

南水北调江苏段沿线大型底栖动物群落结构及水生生物评价

蔡琨¹, 陆维青¹, 李朝², 李娣¹, 李旭文¹, 姜晟¹

(1. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210019; 2. 江苏省徐州环境监测中心, 江苏 徐州 221000)

摘要:于 2015 年 3 月和 7 月, 在南水北调江苏段沿线布设 10 个监测点, 采集底栖动物 30 个分类单元, 进行水生物学评价。结果表明, 10 个监测点底栖动物密度平均值为 369 个/m², 优势种为霍甫水丝蚓、苏氏尾鳃蚓、克拉泊水丝蚓、梨形环棱螺、河蚬、铜锈环棱螺和方格短沟蜷, 香农多样性指数均值为 2.14, BMWP 指数均值为 18, BI 指数均值为 7.20。RDA 分析结果显示, 影响底栖动物的主要环境因子是 DO、pH 值和 TN。指出, 研究区总体水生态质量较好。

关键词:大型底栖动物; 群落结构; 生物评价; 南水北调; 江苏段

中图分类号: X864

文献标志码: B

文章编号: 1674-6732(2019)03-0049-05

Macrozoobenthos Community Structure and Aquatic Biological Assessment Within Jiangsu Section of the South-to-North Water Diversion Project

CAI Kun¹, LU Wei-qing¹, LI Zhao², LI Di¹, LI Xu-wen¹, JIANG Sheng¹

(1. Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210019, China; 2. Jiangsu Xuzhou Environmental Monitoring Center, Xuzhou, Jiangsu 221000, China)

Abstract: 30 taxa of zoobenthos were sampled at 10 sites in Jiangsu section of the South-to-North Water Diversion Project in March and July 2014 to carry out the aquatic biological assessment. The mean density was 369 ind./m². Dominant species were *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Branchiura sowerbyi*, *Limnodrilus claparedeianus*, *Bellamyia purificata*, *Corbicula fluminea*, *Bellamyia aeruginosa* and *Semisulcospira cancellata*. The mean value of Shannon-Wiener index was 2.14, the mean value of BMWP was 18, and 7.20 of BI. The results of RDA analysis showed the main environmental factors were dissolved oxygen, pH, and total nitrogen. The assessment result showed that the water ecological quality of the study area was good.

Key words: Macrozoobenthos; Community structure; Biological assessment; South-to-North Water Diversion Project; Jiangsu section

水生生物是水生态系统的重要参与者, 其群落结构、功能可以良好地指示水体水生态状况^[1-2]。底栖动物是水生生物的一个重要类群, 因其具有相对稳定的生活环境、自身移动能力差、直接受到污染物的中长期累积性影响、生活周期适中; 位于水生生物食物链中层, 连接生产者和食物链顶层; 基础研究资料翔实, 对水体指示意义明确等优势, 逐渐成为水质生物评价中应用最为广泛的生物类群^[3]。欧盟和美国早已将底栖动物纳入管理部门水体健康状况评价要素中^[4]。

目前对南水北调东线的水质等已有相关调查和研究^[5], 但是东线正式输水后, 尚未见针对东线工程全境或江苏段的水生生物, 特别是底栖动物相关研究。现选择南水北调江苏段沿线为研究区, 调

查水体的底栖动物群落结构, 探索影响群落的理化因子并进行水生物学评价, 以期更好地了解区域水生态状况。

1 研究方法

1.1 研究区概况

南水北调江苏段是南水北调东线工程的一部分, 利用江苏省已有的江水北调工程, 从长江下游

收稿日期: 2018-11-13; 修订日期: 2019-05-20

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项基金资助项目(2018ZX07208-002); 生态环境部《水生生物监测体系研究》基金资助项目

作者简介:蔡琨(1988—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事水环境生物监测与评价工作。

干流电力提水,以京杭大运河为输水主干线,连接起调蓄作用的洪泽湖、骆马湖等诸多水体,再继续向北送水。一期工程于 2013 年 12 月正式调水。

1.2 采样点布设

根据引水线路区位特点,结合前期勘察调研获得的各区域生境状况,共对沿线布设了 10 个监测点位,分别为:江都西闸、泰西、五义河口、老山乡外、临淮乡外、马陵翻水站、沙集西闸、张楼、蔺家坝和李集桥,见图 1,图中红色线条为调水路线。结合底栖动物生长繁衍的时间特点,于 2015 年 3 月和 7 月分别开展了水质理化、底栖动物监测。



