

[文章编号] 1003-4684(2020)05-0107-06

骆湖河底栖动物分布及其环境因子

王可健, 刘 瑛, 李泽实, 刘佶鑫

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 河湖生态修复及藻类利用湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430068)

[摘要] 研究骆湖河底栖动物分布特征及其与环境因子之间的相关性, 以指导河流生态治理工作。结合优势度指数(Y), Shannon-Wiener 多样性指数和冗余分析(RDA)研究了骆湖河大型底栖动物群落结构、多样性及其环境因子之间的关系, 研究表明: 底栖动物群落的 Shannon-Wiener 多样性指数(H)从河流的上游至下游呈先增大后减小的趋势。RDA 结果表明: 栖息地多样性(H_D)、盐度(Sal)、硝氮($NO_3^- - N$)、海拔(Al)、电导率(Cond)、叶绿素(Chl)、河宽(W)是影响骆湖河底栖动物群落结构的主要环境因子, 说明阶梯-深潭结构对河流生物多样性具有一定的积极作用, 建议在中小河流生态治理中积极发挥阶梯-深潭结构的重要功能。

[关键词] 底栖动物; 环境因子; RDA 分析; 深潭-浅滩

[中图分类号] Q958.8 **[文献标识码]** A

底栖动物作为水生态系统的重要类群, 具有区域性强、迁移能力差、不同种类适应的环境条件各不相同的特点, 且对生态系统的物质循环和能量流动具有重要作用^[1], 底栖动物是河流中的鱼类的天然饵料, 同时也是了解河流生态系统结构、功能及健康状况的关键类群^[2]。底栖动物对水体污染的响应比较敏感, 河流物理生境及水质的改变对大型底栖动物群落结构有明显的影响^[3], 造成敏感的指示生物群落的减少和大型底栖动物多样性的减少^[4]。因而被广泛应用于生物监测、水质评价和生态系统健康评价^[5-7]。2014 年起, 广东省开始积极推进山区五市中小河流治理工作, 旨在改善河道淤积堵塞、水体环境恶化、水质差等问题。河源市骆湖河为中小河流规划治理河流, 对其底栖动物开展调查, 明确影响骆湖河大型底栖动物组成结构和分布的主要环境因子, 可为恢复和治理骆湖河等中小型河流提供科学依据。

洪、灌溉、饮水、生态、水文化。大型底栖动物群落调查和环境指标监测样点设置见图 1, 从上游至下游共布设 8 个采样点位(每个点位调查区域为 50 m, 基本情况见表 1), 每个点位取 3 个调查断面, 并分别在河道左岸、中部和右岸进行采样, 即每个点位获取 9 组底栖动物及环境因子样品。

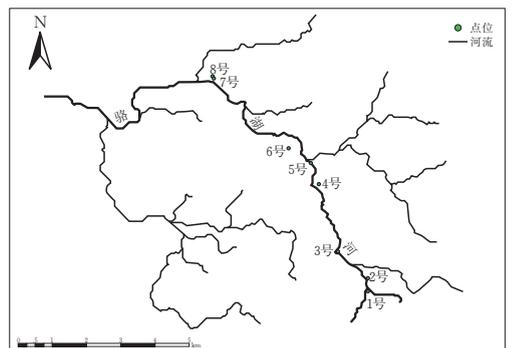


图 1 采样点的布置

表 1 样点的基本情况

| 样点 | 水生植物覆盖度/% | 河床底质 | 人为干涉 |
|-------|------------|----------|-------------------------|
| 1,2 | 0 | 细沙为主 | 自然河段 |
| 3 | 0 | 卵石、细沙 | 靠近居民区, 生态连锁砖护岸结构 |
| 4,5,6 | 30,35 和 40 | 砾石、卵石、细沙 | 有人工处理深潭-浅滩结构, 生态连锁砖护岸结构 |
| 7,8 | 10 和 0 | 砾石、卵石、细沙 | 生态连锁砖护岸结构 |

1 材料与方 法

1.1 河流概况与样点设置

骆湖河位于广东省东源县中部(24°0'~24°4' N, 114°53'~114°50' E), 流域面积 152 km², 河长 34 km, 其中骆湖镇段 20 km, 灯塔镇段 14 km, 坡降 0.0033。多年平均降水量 1660 mm, 多年平均径流深 1010 mm, 自然落差 695 m, 河道的主要功能包括行

