

广东长潭水库浮游生物群落结构特征

胡国成^① 姚玲爱^① 张丽娟^① 许振成^{①*} 崔科^② 赵学敏^①
刘芸^① 郑丹^② 刘伟锋^①

① 环境保护部华南环境科学研究所 广州 510655; ② 华南农业大学动物科学学院 广州 510642

摘要: 长潭水库是广东梅州市重要的备用水源地,属于国家一类水源保护区。2010年7月,通过分析长潭水库浮游生物群落组成、生物量及多样性指数等群落结构特征和水体理化指标,揭示长潭水库富营养化水平。结果显示,长潭水库鉴定出55种浮游植物,隶属于6个门,优势种为绿藻门的栅藻(*Scenedesmus* sp.)、蓝藻门的微囊藻(*Microcystis* sp.)和伪鱼腥藻(*Pseudanabaena* sp.)、隐藻门的隐藻(*Cryptophyta* sp.)以及硅藻门的小环藻(*Cyclotella* sp.)和针杆藻(*Synedra* sp.);藻类密度范围 $1.71 \times 10^6 \sim 2.44 \times 10^8$ cells/L;浮游动物共检出44种,包括轮虫、枝角类和桡足类,其中轮虫是主要类群。综合营养状态指数评价结果显示,长潭水库部分水体呈轻度富营养化。典范对应分析结果显示,浮游动物、溶解氧、总氮、总磷和化学需氧量是影响长潭水库浮游植物群落结构的关键环境因子。

关键词: 浮游生物;群落组成;营养状况;长潭水库;典范对应分析

中图分类号:Q179 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2013)06-824-10

Community Structure Characteristics of Plankton in Changtan Reservoir, Guangdong Province

HU Guo-Cheng^① YAO Ling-Ai^① ZHANG Li-Juan^① XU Zhen-Cheng^{①*}
CUI Ke^② ZHAO Xue-Min^① LIU Yun^① ZHENG Dan^② LIU Wei-Feng^①

① *South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655;*

② *College of Animal Sciences, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China*

Abstract: Changtan Reservoir is one of importance drinking water sources in eastern area of Guangdong Province and as well as a national water conservation area. The community structure characteristics of plankton in the Changtan Reservoir was determined and used to assess eutrophication status of the water resource. Water was sampled at 8 point in the reservoir In July 2010 and plankton species composition, abundance and distribution were investigated. Total of 55 species belonging to 6 phyla of phytoplankton were identified. The species belonged to Chlorophyta, Cyanophyta, Cryptophyta and Bacillariophyta were dominated, while species in Dinophyta and Euglenophyta were much less. The density of the phytoplankton was varied from 1.71×10^6 to 2.44×10^8 cells/L. The diversity index (H') of phytoplankton indicated that water sampled at Shaping station and Zhuyefeng station were highly polluted. At the same time, 44 species zooplankton belonging to Rotifera, Cladocera and Copepoda were identified. Among the zooplankton, *Rotaria* was dominant phyla. The indicators

基金项目 环境保护部水体污染控制与治理科技重大专项监控预警主题 (No. 2009ZX07527-005), 国家自然科学基金项目 (No. 21107028), 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (No. zx_200910_26);

* 通讯作者, E-mail: xuzhencheng@scies.org;

第一作者介绍 胡国成, 男, 博士; 研究方向: 水生生态学、环境毒理学及环境与健康; E-mail: huguocheng@scies.org.

收稿日期: 2013-01-07, 修回日期: 2013-06-19

species of eutrophication, such as *Brachionus forficula*, *B. caudatus*, *Filinia longiseta*, *Keratella valga*, and *Trichocerca similis* were widely distributed in the Reservoir. The abundances of zooplankton were ranged from 40 to 1 588 ind/L. According to the comprehensive trophic state index (TSI) and the plankton community structure analyses, the water in the Changtan Reservoir was slightly eutrophied. The results of Canonical Correspondence Analysis on relationship between phytoplankton and environment indicated that the distribution of phytoplankton in Changtan Reservoir was strongly affected by environmental factors.

Key words: Plankton; Community structure; Trophic status; Changtan Reservoir; Canonical correspondence analysis

长潭水库位于广东省东北部梅州市蕉岭县长潭镇,属于韩江流域水系,西邻平远县,北靠福建省武平县,南以长潭水库大坝为界,集水面积 1 990 km²,总库容 1.72 亿 m³,多年平均流量 55.8 m³/s,是一座以发电为主兼有防洪、灌溉、供水、旅游等功能为一体的大型水库,是梅州市和蕉岭县城的备用水源地。近年来,随着库区周边畜禽养殖业的快速发展,库区水环境质量呈逐年下降趋势。自 2005 年以来,每年高温季节都出现不同程度的阶段性蓝藻“水华”现象。

