

Spatial Characteristics for Aquatic Ecological Environment of the Lancangjiang River Downstream

Zhongyang Wang¹, Gang Wang², Xiuyu Zhang¹, Zhencheng Xu¹

¹South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou Guangdong

²School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou Guangdong
Email: zhangxiuyu@scies.org

Received: Mar. 1st, 2015; accepted: Mar. 13th, 2015; published: Mar. 19th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

This paper investigated the spatial characteristics of aquatic ecological environment of Lancangjiang River along the downstream zones. There were several ecological indicators selected to be analyzed, including species composition, density, dominant species and diversity of both the phytoplankton and zooplankton communities. The result showed that there were 80 species and the dominant species included *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, *Cyanophyta*. In general, the number of species and cell density of phytoplankton decreased along the upstream-to-downstream gradient. Moreover, there were high levels of species diversity, evenness and threshold value of species diversity. This supports that the aquatic ecological environment is under a safe condition, and the species composition of phytoplankton is stable in this area. There were 37 species of zooplankton including *Rotifera*, *Cladocera* and *Copepods*. *Rotifera* was the dominant species. The number of species and cell density of zooplankton decreased with some fluctuation along the upstream-to-downstream gradient in this area. There were also high levels of species diversity, evenness and threshold value of species diversity of zooplankton. It was more supported that aquatic ecological was under safe condition and species composition of zooplankton. All the analysis showed that Lancangjiang River was under relatively healthy condition, although it was disturbed by some human activities and pollution.

Keywords

Lancangjiang River, Aquatic Ecological Condition, Spatial Pattern, Plankton

澜沧江下游水生生态环境空间分异特征分析

汪中洋¹, 王刚², 张修玉¹, 许振成¹

¹环境保护部华南环境科学研究所, 广东 广州

²中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州

Email: zhangxiuyu@scies.org

收稿日期: 2015年3月1日; 录用日期: 2015年3月13日; 发布日期: 2015年3月19日

摘要

本文以澜沧江下游为研究区域, 调查分析浮游植物/动物的物种数、密度以及生物多样性等生态指标的空间变化。结果表明: 澜沧江下游区域浮游植物共有80种, 以蓝藻门、绿藻门和硅藻门最常见; 总体上浮游植物种类数以及细胞数量由上游至下游逐渐下降的趋势; 多样性指数、均匀度指数和多样性阈值均较大, 说明该流域浮游植物群落组成的稳定性大、水域生态环境良好。同时, 发现浮游动物37种, 轮虫类占据绝对优势; 浮游动物种类数量以及浮游动物密度由上游至下游区域呈现出波动下降的趋势; 浮游动物的生物多样性指数、均匀度指数和多样性阈值均较大, 说明研究区段浮游动物群落稳定性较高, 水域生态环境较好。此研究表明澜沧江下游区域的水生态环境总体较好, 但存在中小程度的污染或者干扰。

关键词

澜沧江, 水生生态, 空间分异, 浮游生物

1. 引言

江河流域水生生态环境直接或间接的影响其生态服务功能(比如蓄水、供水、航运和旅游等)以及流域内的环境质量, 日益受到人们的关注[1]-[3]。作为江河流域生态系统的重要指标, 水生生态环境受到地质、地貌、水文、气候、植被自然条件以及人类生产、生活等多种因素的综合影响, 同时会对流域生态系统产生一系列的生态效应, 能在很大程度上反映流域环境质量的变化特征[4] [5]。在自然条件包括水文和气象条件相对一致的条件下, 水生生态环境主要受到人类生产生活方式和活动强度的影响[6]。相关研究表明, 人类活动的干扰和社会经济的发展已经造成了生物多样性减少和水质的恶化[1] [6]。随着水生生态环境质量改善技术的广泛应用于深入研究, 明晰水生态环境的空间变化规律成为流域水环境质量评价、污染源分析和河流水环境改善的基础和前提[7] [8]。流域水生生态环境质量的空间变化是指在一定的社会发展条件下, 随着空间的变化, 在流域范围内由人类活动持续影响而表现出具有一定方向性的生态环境质量变化过程[9]。目前, 空间分布模式已经成为国内外水生生态环境质量评价的热点。然而, 现有研究多集中于非生物环境指标比如重金属、化学需氧量等的水生生态环境空间分布模式的探讨[3] [5] [10] [11], 针对生物指标比如浮游动植物的空间分布特征的研究相对较少。

浮游动植物的空间分布特征的研究对水生态环境的评价具有重要意义。首先, 浮游植物是水生生态系统的初级生产者, 是水生生物群落结构中的重要组成部分[12]。浮游植物群落结构和组成在水质生物学监测及评价中占据极其重要的地位, 是正确评价水生生态系统的生态状况、营养状况和物质循环的有效途径[13] [14], 当许多浮游植物种类的信息结合在一起构成某种指数时, 可有效运用于水质评价