[收稿日期] 2019-11-15

[基金项目] 水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室开放研究基金资助项目([2017]KJ08)

[第一作者] 王可健(1994-), 男, 湖北黄冈人, 湖北工业大学硕士研究生, 研究方向为生态水文学

[通信作者] 刘 瑛(1983-), 女, 山西长治人, 湖北工业大学副教授, 研究方向为生态水文学及河流生态修复

1.2 不同环境因子测量方法

1) 环境因子指标测定环境因子包括水质指标、物理指标、水文指标、栖息地多样性指标(表2)。EXO2水质多参数分析仪测定溶解氧、pH、叶绿素 a 、盐度、电导率、水深;流速使用便携式流速仪现场测定;每个样点采集水样,现场保温箱加冰保存,带回实验室内,测定水样总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、硝氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)的含量。总氮采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法,总磷采用钼锑抗分光光度法,硝态氮采用酚二磺酸光度法,氨氮采用纳氏试剂光度法测定。具体参照《水和废水监测分析方法》^[8]。环境因子测定结果见表3。

表2 不同环境因子

| 指标 | 环境因子 |
|----------|--|
| 水质指标 | 盐度(Sal)、氧(Do)、叶绿素(Chl)、pH、电导率(cond)、TP、TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ |
| 物理指标 | 河宽(W)、水深(H)、海拔(Al) |
| 水文指标 | 流速(V) |
| 栖息地多样性指标 | H_D |

2) 栖息地多样性指标的测量底质、流速和水深的条件对生物栖息地的环境都有影响,以 H_D 表示栖息地多样性指数。其定义为:

$$H_D = N_h N_v \sum_i \alpha$$

式中: N_h 和 N_v 分别为水深多样性和流速多样性参数, $\sum_i \alpha$ 为底质多样性参数^[9-10]。

栖息地多样性指标计算结果见表3。采样点4、5、6为深潭-浅滩结构,栖息地多样性最高。

3) 大型底栖动物的采集与鉴定 2018年6月在8个采样点采集大型底栖动物样本,以索伯网为采样工具($250 \mu\text{m}$, 0.09 m^2)采集3-5网,将索伯网放入河床后,用毛刷清洗石块,使附着在石块上的底栖动物流入网中,然后用铁铲搅动石块下面的底质,搅动深度约为 10 cm ^[11],采样总面积 0.5 m^2 。采集到的标本用40目铜筛筛取,并用75%的酒精保存带回实验室,参照大型底栖动物分类的相关文献和图谱^[12],在解剖镜下进行种类的鉴定和计数,样品尽量鉴定到属或者种。

1.3 数据处理与统计

优势物种利用优势度计算公式度量,优势度(Y)根据大型底栖动物出现的频率及该物种个体数量进行计算^[13-14],即

$$Y = (N_i / N) \times f_i$$

式中: N_i 为第*i*种的个体数; N 为所有种类个体数; f_i 为出现的频率; Y 指大于0.02的种类为优种。

Shannon - Wiener 指数:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \lg P_i$$

式中: $P_i = n_i / N$,其中 n_i 为第*i*种生物的个体数,个; N 为总个体数,个。

不同的环境因子数据以平均值±标准差($X \pm \text{SD}$)表示,采用单因素方差分析(one-way ANOVA),用LSD法进行多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著。(one-way ANOVA)和LSD分析采用SPSS23软件包。利用CANOCO4.5软件对底栖动物数据和环境数据进行冗余分析(RDA);为消除量纲的影响,对除pH值外的环境因子进行标准化转换^[15]。

