占优势的湖泊有 19 个。底栖动物平均生物量为 0.034~460.7 g·m⁻², 生物量低于 50 g·m⁻² 的湖泊数量最多 (19 个), 软体动物占优势的湖泊有 16 个, 摇蚊幼虫和寡毛类占优势的湖泊数量共 11 个。各湖泊底栖动物物种数为 3~14 种, Margalef 指数为 0.71~2.33, Simpson 指数为 0.69~0.85, Shannon-Wiener 为 0.78~2.13, Spearman 相关性分析结果显示物种丰富度和三种多样性指数与湖泊面积呈显著正相关。BI (Hilsenhoff 生物指数) 评价结果显示共 11 个湖泊为一般和轻度污染 (6.01~7.44), 中度污染湖泊数量为 13 个 (7.57~8.47), 长湖 (8.52)、上津湖 (8.65) 和玉湖 (8.50) 处于重污染状态。

关键词: 浅水湖泊; 富营养化; 大型底栖动物; 群落结构; 生物评价

中图分类号: Q145; Q178

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2014) 01-0129-10

引用格式: 胡成龙, 姜加虎, 陈宇炜, 李金轩, 蔡永久. 湖北省湖泊大型底栖动物群落结构及水质生物学评价[J]. 生态环境学报, 2014, 23(1): 129-138.

HU Chenglong, JIANG Jiahu, CHEN Yuwei, LI Jinxuan, CAI Yongjiu. Macrozoobenthic community structure and bioassessment of water quality of shallow lakes in Hubei Province [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(1): 129-138.

湖北省位于长江中游地区, 地势西高东低, 中部低平并向南敞开, 地貌复杂多样 (张毅等, 2010)。湖北省属亚热带季风性湿润气候, 降水丰沛, 年均降水量 800~1 600 mm。湖北省素有“千湖之省”之称, 在长江、汉江两岸的冲积平原上, 分布着众多的大小湖泊, 是我国淡水湖泊分布最密集的区域之一 (高如泰等, 2011)。据清末、民国初年调查统计, 湖北省水域面积在 100 亩 (6.67 hm²) 以上的湖泊有 2 000 余个, 水域面积约为 2.6×10⁴ km² (姜加虎等, 2009), 到 2005 年湖泊总面积为 3 025 km², 仅为百年前的 11.64%。20 世纪 50 年代以来湖泊变化迅速, 湖泊面积由 50

年代的约 8 503 km² 减小至 80 年代的约 2 977 km², 发生在 60—80 年代的围垦是造成湖泊萎缩的主要原因 (张毅等, 2010)。另一方面, 随着社会经济的发展, 湖泊水体污染日趋严重, 成为一个严重的环境问题。(严平川等, 2004) 对全省 29 个主要湖泊的研究表明, 全年期水体质量评价为 I—III 类的湖泊共 13 个, IV 类湖泊 6 个, V 类和劣 V 类共 10 个。富营养评价结果显示, 全年期评价为中营养型的湖泊 16 个, 富营养湖泊 12 个。

水环境的恶化会对湖泊生态系统中的生物类群产生极大的影响。因此, 弄清主要生物类群的种类组成、群落结构、多样性及时空格局等特征, 对

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2012CB956100); 国家重点基础研究发展计划项目(2012CB417000); 科技部基础性工作专项项目(2006FY110600)

作者简介: 胡成龙 (1988 年生), 男, 硕士研究生, 主要从事底栖动物群落生态学研究。E-mail: longxiangyu222@163.com

*通信作者: 蔡永久 (1985 年生), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事底栖动物生态学及水生态健康评价研究。E-mail: caiyj@niglas.ac.cn