中[12]。因此,研究水体中浮游植物群落结构和组成特征,对水体的富营养化防治和生态管理具有重要的意义[15]。另外,浮游动物亦是水生生态系统的重要组成部分,对水生生态系统的能量流动和物质循环起关键作用[16]。不同类群的浮游动物对水环境因子的变化的敏感性和适应能力存在差异,利用群落结构和组成的变动用于检测、评估江河水体的营养状况、水生生态系统的健康状况具有重要的应用价值[17] [18]。

澜沧江-湄公河是亚洲流经中国、缅甸、老挝、泰国、柬埔寨和越南等国家的第一大国际河流,全长 4900 公里,水能资源特别丰富,是东南亚历史文明的摇篮[19] [20]。该流域地处东南亚、南亚和中国西南的结合部,是连接东盟和中国的陆路桥梁。流域经济和社会发展相对落后,但与中国进行经贸合作的潜力巨大。澜沧江-湄公河流域人口的急剧增加和人为活动干扰的加剧,已经影响到水体功能、区域经济发展乃至下游多国及多边关系,分析水生生态环境空间分布特征具有重要的战略和现实意义[5] [21]。杜娟[22]指出澜沧江流域丰富的植被资源和生物资源使得该区域吸引了大量的资源消耗性加工制造产业,有关企业排放的“三废”中以废水对澜沧江流域水生态环境的影响也较大。近年来,已有不少学者开始研究澜沧江流域的水生生态环境状况,比如浮游植物群落结构[23]、水生生物资源调查[24]以及大型底栖动物群落结构[25]等。然而,目前基于浮游植物特别是浮游动物的生态环境空间分布特征的研究相对薄弱。鉴于此,本文选择经济发展相对迅速和人类干扰相对强烈的澜沧江下游区域进行水生生态环境调查,分析浮游植物和浮游动物的种类和构成的空间变化,以期了解该区域的水生态环境的空间变化情况,为环境管理部门进行水环境整治提供依据。

2. 材料与方法

2.1. 样品采集与分析

于 2010 年 6 月进行样品采集,沿西双版纳傣族自治州境内澜沧江流域,从勐罕至勐松自上而下共布设 9 个采样站位(图 1),1~5 号站位附近主要以城镇用地和农业用地为主;6~9 号站位周围以林地为主,地势相对陡峭。定性分析采样方法为:定性样品采用 25 号(64 μm)浮游生物网在水面下划“ ∞ ”形捞取 5 min,将采集的浮游植物样品放入 50 ml 的采样瓶中,并立即加入 5% 甲醛固定保存;实验室内浮游植物样品经过静置、沉淀、浓缩后装入贮存瓶中并编号,样品在光学显微镜下鉴定种类。浮游植物定量分析采样方法为:利用采水器在水面表层 0.5 米处取 1000 ml 水样,立即加入鲁哥氏碘液和 5% 甲醛固定后,带回实验室静置沉淀 24 小时,于光学显微镜下鉴定种类和计算细胞个体数量,换算成 cell/L。浮游动物定性、定量方法根据《淡水浮游生物研究方法》进行[22] [26]。浮游动物的定性分析方法为:在各个采样站位用 13 号浮游生物网采集浮游动物,在表层水体划“ ∞ ”形捞取 5 min,放入 25 mL 塑料瓶中,加入 5% 甲醛溶液进行固定,带回实验室在显微镜下鉴定种类。浮游动物定量分析采样方法是对每个水样从表层到底层垂直采样,共采 20 L 水,用 13 号网过滤后放入 25 mL 塑料瓶中,加入 5% 甲醛溶液固定。枝角类和桡足类的定量:将水样摇匀(30 mL 浓缩水样),再用吸管提取 1 mL 均匀水样置于相应的计算框中进行全片计数,计数后将各个种类的个数分别乘以系数 3,得到浮游动物的数量(ind/L);轮虫类的定量:将水样摇匀,再用吸管提取 0.1 mL 均匀水样置于相应的计算框中进行全片计数,计数后将各个种类的个数分别乘以系数 300,得到浮游动物的数量(ind/L)。

2.2. 评价方法

物种丰富度指数(D)与香农-威纳多样性指数(Shannon-Wiener, H')在评价水体污染的生物学监测方面应用较多[27] [28]。本文采用浮游植物/动物生物多样性指数(H')评价调查水体的污染程度。香农-威纳多样性指数(H')和均匀度指数(J) [29] [30]以及多样性阈值 D_v [31]计算公式如下:



