

徐州市云龙湖大型底栖动物群落演变及环境影响因子分析

李朝*, 蔡吉林, 杨靖

徐州市环境监测中心站, 江苏徐州 221002

摘要:【目的】了解江苏省徐州市云龙湖大型底栖动物的群落结构及其环境影响因子, 可以为保护云龙湖水生态环境提供依据。【方法】于2013—2017年对云龙湖大型底栖动物和水环境因子进行了调查。利用1/16 m²彼得逊采泥器采集大型底栖动物样品, 同时利用有机玻璃采水器采集水样, 每年的5月和10月各采样一次, 共采样10次。利用3种群落多样性指数(Shannon-Wiener指数、Margalef物种丰富度指数、Pielou均匀度指数)评价云龙湖大型底栖动物的群落结构, 选择Shannon-Wiener指数进行水质评价, 并应用典型相关分析(CCA)得出大型底栖动物与环境因子之间的关系。【结果】云龙湖大型底栖动物群落结构简单, 物种较少, 3种群落多样性指数年际波动不大。云龙湖水质多年处于轻污染到中污染水平之间。优势物种中水丝蚓属的主要影响因子是总氮浓度, 摇蚊幼虫的主要影响因子为高锰酸盐指数。【结论】云龙湖的水体有富营养化风险, 应对云龙湖大型底栖动物的保护和水质改善给予足够重视。

关键词: 大型底栖动物; 云龙湖; 徐州; 多样性指数; 典型相关分析

Analysis on macrobenthic community structure and environmental determinants of Yunlong Lake in Xuzhou City, China

LI Zhao*, CAI Jilin, YANG Jing

Xuzhou Environmental Monitoring Center, Xuzhou, Jiangsu 221002, China

Abstract:【Aim】The study on the macrobenthic community structure and its related environmental determinants of Yunlong Lake in Xuzhou City can provide a basis for local water quality protection.【Method】This investigation was carried out in Yunlong Lake from 2013 to 2017. The macrobenthic samples were collected by using 1/16 m² Peterson mud collector and the water samples were collected by using the plexiglass water collector in May and October each year with a total of 10 times. Three diversity indexes (Shannon-Wiener index, Margalef species richness index and Pielou evenness index) were used to evaluate the community structure, the Shannon-Wiener index was chose to have a biological assessment of water quality, and CCA (canonical correlation analysis) was applied to analyze the relationship between macrobenthos and environmental factors.【Result】The macrobenthic community structure was uncomplicated due to its low species richness. There was no obvious inter-annual variation in the diversity indices. Water quality was classified as influenced by slight-to-medium pollution. In addition, total nitrogen concentration was the most important influencing factor on *Limnodrilus* sp., while permanganate index (COD_{Mn}) had major effects on chironomid larvae.【Conclusion】The water in Yunlong Lake displayed a risk of eutrophication. Therefore, much more attention should be paid to macrobenthos protection and water quality improvement of the lake.

Key words: macrobenthos; Yunlong Lake; Xuzhou; diversity index; CCA

云龙湖位于我国江苏省徐州市城区西南部, 东、西、南三面环山。东西长约4 km, 南北最宽处约2.4 km, 水面面积6.76 km², 平均水深1.67 m。目前, 云龙湖主要有3个补水来源: 玉带河河水, 新河矿矿井水, 以及珠山西路水源井水。2016年云龙湖

景区被授予国家AAAAA级景区, 是徐州市最著名的旅游景点, 也是徐州市民重要的休闲、体育、文化活动场所。按《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)评价, 云龙湖水质属于Ⅲ类水体(吕顺等, 2011)。

