

西藏尼洋河水生生物群落时空动态及与环境因子关系:3. 大型底栖动物*

刘海平^{1,2,3}, 叶少文², 杨雪峰⁴, 张良松⁵, 钟国辉¹, 何勇平⁶, 巴桑¹, 李钟杰^{2**}

(1: 西藏大学农牧学院, 林芝 860000)

(2: 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

(3: 中国科学院大学, 北京 100049)

(4: 锡林浩特市第六中学, 锡林浩特 026000)

(5: 福建省水产技术推广总站, 福州 350003)

(6: 西藏自治区林芝地区农牧局, 林芝 860000)

摘要: 于2008—2009年按照季节调查了西藏地区尼洋河大型底栖动物群落的组成和丰度,并运用多元统计方法定量分析了大型底栖动物的空间和季节变化特征及其与主要环境因子之间的关系。结果显示,石蚕幼虫、萝卜螺以及摇蚊幼虫是尼洋河主要的大型底栖动物,另外,随着海拔的升高,尼洋河大型底栖动物总丰度呈现降低趋势;Duncan检验法显示,物种总丰度在各采样点之间均不存在显著性差异;PCA方法显示,对于采样点,大型底栖动物总丰度最大值和最小值分别出现在采样点IV和采样点II,对于季节,大型底栖动物总丰度最大值和最小值分别出现在秋季和冬季;CCA方法显示,可分别从尼洋河中上游和中下游两个河段来概括尼洋河大型底栖动物与环境因子之间的关系;CART模型显示,从11项环境因子筛选了4项环境因子用以解释它们与大型底栖动物总丰度之间的相互关系,这4项环境因子包括矿化度、总磷、海拔和季节,建议加强对大型底栖动物及这些环境因子的关注,保障尼洋河水域生态环境的可持续发展。

关键词: 西藏;尼洋河;大型底栖动物;时空动态;主成分分析;典范对应分析;分类回归树

Spatio-temporal dynamics of aquatic organism community and their relationships to environment in Niyang River, Tibet: 3. macrozoobenthos

LIU Haiping^{1,2,3}, YE Shaowen², YANG Xuefeng⁴, ZHANG Liangsong⁵, ZHONG Guohui¹, HE Yongping⁶, BA Sang¹ & LI Zhongjie²

(1: *Agricultural and Animal Husbandry College of Tibet University, Linzhi 860000, P. R. China*)

(2: *State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P. R. China*)

(3: *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China*)

(4: *NO. 6 Middle School Xilinhot, Xilinhot 026000, P. R. China*)

(5: *Fujian Marine Products Technical Promotion Station, Fuzhou 350003, P. R. China*)

(6: *Tibet Autonomous Region Linzhi Area Agricultural and Animal Husbandry Bureau, Linzhi 860000, P. R. China*)

Abstract: We have investigated the constitution and abundance of macrozoobenthos in Niyang River, the branch of the Yarlung Zangbo River, Tibet, based on season from 2008 to 2009, and taken quantitative analysis to study spatio-temporal characteristics of phytoplankton and their corresponding to environment using multivariate statistics method. The results are as follows: Firstly, the main macrozoobenthos in Niyang River are phryganea larvae, *Radix* sp., chironomidae larvae. Secondly, based on the method of Duncan test method, there is no significant difference among four sampling sites and seasons as for total abundance, in addition,

* 西藏科技厅地区基金重点项目资助。2012-12-27 收稿;2013-04-28 收修改稿。刘海平(1981~),男,博士研究生,讲师;E-mail: luihappy@163.com.