图 1 监测点位

1.3 监测项目和方法

溶解氧 (DO)、pH 值和电导率 (Cond) 利用 6600V2 型多参数水质监测仪进行现场测定,氨氮 ($\text{NH}_3 - \text{N}$)、总氮 (TN)、总磷 (TP)、高锰酸盐指数 (COD_{Mn}) 和五日生化需氧量 (BOD_5) 的测定参照文献[6]。

底栖动物采样、前处理、分析等参照《流域水生态环境监测与评价技术指南(试行)》(总站水字[2014]124 号)和《关于印发〈太湖流域(江苏)水生态健康评估技术规程(试行)〉等技术文件的通知》(苏环办[2016]184 号)附件二《水生态健康监测技术规程 淡水大型底栖无脊椎动物(试行)》等相关技术规定,利用 1/16 彼得逊采泥器采集,每个监测点采 2~3 个样方,现场经筛网筛洗后,用福尔马林溶液进行固定保存并带回实验室挑拣,并将底栖动物鉴定至尽可能低的分类单元。

1.4 监测时间

2015 年 3 月和 7 月。

1.5 评价方法

香农多样性指数^[7]: $H' = -\sum (n_i/N) \log_2(n_i/N)$ (1)

物种优势度^[8]: $Y = (n_i/N) \times f_i$ (2)

BMWP 指数^[9]: $\text{BMWP} = \sum b_i$ (3)

BI 指数^[10]: $\text{BI} = \sum n_i t_i / N$ (4)

式中: H' ——香农多样性指数;

n_i ——第 i 个分类单元个体数;

N ——样品底栖动物中总个体数;

Y ——物种优势度;

f_i ——第 i 种的出现频率 $Y > 0.02$ 作为优势种;

b_i ——第 i 科 BMWP 分数值;

BI 指数——生物指数;

t_i ——第 i 个分类单元的耐污值。

底栖动物水质生物学评价参照《关于印发〈流域水生态环境监测与评价技术指南(试行)〉的通知》(总站水字[2014]124 号)相关标准,见表 1。

表 1 底栖动物生物学评价指标评价等级

BMWP 指数	香农多样性指数	BI 指数	水质状况
> 100	> 3.0	0 ~ 4.25	优
71 ~ 100	2.0 ~ 3.0	4.26 ~ 5.76	良好
41 ~ 70	1.0 ~ 2.0	5.76 ~ 6.50	轻度污染
11 ~ 40	0 ~ 1.0	6.51 ~ 7.25	中度污染
0 ~ 10	0	7.26 ~ 10	重度污染

基础数据分析在 Excel 2016 中完成,部分群落结构相关指数计算在 Primer 6.0 中完成^[11]。环境梯度分析(排序分析)利用 R 软件中结合多元分析软件包“vegan”^[12]进行,利用“ggplot2”包进行作图。分析前全部底栖动物物种数据进行 $\log(x+1)$ 转化,环境因子中的 pH 值不进行处理,DO、Cond、TN、TP、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 COD_{Mn} 、 BOD_5 进行 $\log(x+1)$ 转化,物种数据使用 Hellinger 转化^[13]。

2 结果与讨论

2.1 底栖动物的群落结构特征及时空变化

2015 年 3 月监测了 6 个点位,2015 年 7 月监测了 10 个点位,共采集到底栖动物 3 门 7 纲 10 目 17 科 30 个分类单元(以下简称“种”),其中寡毛纲 8 种、昆虫纲 3 种、甲壳纲 3 种、软体动物门 14 种、多毛纲和蛭纲各 1 种。每个样点底栖动物物种数的算术平均数为 6.75,分布为 4~15 种;全部样点密度平均值为 369 个/ m^2 ,分布为 64~1184 个/ m^2 。