收稿日期: 2013-08-17

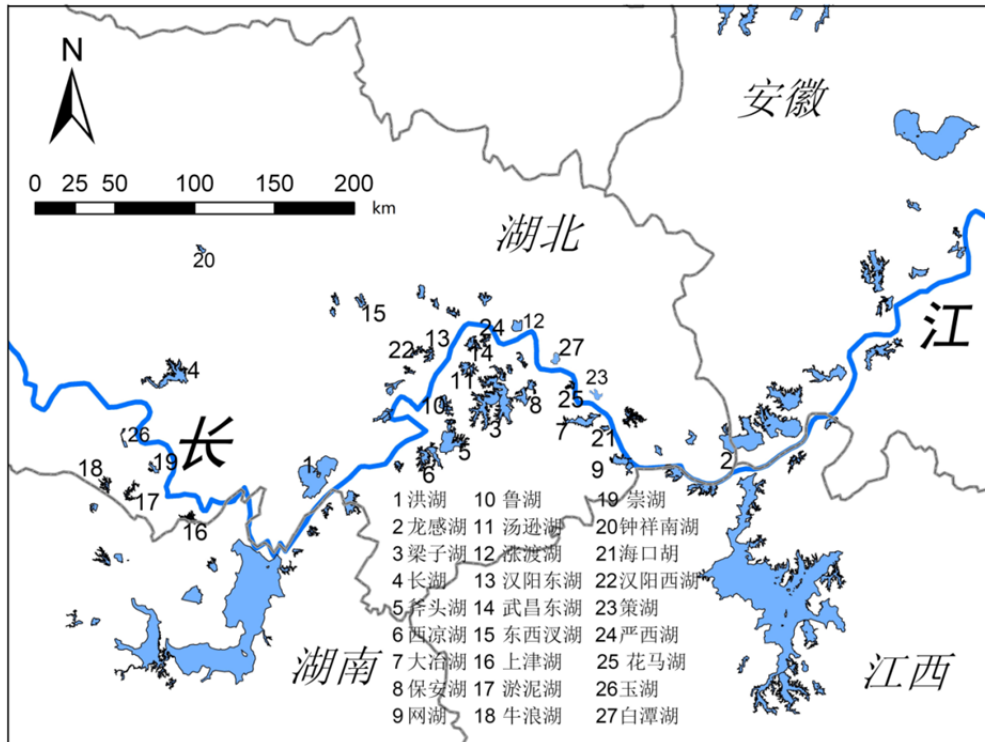


图1 本研究中湖北省湖泊分布图

Fig.1 Spatial distribution of the studied lakes in Hubei Province

合理利用湖泊资源,改善湖泊水质具有现实意义(姜萃红等,2012;沈忱等,2012)。大型底栖动物作为湖泊生态系统的重要类群,在生态系统物质循环和能量流动中起着重要作用。此外,由于底栖动物寿命较长,迁移能力较弱,对环境变化反应敏感,受外界干扰后群落结构及多样性将会发生明显改变,已广泛应用于水质生物监测和评价(DOLÉDEC和STATZNER,2010;陈小华等,2013;李斌等,2013)。以往对湖北省主要湖泊底栖已有较多研究。如(王琴等,2010)对武汉东湖水网区15个水体底栖动物进行了调查,(邬红娟等,2005)研究了武汉11个湖泊底栖动物群落结构,(谢志才等,2007)研究了保安湖底栖动物群落结构与空间格局。但这些研究主要针对少数几个湖泊或局域的分析,缺乏对全省主要湖泊底栖动物群落结构的研究。本研究于2008年8月对湖北省面积大于10 km²的主要湖泊(图1)底栖动物进行调查,分析底栖动物群落结构特征,并用Shannon-Wiener多样性指数、Hilsenhoff生物指数(BI)对各湖泊进行生物学评价,希望本文的研究结果能为湖北省湖泊的保护和管理提供基础数据支撑。

1 材料与方法

根据湖泊面积大小,在敞水区布设2~7个采样点,底栖动物定量采集用1/16 m²改良彼得森采泥器,每个采样点采集1~2次。采得泥样经60目尼

龙筛洗净后,剩余物至于白磁盘中将底栖动物活体逐一挑出,样本用10%福尔马林溶液保存。样品带回实验室鉴定至尽可能低的分类单元,统计各个分类单元的数量,然后用滤纸吸去表面固定液,置于电子天平上称重,最终结果折算成单位面积的密度和生物量。

根据本次调查所采集到的各湖泊底栖动物物种密度,结合以下三种多样性指数,对湖北省湖泊现阶段底栖动物多样性进行评价。

Margalef指数: $d = (S - 1) \ln N$

Simpson多样性指数: $D = 1 - \sum_{i=1}^S (n_i/N)^2$

Shannon-Wiener多样性指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (n_i/N) / \ln(n_i/N)$$

式中, S 为群落内的物种数量, n_i 为第*i*个种的个体数, N 表示所有种类总个体数。

采用Shannon-Wiener指数和Hilsenhoff生物指数(BI)对各湖泊的水质进行生物评价。Shannon-Wiener指数评价标准:指数值>3,清洁;2~3轻污染;1~2中污染;0~1重污染。BI生物指数计算方法为: $BI = - \sum_{i=1}^S n_i t_i / N$

式中: n_i 为第*i*分类单元的个体数; t_i 为第*i*分类单元的耐污值; N 为各分类单元的个体总和; S 为分类单元数。水质评价标准为:BI=0~3.50,极清

续表 1

分类单元	洪湖	龙感湖	梁子湖	长湖	斧头湖	西凉湖	大冶湖	保安湖	网湖	鲁湖	汤逊湖	涨渡湖	汉阳湖	武昌湖	东西湖	上津湖	淤泥湖	牛浪湖	崇湖	钟祥湖	海湖	汉阳湖	策湖	严湖	花湖	玉湖	白湖	出现率	
双壳纲 Bivalvia																													
河蚬																													
<i>Corbicula fluminea</i>	+	+			+				+																				4
湖球蚬																													
<i>Sphaerium lacustre</i>														+															2
淡水壳菜																													
<i>Limnoperna fortunei</i>																													1
圆顶珠蚌																													
<i>Unio douglasiae</i>																													1
腹足纲 Gastropoda																													
长角涵螺																													
<i>Alocinma longicornis</i>	+	+				+	+					+			+														7
铜锈环棱螺																													
<i>Bellamya aeruginosa</i>	+	+	+	+	+		+	+	+		+		+				+												15
大脐圆扁螺																													
<i>Hippeutis umbilicalis</i>																													
大沼螺																													
<i>Parafossarulus eximius</i>	+					+			+	+																			
纹沼螺																													
<i>Parafossarulus striatulus</i>	+	+				+	+	+	+							+													
椭圆萝卜螺																													
<i>Radix swinhoei</i>	+					+																							
方格短沟蜷																													
<i>Semisulcospira cancelata</i>																													
光滑狭口螺																													
<i>Stenothyra glabra</i>																													
其它																													
寡鳃齿吻沙蚕																													
<i>Nephtys oligobranchia</i>																													
扁蛭科一种																													
Glossiphoniidae sp.																													
扁舌蛭																													
<i>Glossiphonia complanata</i>																													
八目石蛭																													
<i>Erpobdella octoculata</i>																													
螺幼虫																													
Ceratopogonidae sp.																													
虻属一种 <i>Tabanus</i> sp.	+																												
线虫 Nematoda sp.																													