收稿日期(Received): 2017-12-22 接受日期(Accepted): 2018-02-24

作者简介: 李朝, 男, 工程师, 硕士。研究方向: 生物监测

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: lizhaosithaca@163.com

大型底栖动物指栖息生活在水体底部淤泥内或石块、砾石的表面或其间隙中,以及附着在水生植物之间的肉眼可见的体长超过 2 mm,不能过 40 目分样筛的水生无脊椎动物(国家环境保护总局,2006)。大型底栖动物一般寿命较长,移动能力弱,容易被采集且对环境变化较敏感,可综合地反映出污染物对环境和生物产生的影响,故常被作为重要的指示生物广泛应用于水质评价和环境监测(李杨等,2017;舒凤月等,2014;Du *et al.*,2017;Hamed *et al.*,2014)。李勇等(2014)曾于 2008—2012 年对云龙湖底栖动物的种类和密度进行了调查,但研究时间距今已较久。笔者调查近年来云龙湖大型底栖动物群落的结构变化,并对其环境影响因子进行分析,以期为更好地保护云龙湖水生态环境提供资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况与样点布设

云龙湖中部南北方向的湖中路,将湖水分割成东、西两部分,两部分的湖水通过路北部的桥洞连接。云龙湖东湖东北部有一休闲码头,游客在此乘船游览,因此该区域的人为干扰因素较大;东湖中心和西湖中心为开阔水域;西湖西南部靠近垂钓中心,该区域长期有人工养殖鱼类,并开展投放饵料等活动,对附近水质有一定的影响。

在云龙湖的东湖东北部、东湖中心、西湖中心和西湖西南部分别布置监测点,记作 DD、DZ、XZ、XX,共 4 个点位。于 2013—2017 年,每年的 5 月和 10 月各采样一次,共采样 10 次。

1.2 大型底栖动物样品采集

大型底栖动物采集利用 1/16 m² 彼得逊采泥器,每个采样点采 2 个样,混合后作为该采样点的样品。现场将底泥过 40 目筛后装入塑料袋密封并带回实验室,在白瓷盘上分拣出其中的大型底栖动物。将挑拣出的大型底栖动物用 75% 乙醇溶液固定,在显微镜和解剖镜下分类鉴定并计数(中华人民共和国环境保护部,2015)。依照分类鉴定相关资料(大连水产学院,1988;辽宁省环境监测实验中心,2014;王俊才和王新华,2011),将大型底栖动物鉴定至尽可能低的分类单元。本实验中环节动物和软体动物鉴定到种,水生昆虫鉴定到属。

1.3 环境因子测定

本实验选择监测的理化因子包括总磷(TP)和

总氮(TN)浓度及高锰酸盐指数(COD_{Mn})。在采集大型底栖动物的同时利用有机玻璃采水器采集各点位的水样,并送回实验室。按照《水和废水监测分析方法》(国家环境保护总局,2006)进行分析。

1.4 数据分析与处理

1.4.1 生物多样性指数 根据李朝等(2016a),选取 Shannon-Wiener 指数(H')、Margalef 物种丰富度指数(d)和 Pielou 均匀度指数(J')计算云龙湖大型底栖动物的群落结构。

$$H' = -\sum_{i=1}^s (P_i) \log_2(P_i)$$

$$d = (S-1)/\log_2 N$$

$$J' = H'/H'_{\max}; H'_{\max} = \ln S$$

式中, P_i 为第 i 种的个体数与样品中总个数的比值, S 为总种类数, N 为总个体数。

根据 Shannon-Wiener 指数值评价水质:指数值>3 为清洁,2≤指数值≤3 为轻污染,1≤指数值<2 为中污染,0≤指数值<1 为重污染(Simpson,1949)。

1.4.2 物种—环境因子相关性分析 数据处理采用 Canoco 5 软件。先在 Excel 中输入大型底栖动物的密度矩阵和环境因子矩阵,然后对大型底栖动物物种多度数据经对数转换,与环境因子数据一起导入 Canoco 5 软件中,进行物种和环境因子的典型相关分析(canonical correlation analysis,CCA)(李朝等,2016b;Petr & Jan,2014)。

