

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2010.06.003

漓江大型底栖无脊椎动物及其与水环境的关系

杨青瑞,陈求稳

(中国科学院生态环境研究中心,北京 100085)

摘要 为研究漓江上游水库为下游河道枯季航运补水所造成的水生态影响,对漓江大型底栖无脊椎动物空间分布特性与相应的水环境因子进行调查,并采用 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、均匀度、丰富度指数分析物种多样性。结果表明 纹石蚕、黑龙江短沟蜉为上、中游优势种 纹石蚕、黑龙江短沟蜉、河蚬为下游优势种 纹石蚕、黑龙江短沟蜉为整个漓江水系的优势种。Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、均匀度、大型底栖无脊椎动物的平均密度和平均动物量均呈现出下游大于中游、中游大于上游的趋势 而物种丰富度指数呈现出下游小于中游、中游小于上游的趋势。大型底栖无脊椎动物和环境因子的典范对应分析表明 温度、电导率、盐度、浊度、水深、总磷、化学需氧量为影响大型底栖无脊椎动物群落结构和分布的主要环境因子。

关键词 漓江 大型底栖动物 环境因子 典范对应分析

中图分类号 S865.3⁺3 ;X820.3 **文献标识码** A **文章编号** 1006-7647(2010)06-0008-03

Relationship between macroinvertebrates and aquatic environment in Lijiang River//YANG Qing-rui, CHEN Qiu-wen
(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract :To study the ecological impact caused by upstream reservoir regulation for navigation purpose in Lijiang River in dry season, the spatial distribution characteristics of macroinvertebrates the corresponding aquatic environmental factors were investigated. The species diversity was analyzed by use of Shannon-Wiener index, Simpson index, evenness index and richness index. The results show that Hydropsyche and Semisulcospi amurensis are the dominant species in the upper and middle reaches of Lijiang River. Hydropsyche and Semisulcospi amurensis and Corbicula fluminea are the dominant species in the lower reaches. Hydropsyche and Semisulcospi amurensis are the dominant species in the whole watershed. The Shannon-Wiener index, the Simpson index, the evenness index, the average density and the average biomass of macroinvertebrates have a tendency of lower reaches > middle reaches > upper reaches. However, the richness index has an opposite sequence, that is, lower reaches < middle reaches < upper reaches. The canonical correspondence analysis of macroinvertebrates and environmental factors indicate that temperature, conductivity, salinity, turbidity, water depth, total phosphorus and chemical oxygen demand are the main environmental factors for the structure and distribution of macroinvertebrates.

Key words :Lijiang River ;macroinvertebrate ;environmental factor ;canonical correspondence analysis

大型底栖动物是河流生态系统的重要组成部分,维持其物种多样性对河流生态系统结构和功能的健康发展具有重要意义。大型底栖动物寿命较长,迁移能力有限,其生长、繁殖、群落演替和群落结构的变化与水环境因子有着密切的关系,水质、水深、水温、底质、高等水生植物分布等是决定大型底栖动物种类分布的重要环境因子^[1-7]。研究大型底栖生物分布能够直接反映水环境现状,为河流生态系统的健康评价提供参考。近年来,大型底栖无脊

椎动物以其独特的优越性而被广泛应用于水生态影响评价。夏爱军等^[8]曾利用底栖生物 Goodnight 生物指数和 Shannon-Wiener 指数很好地评价了长江江苏段水质状况;王建国等^[9]利用大型底栖无脊椎动物耐污值评价了庐山地区水质污染变化趋势。

本研究以漓江为对象,在整个流域范围内选取代表性的江段,定量采集大型底栖无脊椎动物标本,并测定主要的水文和水环境指标,探讨大型底栖无脊椎动物与环境因子之间的关系,试图在流域尺度

上研究大型底栖动物的群落结构变化及其影响因子,为评价漓江上游水库为下游河道枯季航运补水所造成的水生态影响提供理论基础及相关数据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况及样点设置