Figure 1. Distribution of sample points in the study area

图 1. 研究区域样点分布示意图

$$H' = -\sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right) \tag{1}$$

$$J = H' / \log_2 n \tag{2}$$

$$D_v = H' * J \tag{3}$$

式中 N 为群落中物种的总密度， n_i 为第 i 个物种的密度。

物种多样性是反映生物群落组成特征的参数，是衡量群落稳定性的重要特征之一，通常物种多样性指数 (H') 和均匀度指数 (J) 越高，表明群落中的生物物种越多，群落越稳定。 H' 是物种类数和种类中个体分配上的均匀性综合表征； J 表征生物个体分布的均匀程度。多样性指数大于 1 为正常，小于 1 时可能受到其它环境因素的扰动；均匀度大于 0.3 时表示流域多样性较好。现以多样性指数小于 1、均匀度小于 3 作为生物多样性较差的标准进行综合评价[28]。通常情况下，根据 D_v 值大小，可将水体划分为 5 个等级：0~0.6，多样性差；0.6~1.5，为一般；1.6~2.5，为较好；2.6~3.5，为丰富；大于 3 为非常丰富[31]。

3. 结果与分析

3.1. 浮游植物

3.1.1. 种类组成

经鉴定，澜沧江 - 湄公河下游区域浮游植物共有 80 种，以蓝藻门、绿藻门和硅藻门最常见，三者种类数量占浮游藻类数量的 87.50% (表 1)。其中，蓝藻门 11 种，占 13.75%；绿藻门 37 种，占 46.25%；硅藻门 22 种，占 27.50%；裸藻门 5 种，占 6.25%；甲藻门 2 种，占 2.50%；隐藻门 2 种，占 2.50%；轮藻门 1 种，占 1.25%。澜沧江上游囊谦段浮游植物共计 4 门、57 种；其中，硅藻门种类最多，为 33 种，占 57.9%；其次是绿藻门，为 13 种，占 22.8%，蓝藻门 10 种，占 17.5%，甲藻门仅检出 1 种，占 1.8% [23]；澜沧江上游区域青海段研究结果为浮游植物共计 4 门、53 种；其中，硅藻门种类最多，为 33 种，占 62.3%；

Table 1. Species composition of Phytoplankton
表 1. 浮游植物种类组成

样点	数量(种)						
	蓝藻门	绿藻门	硅藻门	甲藻门	裸藻门	隐藻门	轮藻门
1#	6	17	11		2	2	
2#	6	23	11	2	3	2	
3#	7	15	9		5	1	
4#	4	8	12		2	2	1
5#	6	17	12		4	1	
6#	4	12	12	1		2	
7#	2	8	8	1	2	2	
8#	2	10	12	1		2	1
9#	3	6	9	1	2	2	

其次是绿藻门，为 10 种，占 18.9%，蓝藻门 8 种，占 15.1%；甲藻门 2 种，占 3.8% [24]。显然，浮游植物种类数量大于上游区域的研究结果，主要是因为本次水样采集范围较广，更能真实的反映澜沧江 - 湄公河下游区域的浮游植物种类现状。一般情况下，硅藻门为主的水体为贫营养水体，蓝藻门和绿藻门为主的水体存在富营养化倾向。据此，上游区域以硅藻占据绝对优势，为贫营养水体；本文研究区域以绿藻和蓝藻占优势，存在富营养化倾向。上游为贫营养水体是由于澜沧江上游区域处于高海拔和寒冷的区域，人类活动排放的营养物质少，加上初级生产力均较低造成的[23] [24]；本文研究的澜沧江下游区域由于沿线城镇污水、农业活动和水土流失增加了水体中营养物质浓度的增加，更有利于浮游植物的生长。与此同时，不同样点的浮游植物种类存在差异，1~9#采样点浮游植物种类分别为 38 种、47 种、37 种、29 种、40 种、31 种、23 种、28 种和 23 种，总体上浮游植物种类数由上游至下游逐渐下降的趋势，且上游区域蓝藻门、绿藻门和硅藻门的种类数显著大于下游区域，主要是因为上游区域地势相对平坦，农业用地和城市建设用地相对集中于河流沿岸，增加了人为排放营养物质的机会，营养物质的积累促进浮游植物特别是蓝藻门和绿藻门的生长繁殖[6] [11] [32]。