2 结果与分析

2.1 物种组成

2013—2017 年云龙湖 4 个采样点位共采集到 40 种底栖动物,其中,环节动物 10 种,软体动物 3 种,水生昆虫 6 种(表 1)。出现频次较多的为克拉泊水丝蚓 *Limnodrilus claparedianus* (39 次)、小摇蚊属的一种 *Microchironomus* sp. (39 次)、霍甫水丝蚓 *Limnodrilus hoffmeisteri* (32 次)、长足摇蚊属的一种 *Tanytus* sp. (29 次)、前突摇蚊属的一种 *Procladius* sp. (28 次)。

2.2 物种密度分析

将每个采样点 5、10 月采集的物种密度的平均值作为该点位全年平均物种密度。由图 1 可知,水生昆虫和环节动物在物种构成中占绝对比例,软体动物仅在个别点位有所出现。按各物种密度占总密度的百分比计算,克拉泊水丝蚓、霍甫水丝蚓和

前突摇蚊属的一种、小摇蚊属的一种、长足摇蚊属的一种所占比例较高。物种密度最高的采样点为 2013 年的西湖中心,达到了 $4608 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$;物种密

度最低的采样点也出现在西湖中心,2017 年该点全年平均物种密度仅为 $112 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ (图 1)。总体来看,各点位物种密度有逐年下降的趋势。

表 1 云龙湖大型底栖动物物种名录

Table 1 Species of macrobenthos collected from Yunlong Lake, Xuzhou City, China

物种类别 Species category	中文名称 Chinese name	拉丁名 Latin name	物种类别 Species category	中文名称 Chinese name	拉丁名 Latin name
环节动物 Annelids	苏氏尾鳃蚓	<i>Branchiura sowerbyi</i>	水生昆虫	前突摇蚊属的一种	<i>Procladius</i> sp.
	奥特开水丝蚓	<i>Lumbriculus udekemianus</i>	Aquatic insects	小摇蚊属的一种	<i>Microchironomus</i> sp.
	克拉泊水丝蚓	<i>Limnodrilus claparedianus</i>		长足摇蚊属的一种	<i>Tanypus</i> sp.
	霍甫水丝蚓	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>		红裸须摇蚊	<i>Propilocerus akamusi</i>
	巨毛水丝蚓	<i>Limnodrilus grandisetosus</i>		摇蚊属的一种	<i>Tendipes</i> sp.
	淡水单孔蚓	<i>Monopylephorus limosus</i>	软体动物	螺科的一种	<i>Ceratopogouidae</i> sp.
	指鳃尾盘虫	<i>Dero digitata</i>	Molluscs	三角帆蚌	<i>Hyriopsis cumingii</i>
	豹行仙女虫	<i>Nais pardalis</i>		梨形环棱螺	<i>Bellamya purificata</i>
	参差仙女虫	<i>Nais variabilis</i>		方格短沟鳃	<i>Semisulcospira cancellata</i>
	宁静泽蛭	<i>Helobdella stagnalis</i>			

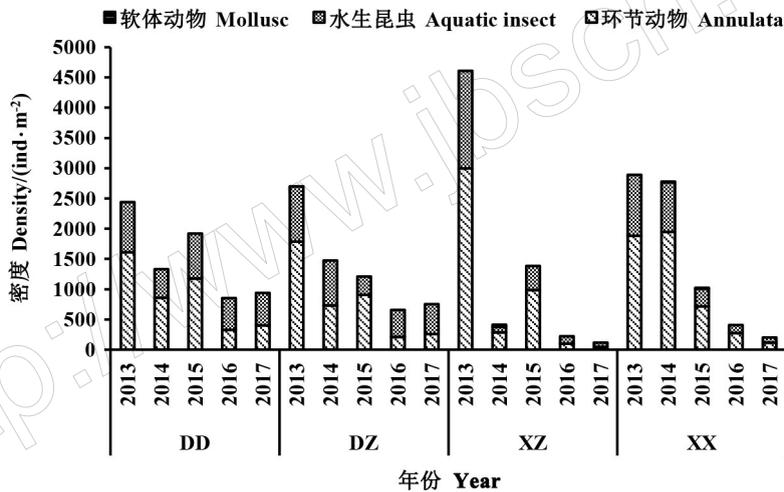


图 1 2013—2017 年云龙湖大型底栖动物平均物种密度

Fig.1 Density of macrobenthos in Yunlong Lake from 2013 to 2017

DD: 东湖东北部; DZ: 东湖中心; XZ: 西湖中心; XX: 西湖西南部。

DD: Northeastern Donghu; DZ: Central Donghu; XZ: Central Xihu; XX: Southwest Xihu.