漓江位于广西壮族自治区东部,属珠江水系,发源于“华南第一峰”桂北越城岭猫儿山。漓江上游主流称为六峒河,由溶江镇汇灵渠水,流经灵川、桂林、阳朔,至平乐,汇入西江,全长 214 km,流域面积为 12 285 km²。从桂林到阳朔约 83 km 的水程称为漓江。漓江是世界上规模最大、风景最美的岩溶山水游览区,林丰木秀,空气清新,生态环境极佳。由于独特的喀斯特地貌,漓江流量季节性变化剧烈,在 12 ~ 12 000 m³/s 之间,枯季严重影响航运。为了保证枯水期漓江两岸的用水和航运,同时改善河道水生态状况,拟分 3 期实施水库调节,使枯水期桂林站流量分别达到 30 m³/s,45 m³/s 和 60 m³/s,目前第 1 期补水目标 30 m³/s 已经通过青狮潭水库实现。

本研究于 2009 年 8—9 月间选取漓江上、中、下游 3 个江段(分别为甘棠江段、大圩江段、福利江段),其中上游甘棠江段长 7 km,沿岸植被茂盛,河底水草丰富,底质以卵石和淤泥为主;中游大圩江段长 6 km,底质以鹅卵石为主;下游福利江段长 7 km,沿岸植被稀少,主要为人工栽植的凤尾竹,底质以沙石为主。研究江段全长 20 km,随机设置 150 个采样点,分不同生境采集大型底栖无脊椎动物,研究其空间分布及其与水环境条件变化的关系。

1.2 样本采集

对采样点进行定量采样,依据不同生境,当水深小于或等于 0.5 m 时,采用 Surber 网(0.09 m²,40 目)取样;当水深大于 0.5 m 时,采用 Peterson 改良式采泥器(1/20 m²)取样,现场用网目为 250 μm 的筛子筛选样品,挑选出大型底栖无脊椎动物,放入 100 mL 标本瓶中,浸入 5% 的甲醛溶液,带回实验室,在解剖镜下鉴定、计数^[10-11],最后用吸水纸吸干底栖动物表面的液体,用精度为 0.000 01 的天平称其湿质量。共采集样点 150 个,其中上游 54 个,中游 48 个,下游 48 个。

1.3 环境因子测定

参考相关文献中所报道的指标^[12],分别选取水温(T)、电导率(κ)、盐度(S_{al})、浊度(TUR)、溶解氧(DO)、pH、水深(H)、流速(v)、总磷(TP)、总氮(TN)、化学需氧量(COD_{Mn})、底质类型作为本研究的环境因子。 T 、 κ 、 S_{al} 、 TUR 、 DO 、pH 均用便携式 YSI6600 现场测定; v 采用螺旋式流速仪进行测定; H 用直尺测

定;另外,每个采样点采集水样 1 000 mL,带回实验室后分别采用 GB 3838—2002^[13] 中规定的钼酸铵分光光度法、碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法和高锰酸盐法测定 TP 、 TN 、 COD_{Mn} 。

1.4 参数选择

本研究分别以 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、均匀度、优势度和丰富度指数等 5 个参数分析漓江大型底栖无脊椎动物的空间分布特征。Shannon-Wiener 指数 $H' = - \sum p_i \log_2 p_i$, 式中 p_i 为第 i 种物种个体数占全部样本个体数的比例, $p_i = n_i/N$, n_i 为第 i 种物种的个体数, N 为所有物种的总个体数^[14]。Simpson 指数^[14] $D = 1 - \sum p_i^2$ 。均匀度^[15] $J = H' / (\log_2 S)$, H' 为 Shannon-Wiener 指数, S 为样品中物种类数。优势度^[16] $Y = (n_i/N) f_i$, f_i 为第 i 种物种在各站位出现的频率,以 $Y > 0.02$ 作为优势种。丰富度指数^[14] $D' = (S - 1) \lg N$ 。

1.5 相关性分析

通过反复比选,本研究最终采用典范对应分析方法研究底栖大型无脊椎动物与水环境因子的关系。典范对应分析是基于对应分析发展而来的一种排序方法,将对应分析与多元回归分析相结合,每一步计算均与环境因子进行回归。其基本思路是在对应分析的迭代过程中,每次得到的样方排序坐标值均与环境因子进行多元线性回归。该方法要求 2 个数据矩阵,一个是物种数据矩阵,一个是环境数据矩阵。首先计算出 1 组样方排序值和种类排序值,然后用回归分析方法将样方排序值与环境因子结合起来,这样得到的样方排序值既反映了样方种类组成对群落的作用,也反映了环境因子的影响,再用样方排序值加权平均求种类排序值,使种类排序值也与环境因子相关。该方法的优点是把样方、对象与环境因子的排序结果表示在同一排序图上。