7纲18科,其中寡毛类5种(占总物种数的12.5%),摇蚊幼虫16种(40.0%),软体动物双壳类4种(10.0%),腹足类8种(20.0%),其它类7种(17.5%)。从物种的出现率看,霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)、苏氏尾鳃蚓(*Branchiura sowerbyi*)、花翅前突摇蚊(*Procladius choreus*)、中国长足摇蚊(*Tanytus chinensis*)、多巴小摇蚊(*Microchironomus tabarui*)及铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*)是本地区最常见的种类,出现率均超过15。

2.2 密度和生物量

图2为湖北省湖泊底栖动物密度和生物量分布格局。总体而言,各湖泊间生物量较密度的变化更大。所调查湖泊底栖动物平均密度为 $32\sim 1243 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,最高值约为最低值的39倍,密度最高的湖泊为大冶湖,最低的湖泊为玉湖。从底栖动物密度的分布图可以看出(图3),密度属于 $0\sim 200 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 的湖泊数量最多,共有12个;密度为 $200\sim 400$ 和 $400\sim 600 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 的湖泊数量相当,分别为5个和6个,密度高于 $600 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 的湖泊数量较少,共4个。生物量方面,平均生物量为 $0.034\sim 460.7$

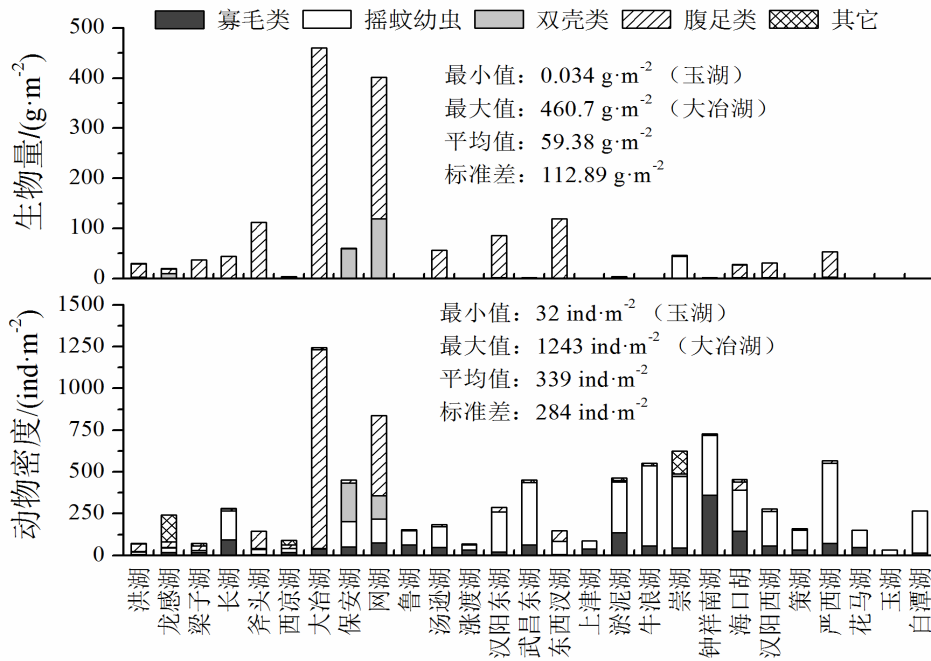


图2 湖北省湖泊底栖动物密度和生物量

Fig.2 Macrozoobenthos abundance and biomass of the studied lakes in HuBei Province

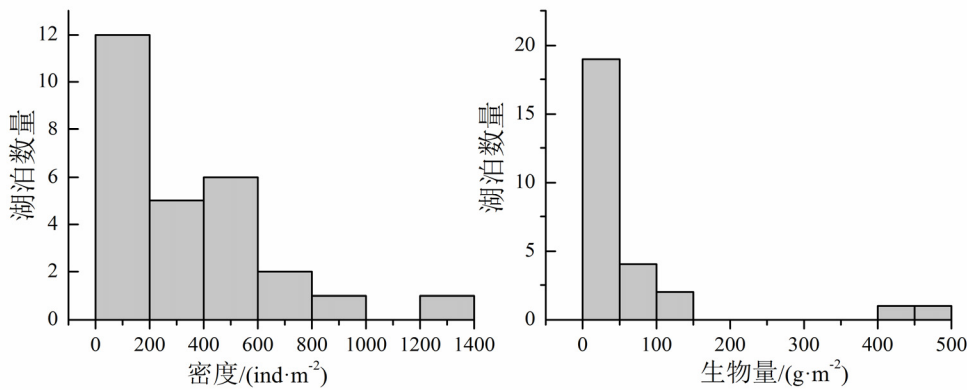


图3 湖北省湖泊底栖动物密度和生物量分布直方图

Fig.3 Histograms of macrozoobenthos abundance and biomass of the studies lakes in HuBei Province