2.3 生物多样性指数

由图 2 可见,各点位 Shannon-Wiener 指数(H')最高的为 2013 年的西湖中心(2.77)和 2015 年的西湖西南部(2.77),最低的为 2016 年的西湖西南部(1.93)。Margalef 物种丰富度指数(d)最高的为 2014 年的东湖中心(0.95),最低的为 2016 年的西湖西南部(0.46)。Pielou 均匀度指数(J')最高的为 2017 年的东湖东北部(1.28),最低的为 2014 年的西湖西南部(0.96)。总体来看,3 种群落多样性指数年际波动不大。利用 Shannon-Wiener 指数进行水质评价可知,西湖中心(2015、2017 年)、西湖西南部(2016 年)属于中度污染,其他年份的各点位水质都处于轻度污染水平。

2.4 CCA 结果

将转换后的大型底栖动物群落数据和环境因子数据分别组成数据矩阵,进行 CCA 排序分析,所得结果见表 2 和图 3。实验的整体 P 值小于 0.05,说明 2 组实验数据间有显著关系。第 1 轴和第 2 轴的特征值分别为 0.097 和 0.058,分别解释了 51.46% 和 82.43% 的物种—环境关系变异率(表 2)。

由 CCA 排序图(图 3)可见,优势种中的克拉泊水丝蚓和霍甫水丝蚓主要受水质中的 TN 浓度影响,前突摇蚊属的一种和长足摇蚊属的一种的主要影响因子为 COD_{Mn} ,小摇蚊属的一种受 3 种环境因子(TN 浓度、TP 浓度、 COD_{Mn})的影响很小。