出现频次最高的是寡毛纲苏氏尾鳃蚓

(81.25%);其次为软体动物门中的河蚬(62.5%)、铜锈环棱螺(62.5%)、方格短沟蜷(56.25%)和寡毛纲霍甫水丝蚓(56.25%)。研究区域优势种(即优势度 $Y > 0.02$ 的物种)为霍甫水丝蚓($Y = 0.109$)、苏氏尾鳃蚓($Y = 0.074$)、克拉泊水丝蚓($Y = 0.062$)、梨形环棱螺($Y = 0.047$)、河蚬($Y = 0.041$)、铜锈环棱螺($Y = 0.034$)、方格短沟蜷($Y = 0.023$)。全部样次(同个样点 2 次监测结果按 2 个样次计)香农多样性指数均值为 2.20, 分布为 1.52 ~ 3.05。

2.1.1 底栖动物时间分布特征

底栖动物时间分布特征见表 2。由表 2 可见, 3 月份 6 个点位共监测到底栖动物 24 种, 其中寡毛纲 8 种, 昆虫纲 2 种, 甲壳纲 1 种, 软体动物门 12 种, 多毛纲和蛭纲各 1 种, 各点位物种数分布为 4 ~ 15 种; 7 月份 10 个点位共监测到底栖动物 22 种, 其中寡毛纲 7 种, 昆虫纲 2 种, 甲壳纲 3 种, 软体动物门 10 种, 多毛纲 1 种, 各点位物种数分布为 4 ~ 12 种。

优势种变化不大, 均以寡毛纲和软体动物为主, 其中寡毛纲优势种物种完全相同, 都是耐污种克拉泊水丝蚓、霍甫水丝蚓和苏氏尾鳃蚓, 仅优势度存在差异; 软体动物 7 月监测结果优势种较 3 月时减少了 1 种(方格短沟蜷)。

表 2 底栖动物时间分布特征

时间	3 月	7 月
总物种数/种	24	22
各点位物种数分布范围	4 ~ 15	4 ~ 12
平均密度/(个 · m ⁻²)	439	328
香农多样性指数均值	2.23	2.18
香农多样性指数分布范围	1.58 ~ 3.05	1.52 ~ 2.73
优势种	河蚬、克拉泊水丝蚓、苏氏尾鳃蚓、霍甫水丝蚓、梨形环棱螺和方格短沟蜷	霍甫水丝蚓、苏氏尾鳃蚓、铜锈环棱螺、克拉泊水丝蚓和梨形环棱螺

2.1.2 底栖动物空间分布特征

按南水北调东线工程江苏段输水线路, 将监测采样的 10 个点位按空间位置粗略划分为 4 个区段: 引水段(江都西闸、泰西)、淮宿段(五叉河口、老山乡外、临淮乡外)、宿徐段(马陵翻水站、沙集西闸、张楼)、出水段(蔺家坝、李集桥)。底栖动物空间分布特征见表 3。

由表 3 可见, 4 个区段间底栖动物的总物种数、

表 3 底栖动物空间分布特征

区段	引水段	淮宿段	宿徐段	出水段
总物种数/种	7	10	21	15
软体动物物种数/种	3	7	11	15
寡毛类和摇蚊类物种数/种	2	2	8	11
每个样点平均物种数/种	4	5.3	8.6	8.3
平均密度/(个 · m ⁻²)	100	157	476	795
香农多样性指数值	1.53	2.28	2.36	2.21

水质指示性物种分布、密度、香农多样性指数值等均存在较为明显的空间分布差异, 总体表现为随引水线路向北延伸, 沿线底栖动物物种数、密度及香农多样性指数值等均呈现总体上升的趋势。引水口底栖动物物种数偏少, 群落结构较为简单, 可能的原因是监测采样时引水线路通水时间偏短, 底栖动物尚未成功定居。也有可能引水段水利设施(如提水灌站)较多、水文变化较剧烈, 对这一区段水域扰动很强, 底栖动物成功存居的难度大。

2.2 底栖动物与水质理化因子关联

根据去趋势对应分析(Detrended Correspondence analysis, DCA)结果显示, 第一轴长度是 3.048 9, 长度为 3 ~ 4, 使用冗余分析(Redundancy Analysis, RDA)或典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)方法均可进行分析, 现选用 RDA。用 ENVFIT 函数进行前向选择^[14], 剔除冗余环境变量, 最终选择的变量有 DO、pH 值、BOD₅、TN。RDA 排序结果见图 2, RDA 排序结果图中物种或点位见表 4。