表3 不同环境因子的指标值

| 环境指标 | 1号 | 2号 | 3号 | 4号 | 5号 | 6号 | 7号 | 8号 |
|--|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Sal | 0.03±0.00 ^a | 0.03±0.00 ^b | 0.04±0.01 ^c | 0.05±0.00 ^d | 0.06±0.00 ^e | 0.07±0.00 ^f | 0.08±0.00 ^g | 0.09±0.00 ^h |
| DO($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 7.75±0.08 ^a | 7.87±0.04 ^a | 7.63±0.03 ^{ac} | 8.84±0.45 | 9.70±0.33 | 7.52±0.12 ^c | 11.74±0.55 ^e | 7.61±0.04 |
| Chl($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) | 0.60±0.20 ^a | 0.45±0.12 ^{ab} | 0.61±0.1 ^{ab} | 1.16±0.33 | 1.60±0.39 ^e | 1.62±0.15 ^e | 2.86±0.46 | 3.53±0.74 |
| pH | 7.53±0.04 ^a | 7.52±0.04 ^a | 7.81±0.02 | 7.86±0.08 | 8.44±0.08 | 7.76±0.11 | 8.86±0.03 | 7.94±0.06 |
| Cond($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) | 58.47±1.55 ^a | 81.14±0.54 ^b | 101.25±1.54 ^c | 117.1±6.95 ^d | 132.62±0.80 ^e | 150.21±2.02 ^f | 175.48±1.74 ^g | 187.16±0.31 ^h |
| Al/m | 185 | 182 | 173 | 159 | 155 | 145 | 132 | 130 |
| V/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 0.82±0.04 | 0.64±0.03 ^b | 0.48±0.03 ^c | 0.29±0.01 | 0.60±0.03 ^b | 0.37±0.02 | 0.45±0.00 ^c | 0.52±0.04 ^c |
| TN/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 0.53±0.14 ^a | 0.56±0.03 ^{ab} | 0.65±0.13 ^{abc} | 0.66±0.29 ^{ac} | 0.32±0.10 ^{bc} | 1.15±0.09 ^f | 0.94±0.28 ^g | 1.00±0.28 ^{fg} |
| TP/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 0.09±0.07 ^a | 0.23±0.09 ^b | 0.23±0.07 ^{bc} | 0.16±0.06 ^{bcd} | 0.14±0.05 ^{bcd} | 0.15±0.05 ^{bcd} | 0.10±0.05 ^{acdefg} | 0.04±0.01 ^{ag} |
| $\text{NH}_4^+ - \text{N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 0.42±0.10 ^a | 0.75±0.23 ^b | 0.58±0.10 ^{abc} | 0.87±0.24 ^{bcd} | 0.66±0.18 ^{bce} | 0.53±0.19 ^{acef} | 0.46±0.26 ^{acf} | 0.75±0.39 ^{bcd} |
| $\text{NO}_3^- - \text{N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 0.03±0.01 ^a | 0.05±0.01 ^{ab} | 0.05±0.01 ^{abc} | 0.06±0.01 ^{abcd} | 0.06±0.01 ^{abcd} | 0.97±0.14 ^f | 0.61±0.38 | 0.80±0.28 ^f |
| H_D | 8 | 8 | 20 | 36 | 44 | 44 | 24 | 16 |
| W/m | 5.47±0.55 ^a | 3.42±0.22 ^b | 12.00±0.18 ^c | 10.00±0.13 ^d | 11.25±0.96 ^e | 12.75±0.96 ^f | 18.25±0.5 ^g | 19.50±1.29 ^h |
| H/cm | 42.10±7.38 ^a | 31.50±7.85 ^b | 30.10±5.34 ^c | 30.75±4.35 ^d | 47.00±8.12 ^e | 44.00±6.48 ^f | 26.70±3.40 ^g | 50.40±3.54 ^h |

同一行上表字母相同者表示不具有显著性

2 结果与分析

2.1 底栖动物的种类组成及优势度

共采集底栖动物 19 种,隶属于 3 门 6 纲 14 科(表 4)。进一步计算可知,节肢动物门种类数占 66.1%,环节动物门种类数占 26.8%,软体动物门种类数占 7.1%。以 $Y > 0.02$ 的种类为优势种可得:1