** 通信作者;E-mail: zhongjie@ihb.ac.cn.

total abundance of the macrozoobenthos in Niyang River is descending with the elevation ascending. Thirdly, based on the PCA method, as for the sampling sites, the maximum and the minimum total abundance for the macrozoobenthos appear in sampling site IV and sampling site II respectively, as for the seasons, the maximum and the minimum total abundance for the macrozoobenthos appear in the autumn and the winter respectively. Fourthly, based on the CCA method, the relationship between the environmental factors and the macrozoobenthos could be described as two reaches separately, which are the middle-upper reaches and the middle-lower reaches. Last but not least, the paper chooses four factors among eleven environmental factors to explain their relationship with total abundance of macrozoobenthos, the four factors are total dissolved solids, total phosphorus, elevation, and season. The paper also suggests paying close attention to macrozoobenthos and the environment factors mentioned above owing to their important indication function, in order to warrantee the sustainable development of Niyang River aquatorium ecology.

Keywords: Tibet; Niyang River; macrozoobenthos; spatio-temporal dynamic; PCA; CCA; CART

底栖动物在水域生态系统中扮演着重要的角色,可用于环境监测^[1],如可作为环境污染的指示种^[2],判别水体污染类型^[3]、评价水质^[4],底栖软体动物对富营养化水体也具有明显的净化作用^[5],对河口沉积物具有扰动作用^[6],通过对底栖动物功能摄食类群空间动态的分析可以得出各监测点的生态特征^[7].另外,底栖动物还可以作为水电站干扰^[8]和生物入侵^[9]的监测因子.由于底栖动物可以作为鱼类的饵料^[10],通过食物链产生上行效应^[11-12]和下行效应^[12],同时由于部分底栖动物对落叶具有分解作用^[13],在能量流动和物质循环中起着承上启下的作用^[14].鉴于底栖动物在水域生态系统中的重要性,开展尼洋河大型底栖动物群落结构特征及其与环境因子的关系的工作则显得尤为重要,以此来积极推动尼洋河水域生态系统健康发展,为建立尼洋河水域生态安全屏障提供理论依据.

1 实验设计和数据处理

关于研究区域概况、采样点设置、采样时间、环境因子的分析、数据统计和分析等内容参考同系列文章^[15-16].

大型底栖动物的采集:每个采样点选择3个样方,每个样方大小为25 cm × 25 cm × 20 cm,底质为泥沙的河道用改良型彼得森采泥器采集,底质为卵石的河道,拾取样方里的石块,冲刷石块,将冲刷物收集到事先准备好的塑料桶中,用40目过滤网淘洗采集物(泥沙或冲刷物),获得大型底栖动物样品,用5%甲醛和75%乙醇保存,保存液体体积为动物身体体积的10倍以上,带回实验室分析.

使用解剖镜观察大型底栖动物,鉴定到科或属,计数,最终结果折算为单位体积的数量.使用密度百分比和总丰度(total abundance, TA)来分析尼洋河大型底栖动物的群落结构.

2 结果与分析

2.1 尼洋河大型底栖动物群落结构时空变化特征

为了判断尼洋河各个季度各个采样点大型底栖动物的优势物种,本文比较分析大型底栖动物的密度百分比,如表1所示.对于采样点I,春季以蜉蝣为主,密度百分比超过了60%,夏季以纹石蛾幼虫为主,密度百分比超过了40%,秋季以扁蜉为主,密度百分比超过了80%,冬季仅为扁蜉一种大型底栖动物;对于采样点II,春季以摇蚊幼虫为主,密度百分比接近40%,夏季以短尾石蝇为主,密度百分比超过了60%,秋季以扁蜉为主,密度百分比接近60%,冬季未采集到大型底栖动物;对于采样点III,春季以萝卜螺为主,密度百分比接近60%,夏季则蜉蝣、短尾石蝇、摇蚊幼虫、萝卜螺各占1/4,秋季仅为摇蚊幼虫一种大型底栖动物,冬季以石蚕幼虫为主,密度百分比接近40%;对于采样点IV,春季以萝卜螺为主,密度百分比超过50%,夏、秋、冬季均以石蚕幼虫为主,密度百分比分别超过了80%、40%和70%.