浮游生物是水库生态系统中重要的生物类群之一,主要包括浮游植物(藻类)和浮游动物,在水库生态系统物质循环和能量流动中发挥重要作用(Rochelle-Newall et al, 2011)。浮游植物是水库生态系统中的生产者,浮游动物是水库生态系统中初级消费者,也是食物链组成中的基础环节(沈韞芬等 1990)。浮游生物种类和数量的变化是水质变化的重要指标之一,与水体环境质量、富营养状态水平密切相关,在水质生物监测及水环境质量评价中占有重要地位(Fang et al. 2012)。目前,关于广东长潭水库生态环境的研究主要集中于土壤有机碳(张友胜等 2009a,周毅等 2009)、植被类型(张友胜等 2009b)、重金属污染(胡国成等 2011)等方面,而关于浮游生物群落特征尚未见报道。本研究结合长潭水库环境因子监测结果,对库区水体浮游生物群落进行系统调查,以期研究长潭水库浮游生物群落结构特征及其与水体营养状况的关系,稳定和改善库区水质,保障饮用水安全提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置 2010 年 7 月在广东长潭水库设置 8 个代表性采样点(图 1)。采集浮游生物样品,记录采样时间、经纬度,用塞氏盘测透明度,用哈希多参数水质分析仪(HQ30d)记录采样时的水温、pH、电导率等指标,定性描述采样点生境特征。

1.2 研究方法

1.2.1 水样采集与分析 根据《水和废水监测分析方法》(第 4 版)(国家环境保护局 2002)的要求,在每个采样点采集水样,监测总氮(total nitrogen, TN)、总磷(total phosphorus, TP)、氨氮(ammonia nitrogen, NH₃-N)、高锰酸盐指数(permanganate index, COD_{Mn})、叶绿素 a(chlorophyll-a, Chla)等水体指标。

1.2.2 浮游生物采集与鉴定 分别用 25 号、13 号浮游生物网在表层水体(0.5 m)采集浮游植物和浮游动物样品。浮游植物定量样品用塑料瓶采集水样 1 000 ml,立即加入 15 ml 鲁哥氏液固定,带回实验室静置后用虹吸法浓缩至 30 ml;浮游动物定量样品采水 20 L,用浮游生物网当场过滤,样品均用 5% 福尔马林固定。浮游生物种类鉴定和计数等参见文献资料(章宗涉等 1991,韩茂森等 1995)。

1.2.3 叶绿素 a 测定 在长潭水库各采样点表层 0.5 m 处取 1 L 水样,用饱和碳酸镁固定并放在 4℃ 冰箱保存。水样抽滤后用丙酮法测定叶绿素 a:抽滤后样品转入具塞的刻度试管,然后迅速转至 -20℃ 冰箱中冷冻过夜,取出后立即加入少量碳酸镁粉末及 3 ml 90% 丙酮,充分研磨,提取叶绿素 a。4 000 r/min 离心 10

min, 上清倒入 10 ml 容量瓶, 摇匀。再用 3 ml 90% 丙酮继续研磨提取叶绿素 a, 重复 2 次, 用 95% 丙酮定容至 10 ml, 摇匀。上清液在紫外分光光度计上, 用 1 cm 光程比色皿, 分别读取 750 nm、663 nm、645 nm、630 nm 波长的吸光度, 以 90% 丙酮为空白对照。叶绿素 a 浓度计算公式为: $C_a = 11.64 \times (A_{663} - A_{750}) - 2.16 \times (A_{645} - A_{750}) + 0.10 \times (A_{630} - A_{750})$; 水样中叶绿素 a 浓度为 $(C_a \times v) / (V \times L)$ 。式中, C_a 为样品提取液中叶绿素 a 浓度 ($\mu\text{g/L}$); v 为 90% 丙酮提取液体积 (ml), V 为过滤水样的体积 (L), L 为比色皿宽度 (cm)。

1.3 富营养化评价方法 采用以叶绿素 a (*Chla*) 为基准的相关加权营养状态指数法 (TLI) 评价水库富营养化状况, 其中总氮、总磷和透明度与 *Chla* 之间的经验公式来自对广东省 20 个大中型水库的调查结果 (林秋奇等 2001)。TLI 采用卡尔森指数方法, 计算公式为: $TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TLI_{(j)}$, 式中, $TLI(\Sigma)$ 为综合营养状态指数; W_j 表示第 j 种参数的营养状态指数的相关权重; $TLI_{(j)}$ 代表第 j 种参数的营养状态指数。 $TLI(\Sigma) < 30$, 为贫营养型; $30 \leq TLI(\Sigma) \leq 50$, 为中营养型; $50 < TLI(\Sigma) \leq 60$, 为轻度富营养型; $60 < TLI(\Sigma) \leq 70$, 为中度富营养型; $TLI(\Sigma) > 70$, 为重度富营养型。

1.4 浮游生物群落特征指数 本研究中采用 Shannon-Wiener 多样性指数 (H')、Margalef 种类丰富度指数 (D) 和 Pielou 均匀度指数 (E) 3 个指数 (马克平 1994) 从不同方面对长潭水库浮游生物多样性进行分析。

Shannon-Wiener 多样性指数: $H' = - \sum (n_i/N) \log_2(n_i/N)$; Margalef 种类丰富度指数: $D = (S - 1) / \ln N$; Pielou 均匀度指数: $E = - \sum_{i=1}^S (n_i/N) \log_2(n_i/N) / \log_2 S$ 。式中, S 为物种数, N 为群落中物种的总密度, n_i 为第 i 个物种的密度。一般情况下, 多样性指数 (H') 为 0~1 时, 水体重污染, 1~3 时, 水体中污染, >3 时, 水体为轻污染或无污染; 当 Pielou 均匀