采用 SPSS17.0 对调查数据进行统计分析,采用 CANOCO4.5 软件进行典范对应分析。

2 分析结果

2.1 空间分布特征

本次调查采集样本 7 315 个,共有 18 个物种,隶属于 6 纲 13 科,昆虫纲 8 种,腹足纲 8 种,甲壳纲 1 种,瓣鳃纲 1 种。按照公式 $Y = (n_i/N) f_i$ 对物种优势度进行计算,当 $Y > 0.02$ 该物种为优势种。结果表明,纹石蚕、黑龙江短沟蜷为漓江上、中游优势种;纹石蚕、黑龙江短沟蜷、河蚬为漓江下游优势种;纹石蚕、黑龙江短沟蜷为整个漓江水系优势种,见表 1。从表 1 中可以看出,物种 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、均匀度均呈现出下游大于中游、中

表 1 漓江大型底栖生物多样性指数

漓江	Shannon-Wiener 指数	Simpson 指数	均匀度	丰富度
上游	2.09	0.66	0.50	40.76
中游	2.23	0.67	0.54	40.30
下游	2.30	0.91	0.55	39.19

游大于上游的趋势,而物种丰富度指数呈现出下游小于中游、中游小于上游的趋势。

张益峰^[17]对漓江水域的调查结果表明,底栖动物物种数为 93 个,平均密度和生物量分别为 1 903.8 个/m²和 146.2 g/m²,漓江干流中虾和螺类的生物量较大。曹艳霞等^[18]对漓江流域干支流的底栖动物分布也进行了调查,总物种数为 169 个,昆虫纲占有底栖动物种类的 84.61%,甲壳纲、软体动物类、寡毛类等种类个体数占底栖动物总量的 15.39%。漓江干流多样性指数的平均值为 2.248,干流上的均匀度指数平均值为 0.871。干流物种组成以双翅目摇蚊科、螺类以及寡毛类种类最多。通过对比 3 次调查的结果发现,在不同年份漓江干流底栖动物的种类组成有差异,但优势种状况基本保持不变。

对漓江水系大型底栖无脊椎动物的密度和生物量空间分布进行统计,结果表明,漓江上游物种密度范围为 11~1 011 个/m²,均值为 104 个/m²;中游物种密度范围为 11~1 180 个/m²,均值为 163 个/m²;下游物种密度范围为 11~1 980 个/m²,均值为 187 个/m²。上游生物量范围为 0.013~329.380 g/m²,均值为 19.738 g/m²;中游生物量范围为 0.002~394.450 g/m²,均值为 34.303 g/m²;下游生物量范围为 0.009~681.250 g/m²,均值为 52.818 g/m²。由此可见,大型底栖无脊椎动物的平均密度和平均生物量也呈现出下游大于中游、中游大于上游的趋势。

2.2 关键影响因子

为了探讨不同环境因子对漓江水系大型底栖无脊椎动物群落结构和分布的影响,将大型底栖无脊椎动物群落结构与 11 个环境因子进行典范对应分析,见表 2。建立 2 个矩阵,1 个是大型底栖无脊椎动物矩阵,另 1 个是环境因子矩阵。CCA 排序图中,前 2 个排序轴的特征值分别为 0.455 和 0.144,前两轴能够解释物种与环境因子间总变异量的 69.8%。11 个环境因子中,电导率与第 1 轴呈最大负相关(-0.773 3),其次为盐度(-0.7674)、化学需氧量(-0.441 1)、总磷(-0.422 0)、水温(-0.415 8);浊度与第 1 轴呈最大正相关(0.415 3);水深与第 2 轴呈最大负相关(-0.3071)。综上所述,水温、电导