尼洋河出现率较高的前4种大型底栖动物分别是石蚕幼虫、萝卜螺、扁蜉、摇蚊幼虫,总丰度则与出现率在物种以及排序上略有不同,前4种分别是石蚕幼虫、萝卜螺、纹石蛾幼虫、摇蚊幼虫,比较尼洋河大型底栖动物出现率和总丰度,发现石蚕幼虫、萝卜螺、摇蚊幼虫不管是在出现率或者在总丰度方面,均排在较前的位置,可以认为这3类大型底栖动物是尼洋河主要的底栖动物(图1).

表 1 尼洋河各个季节各个采样点大型底栖动物密度百分比(%)*

Tab. 1 Percentage of the macrozoobenthos density in Niyang River for seasons and sampling sites

采样点-季节	Eph	Hep	Per	Uni	Nem	Chi	Hyd	Phr	Wat	Pis	Rad	Hip	Gam	Unz
采样点 I-春季	60.7	0	0	3.6	14.3	7.1	3.6	3.6	0	0	7.1	0	0	0
采样点 I-夏季	21.4	7.1	0	0	0	28.6	42.9	0	0	0	0	0	0	0
采样点 I-秋季	0	82.4	2.9	0	0	0	0	11.8	0	0	0	0	0	2.9
采样点 I-冬季	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
采样点 II-春季	12.5	0	25.0	0	0	37.5	0	12.5	0	0	0	0	0	12.5
采样点 II-夏季	0	0	40	0	60.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
采样点 II-秋季	0	57.1	0	0	0	0	0	42.9	0	0	0	0	0	0
采样点 II-冬季	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
采样点 III-春季	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8	0	57.7	3.8	7.7	26.9
采样点 III-夏季	25.0	0	0	0	25.0	25.0	0	0	0	0	25.0	0	0	0
采样点 III-秋季	0	0	0	0	0	100.0	0	0	0	0	0	0	0	0
采样点 III-冬季	0	0	0	0	0	0	0	36.4	27.3	18.2	18.2	0	0	0
采样点 IV-春季	0	0	0	0	0	0	0	9.5	19.0	0	57.1	4.8	0	9.5
采样点 IV-夏季	0	0	0	0	0	0	0	83.3	0	7.6	9.1	0	0	0
采样点 IV-秋季	0	2.8	0	0	0	16.7	22.2	43.1	6.9	0	0	2.8	0	5.6
采样点 IV-冬季	0	14.3	0	0	0	0	0	71.4	0	0	14.3	0	0	0

* Eph: 蜉蝣; Hep: 扁蜉; Per: 石蝇; Uni: 未知水生昆虫; Nem: 短尾石蝇; Chi: 摇蚊幼虫; Hyd: 纹石蛾幼虫; Phr: 石蚕幼虫; Wat: 水蚯蚓; Pis: 尺蠖鱼蛭; Rad: 萝卜螺; Hip: 圆扁螺属; Gam: 沟虾属; Unz: 未知水生动物。