度指数 (E) 为 0~0.3 时, 水体重污染, 0.3~0.5 时, 水体中污染, 0.5~0.8, 水体为轻污染或无污染。

1.5 典范对应分析 采用 Canoco for Windows 4.5 软件对浮游生物种类数据和环境数据进行典范对应分析 (canonical correspondence analysis, CCA)。本文用于排序的浮游植物种类要满足下面两个条件: 该种类在采样点出现的频度 > 2 且该种类在至少一个采样点的相对丰度 > 1%。最终分析数据包含 15 个浮游植物分类单元和 13 个环境因子, 其中环境因子包括 pH、温度、溶解氧、电导、氨氮、总氮、总磷、透明度、浊度和 COD_{Mn} 这些物理化学指标, 以及轮虫、枝角类和桡足类浮游动物。除温度以外, 对所有数据用 $\lg(x+1)$ 转换后进行 CCA 分析。

2 结果与分析

2.1 理化参数及富营养化评价 长潭水库属亚热带海洋性季风气候, 对长潭水库水质监测结果表明, 在对长潭水库生态环境调查期间, 表层水温变化不明显, 水库透明度波动较大, 溶解氧变化范围是 6.51~13.28 mg/L (表 1)。应用《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) (国家环境保护局 2002) II 类对其水质进行评价, 结果显示, 圆丰电站 (S1) TP 和 TN 分别超出《地表水环境质量标准》II 类标准 3 倍, 已经达到 IV 类水; 沙坪电站 (S4) TP 和 TN 超出 II 类标准倍数最大, 分别 6 倍和 5 倍, 已经达到 V 类或者劣 V 类水质; 其他监测点的 TP 和 TN 都不同程度超出 II 类水质标准。水库水体叶绿素含量为 3.51~126.99 mg/m³, 其中普滩码头 (S2) 叶绿素最小, 沙坪电站 (S4) 最大 (126.99 mg/m³)。上游的圆丰电站 (S1)、普滩码头 (S2) 和西山渡口 (S3) 叶绿素含量介于 3.00~4.00 mg/m³ 之间, 而在沙坪电站 (S4) 以下的各点叶绿素含量均显著升高, 均超过 30.00 mg/m³。 COD_{Mn} 作为有机污染的指标, 当其超过 4 mg/L 时, 表示水体已受到有机污染 (刘健康 1995)。本研究中水库水体中 COD_{Mn} 波动范围是 1.78~5.04