$g \cdot m^{-2}$, 最高值可达最低值的 13712 倍, 变幅远大于密度的变化, 可见底栖动物资源量在不同湖泊间差异极大。生物量高值出现在草型湖泊大冶湖和网湖, 分别为 460 和 $401 g \cdot m^{-2}$, 低值出现在涨渡湖、上津湖、牛浪湖、策湖、花马湖、玉湖和白潭湖, 生物量均低于 $1.0 g \cdot m^{-2}$ 。从生物量的分布图可以看出, 生物量低于 $50 g \cdot m^{-2}$ 的湖泊数量最多, 共 19 个, 主要优势类群为寡毛类和摇蚊幼虫; 生物量为 $50 \sim 100 g \cdot m^{-2}$ 和 $100 \sim 150 g \cdot m^{-2}$ 的湖泊数量分别为 2 个和 4 个, 软体动物占据优势; 生物量高于的 $400 g \cdot m^{-2}$ 湖泊仅 2 个, 软体动物占据绝对优势。

从底栖动物不同类群所占比重可以看出。密度方面, 以摇蚊幼虫占优势的湖泊数量最多, 共计 19 个, 其中所占比重超过 80% 就有 6 个; 寡毛类在各

个湖泊中都占据一定比重, 高于 10% 的湖泊有 17 个, 高于 20% 的有 10 个; 软体动物比重较高的湖泊共 7 个, 多为大型湖泊。生物量方面, 由于软体动物个体较大, 其在大部分湖泊占据优势, 其占优势的湖泊共 16 个, 其中有 14 个湖泊所占比重高于 90%, 软体动物占优势的主要为腹足纲螺类; 摇蚊幼虫和寡毛类虽然个体较小, 但其占优势的湖泊数量亦有 11 个。

2.3 多样性

图 5 为本次调查各湖泊底栖动物物种丰富度和三种物种多样性指数。可以看出所调查湖泊的底栖动物物种丰度较低, 平均值为 8 种, 种类数高于 10 种的湖泊数量仅有 10 个, 最大值也仅为 14 种, 出现在网湖, 最低值仅 3 种, 出现在玉湖。Margalef

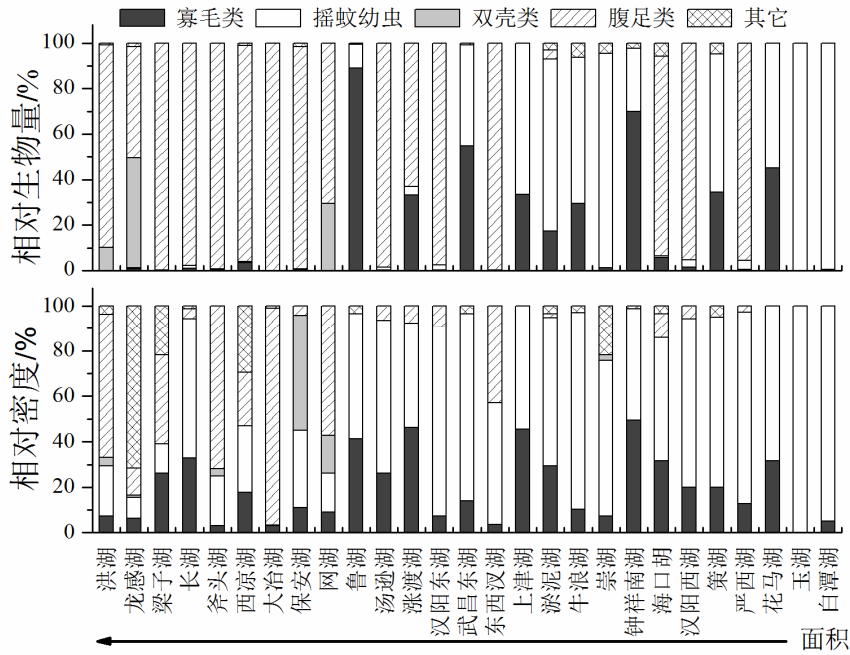


图4 湖北省湖泊底栖动物主要类群相对密度和相对生物量

Fig.4 Relative abundance and biomass of macrozoobenthos of the studied lakes in HuBei Province