3.1.2. 浮游植物细胞丰度与多样性

研究区域浮游植物细胞数量的变化范围为 $2.98 \times 10^5 \sim 25.00 \times 10^5$ cell/L，浮游植物细胞数量与澜沧江上游区域的研究结果基本一致。比如，澜沧江上游区域青海段研究为 $1.39 \times 10^5 \sim 20.69 \times 10^5$ [24]；澜沧江上游囊谦段为 $1.33 \times 10^5 \sim 37.56 \times 10^5$ [23]。研究区域 1~9#采样点浮游植物细胞数量分别为 7.07×10^5 cell/L、 9.84×10^5 cell/L、 25.00×10^5 cell/L、 7.03×10^5 cell/L、 18.3×10^5 cell/L、 5.27×10^5 cell/L、 2.98×10^5 cell/L、 3.07×10^5 cell/L、 3.81×10^5 cell/L。整体上，浮游植物细胞数量由上游至下游呈现先上升后下降的趋势，且上游区域大于下游区域，与浮游植物种类的变化趋势基本一致。土地利用方式将影响流域的营养物质的运输与分配[33]。本文研究区域的上游区域由于地势较为平坦，城镇用地和农业用地较多，城镇用地的集中往往造成生活污水的增加，而农业活动比如化肥的低效利用，均会增加流域水体的污染负荷，加上水面较宽，水流速度较缓，透明度较高为藻类的生长繁殖提供有利条件[22] [34]；同时下游区域，主要以山林地为主，生态环境受到干扰较小，造成营养物质的来源减少，加上下游区域水面较窄，水流相对湍急，种种因素均不利于浮游植物在下游的生长发展[35]。另外，水体浮游植物细胞数量低于 10×10^5 cell/L 为贫营养， $10 \times 10^5 \sim 40 \times 10^5$ cell/L 为中营养，而高于 40×10^5 cell/L 为富营养[35]。由此可见，上游的 3#

和 5#属于中营养, 其它样点属于贫营养, 但上游的 1#、2#和 4#均接近中营养水平, 该结果亦说明上游区域受到人为干扰有逐渐富营养化的趋势。

物种多样性是反映生物群落组成特征的参数, 是衡量群落稳定性的重要特征之一, 通常物种多样性指数(H')和均匀度指数(J)越高, 表明群落中的生物物种越多, 群落越稳定[36] [37]。在大部分多样性指数中, 组成群落的生物种越多, 其多样性数值越大, 而重复性越小, 多样性指数大的群落稳定性也大[38]。本次的调查显示(表 2), 澜沧江下游区域生物多样性指数(H' 大于 1)和均匀度指数(J 大于 0.3)均较高, 分别为 2.36~3.98 和 0.66~0.92, 说明总体上研究区域浮游植物群落组成的重复性小、群落的稳定性大、种类分布较为均匀、水域生态环境良好。 H' 值和 J 值由上游至下游呈现逐渐下降的趋势, 这是由于上游区域营养物质来源较为丰富且水流较为缓慢, 有利于浮游植物的生长繁殖[23]。根据郭青海的研究, 随着水体富营养化程度的加深, 浮游植物群落种类和数量会呈现先增加后降低的演变趋势[35], 而研究区域的上游区域营养化程度高于下游区域, 因此上游区域的多样化指数和均匀度指数均较高。与此同时, 下游区域营养化程度较低造成其生物多样性较低, 且容易受到外界环境变化的影响, 需要加强该区域的管理, 防止区域生态环境质量的下降。利用生物多样性阈值 D_v 进一步研究结果显示, 该区域 D_v 值为 1.56~3.62, 其中 1#生物多样性非常丰富; 6#生物多样性一般; 其它样点均达到了生物多样性丰富的水平, 说明澜沧江下游区域生物多样性较为丰富, 相对稳定。与多样性指数和均匀度指数的变化基本一致, 由上游至下游多样性阈值总体呈现逐渐下降的趋势, 上游区域大于下游区域, 一定程度上说明下游区域水生生态环境较为脆弱。