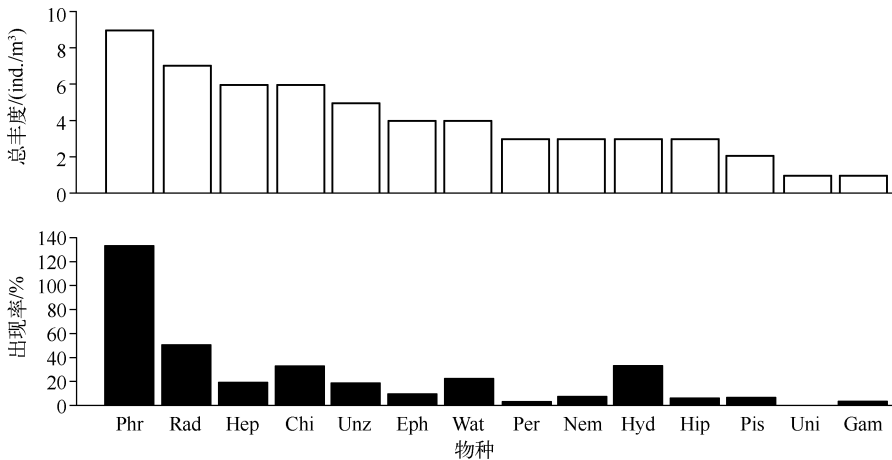


图 1 尼洋河各大型底栖动物总丰度和出现率

Fig. 1 Total abundance and occurrence of macrozoobenthos in Niyang River

对尼洋河大型底栖动物总丰度差异性进行了分析,结果表明 4 个采样点之间以及季节之间在 $P = 0.05$ 水平上均不存在显著差异(图 2). 其中,采样点 I、II、III 大型底栖动物总丰度在 10 ind./m^3 左右,而采样点 IV 大型底栖动物总丰度在 60 ind./m^3 左右,平均值最小值出现在采样点 II; 4 个季节中,总丰度最大值出现在秋季,在 40 ind./m^3 以上,接下来依次为夏、春和冬季,总丰度最小值出现在冬季,在 10 ind./m^3 以下。

2.2 基于 PCA 分析尼洋河大型底栖动物时空特征

用 PCA 方法分析了尼洋河大型底栖动物时空分布特征,结果表明 14 种大型底栖动物除第二象限内没有分布之外,其他三个象限均有分布(图 3). 第一象限主要是沟虾属、尺蠖鱼蛭、石蚕幼虫、水蚯蚓、萝卜螺 5 种大型底栖动物,可解释为尼洋河中下游(采样点 III 和采样点 IV)的主要大型底栖动物,圆扁螺属、纹石蛾幼

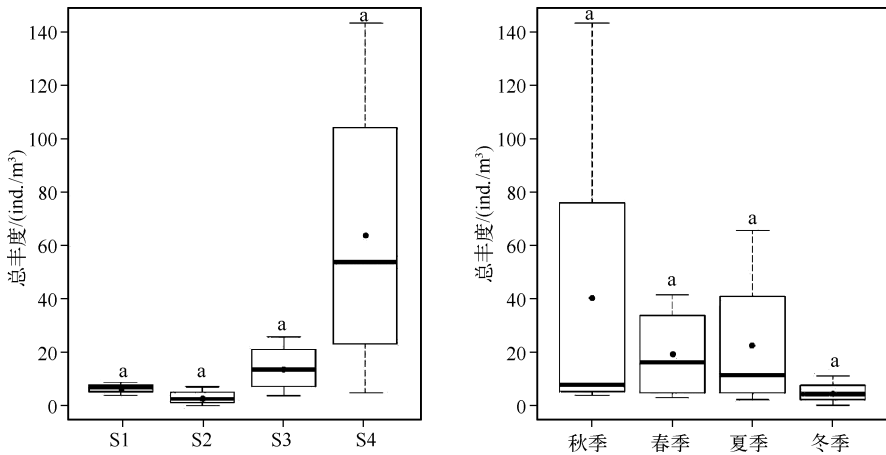


图2 尼洋河大型底栖动物总丰度时空特征
(用 Duncan 法检验各采样点差异性,不同字母表示差异达显著水平($P < 0.05$))

Fig.2 Spatio-temporal characteristics for total abundance of macrozoobenthos in Niyang River

虫、扁蜉、摇蚊幼虫 4 种大型底栖动物,可解释为尼洋河下游(采样点Ⅳ)主要大型底栖动物,其他大型底栖动物则解释为尼洋河中上游(采样点Ⅰ和采样点Ⅱ)的主要大型底栖动物。

同时,采样点方面大型底栖动物分布情况可大体概括为:尼洋河下游与其他 3 个采样点有较大分离,囊括了第一象限和第四象限的大部分大型底栖动物,可认为该采样点大型底栖动物丰富度较多,采样点Ⅱ所囊括的大型底栖动物范围最小,可认为该采样点大型底栖动物丰富度较少。季节方面大型底栖动物分布情况可大体概括为:秋季较其他 3 个季节有较大分离,同时囊括的大型底栖动物范围较小;囊括大型底栖动物范围最大的是春季,其次是夏季,最小的是冬季,可认为大型底栖动物总丰度最高值出现在秋季,最低值出现在冬季。