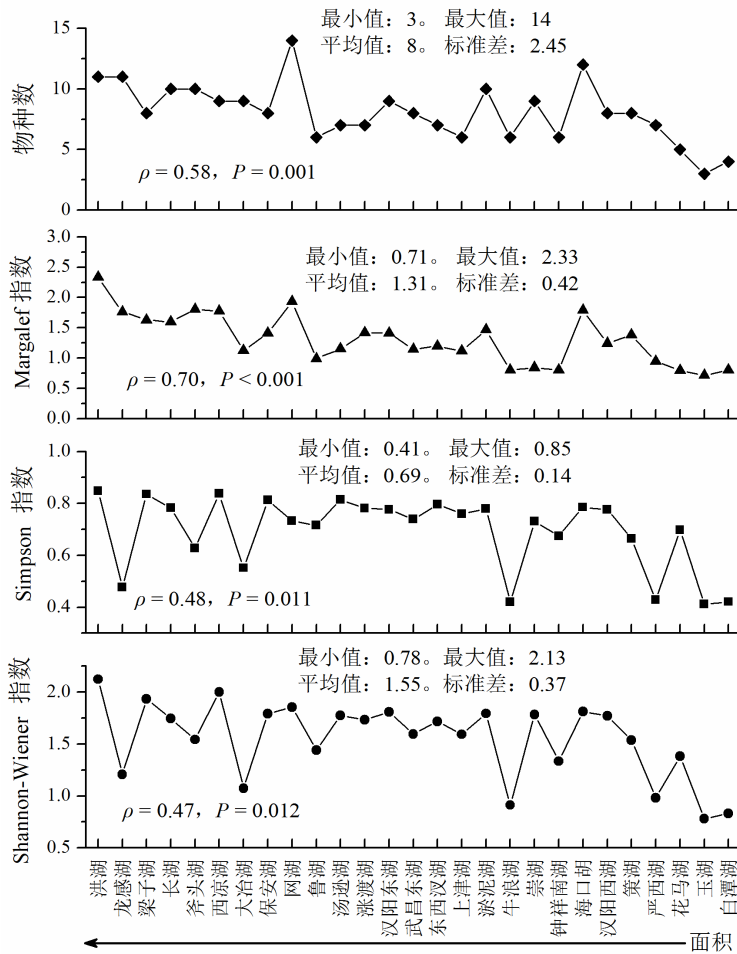


图5 湖北省湖泊底栖动物物种丰富度和多样性

Fig.5 Species richness and biodiversity of macrozoobenthos of the studied lakes in HuBei Province

指数为 0.71~2.33，平均值为 1.31。Simpson 指数平均值为 0.69，最大值为 0.85，出现在网湖，最低值仅 0.41，出现在玉湖。Shannon-Wiener 多样指数平均值为 1.55，最高值出现在网湖，为 2.13，最低值为 0.78，出现在玉湖。从图 5 可以看出，随着湖泊面积减小，物种丰富度、Margalef 指数、Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数呈降低趋势。Spearman 相关性分析结果表明，物种丰富度和三种多样性指数与湖泊面积呈显著正相关。

2.4 水质生物学评价

根据 Shannon-Wiener 指数评价污染状况标准，所调查湖泊 Shannon-Wiener 指数得分均低于 3.0，大部分湖泊处于中污染水平，共 21 个；洪湖和西凉湖处于轻污染水平；牛浪湖、严西湖、玉湖、白潭湖的得分低于 1.0，处于重污染水平。BI 评价结果显示共 11 个湖泊为一般和轻度污染，中度污染湖泊数量为 13 个，长湖、上津湖和玉湖处于重污染(图 6)。Pearson 相关性分析发现 Shannon-Wiener 指数与 BI 指数显著负相关 ($r = -0.39, P = 0.049$)，表明两种评价结果具有较好的一致性。

3 讨论

3.1 底栖动物群落结构及影响因素

本研究发现，软体动物占优势的湖泊主要为面积较大的湖泊，且总种类数较多，而摇蚊幼虫和寡毛类占优势的湖泊多为小型湖泊，物种数较少。相关分析结果表明物种丰富度及多样性指数与湖泊面积显著正相关，表明湖泊面积是影响底栖动物的

多样性一个重要因素。一般而言，湖泊面积越大，可提供底栖动物栖息的生境也越多，从而可以支持更多的物种生存。关于物种数随生境面积增加而增加，已在许多生物类群中被证实。如(HEINO, 2000)发现湖泊面积是影响底栖动物群落组成的重要因素。(OERTLI et al., 2002)发现池塘大小是决定蜻蜓目物种数的重要因子。底栖动物与环境因子之间的关系非常复杂，一方面是影响底栖动物的因子众多，另一方面是不同类群底栖动物对同一环境因子的响应差异较大，加之在不同条件下环境因子的影响也随之变化，此外不同环境因子对底栖动物的影响往往是综合的，而不是独立作用的。本研究发现湖北省大部分湖泊底栖动物优势类群为寡毛类和摇蚊幼虫，群落结构呈现出退化的趋势，这可能主要与水体富营养化、水生植被衰退、渔业养殖等因素有关。

水体富营养化是本地区乃至整个长江中下游湖泊面临的主要环境问题(秦伯强, 2002; Le et al., 2010)。富营养化往往导致湖泊生态系统结构和功能发生显著变化，底栖动物作为一个重要组成部分也受到了严重影响。富营养化对底栖动物的影响多是由于其导致的环境条件发生了显著变化，富营养化可显著改变底栖动物栖息的理化环境，如溶氧、有机质、沉积物粒径大小(HEISLER et al., 2008)。富营养化导致的大量藻类由于食物质量较低很难被高营养级所利用，从而滞留在水体中，其中很大一部分会转移到沉积物表层。藻类的分解降低了水