3.2. 浮游动物

3.2.1. 浮游动物的组成

西双版纳傣族自治州境内澜沧江流域共发现轮虫、枝角类、桡足类等浮游动物 37 种, 其中轮虫 30 种, 隶属于 10 个属; 枝角类 3 种, 隶属于 3 个属, 桡足类 4 种, 隶属于哲水蚤目和剑水蚤目, 如表 3 所示。轮虫主要包括臂尾轮属(*Brachionus*)、龟甲轮属(*Keratella*)、异尾轮属(*Trichocerca*)、晶囊轮属(*Asplanchna*)、三肢轮属(*Filinia*)、多肢轮属(*Polyarthra*)、单趾轮属(*Monostyla*)、皱甲轮属(*Ploesoma*)、鞍甲轮属(*Lepadella*)、腔轮属(*Lecane*)。在所有鉴定的轮虫中, 角突臂尾轮虫(*Brachionus caudatus*)、曲腿龟甲轮虫(*Keratella valga*)、螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)和蹄形腔轮虫(*Lecane unguolata*)是调查水体中的优势轮虫, 在大多数采样点均有出现。枝角类和桡足类种类较少, 其中枝角类主要包括方形网纹溞(*Ceriodaphnia quadrangula*)、直额裸腹溞(*Moina rectirostris*)和长额象鼻溞(*Bosmina longirostris*); 桡足类主要包括对角近镖水蚤(*Tropodiatomus*)、闻名大剑水蚤(*Macrocyclus distinctus*)、常见近剑水蚤(*Tropocyclops frequens*)和毛饰拟剑水蚤(*Paracyclops fimbriatus*)。澜沧江下游区域浮游动物物种数略高于中上游区域的调查研究结果, 比如澜沧江上游漫湾水电站附近共发现浮游动物 30 种, 其中轮虫 26 种, 枝角类 1 种, 桡足类 3 种[39]; 青海省内澜沧江水系仅发现浮游动物 17 种, 其中轮虫 14 种, 枝角类 1 种, 桡足类 2 种[24]。造成浮游动物空间分异的主要是由于温度、水流和食物来源的差异造成。澜沧江上游地处高海拔区域, 温度较低, 而澜沧江下游区域温度相对较高, 加上下游相对平缓的水流和清澈的水体, 更加有利于浮游动物的生存和生长; 与此同时, 适宜的气候和水体营养条件决定了下游浮游植物群落生物量和生产力相对较高, 为浮游动物的生长繁殖提供了丰富的食物来源[39]。澜沧江下游区域在浮游动物种类组成中, 轮虫种类最多, 占浮游动物总数的 81.1%, 枝角类和桡足类种类较少, 分别占浮游动物总数的 8.1%和 10.8%。通常情况下, 贫营养水体中个体较大的枝角类和桡足类占优势, 而富营养水体中则以个体较小的轮虫占优势[40]。在此次调查中, 浮游动物组成以个体较小的轮虫为主。与此同时, 水体富营养化生物指示种包括剪形臂尾轮虫(*Brachionus forficula*)、角突臂尾轮虫

(*Brachionus caudatus*)、长三支轮虫(*Filinia longiseta*)、曲腿龟甲轮虫(*Keratella valga*)、等刺异尾轮虫(*Trichocerca similis*)、长额象鼻溞(*Bosmina longirostris*)等在各监测样点均有发现,表明澜沧江下游受到一定程度污染或者人类活动的干扰。

研究区域浮游动物种类数量由上游至下游区域呈现出波动下降的趋势,峰值出现在2#和6#。种类数量峰值出现的区域或附近正是浮游植物物种多样性较高和细胞丰度较高的区域,一定程度说明第一性生产力的高低决定了浮游动物的多样性。浮游植物通过光合作用产生的有机质为浮游动物的生长繁殖提供了直接能量来源[40],因此上游区域浮游植物资源的丰富性和多样性为该区域浮游动物的生长和繁殖提供了有利保障;与此相反,在浮游动物种类数和细胞丰度相对较低的区域,比如1#、4#、5#和9#,浮游植物的生产力相对较低,造成这部分区域浮游动物的能量来源减少,加上水体清澈度较低以及水面较窄造成水流速度加快,均不利于浮游动物的生长繁殖。另外,由表3可知,在浮游动物种类组成中,2#和9#采样点只鉴定出轮虫,未发现枝角类和桡足类;1#发现轮虫类和桡足类;3#、4#和6#采样点鉴定浮游动物较多,其中3#采样点发现轮虫和枝角类,4#和6#采样点发现轮虫和桡足类;5#、7#和8#采样点鉴定的浮游动物包括轮虫、枝角类和桡足类。上游至下游区域,轮虫类占据绝对优势,说明研究区段均受到一定程度的人类活动的干扰或者污染。

3.2.2. 浮游动物密度与多样性

对浮游动物的定量分析发现,在9个监测断面中,2#、3#和6#浮游动物密度较高,均大于10 ind/L;5#和7#的浮游动物密度在8~10 ind/L;其他监测断面密度较低,低于8 ind/L。最大值略低于唐文家等对澜沧江上游区域的调查研究结果(27 ind/L) [24]。浮游动物密度由上游至下游呈现波动下降趋势,与浮游

Table 2. Diversity and evenness indices and the threshold value of species diversity of phytoplankton
表 2. 浮游植物的多样性指数和均匀度指数和多样性阈值

	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
多样性指数/H'	3.98	3.59	3.32	3.68	3.39	2.36	2.79	2.66	2.59
均匀度指数/J	0.91	0.82	0.77	0.92	0.85	0.66	0.81	0.77	0.78
多样性阈值/D _s	3.62	2.94	2.56	3.39	2.88	1.56	2.26	2.05	2.02