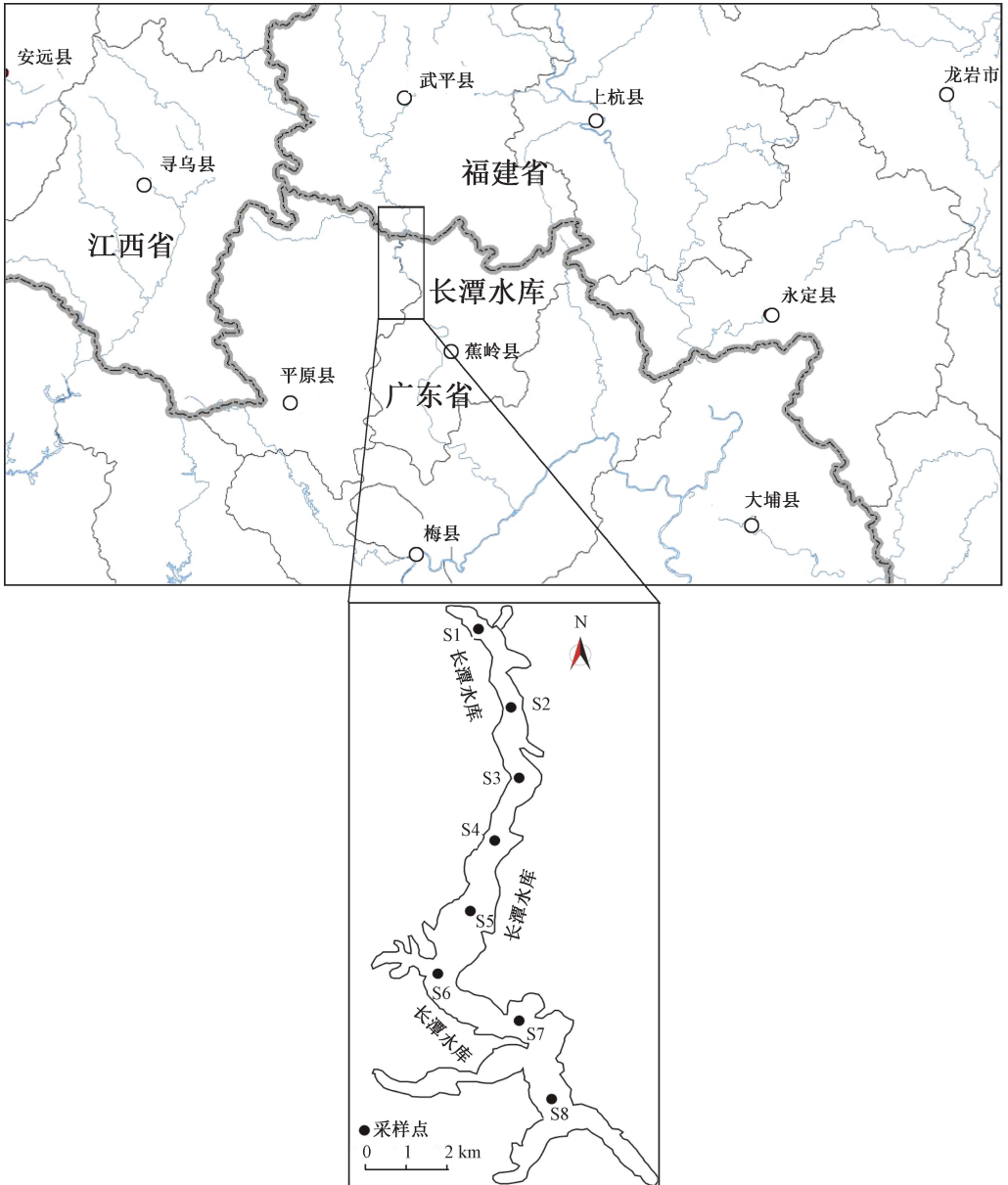


图 1 广东蕉岭长潭水库浮游生物样品采样示意图

Fig.1 Sampling sites in Changtan reservoir, Guangdong Province

S1. 圆丰电站; S2. 普滩码头; S3. 西山渡口; S4. 沙坪电站; S5. 竹叶峰; S6. 八溪; S7. 百美; S8. 水库坝上。

S1. Yuanfen station; S2. Putan station; S3. Xishan station; S4. Shaping station; S5. Zhuyefeng station; S6. Baxi station; S7. Baimei station; S8. Changtan dam station.

mg/L, S4、S5 高于 4.00 mg/L, S6 和 S8 在 3.00 mg/L 以上, 表明这些水体中有机污染较为严重。根据综合营养状态指数(TSI)评价长潭水库富营养化情况, 结果显示: 沙坪电站(S4)和

竹叶峰(S5)的 TSI 较高, 介于 50 和 60 之间, 这说明长潭水库沙坪电站和竹叶峰采样点水体处于轻度富营养化状态。这一研究结果与现场观察到蓝藻大量繁殖的现象基本一致。

表 1 长潭水库理化参数及营养状态指数(2010 年 7 月)

Table 1 Physical and chemical parameters of water sampled in Changtan Reservoir, Guangdong Province (July, 2010)

| 采样点 Sampling sites | 物理参数 Physical parameters | | | | | 化学参数 Chemical parameters | | | | 综合营养 状态指数 Trophic state index |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| | pH | 溶解氧 Dissolved oxygen (mg/L) | 电导率 Conductivity ($\times 10^{-3}$ S/m) | 透明度 Trans- parency (m) | 水温 Tempe- rature ($^{\circ}$ C) | 总磷 Total phosphorus (mg/L) | 总氮 Total nitrogen (mg/L) | 叶绿素 a Chlorophyll-a (mg/m^3) | 高锰酸盐指数 Permanganate index COD_{Mn} (mg/L) | |
| S1 | 6.94 | 6.51 | 8.97 | 0.45 | 28.70 | 0.077 | 1.46 | 4.19 | 1.78 | 41.16 |
| S2 | 7.78 | 6.65 | 7.12 | 0.60 | 27.80 | 0.059 | 1.56 | 3.51 | 2.25 | 42.21 |
| S3 | 8.02 | 6.69 | 6.75 | 0.30 | 27.40 | 0.077 | 1.21 | 3.44 | 2.20 | 39.61 |
| S4 | 9.24 | 11.66 | 6.09 | 0.35 | 28.80 | 0.154 | 2.46 | 126.99 | 5.04 | 58.92 |
| S5 | 9.62 | 13.28 | 5.97 | 0.50 | 30.00 | 0.060 | 1.25 | 69.06 | 4.35 | 52.78 |
| S6 | 9.43 | 11.76 | 5.41 | 1.20 | 31.30 | 0.037 | 0.96 | 34.85 | 3.09 | 49.95 |
| S7 | 9.40 | 11.44 | 5.30 | 1.10 | 31.70 | 0.035 | 0.85 | 30.12 | 2.86 | 48.37 |
| S8 | 8.66 | 12.18 | 5.23 | 0.90 | 31.40 | 0.042 | 0.79 | 39.15 | 3.25 | 49.35 |

S1. 圆丰电站; S2. 普滩码头; S3. 西山渡口; S4. 沙坪电站; S5. 竹叶峰; S6. 八溪; S7. 百美; S8. 水库坝上。

S1. Yuanfeng station; S2. Putan station; S3. Xishan station; S4. Shaping station; S5. Zhuyefeng station; S6. Baxi station; S7. Baimei station; S8. Changtan dam station.

2.2 浮游植物

2.2.1 种类组成 经初步鉴定,本次调查共发现浮游植物 6 门 55 种,绿藻 28 种,占藻类总种数的 50%;硅藻 17 种,占 31%;蓝藻 5 种,占 9%;甲藻和隐藻各 2 种,分别占藻类总种数的 4%;裸藻 1 种,占 2%。长潭水库浮游植物组成以绿藻为主,其次是硅藻和蓝藻,其中伪鱼腥藻 (*Pseudanabaena* sp.) 和隐藻 (*Cryptophyta* sp.) 为长潭水库广布种;空星藻 (*Coelastrum* sp.)、实球藻 (*Pandorina morum*)、栅藻 (*Scenedesmus* sp.)、小环藻 (*Cyclotella* sp.)、针杆藻 (*Synedra* sp.)、月牙藻 (*Selenastrum* sp.)、平裂藻 (*Merismopedia* sp.)、微囊藻 (*Microcystis* sp.) 及蓝隐藻 (*Chroomonas* sp.) 在长潭水库也较为常见。图 2 显示长潭水库 8 个采样点的浮游植物种类,其中在沙坪电站 (S4) 和竹叶峰 (S5) 浮游植物种类较少。