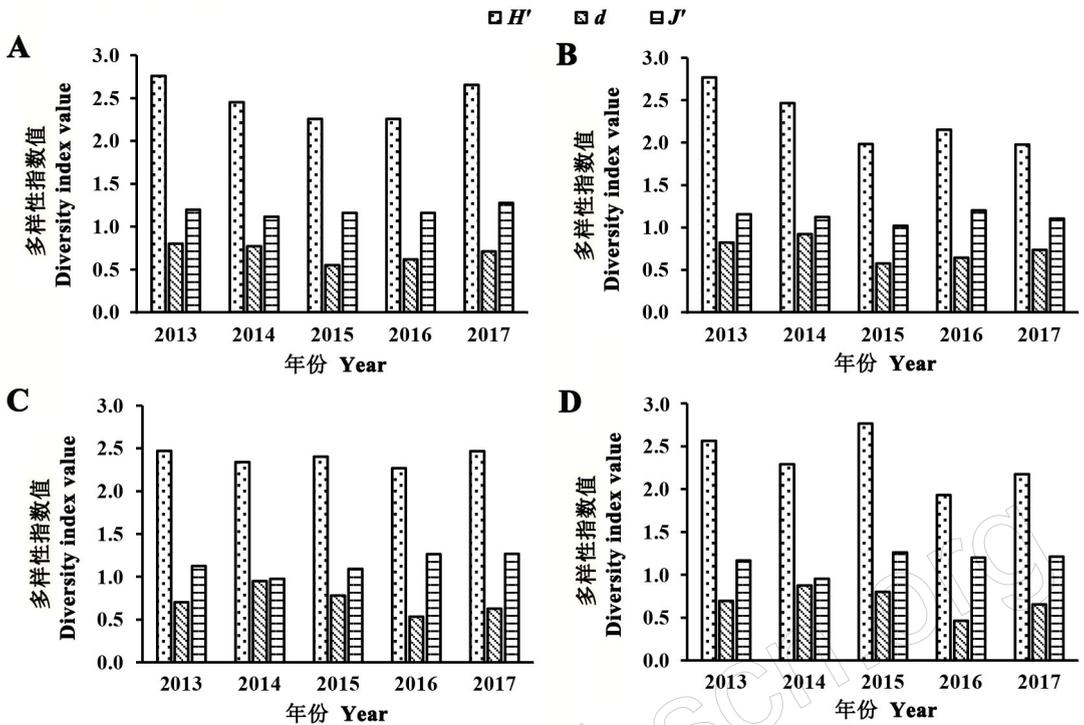


图 2 2013—2017 年云龙湖生物多样性指数

Fig.2 Biodiversity indices of the macrobenthic assemblage in Yunlong Lake from 2013 to 2017

A: 东湖东北部; B: 西湖中心; C: 东湖中心; D: 西湖西南部。

A: Northeastern Donghu; B: Central Xihu; C: Central Donghu; D: Southwest Xihu.

表 2 底栖动物群落与环境因子的 CCA 对应分析结果

Table 2 Results for the first four axes of the CCA of macrobenthos communities in Yunlong Lake from 2013 to 2017

统计轴 Statistic axes	特征值 Eigenvalues	物种—环境 相关性 Pseudo-canonical correlation	累计变异率 Variation (cumulative)/%	
			物种数据 方差 Explained	物种—环境 关系 Explained fitted
第 1 轴 Axis 1	0.097	0.748	5.98	51.46
第 2 轴 Axis 2	0.058	0.633	9.58	82.43
第 3 轴 Axis 3	0.033	0.481	11.62	100.00
第 4 轴 Axis 4	0.302	0.000	30.27	

3 讨论

3.1 云龙湖大型底栖动物群落结构

云龙湖四周的环湖路,将其与周围的山体等自然要素分割开,除了雨水,没有地表径流的补水;虽然人为增加了地表河流的补水,但云龙湖水的主要来源仍是人工补充的地下水,因此可以认为该湖是一人工湖;同时,其面积有限,环境空间异质性较低,水质长期处于Ⅲ类水体,所以监测到的大型底栖动物种类不多,以水丝蚓属和摇蚊幼虫为主。出现频次较多的为克拉泊水丝蚓、霍甫水丝蚓、小摇蚊属的一种、长足摇蚊属的一种和前突摇蚊属的一

种。水丝蚓属的物种较耐污,成为底栖动物中的主要物种,反映出云龙湖水质中有机质含量偏高、溶解氧浓度较低的特性(大连水产学院,1988)。另外,出现频次较高的几种摇蚊幼虫也能耐受一定程度的水质污染(王俊才和王新华,2011)。

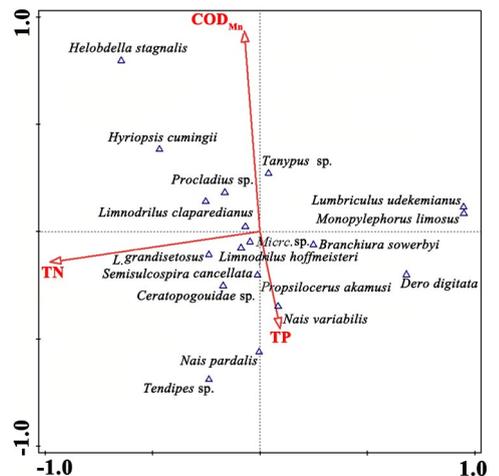


图 3 云龙湖大型底栖动物群落与环境因子 CCA 排序
Fig.3 CCA plots of macrobenthos assemblages in Yunlong Lake, 2013-2017 and environmental factors

COD_{Mn}: 高锰酸盐指数; TN: 总氮浓度; TP: 总磷浓度。

COD_{Mn}: Permanganate index; TN: Total nitrogen concentration; TP: Total phosphorus concentration.