Table 3. Species composition of Zooplankton
表 3. 澜沧江下游浮游动物组成

样点	数量(种)											
	轮虫	臂尾轮属	异尾轮属	晶囊轮属	三支轮属	多肢轮属	单趾轮属	皱甲轮属	鞍甲轮属	腔轮属	枝角类	桡足类
1#	8	1	1	1	1	1	1	1		1		1
2#	16	5	4		1	1	2		1	2		
3#	9	4	1	1	1	1				1	1	
4#	6	1	1	1			1		1	1		1
5#	5	3		1				1			1	1
6#	14	4	2	1	1	1	2	1	1	1		1
7#	9	4	1			1		1	1	1	1	2
8#	9	7					2				1	1
9#	7	3		1	1	1	1					

植物细胞密度的变化趋势基本一致(图 2)。峰值出现在 3#和 6#, 峰值出现的区域及其临近水域(样点)浮游植物细胞密度均较大; 相反, 浮游动物密度较小的区域 1#、8#和 9#, 均处于浮游动物物种数较少的区域, 并且这些区域的浮游植物细胞密度和物种多样性均较小, 以上结果一定程度说明浮游植物的生长繁殖与浮游动物的生长繁殖密切相关, 且受到当地社会经济发展水平、人类活动强度和自然环境条件综合影响 [11]。在研究区段的上游区域由于受到城镇污水排放、农业面源污染等因素的影响, 水体营养物质的来源相对丰富, 使得浮游植物的初级生产力较高, 加上缓慢的水体流域促使浮游动物的生长繁殖, 进而增加浮游动物密度。本次调查的澜沧江下游水体中浮游动物平均密度为 8.44 ind/L, 范围是 4~14 ind/L, 轮虫最多, 为 5.11 ind/L, 占总密度的 60.5%, 轮虫占据绝对优势说明澜沧江下游区域受到一定程度的污染。本次的调查结果(表 4), 澜沧江下游区域浮游动物物种多样性指数(H' 大于 1)和均匀度指数(J 大于 0.3)均较高, 分别为 1.47~3.38 和 0.46~1.23, 说明该流域浮游植物群落组成的重复性小、群落的稳定性大、种类分布较为均匀、水域生态环境良好; 总体上, H' 值和 J 值由上游至下游呈现波动下降的趋势, 与浮游动物密度的变化趋势基本一致。利用生物多样性阈值 D_v 进一步研究结果显示, 该区域 D_v 值为 0.68~4.16, 其中 1#生物多样性非常丰富; 4#、6#和 7#生物多样性达到丰富水平; 其它样点区域的生物多样性亦达到较好水平, 说明澜沧江下游区域浮游动物的生物多样性较为丰富, 相对稳定。

4. 结论

调查研究水生态环境的空间分异特征对于了解江河的生态服务功能和生态环境的保护具有重要战略意义。本文选取澜沧江下游区域为研究对象, 分析水体中浮游植物/动物的物种数、物种密度以及多样性

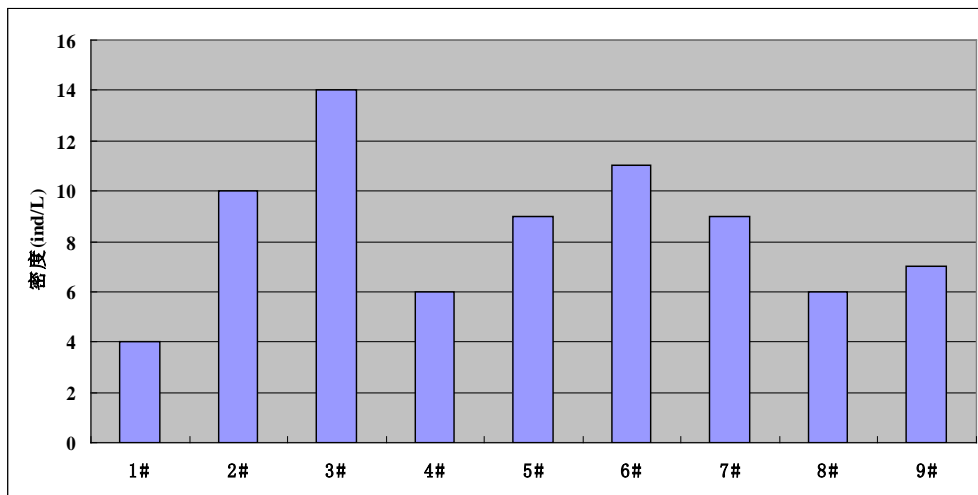


Figure 2. Density of Zooplankton among different sampling points

图 2. 各监测点浮游动物密度分布

Table 4. Diversity and evenness indices and the threshold value of species diversity of Zooplankton