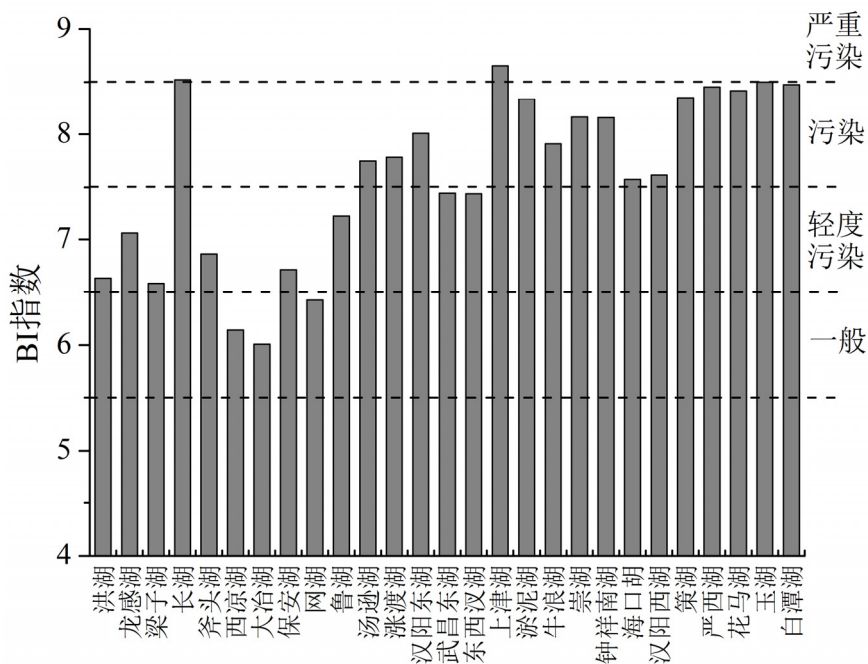


图 6 湖北省湖泊大型底栖无脊椎动物 BI 指数得分

Fig.6 Hilsenhoff biotic index of the studies lakes in HuBei province

体底层的溶氧含量,这直接限制了那些耐低氧能力较差种类的生存,即使是短时间的缺氧也可能对某些种类产生影响。另外,厌氧环境会增加沉积物中硫化物的含量,这也增加了其对底栖动物的潜在毒性(DE JONGE et al., 2009)。富营养化往往伴随着底栖动物优势种从大个体的种类(如腹足纲、双壳纲)转变为小个体的种类(如摇蚊幼虫、寡毛类),底栖动物的多样性也显著降低。这主要是因为小个体的种类多为机会种,其具有较短的生活年限,因此对环境的适应能力较强,在湖泊生态系统中主要为环节动物和摇蚊幼虫。相对而言,大个体种类生活史周期较长,一旦在某一生境中消失,其重建过程所需时间较长,若环境条件没有得到改善,种群恢复必将受到抑制。富营养化的最终阶段是底栖动物可能只剩下数量惊人的一、二种颤蚓类甚至无种类分布。以东湖为例,上世纪60年代总氮和总磷约为0.5和0.07 mg·L⁻¹左右(饶钦止和章宗涉, 1980),现阶段部分湖区的总氮和总磷超过5.0和0.2 mg·L⁻¹,增长率超过10倍,已处于重富营养水平。底栖动物也随之发生了巨大变化,耐污能力强的寡毛类和摇蚊幼虫密度和优势度大大增加,而瓣鳃类基本消失,底栖动物的结构也趋于简单化。

高等水生植物不仅直接或间接地为底栖动物提供了丰富的食物来源,而且使其生境更加多样化。高度的生境异质性不仅为底栖动物带来更多的摄食、繁殖和活动场所,而且更有利于躲避捕食者的捕食,以及风浪、水流对其造成的伤害,同时能有效改善水下光照和溶氧条件。研究表明,高等水生植物可为底栖动物提供的单位表面积是裸露沉积物的10倍(谢志才等, 2007)。前期对草型湖泊—保安湖扁担塘湖区和藻型湖泊—东湖后湖的对比研究发现,草型湖泊的物种丰富度、生物量、多样性均显著高于藻型湖泊,草型湖泊的功能摄食类群主要以刮食者为主,而藻型湖泊主要以收集者为主(闫云君等, 2005)。在软体动物方面,尤其以腹足类与水草的关系密切更明显。它们把卵囊产在植物的茎或叶片上,或用水生植物丛生的地方作为生活或隐蔽的场所。以保安湖为例,2001年调查时,大部分湖区均被水生植物覆盖,底栖动物共采集到70个分类单元,其中软体动物腹足类11种,瓣鳃类2种。软体动物为保安湖密度的绝对优势类群,其密度(977 ind·m⁻²)占总密度的81.5%,其次为水生昆虫(153 ind·m⁻², 12.8%)和寡毛类(50.0 ind·m⁻², 4.2%)。生物量方面,软体动物占了绝大部分(159.1 g·m⁻², 99.1%)。前五种优势种均为腹足类的种类,分别为纹沼螺(*Parafossarulus striatulus*)(359 ind·m⁻²)、白旋螺(*Gyraulus albus*)(336 ind·m⁻²)、

长角涵螺(*Alocinma longicornis*)(98 ind·m⁻²)、方格短沟蜷(*Semisulcospira cancelata*)(66 ind·m⁻²)和铜锈环棱螺(66 ind·m⁻²)(谢志才等, 2007)。在本次调查中,保安湖的水生植物仅零星分布,摇蚊幼虫和寡毛类的占底栖动物总密度比重接近50%,生物量方面尽管软体动物占优势,但主要为耐污能力较强的铜锈环棱螺。

底栖动物与渔业的基本关系是作为经济水产动物的天然饵料,并有较高的营养价值和能量转化效率。一般而言,合理的渔业养殖规模和强度,可以有效地利用底栖动物资源,而过度放养和投饵投肥则会对底栖动物产生负面影响。河蟹养殖是目前湖北省湖泊渔业的一项支柱产业,对采用不同养殖方式的黄湖、龙感湖、牛山湖的研究发现,大量放养河蟹的湖泊底栖动物物种总数显著低于天然捕捞湖泊,且与围栏外相比,螺类的个体偏小,围栏内底栖动物密度和生物量也显著低于围栏外,且只有天然捕捞湖泊的25—40%(许巧情等, 2003)。河蟹影响底栖动物群落的途径有两条,一是直接摄食,二是破坏沉水植物的间接作用。鱼类养殖也是目前湖北省湖泊的主要养殖种类,其中全湖承包养殖和围网养殖对湖泊生态系统及底栖动物的影响较大,承包者为追求产量,可能会投加大量的饵料和肥料,未食的饵料会沉降到沉积物表层,并在底泥中积蓄。研究发现,围网内(264 ind·m⁻²)和围网外(456 ind·m⁻²)底栖动物的密度相差接近一倍,此外网箱内生物量也显著低于网箱外,其主要原因是网箱内沉积物营养物大量堆积,降低了水底溶解氧含量,使得底栖动物数量减少(许巧情等, 2009)。本研究随着湖泊面积的减小,摇蚊幼虫的优势度呈增加趋势,这可能与湖泊的利用方式有关,大型湖泊保护相对较好,养殖方式也不是单一承包,水体营养状态相对较低,这更有利于软体动物的生存。相比之下,中小型湖泊往往被全部承包进行养殖,在管理过程中追求产量,投饵投肥量也相对较高,水体富营养化严重,导致耐污能力底栖动物种类占据优势。