2.2.2 种群密度 长潭水库浮游植物密度的变化范围为 $1.71 \times 10^6 \sim 2.44 \times 10^8$ cells/L (图 3),其中栅藻、微囊藻、伪鱼腥藻、平裂藻、小环藻及隐藻密度较高,各采样点间藻类密度波动较大。沙坪电站 (S4) 藻类密度最大,为 2.44×10^8 cells/L;其次是竹叶峰 (S5),密度为 6.32×10^7 cells/L。在沙坪电站 (S4) 和竹叶峰 (S5) 浮

游植物种类单一,主要由微囊藻组成,其密度分别为 2.39×10^8 cells/L 和 6.14×10^7 cells/L,约占采样点浮游植物的 97% 和 98%。一般情况下,微囊藻、鱼腥藻等藻类大量出现的水体,表明水体呈现富营养化状态。因此,在长潭水库,从沙坪电站 (S4) 到竹叶峰 (S5) 这段水体,微囊藻、鱼腥藻、小环藻等种类大量出现,表明该段水体可能受有机污染,呈现富营养化状态,这与综合营养状态指数评价的结果基本一致。

2.2.3 多样性指数 图 4 所示,长潭水库各采样点的丰富度指数 (D)、香农威纳多样性指数 (H') 和均匀度指数 (E) 变化趋势相似。8 个采样点物种丰富度指数 (D) 大小顺序为:圆丰电站 (S1) > 普滩码头 (S2) > 西山渡口 (S3) > 水库坝上 (S8) > 百美 (S7) > 八溪村 (S6) > 竹叶峰 (S5) > 沙坪电站 (S4);香农-威纳多样性指数 (H') 的大小顺序为:西山渡口 (S3) > 普滩码头 (S2) > 圆丰电站 (S1) > 水库坝上 (S8) > 百美 (S7) > 八溪村 (S6) > 竹叶峰 (S5) > 沙坪电站 (S4);均匀度指数 (E) 的大小顺序为:圆丰电站 (S1) > 普滩码头 (S2) > 百美 (S7) > 水库坝上 (S8) > 八溪村 (S6) > 竹叶峰 (S5) > 沙坪电站 (S4)。从香农威纳多样性指数 (H') 结果来看,西山渡口 (S3) 的多样性指数 (H') 大于 3,表明

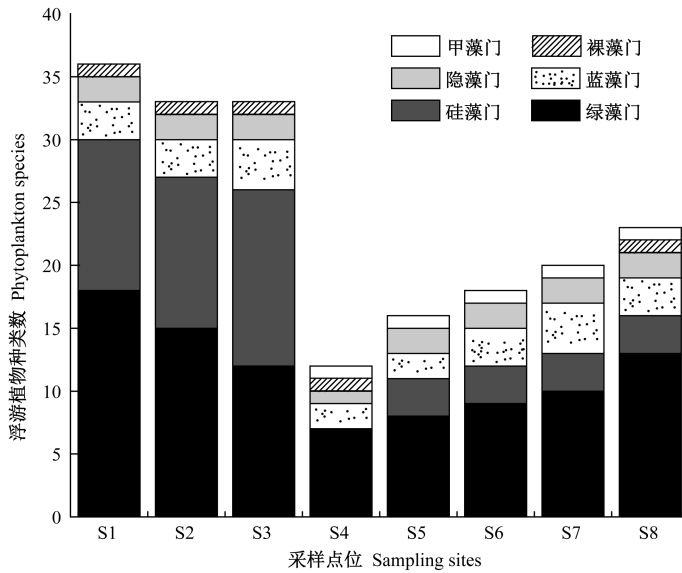


图2 长潭水库各采样点浮游植物种类

Fig. 2 Phytoplankton composition of sampling sites in Changtan Reservoir

S1. 圆丰电站; S2. 普滩码头; S3. 西山渡口; S4. 沙坪电站; S5. 竹叶峰; S6. 八溪; S7. 百美; S8. 水库坝上。

S1. Yuanfeng station; S2. Putan station; S3. Xishan station; S4. Shaping station; S5. Zhuyefeng station; S6. Baxi station; S7. Baimei station; S8. Changtan dam station.