李勇等(2014)研究发现,云龙湖2008—2012年大型底栖动物物种密度逐年增大。本研究表明,云龙湖2013年大型底栖动物物种密度较高,但最近几年呈下降趋势,这与水利部门对云龙湖的清淤工程有关。清淤工程将湖底富含有机质的泥土挖除,其中云龙湖西湖的原生底泥受到的破坏较大,现存底泥较为坚硬,含有大量黄色的黏土团球,不适合大型底栖动物的生存,从而造成西湖2个点位的大型底栖动物密度产生了较大的波动。

云龙湖中软体动物被采集到的频次很少,原因是湖底缺乏水生植物的生长,无法给螺类等软体动物提供避难和繁殖的场所(陈小华等,2013)。

云龙湖大型底栖动物的群落组成和结构整体稳定。利用Shannon-Wiener多样性指数进行水质评价显示,云龙湖水质污染水平在轻污染到中污染之间。

3.2 大型底栖动物的环境影响因子分析

云龙湖优势种中的克拉泊水丝蚓和霍甫水丝蚓主要受总氮浓度影响,与张又等(2017)的研究结论类似。水体中总氮含量与有机质含量有一定的相关性,而水体和底泥中的有机质是水丝蚓属食物的主要来源。

优势种中的前突摇蚊属的一种和长足摇蚊属的一种的主要影响因子为高锰酸盐指数;优势种中的小摇蚊属的一种受所选的3种环境因子(TP和TN浓度及 COD_{Mn})的影响很小。这说明小摇蚊属的一种相对于其他2种摇蚊有更强的环境适应性。

除了本研究中选取的3种环境影响因子外,水温、水深(陆强等,2013),总氮、氨氮含量(Xie *et al.*,2016),底质类型、流速和电导率(殷旭旺等,2013),也会影响水体中大型底栖动物的种群分布。因此,今后开展大型底栖动物群落变化及影响因子的相关研究,应选取更多的水质参数,以便为保护云龙湖的水生态环境提供更多的理论支持。

由云龙湖监测到的主要物种和水质评价可知,云龙湖的水体有富营养化风险。在水体富营养化的过程中往往会导致大型底栖动物多样性的降低,并且小个体的种类(如寡毛纲和摇蚊幼虫)逐渐代替大个体的种类(如腹足纲和双壳纲)而成为优势种,因为小个体的种类一般生活年限较短,对环境

的适应能力较强(Warwick *et al.*,1986)。云龙湖物种的组成结构和群落演变规律与该论断相符。云龙湖的营养盐类主要来源于补充的地表水、环云龙湖餐饮饭店的排水以及西湖西南部人工养殖场混入的养殖水等。因此,今后对云龙湖的管理中,应当控制地表水的水质,禁止湖边餐饮饭店向湖水中排放污水,将人工养殖区与湖水隔离。