2.3 尼洋河大型底栖动物与环境因子关系探析

用 CCA 方法对尼洋河大型底栖动物与环境因子之间的关系进行分析,其中第一、四象限和第二、三象限分别主要解释的是尼洋河中下游(样点 9、12~16)和尼洋河中上游(样点 1~8)的大型底栖动物与环境因子之间的相互关系(图 4)。尼洋河中下游主要的大型底栖动物包括沟虾属、萝卜螺、圆扁螺属、水蚯蚓、尺蠖鱼蛭、石蚕幼虫,这些大型底栖动物主要与水体的总磷、矿化度、底层溶解氧以及总氮等理化因子关联性较大;尼洋河中上游主要的大型底栖动物包括扁蜉、纹石蛾幼虫、摇蚊幼虫、石蝇、蜉蝣、短尾石蝇,这些大型底栖动物主要与水体的 pH 值、氨氮、底层水温、硬度、碱度等理化因子关联性较大。

用 CART 模型分析了尼洋河大型底栖动物与环境因子之间的关系(图 5),结果表明当矿化度 $< 79.41 \text{ mg/L}$ 时,大型底栖动物总丰度则等于 7 ind./m^3 ,当矿化度 $\geq 79.41 \text{ mg/L}$ 且总磷 $< 0.035 \text{ mg/L}$ 时,大型底栖动物总丰度则等于 4 ind./m^3 ;当矿化度 $\geq 79.41 \text{ mg/L}$ 且总磷 $\geq 0.035 \text{ mg/L}$ 且海拔 $\geq 3086 \text{ m}$ 时,大型底栖动物总丰度则等于 0 ind./m^3 ;在秋、冬季,在海拔 $< 3086 \text{ m}$ 同时矿化度 $\geq 79.41 \text{ mg/L}$ 且总磷 $\geq 0.035 \text{ mg/L}$ 时,大型底栖动物总丰度为 4.67 ind./m^3 ;在春、夏季,在海拔 $< 3086 \text{ m}$ 同时矿化度 $\geq 79.41 \text{ mg/L}$ 且总磷 $\geq 0.035 \text{ mg/L}$ 时,大型底栖动物总丰度则等于 16 ind./m^3 。

3 讨论

由于环境因子的异质性,使底栖动物产生了生态位的分化^[17],因此本文期待通过判别环境因子与大型底栖动物之间的相关关系,寻找影响尼洋河大型底栖动物丰度的关键因子。通过 CCA 分析,本文梳理了在尼洋河中上游以及中下游两个河段主要的大型底栖动物以及影响它们丰度的主要理化指标。通过 CART 模型,从 11 项环境因子中,筛选到了矿化度、总磷、海拔和季节等 4 项环境因子,作为判别大型底栖动物总丰度