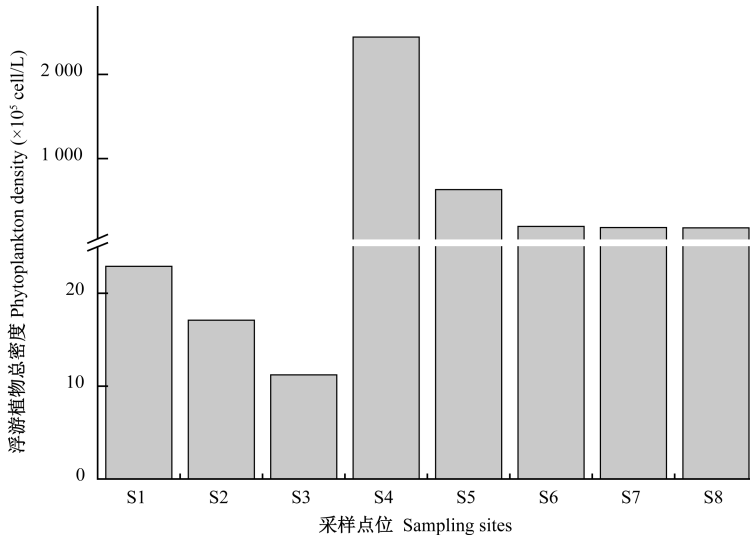


图3 长潭水库各采样点浮游植物密度

Fig. 3 Phytoplankton density at each sampling site in Changtan Reservoir

S1. 圆丰电站; S2. 普滩码头; S3. 西山渡口; S4. 沙坪电站; S5. 竹叶峰; S6. 八溪; S7. 百美; S8. 水库坝上。

S1. Yuanfeng station; S2. Putan station; S3. Xishan station; S4. Shaping station; S5. Zhuyefeng station; S6. Baxi station; S7. Baimei station; S8. Changtan dam station.

水体处于轻度污染;普滩码头(S2)、圆丰电站(S1)、百美(S7)、八溪村(S6)和水库坝上(S8)的多样性指数介于1与3之间,表明水体处于

中度污染水平;沙坪电站(S4)和竹叶峰(S5)最低,水体处于重污染。Pielou 均匀度指数(E)结果显示,沙坪电站(S4)和竹叶峰(S5)的均匀

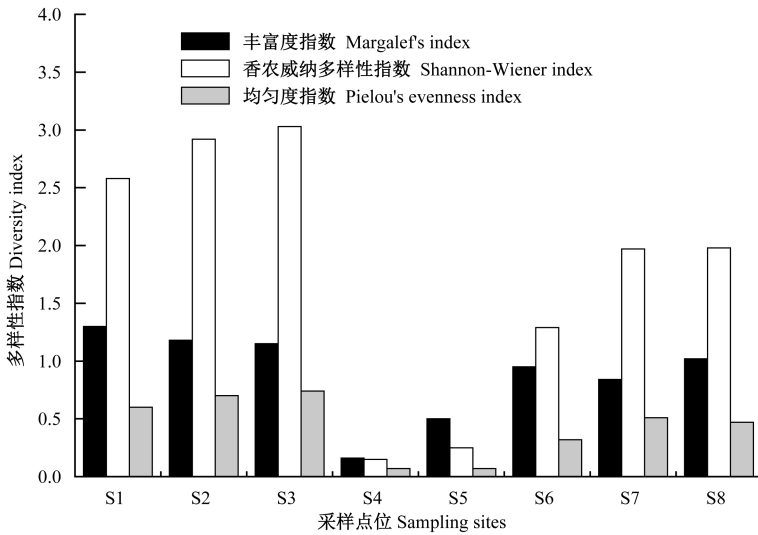


图4 长潭水库各采样点浮游藻类多样性指数

Fig. 4 Diversity index of phytoplankton at each sample sites in Changtan Reservoir

S1. 圆丰电站; S2. 普滩码头; S3. 西山渡口; S4. 沙坪电站; S5. 竹叶峰; S6. 八溪; S7. 百美; S8. 水库坝上。

S1. Yuanfeng station; S2. Putan station; S3. Xishan station; S4. Shaping station; S5. Zhuyefeng station; S6. Baxi station; S7. Baimei station; S8. Changtan dam station.

度指数(E)均为0.07,介于0与0.3之间,水体处于重污染,八溪村(S6)、百美(S7)和水库坝上(S8)处于中污染,圆丰电站(S1)、普滩码头(S2)和西山渡口(S3)处于轻度污染。

2.3 浮游动物种类组成 长潭水库各采样点鉴定出轮虫、枝角类、桡足类3大类群浮游动物共计44种,其中轮虫30种,占浮游动物总种数的68%;枝角类6种,占浮游动物总种数的14%;桡足类8种,占浮游动物总种数的18%。在长潭水库浮游动物组成中,轮虫包括臂尾轮属(*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*)、巨腕轮属(*Pedalia*)、单趾轮属(*Monostyla*)、皱甲轮属(*Ploesoma*)、棘管轮属(*Mytilina*)、腔轮属(*Lecane*)、聚花轮属(*Conochilus*);枝角类主要包括秀体溞属(*Diaphanosoma*)、象鼻溞属(*Bosmina*)和尖额溞属(*Alona*);桡足类包括右突新镖水蚤(*Neodiaptomus schmackeri*)、锯齿明镖水蚤(*Heliodiaptomus serratus*)、透明温剑水蚤(*Thermocyclops hyalinus*)、双色小剑水蚤(*Macrocyclops bicolor*)、广布中剑水蚤

(*Mesocyclops leuckarti*)、中华窄腹剑水蚤(*Limnithona sinensis*)等。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。在此次调查中,浮游动物组成以个体较小的轮虫为主,其中剪形臂尾轮虫(*Brachionus forficula*)、角突臂尾轮虫(*B. caudatus*)、长三肢轮虫(*F. longiseta*)、曲腿龟甲轮虫(*K. valga*)、等刺异尾轮虫(*Trichocerca similis*)是长潭水库常见种类。在枝角类中,长额象鼻溞(*Bosmina longirostris*)和颈沟基合溞(*Bosminopsis deitersi*)为小型枝角类,在长潭水库中是优势种。