表 4 各采样河段大型底栖动物分布情况

| 样点编号 | 物种 |
|------|--|
| 1 号 | 细蜉 <i>Caenidae</i> (0.248)、钩虾 <i>gammarid</i> (0.586) |
| 2 号 | 细蜉 <i>Caenidae</i> (0.3)、箭蜓科 <i>Gomphidae</i> (0.075)、钩虾 <i>gammarid</i> (0.175)、潜水蝎蝽 <i>Naucoridae</i> (0.05) |
| 3 号 | 宽身舌蛭 <i>Glossiphonialata</i> (0.027)、细蜉 <i>Caenidae</i> (0.215)、等蜉 <i>Isonychiidae</i> (0.107)、钩虾 <i>gammarid</i> (0.125)、水丝蚓 <i>Limnodrilushoffmeisteri</i> (0.036) |
| 4 号 | 河蚬 <i>Corbicula fluminea</i> (0.022)、宽身舌蛭 <i>Glossiphonialata</i> (0.044)、箭蜓科 <i>Gomphidae</i> (0.022)、钩虾 <i>gammarid</i> (0.412)、蝎蝽科 <i>NepachinensisHoff</i> (0.007)、潜水蝎蝽 <i>Naucoridae</i> (0.015)、黑襴科 <i>Capniidae</i> (0.015)、叉襴科 <i>Nemouridae</i> (0.007) |
| 5 号 | 中华圆田螺 <i>Cipangopaludinacahayensis</i> (0.022)、河蚬 <i>Corbicula fluminea</i> (0.085)、心突摇蚊 <i>Cardiocladiussp.</i> (0.017)、粗腹摇蚊 <i>Pentaneurasp.</i> (0.022)、细蜉 <i>Caenidae.</i> (0.034)、等蜉 <i>Isonychiidae.</i> (0.045)、纤春蜓 <i>Leptogomphussp.</i> (0.011)、箭蜓科 <i>Gomphidae</i> (0.017)、钩虾 <i>gammarid</i> (0.24) |
| 6 号 | 铜锈环棱螺 <i>Bellamyacruginosa</i> (0.08)、中华圆田螺 <i>Cipangopaludinacahayensis</i> (0.08)、绘环棱螺 <i>Bellamyalimmophila</i> (0.026)、河蚬 <i>Corbicula fluminea</i> (0.02)、大蚊科 <i>Tipulidae</i> (0.006)、钩虾 <i>gammarid</i> (0.185)、宽身舌蛭 <i>Glossiphonialata</i> (0.02) |
| 7 号 | 铜锈环棱螺 <i>Bellamyacruginosa</i> (0.116)、直突摇蚊 <i>Orthocladiussp</i> (0.058)、心突摇蚊 <i>Cardiocladiussp.</i> (0.02)、细蜉 <i>Caenidae.</i> (0.116)、等蜉 <i>Isonychiidae.</i> (0.116) |
| 8 号 | 铜锈环棱螺 <i>Bellamyacruginosa</i> (0.06)、绘环棱螺 <i>Bellamyalimmophila</i> (0.026)、直突摇蚊 <i>Orthocladiussp.</i> (0.039)、粗腹摇蚊 <i>Pentaneurasp.</i> (0.066)、细蜉 <i>Caenidae.</i> (0.079)、等蜉 <i>Isonychiidae.</i> (0.053)、钩虾 <i>gammarid</i> (0.138) |

括号内的物种优势度 Y

2.2 底栖生物空间分布及多样性

所采集底栖动物分为腹足纲(*Gastropoda*)、瓣鳃纲(*Lamellibranchia*)、昆虫纲(*Insecta*)、甲壳纲(*Crustacea*)、蛭纲(*Clitellata*)、寡毛纲(*Oligochaeta*)六类。采样结果表明,在同一条河流上大型底栖动物群落结构在空间上存在一定的差异(图 2)。

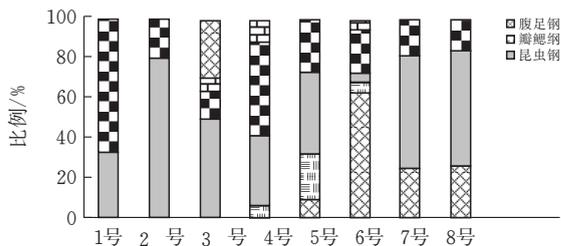


图 2 骆湖河大型底栖动物群落空间分布

整体来看,从 1 号样点到 8 号样点都存在昆虫纲和甲壳纲物种,数量占比较大。仅在 3 号样点发现寡毛纲。蛭纲、瓣鳃纲主要在河流中游出现,数量占比较小。腹足纲主要在河流下游分布,在 6 号样点数量占比最大。从图 2 也可以看出,整条河流从上游至中游至下游物种的种类数呈现先增大后减小的趋势。