3.2 水质生物学评价

生物指数法广泛的应用于评价水体环境质量,常用的指数有Goodnight修正指数、Shannon-Wiener多样性指数、Wright指数、FBI及BI生物指数等(吴东浩等, 2011)。Shannon-Wiener多样性指数是基于物种分类单元数,综合考虑各物种的数量,从多样性的角度判断水质状况。但Shannon-Wiener指数仅反映了生物群落的结构,对耐污种增多或耐污种取代敏感种的变化也不灵敏,且多样性指数易受采样方法、鉴定水平以及被研究水体生物区系的影响,

评价的准确度受到限制。BI 生物指数是基于大型无脊椎耐污值的水质生物评价指数,其考虑各物种本身的耐污能力及个体数量,能更为准确地判断水质受污染程度(熊晶等,2012)。本研究采用两种指数进行评价,Shannon-Wiener 评价结果显示 21 个湖泊处于中度污染,BI 评价结果显示 11 个湖泊处于轻度和一般污染,13 个湖泊为中度污染,Shannon-Wiener 评价结果较 BI 指数评价结果污染严重,可能的原因是夏季底栖动物一般多样性较低,从而高估了污染的程度。寡毛类密度也是判断湖泊水环境质量的常用指数,Wright 认为寡毛类密度在 $100 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 以下时为无污染; $100\sim 999 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 时为轻微污染; $1000\sim 5000 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 时为中度污染。本研究中寡毛类密度最高值仅为 $360 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,这是因为寡毛类夏季密度较低,冬春季密度较高(闫云君等,2005),因此夏季调查结果不适合用 Wright 指数进行评价。(严平川等,2004)水质评价结果湖北省中营养湖泊有 16,富营养湖泊 12 个,本研究 BI 评价结果中轻度污染和轻度污染湖泊数量与水质评价结果具有较好的一致性,但由于水质评价结果未给出各湖泊的评价结果,且调查时间相差 4 年,无法对结果进行深入比较。本研究结果表明水质生物评价是评价水环境的一个有效手段,在开展化学指标监测的同时,结合生物评价能更加准确地判断水体的污染状况,并有助于探明水环境变化的原因和生态效应。

4 结论

(1)湖北省 27 个湖泊共采集到底栖动物 40 种,其中寡毛类 5 种,摇蚊幼虫 16 种,软体动物双壳类 4 种、腹足类 8 种。霍甫水丝蚓、苏氏尾鳃蚓、花翅前突摇蚊、中国长足摇蚊、多巴小摇蚊、铜锈环棱螺是本地湖泊最常见的种类。各湖泊底栖动物物种数为 3~14 种,底栖动物优势类群主要为寡毛类和摇蚊幼虫。

(2)总体而言,本地区湖泊底栖动物呈现结构简单、物种丰富度低、耐污类群占优的特征,湖泊面积是影响底栖动物丰富度和多样性的重要因素。BI 指数评价结果显示共 11 个湖泊为一般和轻度污染,中度污染湖泊数量为 13 个。生物评价结果与水质评价结果具有较好的一致性,表明应用底栖动物指数可以有效地评价水环境质量。

参考文献:

DE JONGE M, DREESEN F, DE PAEPE J, et al. Do acid volatile sulfides (AVS) influence the accumulation of sediment-bound metals to benthic invertebrates under natural field conditions?[J]. *Environmental science & technology*, 2009, 43(12): 4510-4516.

DOLÉDEC S, STATZNER B. Responses of freshwater biota to human disturbances: contribution of J-NABS to developments in ecological integrity assessments[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 2010, 29(1): 286-311.

HEINO J. Lentic macroinvertebrate assemblage structure along gradients in spatial heterogeneity, habitat size and water chemistry[J]. *Hydrobiologia*, 2000, 418(1): 229-242.

HEISLER J, GLIBERT P M, BURKHOLDER J M, et al. Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus[J]. *Harmful Algae*, 2008, 8(1): 3-13.

LE C, ZHA Y, LI Y, et al. Eutrophication of Lake Waters in China: Cost, Causes, and Control[J]. *Environmental Management*, 2010, 45(4): 662-668.

OERTLI B, JOYE D A, CASTELLA E, et al. Does size matter? The relationship between pond area and biodiversity[J]. *Biological Conservation*, 2002, 104(1): 59-70.

陈小华, 高伟, 刘文亮, 等. 平原河网地区大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(8): 1310-1316.

高如泰, 姜甜甜, 席北斗, 等. 湖北省湖泊营养物生态分区技术方法研究[J]. *环境科学研究*, 2011, 24(1): 43-49.

姜加虎, 窦鸿身, 苏守德. 江淮中下游淡水湖群[M]. 武汉: 长江出版社, 2009.