表 2 漓江 11 种环境因子监测结果

河段	T/ ℃	κ/ (μS·cm ⁻¹)	S _{al} / 10 ⁻³	TUR/ NTU	ρ(DO)/ (mg·L ⁻¹)	pH
上游	26.70	0.147	0.07	7.4	8.44	7.02
中游	30.85	0.191	0.09	6.9	10.00	7.16
下游	29.70	0.208	0.10	6.9	9.54	7.21

河段	H/ cm	v/ (m·s ⁻¹)	ρ(TP)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(TN)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(COD _{Mn})/ (mg·L ⁻¹)
上游	57.3	0.302	0.817	0.069	1.04
中游	58.5	0.256	0.819	0.098	1.61
下游	53.6	0.315	0.851	0.102	1.91

注:表中数值为监测均值。

率、盐度、浊度、水深、总磷、化学需氧量为影响漓江大型底栖无脊椎动物群落结构和分布的主要环境因子。

3 结 语

用于河流健康评价的生物包括细菌、浮游动物、藻类、高等水生植物、鱼类和大型底栖无脊椎动物等^[19]。目前大型底栖无脊椎动物的应用最为广泛,其特点是种类多、生活周期长;活动场所比较固定,易于采集;不同种类对水质的敏感性差异大,受外界干扰后群落结构的变化趋势可以反映水环境变化的性质和程度。大型底栖动物的分布特征受栖息环境、季节变化以及人类活动等综合因素的影响,这些因素不仅影响底栖动物生物量和栖息密度的时空分布,而且改变了群落的结构特征。研究表明,纹石蚕、黑龙江短沟蜷为漓江水系的优势种,这 2 种底栖生物均为清水指示种,表明目前漓江的水质状况良好。

非生物因素中的水温、电导率、盐度、浊度、水深、总磷、化学需氧量为影响漓江大型底栖无脊椎动物群落结构和分布的主要环境因子,这一结果与其他学者的研究结论类似。研究结果对于分析漓江枯季航运补水对下游生态环境的影响具有重要意义,今后将重点研究水库运行引起的水温、盐度等关键环境因子的变化,评价环境因子变化对底栖生物生境的影响及其导致的底栖生物空间分布的变化。

参考文献:

[1] 马徐发,熊邦喜,王明学,等.湖北道观河水库大型底栖动物的群落结构及物种多样性[J].湖泊科学,2004,16(1):49-55.
[2] 章飞军,童春富,张衡,等.长江口潮下带春季大型底栖动物的群落结构[J].动物学研究,2007,28(1):47-52.
[3] 毕洪生.胶州湾环境对底栖生物的影响[J].海洋科学,1997(1):37-40.

(下转第 38 页)