第一轴解释量为 43.89%, 第二轴为 31.22%。根据图 2 排序结果, DO 和 pH 值与第一轴高度负相关(相关性分别达到 66.12% 和 50.39%), TN 与第二轴高度正相关(相关性分别达到 73.39%)。研究区影响底栖动物的主要环境因子是 DO、pH 值和 TN。

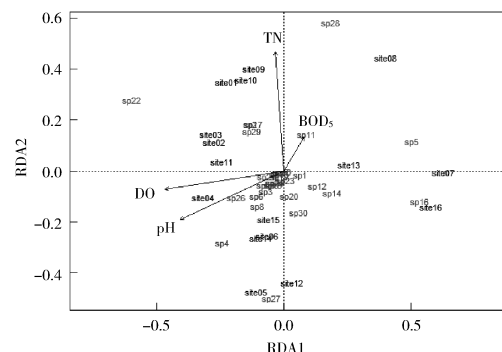


图 2 RDA 排序结果

表 4 RDA 排序结果图中物种或点位^①

代号	物种或点位	代号	物种或点位	代号	物种或点位
sp1	齿吻沙蚕属一种	sp17	湖沼股蛤	site01	五叉河口(3 月)
sp2	霍甫水丝蚓	sp18	丽蚌属一种	site02	老山乡外(3 月)
sp3	巨毛水丝蚓	sp19	蚌形无齿蚌	site03	临淮乡外(3 月)
sp4	克拉泊水丝蚓	sp20	圆顶珠蚌	site04	马陵翻水站(3 月)
sp5	水丝蚓属一种	sp21	中国淡水蛭	site05	张楼(3 月)
sp6	苏氏尾鳃蚓	sp22	河蚬	site06	蔺家坝(3 月)
sp7	透清毛腹虫	sp23	萝卜螺属一种	site07	江都西闸(7 月)
sp8	参差仙女虫	sp24	长角涵螺	site08	泰西(7 月)
sp9	仙女虫属一种	sp25	纹沼螺	site09	五叉河口(7 月)
sp10	宁静泽蛭	sp26	方格短沟蜷	site10	老山乡外(7 月)
sp11	钩虾属一种	sp27	梨形环棱螺	site11	临淮乡外(7 月)
sp12	中华米虾	sp28	铜锈环棱螺	site12	马陵翻水站(7 月)
sp13	日本沼虾	sp29	中国圆田螺	site13	沙集西闸(7 月)
sp14	多足摇蚊属一种	sp30	中华圆田螺	site14	张楼(7 月)
sp15	小摇蚊属一种			site15	蔺家坝(7 月)
sp16	黄色羽摇蚊			site16	李集桥(7 月)

①表里月份表示采样时间。

2.3 底栖动物生物学评价结果

计算样点的香农多样性指数、BMWP 指数和 BI 指数,其中监测 2 次的点位指数取值为 2 次指

数值的平均,并依据各自评价标准,评价水体生态质量状况。监测点位底栖动物香农多样性、BMWP 及 BI 指数见表 5。

表 5 样点底栖动物生物学评价结果

点位名称	香农多样性指数		BMWP		BI	
	指数值	指数评价	指数值	指数评价	指数值	指数评价
江都西闸	1.52	轻度污染	12	中度污染	9.24	重度污染
泰西	1.55	轻度污染	16	中度污染	5.96	轻度污染
五叉河口	1.88	轻度污染	16	中度污染	6.59	中等污染
老山乡外	2.53	良好	22	中度污染	6.49	轻度污染
临淮乡外	2.43	良好	25	中度污染	6.04	轻度污染
马陵翻水站	1.82	轻度污染	18.5	中度污染	5.91	轻度污染
沙集西闸	2.68	良好	16	中度污染	6.51	中等污染
张楼	2.74	良好	28	中度污染	7.57	重度污染
蔺家坝	2.06	良好	11	中度污染	8.96	重度污染
李集桥	2.23	良好	13	中度污染	8.70	重度污染
平均值	2.14		18		7.20	

由表 5 可见,研究区总体水生态质量较好。各点位香农多样性指数指征水体生态质量为轻度污染或良好;各点位香农多样性指数总体存在随引水线路深入,指数值波动增大的趋势,说明底栖动物群落结构以及指征的水生态环境质量状况总体趋好。BMWP 指数评价,所有点位水生态状况均为中度污染。BI 指数评价等级总体为轻度污染和