参考文献

- 陈小华,高伟,刘文亮,孙从军,康丽娟,2013.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.生态环境学报,22(8):1310-1316.
- 大连水产学院,1988.淡水生物学.北京:农业出版社.
- 国家环境保护总局,2006.水和废水监测分析方法.4版.北京:中国环境科学出版社.
- 李杨,李斌,李淑丹,王兴中,蔡庆华,2017.洱海流域河流生态系统健康评价.应用与环境生物学报,23(3):427-431.
- 李勇,潘立勇,杨靖,2014.云龙湖底栖动物的变化研究.环境保护科学,40(3):20-23.
- 李朝,蔡琨,杜娟,杨靖,李勇,胡红娟,2016a.徐州市河流和湖泊的大型底栖动物群落结构及影响因子分析.生态科学,35(1):61-66.
- 李朝,杨靖,蔡吉林,2016b.徐州京杭运河大型底栖动物群落结构变化及水质评价.环境科技,29(6):47-50.
- 辽宁省环境监测实验中心,2014.辽河流域大型底栖动物监测图鉴.北京:中国环境出版社.
- 陆强,陈慧丽,邵晓阳,王莹莹,陶敏,何京,唐龙,2013.杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系.生态学报,33(9):2803-2815.
- 吕顺,唐利兰,余莉琳,周猛,党伟龙,2011.云龙湖水质调查与评价.环境监测管理与技术,23(1):47-50.
- 舒凤月,张承德,张超,董龙香,高冉摇,樊喜英,2014.南四湖大型底栖动物群落结构及水质生物学评价.生态学杂志,33(1):184-189.
- 王俊才,王新华,2011.中国北方摇蚊幼虫.北京:中国言实出版社.
- 殷旭旺,徐宗学,高欣,白海峰,武玮,宋进喜,2013.渭河流域大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系.应用生态学报,24(1):218-226.
- 张又,程龙,尹洪斌,高俊峰,张志明,蔡永久,2017.巢湖流域不同水系大型底栖动物群落结构及影响因素.湖泊科学,29(1):200-215.

中华人民共和国环境保护部, 2015. 生物多样性观测技术
导则 淡水底栖大型无脊椎动物: HJ 710.8-2014. 北京:
中国环境科学出版社.

DU L N, JIANG Y E, CHEN X Y, YANG J X, ALDRIDGE
D, 2017. A family-level macroinvertebrate biotic index for
ecological assessment of lakes in Yunnan, China. *Water Re-
sources*, 44(6): 864-874.

HAMED Y, NEMATOLLAH J, BANAFSHEH Z, 2014. Rela-
tionship between benthic macroinvertebrate bio-indices and
physicochemical parameters of water: a tool for water re-
sources managers. *Journal of Environmental Health Sciences
& Engineering*, 12(1): 2-9.

PETR S, JAN L, 2014. *Multivariate analysis of ecological data*

using Canoco 5. New York: Cambridge University Press.
SIMPSON E H, 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.
XIE Z, ZHANG J, CAI K, XU Z A, WU D H, WANG B X,
2016. Temporal and spatial distribution of macrobenthos com-
munities and their responses to environmental factors in Lake
Taihu. *Acta Ecologica Sinica*, 36(1): 16-22.
WARWICK R M, COLLINS R N, GEE J M, GEORGE C L,
1986. Species size distributions of benthic and pelagic
Metazoa: evidence for interaction? *Marine Ecology Progress
Series*, 34(1/2): 63-68.

(责任编辑:杨郁霞)

征订启事

《生物安全学报》是由中国植物保护学会与福建省昆虫学会共同主办的面向生物安全科学国际前沿
的中英文学术刊物。本刊为季刊,每年 2、5、8、11 月 15 日出版。国内统一连续出版物号(刊号)CN 35-
1307/Q,国际标准刊号 ISSN 2095-1787。每期定价 28 元,全年 112 元(不含邮资)。

读者对象:国内外农业科研院(所)、农业院校、综合性大学的农业科研与管理人員。

订阅方式 纸本征订:请将征订回执单和汇款凭证复印件发邮件至 jbscn99@126.com。

电子版征订:点击首页中的“RSS”或“E-mail 订阅”进行电子版订阅。

汇款办法:银行汇款或邮局汇款(汇款单上请注明“订阅《生物安全学报》”)。收到款项后,我校财务
处即开具正式发票(项目名称为“版面费”)。

银行汇款 开户银行:中国农业银行福州农大支行

开户名称:福建农林大学

账号:13130701040000016

邮局汇款 收款单位:《生物安全学报》编辑部

地址:福建省福州市上下店路 15 号福建农林大学校内 邮编:350002

《生物安全学报》征订回执单

征订单位				邮箱	
发票抬头				税号	
详细地址				邮政编码	
收件人				电话	
单价(元)	112.00	征订份数		汇款金额	
汇款方式	<input type="checkbox"/> 邮局汇款 <input type="checkbox"/> 银行汇款			汇款时间	