- 工大学出版社,1995 :196-198.
- [4] 马怀发,陈厚群,黎保琛. 混凝土试件细观结构的数值模拟[J]. 水利学报,2004,35(10) :27-35.
- [5] 赵爱红,虞吉林. 含正交排列夹杂和缺陷材料的等效弹性模量和损伤[J]. 力学学报,1999,31(4) :475-483.
- [6] MORI T,TANAKA K. Average stress in matrix and average elastic energy of materials with misfitting inclusions[J]. Acta Metal, 1973, 39 :587-606.
- [7] BUDIANSKY B. On the elastic moduli of heterogeneous material[J]. J Mech Phys Solids,1965,13 :223-227.
- [8] JUN S, JASIUK I. Elastic moduli of two-dimensional composites with sliding inclusions-a comparison of effective medium theories[J]. Int J Solids & Structs,1993,30 :2501-2523.
- [9] NORRIS A N. A differential scheme for the effective moduli of composites[J]. Mech of Mat,1985,4 :145-151.
- [10] 高蕴昕,郑泉水,余寿文. 损伤体有效弹性性质的细观分析和不变性描述 :一个考虑微缺陷相互作用的一般理论模式[J]. 力学学报,1998,30(5) :552-563.
- [11] CHRISTENSEN R M, LO K K. Solutions for effective shear properties in three phase sphere and cylinder models[J]. J Mech Phys Solids,1979,27 :315-330.
- [12] KCHANOV M. Elastic solids with many cracks and related problems[J]. Advances in Applied Mechanics, 1993, 30 :259-428.
- [13] WANG A S D. A probabilistic-mechanic approach of damage mechanics for fiber-reinforced composites [C]//SUN C T, LOO T T. Proceedings of Second International Symposium on Composite Materials and Structures. Beijing :Chinese Society of Theoretical and Applied Mechanics,1992 :1-19.
- [14] YAN Xiang-qiao. An effective numerical approach for multiple void-crack interaction [J]. Journal of Applied Mechanics, 2006,73 :525-535.
- [15] HUANG J H,LIU K K. On a flat ellipsoidal inclusion or crack in tree-dimentional anisotropic media [J]. Int J Eng Sci, 1998, 36 :143-155.
- [16] CHEN Y Z. General case of multiple crack problems in an infinite plate[J]. Engineer Fracture Mechanics,1984,20 :591-597.
- [17] 应宗权,杜成斌,孙立国. 基于随机骨料模型的混凝土弹性模量预测[J]. 水利学报,2007,38(8) :933-937.
- [18] 应宗权,杜成斌. 考虑界面影响的混凝土弹性模量的数值预测[J]. 工程力学,2008,25(8) :92-96.
- [19] 杜成斌,孙立国. 任意形状混凝土骨料的数值模拟及其应用[J]. 水利学报,2006,37(6) :662-667.
- [20] STOCK A F,HANNANT D J,WILLIAMS R I T. The effect of aggregate concentration upon the strength and modulus of elasticity of concrete [J]. Magazine of Concrete Research, 1980,32(113) :225-234.
- [21] WALRAVEN J C,REINHARDT H W. Theory and experiments on the mechanical behavior of cracks in plain and reinforced concrete subjected to shear loading[J]. Heron,1981,26(1A) :26-35.
- [22] 王静薇. 混凝土细观结构与强度的关系[D]. 杭州 :浙江大学,2006 :14-19.
- [23] 刘冰. 高强混凝土试验及破坏过程模拟[D]. 南京 :河海大学,2006 :44-48.

(收稿日期 :2010-02-02 编辑 骆超)

(上接第 10 页)

- [4] 王银东,熊邦喜,陈才保,等. 环境因子对底栖动物生命活动的影响[J]. 浙江海洋学院学报,2005,24(3) :253-280.
- [5] 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) :174-182.
- [6] 段学花,王兆印,田世民. 河床底质对大型底栖动物多样性影响的野外试验[J]. 清华大学学报 :自然科学版,2007,47(9) :1553-1556.
- [7] 熊飞,李文朝,潘继征. 高原深水湖泊抚仙湖大型底栖动物群落结构及多样性[J]. 生物多样性,2008,16(3) :288-297.
- [8] 夏爱军,陈校辉,蔡永祥,等. 长江江苏段底栖动物群落结构现状及其水质的初步评价[J]. 海洋渔业,2006,28(4) :272-277.
- [9] 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.
- [10] 张觉民,何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京 :农业出版社,1991.
- [11] 梁象秋,方纪祖,杨和荃. 水生生物学[M]. 北京 :中国农业出版社,1996.
- [12] 刘健康. 高级水生生物学[M]. 北京 :科学出版社,1999.
- [13] GB3838—2002 地表水环境质量标准[S].
- [14] 李博. 生态学[M]. 北京 :高等教育出版社,2000.
- [15] 国家海洋局. 海洋监测规范[M]. 北京 :海洋出版社,1991.
- [16] SUN Jun,LIU Dong-yan,XU Jun,et al. The netz-phytoplanton community of the Central Bohai Sea and its adjacent waters in spring 1999 [J]. Acta Ecologica Sinica,2004,24(9) :2003-2016.
- [17] 张益峰. 漓江底栖动物调查[J]. 广西水产科技,2007(2) :47-54.
- [18] 曹艳霞,蔡德所,张杰,等. 漓江水系大型无脊椎动物多样性现状调查[J]. 广西师范大学学报,2009,27(2) :118-223.
- [19] 国家环保局水生生物监测手册编辑委员会. 水生生物监测手册[M]. 南京 :东南大学出版社,1993.

(收稿日期 :2010-02-23 编辑 骆超)