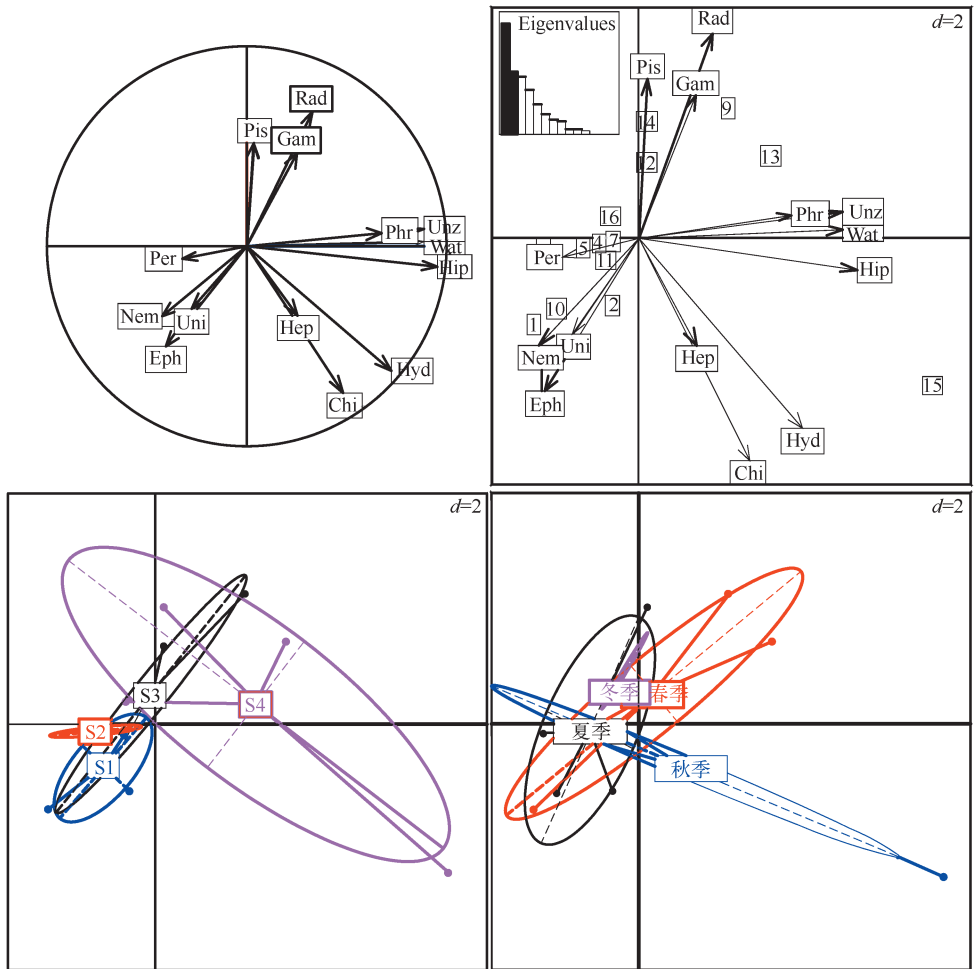


图3 基于 PCA 分析的尼洋河大型底栖动物时空特征(图中数字为样点标记,其中 1~4 分别为采样点 I 的春、夏、秋、冬季;5~8 分别为采样点 II 的四季;9~12 分别为采样点 III 的四季;13~16 分别为采样点 IV 的四季. S1、S2、S3 和 S4 分别代表采样点 I、II、III 和 IV. 第一主成分解释率为 31.0% (图中右上图第一条黑色柱所示),第二主成分解释率为 17.6% (图中右上图第二条黑色柱所示))

Fig. 3 Spatio-temporal characteristics for macrozoobenthos in Niyang River based on PCA

的关键指标,能够很好地解释尼洋河大型底栖动物与环境之间的关系.

海拔决定了一个地区的温度和光照等环境因素的变化,属于宏观尺度的环境因子,因此从根本上决定了河流底栖动物的群落结构组成^[8]. 通常情况下,由于海拔的升高、水域温度降低、冰冻期延长^[18-19],物种的丰富度也随之降低^[20],渠晓东等^[8]同样指出水域海拔与底栖动物群落结构组成呈负相关. 本研究表明,尼洋河流域随着海拔的升高,大型底栖动物的总丰度呈现降低的趋势. 相反的是,部分研究表明海拔与底栖动物的分布呈正相关^[21-22],原因是海拔越高,加之流域内植被面积越大,水域的底栖动物丰富度和完整性越好,受人为的干扰因素也越小^[21]. 产生截然相反结果的原因在于:海拔梯度较大时(上千米),底栖生物丰富度随海拔升高而降低,海拔梯度较小时(几百米),底栖生物丰富度随海拔升高而升高^[20].

尼洋河作为雅鲁藏布江较大的支流之一,在工布地区社会和经济的发展过程中发挥着重要的作用,但随着水电站的建设和开发,对尼洋河水域生态可持续发展提出了很大的挑战.