姜莘红, 周易勇, 纪磊, 等. 月湖底泥疏浚后底栖动物群落的恢复及其与环境的关系[J]. *生态环境学报*, 2012, 21(6): 1088-1095.

李斌, 申恒伦, 张敏, 等. 香溪河流域梯级水库大型底栖动物群落变化及其与环境的关系[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(8): 2070-2076.

秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探[J]. *湖泊科学*, 2002, 14(3): 193-202.

饶钦止, 章宗涉. 武汉东湖浮游植物的演变 (1956-1975 年) 和富营养化问题[J]. *水生生物学集刊*, 1980, 7(1): 1-17.

沈忱, 刘茂松, 徐驰, 等. 太湖湖滨生态修复区大型底栖动物群落结构及梯度分布[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(5): 1186-1193.

王备新, 杨莲芳. 我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值[J]. *生态学报*, 2004, 24(12): 2768-2775.

王建国, 黄恢柏, 杨明旭, 等. 庐山地区底栖大型无脊椎动物耐污值与水质生物学评价[J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(3): 279-284.

王琴, 王海军, 崔永德. 武汉东湖水网区底栖动物群落特征及其水质的生物学评价[J]. *水生生物学报*, 2010, 34(4): 739-746.

郭红娟, 崔博, 吕晋, 等. 武汉湖泊底栖动物群落结构及水质生态评价[J]. *华中科技大学学报: 自然科学版*, 2005, 33(10): 96-98.

吴东浩, 王备新, 张咏, 等. 底栖动物生物指数水质评价进展及在中国的应用前景[J]. *南京农业大学学报*, 2011, 34(2): 129-134.

谢志才, 马凯, 叶麟, 等. 保安湖大型底栖动物结构与分布格局研究[J]. *水生生物学报*, 2007, 31(2): 174-183.

熊晶, 蒋小明, 王丑明, 等. 宁波东钱湖大型底栖动物群落动态及水质生物学评价[J]. *环境科学研究*, 2012, 25(3): 282-289.

许巧情, 过龙根, 刘绍平. 网箱养殖对底栖动物丰度和生物量的影响[J]. *长江大学学报 (自然科学版)*, 2009, 6(3): 35-38.

许巧情, 王洪铸, 张世萍. 河蟹过度放养对湖泊底栖动物群落的影响[J]. *水生生物学报*, 2003, 27(1): 41-46.

闫云君, 李晓宇, 梁彦龄. 草型湖泊和藻型湖泊中大型底栖动物群落结构的比较[J]. *湖泊科学*, 2005, 17(2): 176-182.

严平川, 黄荣华, 彭小思, 等. 湖北省湖泊环境现状及污染控制措施[J]. *中国水利*, 2004, 333-34.

张毅, 孔祥德, 邓宏兵, 等. 近百年湖北省湖泊演变特征研究[J]. *湿地科学*, 2010, 8(1): 15-20.

Macrozoobenthic community structure and bioassessment of water quality of shallow lakes in Hubei province

HU Chenglong¹, JIANG Jiahu², CHEN Yuwei², LI Jinxuan¹, CAI Yongjiu^{2,3*}

1. School of Water Resources & Environmental Engineering, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, China;

2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

3. State Key Laboratory of Hydrology Water Resources and Hydraulic Engineering Science, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China

Abstracts: Macrozoobenthos are an important component and play crucial roles in nutrient cycling and energy flow in lake ecosystems. Their relative longevity, general sedentary and variable sensitivity to pollution make them good indicators of lake ecosystem health. In Hubei province, there are numerous floodplain lakes, with a total area of 3 025 km². However, with the development of extensive industry, agriculture, fishing and urbanization in recent decades, many lakes in this area have undergone eutrophication, exerting great pressures on macrozoobenthos. However, few studies have been conducted on macrozoobenthic assemblages in these lakes. In this study, we carried out an investigation on macrozoobenthos of 27 shallow lakes in Hubei Province, and lake water quality was assessed based on the characteristics of the macrozoobenthic assemblages. A total of 40 macrozoobenthic taxa belonging to 4 phylum 7 classes and 18 families were recorded from quantitative samples, including 5 oligochaetes, 16 chironomids, 4 bivalves and 8 gastropods. *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Branchiura sowerbyi*, *Procladius choreus*, *Tanytus chinensis*, *Microchironomus tabarui*, *Bellamyia aeruginosa* showed high occurrence in these lakes. Average abundance ranged from 32 to 1 243 ind·m⁻² with 12 lakes lower than 200 ind·m⁻², chironomids and oligochaetes dominated the community in abundance. Average biomass ranged from 0.034 to 460.7 g·m⁻² with 19 lakes lower than 50 g·m⁻². The biomass of macrozoobenthos were dominated by molluscs in 16 lakes, and dominated by chironomids and oligochaetes in 11 lakes. Species richness ranged from 3 to 14 taxa, Margalef index varied between 0.71 and 2.33, and the minimum/maximum values of Simpson and Shannon-Wiener indices were 0.69/0.85 and 0.78/2.13, respectively. Species richness and three diversity indices were significantly and positively correlated with lake surface area. Hilsenhoff biotic index (BI) indicated that 11 lakes were lightly polluted (6.01–7.44), 13 lakes were moderately polluted (7.57–8.47), and Changhu (8.52), Shangjinhu (8.65) and Yuhu (8.50) were heavily polluted.

Key words: shallow lakes; eutrophication; macrozoobenthos; community structure; bioassessment