图5展示长潭水库各采样点浮游动物丰度分布情况。沙坪电站(S4)和竹叶峰(S5)浮游动物总数最多,均为23种;水库上游和水库大坝浮游动物种类数较少,分别为15种和12种。长潭水库浮游动物总丰度变化范围是40~1588个/L。各采样点之间丰度差异较大。沙坪电站浮游动物密度最高,为1588个/L。

2.4 浮游动物与环境因子的典范对应分析

图6中排序图所示箭头表征了环境因子在平面上的相对位置,向量长短代表其在主轴中的作

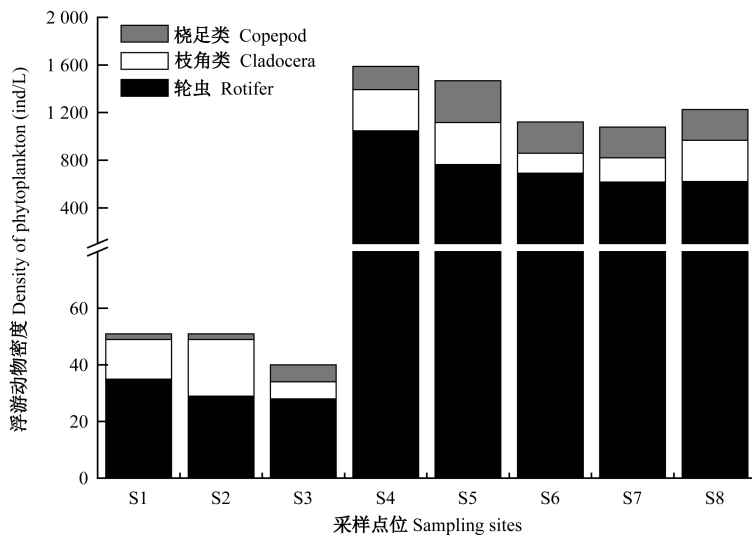


图5 长潭水库浮游动物丰度分布

Fig.5 Population density of zooplankton at each sampling site in Changtan Reservoir

S1. 圆丰电站; S2. 普滩码头; S3. 西山渡口; S4. 沙坪电站; S5. 竹叶峰; S6. 八溪; S7. 百美; S8. 水库坝上。

S1. Yuanfeng station; S2. Putan station; S3. Xishan station; S4. Shaping station; S5. Zhuyefeng station; S6. Baxi station; S7. Baimei station; S8. Changtan dam station.

用,箭头所处象限表示环境因子与排序轴之间的相关性,浮游植物种类用三角形表示。对主要浮游植物种类的丰度在主轴上排序,则可反映这些浮游植物与环境因子之间的对应关系。对长潭水库8个采样点的15种浮游植物和13种环境因子进行了排序分析,典范对应分析(CCA)的前两轴特征值分别为0.279和0.118,且物种-环境关系的累积百分率为74.3,说明排序图较好地反映了浮游植物与环境因子之间的关系。

在排序图中,与第一轴相关性较大的前5个因子是轮虫、桡足类、溶解氧(DO)、枝角类和 COD_{Mn} ,都位于坐标轴的右方,呈正相关关系,相关系数分别为0.98、0.96、0.96、0.96和0.90,与第二轴相关性较大的环境因子是总磷(TP)、总氮(TN)和浊度(Turb),三者均位于坐标轴上方,呈正相关,相关系数分别为0.95、0.92和0.85。应用典范对应分析对长潭水库8个采样点的浮游生物与环境因子关系的分析结果表明,浮游动物(轮虫、枝角类、桡足类)、溶解氧(DO)、总磷(TP)、总氮(TN)和 COD_{Mn} 与浮游植物的分布关系最密切,pH、浊度和电

导对其也有一定的影响。

3 讨论

长期以来,长潭水库由于受上游畜牧业养殖废水及周边农田化肥使用的影响,氮、磷等营养物质随着雨水冲刷、地表径流等方式进入库区,使得库区水质逐渐变坏。另外,长潭水库为狭长型水体,库区水体交换缓慢,氮、磷等营养物质在底泥中积累,成为潜在的“二次污染源”。营养状态指数(TSI)显示长潭水库部分水体出现轻度富营养化现象。在氮、磷等营养元素较丰富的情况下,为耐有机污染及喜富营养的浮游生物种类提供了较为有利的生存条件。从浮游生物组成来看,长潭水库浮游生物优势种中大部分属于富营养水体或者中污染型水体的指示物种。对于浮游动物而言,由于库区中的鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙鱼(*Aristichthys nobilis*)首先摄食枝角类,其次才摄食桡足类,从而使得库区水体中轮虫呈现最多的分布特征。长潭水库属于备用水源地,而且是国家一类水源保护区。当地相关部门应该采取有力措施,排查库区周边污染源,严格控制污