—3 号样点最优势种以清洁类群蜉蝣目与钩虾为主,4、5、6、8 号样点的优势种均为钩虾,7 号样点的优势种则为田螺和蜉蝣目为主。其中,3 号样点出现对污染耐受高的水丝蚓,5 号样点至 8 号样点出现耐污种摇蚊幼虫。表 3 为各点位的水质情况,可以看出各水质指标从上游至下游有较显著的差异。

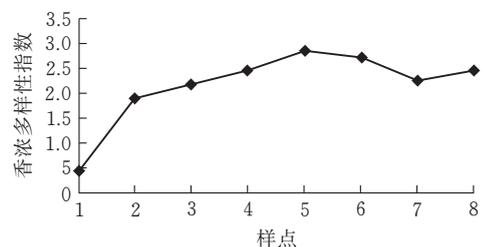


图 3 骆湖河底栖动物多样性指数空间变化

1 号样点到 8 号样点的香农-威尔逊指数分别为 0.43、1.92、2.18、2.44、2.86、2.70、2.26、2.49(图 3)。可以看出,从上游 1 号点一直到下游的 5 号点,物种的多样性指数持续增加,6 号样点至 8 号样点多样性指数略有下降。

3 冗余分析结果

在进行 RDA 分析之前,根据需要的环境因子、栖息地数据进行标准化处理,使得它们成为共同量纲的数值。接着需要对物种数据进行去趋势分析(DCA)以确定底栖动物群落属于单峰型或是线型分布从而确定是使用 RDA 分析还是选用 CCA 分析^[16],DCA 数据表明最长的轴长为 2.212,小于 3,

故选用 RDA 更加合理。

表 5 环境因子非参数检验结果

| 环境变量 | F | P | 轴 1 | 轴 2 |
|-------|-------|-------|---------|---------|
| H_D | 2.257 | 0.012 | 0.8932 | 0.1186 |
| 盐度 | 1.985 | 0.036 | 0.2969 | 0.8992 |
| 硝氮 | 1.935 | 0.04 | 0.2573 | 0.8844 |
| 海拔 | 1.912 | 0.034 | -0.3217 | -0.8691 |
| 电导率 | 1.849 | 0.05 | 0.2666 | 0.8757 |
| 叶绿素 | 1.651 | 0.049 | 0.1104 | 0.8771 |
| 河宽 | 1.870 | 0.038 | 0.0772 | 0.9132 |

为排除贡献较小的环境因子,对所有环境因子进行蒙特卡洛(MonteCarlo)检验,以 $P < 0.05$ 为显著性标准^[17],其中与第一轴相关性较大的环境因子为栖息地多样性 H_D 。位于排序图右侧,相关系数为 0.8932;与第二轴相关性较大的环境因子为盐度(Sal)、硝氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、海拔(Al)、电导率(Cond)、叶绿素(Chl)、河宽(W)。海拔(Al)位于坐标轴下方,呈负相关,相关系数为 -0.8691。盐度(Sal)、硝氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、电导率(Cond)、叶绿素(Chl)、河宽(W)。位于坐标轴以上,呈正相关,相关系数分别为 0.8992、0.8844、0.8757、0.8771、0.9132(表 5)。

底栖动物群落与筛选后环境因子冗余分析排序结果见表 6。由表可知底栖动物与栖息地环境因子之间二维排序的基本信息,第一主轴的特征值为 0.312,第二主轴的特征值为 0.261,其余主轴的特征值越来越小,前两个主轴的物种-环境关系的累积百分率达到了 57.3,物种-环境的相关性系数分别为 0.995 和 0.995,说明该排序图能很好的反映大型底栖动物与环境因子之间的关系。

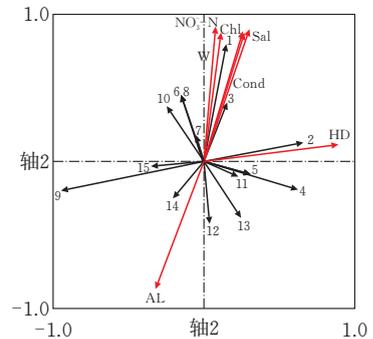
表 6 冗余分析(RDA)排序结果

| 轴 | 特征值 | 物种-环境 | | |
|---|-------|-------|----------|---------------|
| | | 相关性 | 物种累计变化/% | 物种-环境关系累积变化/% |
| 1 | 0.312 | 0.995 | 31.2 | 33.9 |
| 2 | 0.261 | 0.995 | 57.3 | 62.3 |
| 3 | 0.132 | 0.988 | 70.5 | 76.6 |
| 4 | 0.090 | 0.995 | 79.5 | 96.4 |