文献[15]表明,2012 年(调水前),徐州段 2 个监测点位分别监测到底栖动物 18 种和 19 种,优势种为克拉泊水丝蚓、霍甫水丝蚓、奥特开水丝蚓、齿吻沙蚕和苏氏尾鳃蚓,香农多样性指数值分别为 2.57 和 2.77。香农多样性指数值略高于本研究宿徐段和出水段;底栖动物物种数与本研究结果差别不大,优势种情况看,2012 年优势种全部为指示水体“重污染”的寡毛类,本研究发现河蚬、方格短沟蜷、环棱螺等软体类也是目前南水北调东线江苏段的优势种,综合来看,调水后底栖动物群落状况总体变好。

3 结论

(1) 对南水北调东线工程江苏段 2 次采样, 共监测到底栖动物 30 种, 其中软体动物门 14 种、寡毛纲 8 种、昆虫纲和甲壳纲各 3 种, 多毛纲和蛭纲各 1 种, 平均密度为 369 个/m²; 底栖动物优势种为霍甫水丝蚓 ($Y = 0.109$)、苏氏尾鳃蚓 ($Y = 0.074$)、克拉泊水丝蚓 ($Y = 0.062$)、梨形环棱螺 ($Y = 0.047$)、河蚬 ($Y = 0.041$)、铜锈环棱螺 ($Y = 0.034$)、方格短沟蜷 ($Y = 0.023$)。

(2) 空间分布特征上, 随着引水线路的深入, 底栖动物物种数、密度和香农多样性指数均呈现总体上升的趋势。影响底栖动物的主要环境因子为 TN、DO 和 pH 值。

(3) 研究区总体水生态质量较好。香农多样性指数评价结果表明随引水线路向北深入, 指数值逐渐增大, 水生态环境质量状况趋好; BMWP 指数指征水体总体生态质量为中度污染; BI 指数指征水生态为轻度污染和中度污染。

[参考文献]

- [1] 王备新. 大型底栖无脊椎动物水质生物评价研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2003.
- [2] 刘金吉. 塔山水库春季水生生物特征调查[J]. 环境监控与预警, 2014, 6(2): 45–48.
- [3] 陈志宁, 张红高, 周崑, 等. 太湖大型底栖动物群落分布和氮磷因子的相关分析[J]. 环境监控与预警, 2016, 8(1): 45–50.
- [4] RESH V H, NORRIS R H, BARBOUR M T. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates[J]. Australian Journal of Ecology, 1995, 20: 108–121.
- [5] 张景明, 张倩玲, 郑鲁民, 等. 南水北调东线水质考核断面达标风险预警监控研究——以高邮市北澄子河三垛西大桥断面为示范断面[J]. 环境监控与预警, 2011, 3(6): 1–11.
- [6] 国家环境保护总局, 水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [7] 李军, 季相星, 姜玲, 等. 海州湾潮间带大型底栖动物多样性研究[J]. 环境监控与预警, 2017, 9(4): 45–48.
- [8] 杨亮杰, 余鹏飞, 竺俊全, 等. 浙江横山水库浮游植物群落结构特征及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 569–576.
- [9] 于帅, 贾娜尔·阿汗, 张振兴, 等. 新疆伊犁河大型底栖动物群落及水质生物评价[J]. 应用与环境生物学报, 2017, 23(4): 728–733.
- [10] 秦春燕. 长江三角洲淡水底栖动物耐污值修订和 BI 指数水质评价分级研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [11] CLARKE K R, GORLEY R. Primer – E version 6.0[CP]. Natural Environmental Research Council, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 2005.
- [12] 张忠华, 胡刚, 祝介东, 等. 喀斯特森林土壤养分的空间异质性及其对树种分布的影响[J]. 植物生态学报, 2011, 35(10): 1038–1049.
- [13] 刘静. 东江流域底栖硅藻多样性及集合群落的研究[D]. 广州: 暨南大学, 2013.
- [14] 秦春燕, 张勇, 于海燕, 等. 不同类群水生昆虫群落间的一致性以及空间和环境因子的相对作用[J]. 生物多样性, 2013, 21(3): 326–333.
- [15] 杜娟. 南水北调东线徐州段控制断面水质生物学评价[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(17): 5573–5575.

栏目编辑 李文峻