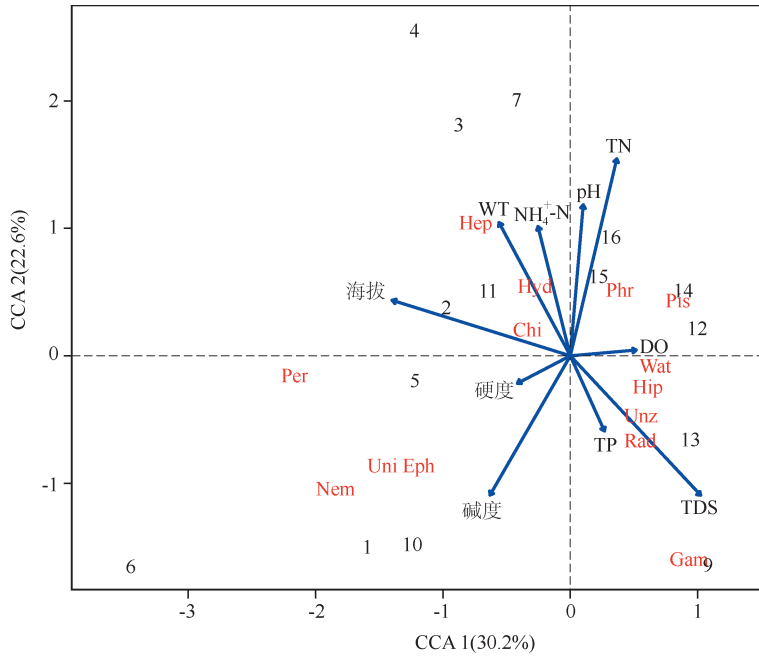


图4 基于 CCA 方法分析尼洋河大型底栖动物的丰度、环境因子、样点之间的关系
 Fig. 4 Relationships among abundance of macrozoobenthos, environmental factors and sampling sites in Niyang River based on CCA

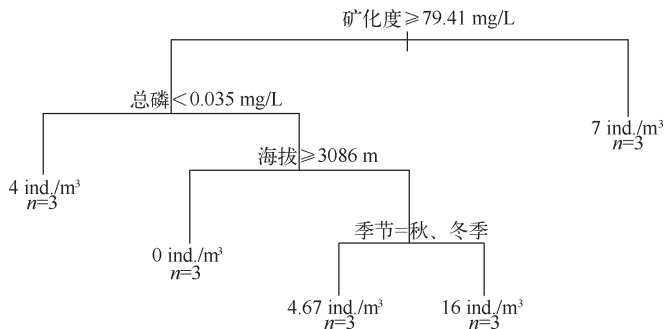


图5 基于分类回归树分析尼洋河大型底栖动物总丰度与环境因子之间的关系
 (分支左侧代表条件成立,右侧代表相反条件成立)
 Fig. 5 Relationship between total abundance of macrozoobenthos and environmental factors in Niyang River based on CART

在这样的背景下,建立有效的尼洋河水域生态安全预警系统,应该是当前重要的任务. 鉴于底栖动物在水域生态系统中扮演着重要的角色,底栖动物功能群多样性是对环境梯度和生境质量的综合反映^[23],筛选和关注关键环境因子,对发挥底栖动物的生态多样性有着重要的作用. CART 模型指出,用矿化度、总磷、海拔以及季节 4 项环境因子,能很好地演绎尼洋河大型底栖动物与环境之间的关系. 结果显示,矿化度 ≥ 79.41 mg/L 时,大型底栖动物总丰度总是在低海拔时(海拔 < 3086 m)较高,同时春、夏季比秋、冬季的大型底栖动物总丰度高. 建议加强大型底栖动物和水体理化指标的监测和控制,在保证尼洋河流域生态可持续发展的前提下,推动社会和经济的区域发展.