冗余分析结果表明,栖息地多样性(H_D)、盐度(Sal)、硝氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、海拔(Al)、电导率(Cond)、叶绿素(Chl)、河宽(W)对骆湖河群落变异解释量相对较高。其中盐度(Sal)、电导率(Cond)和叶绿素(Chl)的浓度大小可以大致反映出水体的水质情况,硝氮浓度的大小能够说明水体中氨氮转化的程度。栖息地多样性则能反映样点栖息地环境的复杂性。

从图 4 中可知铜锈环螺(1)、中华圆田螺(2)、绘环螺(3)、摇蚊幼虫(6、7、8)等底栖生物与河宽(W)、盐度(Sal)、电导率(Cond)、叶绿素(Chl)和硝氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)这 5 个环境因子呈正相关。其中摇蚊

幼虫为典型的耐污种,这个结果刚好与 RDA 结果保持一致。而河蚬(4)、宽深舌蛭(5)、细蚌(9)、纤春蛭(11)、箭蛭科(12)、钩虾(13)、潜水蝎蟥(14)等与上述 5 个环境因子呈负相关。河蚬、蜻蜓目和蚌目底栖动物都属于敏感类群,也与 RDA 结果一致。



1—铜锈环螺;2—中华圆田螺;3—绘环螺;4—河蚬;
5—宽深舌蛭;6—直突摇蚊;7—心突摇蚊;8—粗腹摇蚊;
9—细蚌;10—等蚌;11—纤春蛭;12—箭蛭科;13—钩虾;
14—潜水蝎蟥;15—颤蚓科

图 4 大型底栖动物与环境因子的 RDA 排序

图 5 反映了 8 个样点与环境因子之间的相关性,从图中可以看出,样点 5、6、7、8 与盐度(Sal)、电导率(Cond)、硝氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)和叶绿素(Chl)呈正相关,水质情况较差。样点 1、2、3、4 与上述 4 个环境因子呈负相关,水质情况较好。

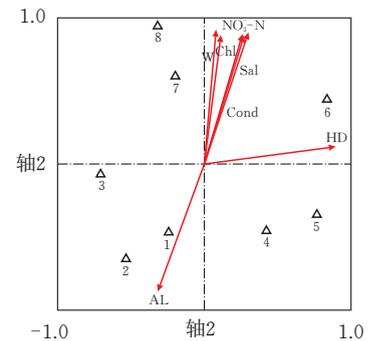


图 5 样点与环境因子的 RDA 排序

4 讨论

4.1 骆湖河不同河段底栖动物群落特征

大型底栖动物群落结构在河流空间上存在差异,主要受水体理化性质、栖息地环境等因子的影响^[18-20]。骆湖河大型底栖动物以蚌目、中腹足目、双翅目、蜻蜓目、半翅目、十足目、真瓣鳃目为主,不同采样点的优势种群不一样。清洁种类的蚌目是靠近源头的 1 号、2 号、3 号样点的优势类群,而十足目钩虾是基本为后 5 个样点的最优势类群。摇蚊类耐污群从靠近下游的 5 号样点开始出现,许多研究已经表明蚌目类群更易出现在河流源头^[21-22],且对水质质量要求较高,对水质变化敏感^[23],在水流湍急,溶解氧充足的水环境条件下更适于生长繁

殖^[24];而摇蚊幼虫类属于典型的耐污种^[25],沿着河流方向,污染物质汇入的增加,耐污性高的物种随着河流方向逐渐出现。大量研究表明河流污染物的富集,会造成河流污染的加重,进而影响河流中大型底栖动物的群落结构,沿着河流方向,清洁物种的比例会逐渐降低,而耐污种的比例逐渐升高^[26]。样点与环境因子的 RDA 分析结果也表明了从上游至下游,河流的水质逐渐变差,这与底栖动物分布情况结果一致。