表 4. 浮游动物的多样性指数和均匀度指数和多样性阈值

	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
多样性指数/ H'	3.38	2.52	2.63	3.02	2.30	3.22	3.12	1.47	2.13
均匀度指数/ J	1.23	0.63	0.83	1.17	0.99	0.85	0.98	0.46	0.76
多样性阈值/ D_v	4.16	1.59	2.18	3.53	2.28	2.74	3.06	0.68	1.62

等以期了解下游区域水生生态环境的空间分异特征。研究结果表明:

(1) 澜沧江-湄公河下游区域浮游植物共有 80 种, 以蓝藻门、绿藻门和硅藻门最常见, 三者种类数量占浮游藻类数量的 87.50%; 总体上呈现浮游植物种类数由上游至下游逐渐下降的趋势, 且上游区域蓝藻门、绿藻门和硅藻门的种类数显著大于下游区域; 浮游植物细胞数量整体上由上游至下游呈现先上升后下降的趋势, 且上游区域大于下游区域, 上游区域受到人为干扰有逐渐富营养化的趋势; 多样性指数、均匀度指数和多样性阈值均较大, 说明该流域浮游植物群落组成的重复性小、群落的稳定性大、种类分布较为均匀、水域生态环境良好, 但三者均由上游至下游总体呈现逐渐下降的趋势, 上游区域大于下游区域, 一定程度上说明下游区域水生生态环境较为脆弱。

(2) 发现轮虫、枝角类、桡足类等浮游动物 37 种, 上游至下游区域, 轮虫类占据绝对优势, 说明研究区段均受到一定程度的人类活动的干扰或者污染; 澜沧江下游区域浮游动物种类数量由上游至下游区域呈现出波动下降的趋势; 浮游动物密度由上游至下游呈现波动下降趋势, 与浮游植物细胞密度的变化趋势基本一致; 浮游动物的生物多样性指数、均匀度指数和多样性阈值均较大, 说明研究区段浮游动物群落稳定性较高, 水域生态环境较好; 但多样性指数、均匀度指数和多样性阈值呈现波动下降的趋势, 说明浮游动物群落稳定性在下降, 越往下游区域, 群落更易受到外界干扰。

基金项目

国家水体污染控制与治理科技重大专项河流主题“东江流域饮用水源型河流水质安全保障技术集成与综合示范(2014ZX07206-005)”项目资助。

参考文献 (References)

- [1] Mare, D. and William, K. (2005) Marine ecosystem-based management as a hierarchical control system. *Marine Policy*, **29**, 57-68.
- [2] Kowalkowski, T., Zbytniewski, R., Szpejna, J., et al. (2006) Application of chemometrics in river water classification. *Water Research*, **40**, 744-752.
- [3] 陈利顶, 李广清 (2000) 蓟运河流域地表水质时空变化特征分析. *环境科学*, **6**, 61-64.
- [4] 张希彪 (2005) 泾河中上游流域土地利用格局变化与驱动因子分析. *水土保持学报*, **6**, 19.
- [5] 姚维科, 杨志峰, 刘卓, 等 (2005) 澜沧江中段水质时空特征分析. *水土保持学报*, **6**, 148-152.
- [6] 孙金华, 曹晓峰, 黄艺 (2012) 滇池水质时空特征及与流域人类活动的关系. *湖泊科学*, **3**, 24.
- [7] 谢森, 何连生, 田学达, 等 (2010) 巢湖水质时空分布模式研究. *环境工程学报*, **3**, 531-539.
- [8] Singh, K.P., Malik, A., Mohan, D., et al. (2004) Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—A case study. *Water Research*, **38**, 3980-3992.
- [9] Kannel, P., Kanel, S., Lee, S., et al. (2011) Chemometrics in assessment of seasonal variation of water quality in fresh water systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, **174**, 529-545.
- [10] Caccia, V.G. and Boyer, J.N. (2005) Spatial patterning of water quality in Biscayne Bay, Florida as a function of land use and water management. *Marine Pollution Bulletin*, **50**, 1416-1429.
- [11] Chang, H. (2008) Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. *Water Research*, **13**, 3285-3304.
- [12] 王珊, 于明, 刘全儒, 周云龙, 江源, 付岚, 孟世勇 (2013) 东江干流浮游植物的物种组成及多样性分析. *资源科学*, **3**, 473-480.
- [13] 胡红波, 顾泳洁, 李明 (2005) 丽娃河水体富营养化与浮游藻类的指示关系. *生物学杂志*, **2**, 32-35.
- [14] 张远, 郑丙辉, 刘鸿亮 (2006) 三峡水库蓄水后的浮游植物特征变化及影响因素. *长江流域资源与环境*, **2**, 254-258.
- [15] 雷欢, 梁银铨, 朱爱民, 汪红军, 谢文星, 俞伏虎, 胡小健 (2010) 三峡水库童庄河浮游植物及其与水质的关系. *湖泊科学*, **2**, 195-200.