4 参考文献

- [1] 王宗兴. 中山水栖寡毛类区系调查及底栖动物对湖泊环境定量指示初探[学位论文]. 武汉:中国科学院水生生物研究所, 2007.
- [2] 刘志刚, 渠晓东, 张 远等. 浑河主要污染物对大型底栖动物空间分布的影响. 环境工程技术学报, 2012, 2(2): 116-123.
- [3] 陈 凯, 肖能文, 王备新等. 黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响. 生态学报, 2012, 24(6): 1970-1978.
- [4] 熊 晶, 谢志才, 张君倩等. 傀儡湖大型底栖动物群落与水质评价. 长江流域资源与环境, 2010, 19(S1): 132-137.
- [5] 刘保元, 邱东茹, 吴振斌. 富营养浅湖水生植被重建对底栖动物的影响. 应用与环境生物学报, 1997, 3(4): 323-327.
- [6] 覃雪波, 孙红文, 吴济舟等. 大型底栖动物对河口沉积物的扰动作用. 应用生态学报, 2010, 21(2): 458-463.
- [7] 丛 明. 赣江流域底栖动物生态学研究[学位论文]. 南昌:南昌大学, 2011.
- [8] 渠晓东, 曹 明, 邵美玲等. 雅鲁江(锦屏段)及其主要支流的大型底栖动物. 应用生态学报, 2007, 18(1): 158-162.
- [9] 王睿照. 互花米草入侵对崇明东滩盐沼底栖动物群落的影响[学位论文]. 上海:华东师范大学, 2010.
- [10] 张 波, 唐启升, 金显仕. 黄海生态系统高营养层次生物群落功能群及其主要种类. 生态学报, 2009, 29(3): 1099-1111.
- [11] 黄孝锋, 邢旭文, 陈家长. 五里湖生态系统能量流动模型初探. 上海海洋大学学报, 2012, 21(1): 78-85.
- [12] 杨明生. 武汉市南湖大型底栖动物群落结构与生态功能的研究[学位论文]. 武汉:华中农业大学, 2009.
- [13] 颜 玲, 赵 颖, 韩翠香等. 粤北地区溪流中的树叶分解及大型底栖动物功能摄食群. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2573-2579.
- [14] 刘学勤. 湖泊底栖动物食物组成与食物网研究[学位论文]. 武汉:中国科学院水生生物研究所, 2006.
- [15] 刘海平, 叶少文, 杨雪峰等. 西藏尼洋河水生生物群落时空动态及与环境因子关系:1. 浮游植物. 湖泊科学, 2013, 25(5): 695-706.
- [16] 刘海平, 叶少文, 杨雪峰等. 西藏尼洋河水生生物群落时空动态及与环境因子关系:2. 着生藻类. 湖泊科学, 2013, 25(6): 907-915.
- [17] 王宗兴, 韦钦胜, 刘 军等. 乳山湾外海夏季大型底栖动物分布与环境因子的典范对应分析. 应用与环境生物学报, 2012, 18(4): 599-604.
- [18] Rundle SD, Jenkins A, Ormerod SJ. Macroinvertebrate communities in streams in Himalaya, Nepal. *Freshwater Biology*, 1993, 30(1): 169-180.
- [19] Ao M, Alfred JRB, Gupta A. Studies on some lotic systems in the north-eastern hill regions of India. *Limnologica*, 1984, 15(1): 135-141.
- [20] Suren AM. Macroinvertebrate communities of streams in western Nepal: effects of altitude and land use. *Freshwater Biology*, 1994, 32(2): 323-336.
- [21] 李 强. 西苕溪大型底栖无脊椎动物的空间分布及生物完整性研究[学位论文]. 南京:南京农业大学, 2007.
- [22] 张 勇, 刘朔孺, 于海燕等. 钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响. 生态学报, 2012, 32(14): 4309-4317.
- [23] 袁兴中, 陆健健, 刘 红. 长江口底栖动物功能群分布格局及其变化. 生态学报, 2002, 22(12): 2054-2062.