4.2 环境因子对大型底栖动物的影响

大型底栖动物与环境因子的 RDA 排序结果表明,骆湖河的底栖动物种类与环境因子的相关性均在 90% 以上,这说明底栖动物在骆湖河的分布很大程度上是受到环境因子的影响,与其自身的因素关系不是很大。由 RDA 排序图得田摇蚊科与盐度(Sal)、电导率(Cond)、叶绿素(Chl)和硝氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)这 4 个环境因子呈正相关,这 4 种环境因子基本可以反映水质情况,且从 TN、TP 的数值,利用营养状态指数计算公式得出,整条河流正处于富营养化的阶段,在富营养化水体中,摇蚊幼虫被认为是富营养化的重要指示物种,本研究中,摇蚊幼虫的密度是伴随着富营养化元素指标的增加而增加。河蚬、蜻蜓目和蜉蝣目底栖动物都属于敏感类群^[27],会随着污染的增加而逐渐减少。这与本研究中这几类物种上述 4 种环境因子呈负相关的结果一致。颤蚓科仅在 3 号样点出现,研究表明,颤蚓科是典型的耐污种,适宜生存在富营养化的水体中。但在水化数值中我们可以发现,3 号样点的富营养化很严重,可能是 3 号样点靠近居民区,且存在多个排污口,局部水体富营养化较为严重。每个样点基本都存在钩虾,钩虾对水环境要求较高,可能是因为该河流整体环境质量较好,但从上游至下游还是存在一定的差异性。

4.3 河流生态治理对大型底栖动物的影响

骆湖河 3 号至 8 号样点为人为干扰河段,其中 4 号,5 号和 6 号样点为人为构造阶梯-深潭结构样点,水质状况较差,水生植物覆盖度高,栖息地多样性指数(H_D)高。研究发现,这 3 个样点的物种多样性比其他样点高,这可能与阶梯-深潭结构有关。此结构为底栖动物提供更适宜的栖息地环境。王兆印的研究也证实了这一观点,文中指出阶梯-深潭结构可为底栖动物提供较稳固且多样化的栖息环境,适合不同类型底栖动物长期生存,从水化学角度来说,这种结构增大了水体与空气之间的接触面积,增加水体含氧量,进而促进水中有机物的分解,能对富营养化河流的治理起到辅助作用。同时阶梯-深

潭结构也可为水生植物的生长提供适宜的环境,这 3 个样点的植物覆盖度均达到 30% 以上。骆湖河 7、8 号样点为生态连锁保护岸结构,水生植物较少,生物多样性较低。比较这 8 个样点可以得出阶梯-深潭结构确实对于恢复生态环境有着积极的作用。

5 结束语

从底栖生物类型和水质情况来看,整条河流正处于富营养化的阶段。骆湖河中游段物种多样性指数明显高于上下游,栖息地多样性(H_D)、盐度(Sal)、硝氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、海拔(Al)、电导率(Cond)、叶绿素(Chl)、河宽(W)是影响骆湖河底栖动物群落结构的主要环境因子,环境变量可以较好的反映主要类群变化。同时,人为构建深潭-浅滩结构对河流生物多样性和栖息地环境有一定的恢复作用。建议在中小河流生态治理中积极发挥阶梯-深潭结构的重要功能。

[参 考 文 献]

- [1] 张琦,王方鸣,罗岳平,等.湘江流域大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J].水生生态学杂志,2018,39(2):48-57.
- [2] 舒凤月,张承德,张超,等.南四湖大型底栖动物群落结构及水质生物学评价[J].生态学杂志,2014,33(1):184-189.
- [3] 李艳利,李艳粉,徐宗学.影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析[J].环境科学,2015(1):94-106.
- [4] Pierrri-Daunt A B, Tanaka M O. Assessing habitat fragmentation on marine epifaunal macroinvertebrate communities: an experimental approach[J]. Landscape Ecology,2014,29(1):17-28.
- [5] 王伟莉,闫振广,何丽,等.五种底栖动物对优控污染物的敏感性评价[J].中国环境科学,2013,33(10):1856-1862.
- [6] 王丽卿,吴亮,张瑞雷,等.溲湖底栖动物群落的时空变化及水质生物学评价[J].生态学杂志,2012(8):1990-1996.
- [7] 冯立辉,王丽卿,熊春晖,等.黄浦江大型底栖动物群落结构特征及其与环境因子的关系[J].生态与农村环境学报,2017,33(9):806-815.
- [8] 国家环保局本书编委会.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,1989.
- [9] 余国安,王兆印,张康,等.人工阶梯-深潭改善下切河流水生栖息地及生态的作用[J].水利学报,2008,39(2):162-167.
- [10] 王兆印,程东升,何易平,等.西南山区河流阶梯-深潭系统的生态学作用[J].地球科学进展,2006,21(4):