- [16] 邱小琼, 赵红雪, 孙晓雪 (2012) 沙湖浮游动物与水环境因子关系的多元分析. *生态学杂志*, **4**, 896-901.
- [17] 吴利, 冯伟松, 陈小娟, 舒凤月, 梁小民 (2008) 新疆伊犁地区夏季浮游动物群落结构特征. *应用生态学报*, **1**, 163-172.
- [18] 王正军, 杜桂森, 洪剑明 (2008) 浮游动物群落结构和多样性的研究进展. *首都师范大学学报: 自然科学版*, **3**, 41-43.
- [19] 刘恒, 刘九夫 (1998) 澜沧江流域 (云南段) 水资源开发利用现状及趋势分析. *水科学进展*, **1**, 70-76.
- [20] 何大明, 吴绍洪, 彭华, 杨志峰, 欧晓昆, 崔保山 (2005) 纵向岭谷区生态系统变化及西南跨境生态安全研究. *地球科学进展*, **3**, 338-344.
- [21] 疏玉清, 王云祥 (1997) 澜沧江流域的水土流失与森林覆盖率. *重庆交通大学学报: 自然科学版*, **2**, 97-100.
- [22] 杜娟 (2010) 试析我国澜沧江水域污染现状及相关法律法规的完善. *法制与社会*, **11**, 59-60.
- [23] 陈燕琴, 申志新, 刘玉婷, 李柯懋 (2012) 澜沧江囊谦段夏秋季浮游植物群落结构初步研究. *水生态学杂志*, **3**, 60-67.
- [24] 唐文家, 崔玉香, 赵霞 (2012) 青海省澜沧江水系水生生物资源的初步调查. *水生态学杂志*, **6**, 20-28.
- [25] 王川, 李斌, 谢嗣光, 金丽, 张耀光 (2013) 澜沧江大型底栖动物群落结构及分布格局. *淡水渔业*, **1**, 17-21.
- [26] 章宗涉, 黄祥飞 (1991) 淡水浮游生物研究方法. 科学出版社, 北京.
- [27] Pielou, E.C. (1969) *An introduction to mathematical ecology*. Wiley-Interscience, New York.
- [28] 黄道建, 于锡军, 郭振仁, 彭海君, 綦世斌 (2009) 珠江口黄茅海冬季海洋生态环境特征. *海洋通报*, **2**, 28-33.
- [29] Shannon, C.E. (2001) A mathematical theory of communication. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, **5**, 3-55.
- [30] 黄德娟, 黄德超, 徐卫东, 罗明标, 金卫根, 刘亚洁, 饶军 (2010) 抚河源头水生生态环境评价. *安徽农业科学*, **4**, 1999-2000.
- [31] 刘文盈, 高润宏, 张秋良, 陈玉海, 邢小军, 白兆勇, 等 (2009) 鄂尔多斯高原盐沼湿地浮游植物的多样性与评价. *干旱区资源与环境*, **5**, 143-148.
- [32] 岳隽, 王仰麟, 李正国, 张源, 卜心国 (2006) 河流水质时空变化及其受土地利用影响的研究——以深圳市主要河流为例. *水科学进展*, **3**, 359-364.
- [33] 丁京涛, 姚波, 许其功, 席北斗, 胡翔 (2009) 基于 SWAT 模型的大宁河流域污染物负荷分布特性分析. *环境工程学报*, **12**, 2153-2158.
- [34] 吕唤春 (2002) 千岛湖流域农业非点源污染及其生态郊应的研究. 浙江大学, 浙江.
- [35] 巴重振, 李元, 杨良 (2009) 澜沧江梯级水电站库区浮游藻类组成及变化. *环境科学导刊*, **2**, 18-21.
- [36] 邱小琼, 赵红雪 (2011) 宁夏沙湖浮游植物群落结构及多样性研究. *水生态学杂志*, **1**, 20-26.
- [37] 吴朝, 张庆国 (2009) 淡水浮游生物多样性及数量分析方法研究进展. *安徽农学通报*, **12**, 41-42.
- [38] 碧琴, 淑琦 (1988) 水生藻类与水体污染监测. 辽宁大学出版社, 沈阳.
- [39] 张荣 (2001) 澜沧江漫湾水电站生态环境影响回顾评价. *水电站设计*, **4**, 27-32.
- [40] 陈光荣, 钟萍, 张修峰 (2008) 惠州西湖浮游动物及其与水质的关系. *湖泊科学*, **3**, 351-356.