- 409-417.
- [11] 蒋万祥,蔡庆华,唐涛,等.香溪河水系大型底栖动物功能摄食类群生态学[J].生态学报,2009,29(10):5207-5218.
- [12] 何雪宝.西藏和四条大型河流水栖寡毛类区系研究[D].北京:中国科学院研究生院,2011.
- [13] 刘忱,黄燕,刘瑜,等.东苕溪夏季浮游动物群落结构及水环境的初步研究[J].杭州师范大学学报(自然科学版),2015(5):498-506.
- [14] 林青,由文辉,徐凤洁,等.滴水湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J].生态学报,2014,34(23):6918-6929.
- [15] 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(12):2768-2775
- [16] 吴东浩,张勇,于海燕,等.影响浙江西苕溪底栖动物分布的关键环境变量指示种的筛选[J].湖泊科学,2010,22(5):693-699.
- [17] Braak C J F T, Smilauer P. CANOCO reference manual and canodraw for windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4)[J]. Ithaca Ny Usa Www, 1998(4):69-77.
- [18] 张仪,张淑琴,罗薇.恩施清江枯水期水质现状与污染防治对策分析[J].城市环境与城市生态,2015,28(1):42-46.
- [19] 张海萍,张宇航,马凯,等.河流微生物异质性与大型底栖动物空间分布的关系[J].应用生态学报,2017,28(9):3023-3031.
- [20] 简东,黄道明,常秀岭,等.拉萨河中下游底栖动物群落结构特征分析[J].水生态学杂志,2015,36(1):40-46.
- [21] 许晨.长白山源头溪流大型底栖动物群落特征初步研究[D].长春:东北师范大学,2017.
- [22] 汪兴中,蔡庆华,李凤清,等.南水北调中线水源区溪流大型底栖动物群落结构的时空动态[J].应用与环境生物学报,2009,15(6):803-807.
- [23] 段学花,王兆印,徐梦珍.底栖动物与河流生态评价[M].北京:清华大学出版社,2010.
- [24] 阚春梅,于洪贤,亚布力山涧溪流秋季水生昆虫群落特征及其与环境因子的关系[J].东北林业大学学报,2014(1):143-147.
- [25] 朱苏葛,刘凌,罗娟,等.里下河地区典型湖泊大型底栖动物与环境因子的相关性分析[J].水资源保护,2016,032(3):99-104,156.
- [26] 王硕,林育青,陈求稳,等.漓江大型底栖动物群落时空分布及水质生物评价[J].环境科学学报,2018,38(3):1207-1213.
- [27] 迟国梁,赵颖,官昭瑛,等.广东横石水河大型底栖动物群落与环境因子的关系[J].生态学报,2009,30(11):2836-2845.

Study on Distribution Characteristics and Environmental Impact Factors of Macroinvertebrates in Luohu River

WANG Kejian, LIU Ying, LI Zeshi, LIU Jixin

(Hubei Key Laboratory of Ecological Restoration and Algal Utilization, School of Civil Engin., Architecture and Environment, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068)

Abstract: This paper aims to study the distribution characteristics of benthic animals in Luohu Lake and their correlation with environmental factors, and to guide the ecological management of the river. Combined with the dominance index (Y), Shannon Wiener diversity index and redundancy analysis (RDA), the relationship between the community structure, diversity and environmental factors of the macrozoobenthos in the Luohu River was studied. The results show that: benthic community and the Shannon Wiener diversity index (H) of the river increased first and then decreased from the upstream to the downstream of the river. RDA results show that Habitat diversity (H_D), salinity (Sal), nitrate nitrogen (NO_3-N), altitude (Al), conductivity (Cond), chlorophyll (Chl), river width (W) were the main environmental factors affecting the community structure of benthic fauna in Luohu River. It shows that the ladder deep pool structure had a certain positive effect on river biodiversity. It is suggested that the important function of the ladder deep pool structure is to be actively played in the ecological management of small and medium rivers.

Keywords: benthos; environmental factors; RDA analysis; riffle-pool

[责任编辑:裴琴]