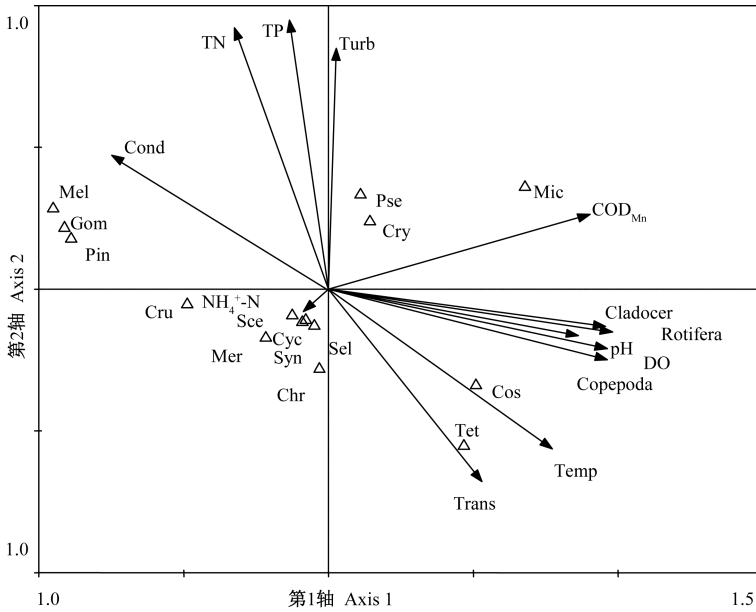


图 6 长潭水库浮游植物与环境因子的 CCA 排序图

Fig. 6 Canonical correspondence analysis (CCA) ordination diagram of plankton species-environmental factors in Changtan Reservoir

图中的箭头表示环境因子: Cond. 电导率; TN. 总氮; TP. 总磷; Turb. 浊度; COD_{Mn}. 化学需氧量; pH; DO. 溶解氧; Temp. 温度; Trans. 透明度; Rotifera. 轮虫; Cladocer. 枝角类; Copepoda. 桡足类。

图中△表示浮游植物: Pse. 伪鱼腥藻; Mer. 平裂藻; Cyc. 小环藻; Gom. 异板藻; Syn. 针杆藻; Sce. 栅藻; Mel. 直链藻; Cru. 十字藻; Sel. 月牙藻; Pin. 羽纹藻; Chr. 蓝隐藻; Cyr. 隐藻; Mic. 微囊藻; Tet. 三叶四角藻; Cos. 鼓藻。

The arrows in the figure represent environmental factors, including conductivity (Cond), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), turbidity (Turb), chemical oxygen demand (COD_{Mn}), pH, dissolved oxygen (DO), temperature (Temp), transparency (Trans), Rotifera, Cladocer and Copepoda, while △ means plankton species, Pse. *Pseudanabaena* sp.; Mer. *Merismopedia* sp.; Cyc. *Cyclotella* sp.; Gom. *Gomphonema* sp.; Syn. *Synedra* sp.; Sce. *Scenedesmus* sp.; Mel. *Melosira* sp.; Cru. *Crucigenia* sp.; Sel. *Selenastrum* sp.; Pin. *Pinnularia* sp.; Chr. *Chroomonas* Hansg.; Cry. *Cryptophyta* sp.; Mic. *Microcystis* sp.; Tet. *Tetraedron trigonum* Hansg.; Cos. *Cosmarium* sp.

污染源排放,保护库区水体,保护水库生态环境。
致谢 感谢广东省梅州市焦岭县环保局李辉等同志参与样品采集工作;感谢中国科学院南海海洋所周广杰副研究员对稿件的指导。

参 考 文 献

Fang Y, Wang Y H, Liu Y H, et al. 2012. Feature of phytoplankton community and canonical correlation analysis with environmental factors in Xiaoqing River estuary in autumn. *Procedia Engineering*, 37(1): 19 - 24.

Rochelle-Newall E G, Chu V T, Pringault O, et al. 2011. Phytoplankton distribution and productivity in a highly turbid, tropical coastal system (Bach Dang Estuary, Vietnam). *Marine Pollution Bulletin*, 62(11): 2317 - 2329.

国家环境保护总局. 2002. 地表水环境质量标准. 北京: 中国环境科学出版社.

国家环境保护总局. 2002. 水和废水监测分析方法. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社.

韩茂森, 束蕴芳. 1995. 中国淡水生物图谱. 北京: 海洋出版社.

胡国成, 许振成, 彭晓武, 等. 2011. 广东长潭水库表层沉积物重金属污染特征与潜在生态风险评价研究. *农业环境科学学报*, 30(6): 1166 - 1171.

林秋奇, 韩博平. 2001. 水库生态系统特征研究及其在水库水质管理中的应用. *生态学报*, 21(6): 1034 - 1040.

刘健康. 1995. 东湖生态学研究(二). 北京: 科学出版社, 63 - 226.

马克平. 1994. 生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(上). *生物多样性*, 2(3): 162 - 168.

沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 1990. 微型生物监测新技术.

北京:中国建筑工业出版社.

46-49.

张友胜,黄国阳,郑定华,等. 2009a. 长潭自然保护区不同功能区森林土壤有机碳分布规律. 热带林业, 37(3): 1-4.

章宗涉,黄祥飞. 1991. 淡水浮游生物研究方法. 北京:科学出版社.

张友胜,郑定华,李海,等. 2009b. 广东长潭自然保护区土壤有机碳含量与植被类型的关系. 广东林业科技, 25(5):

周毅,黎艳明,郭乐东,等. 2009. 蕉岭长潭省级自然保护区表土有机碳研究. 广东林业科技, 25(5): 1-7.

云南发现小滨鹬

2013年4月21日下午、5月12日下午、5月18日下午,笔者在云南省昆明市官渡区福保湾湿地(24°55'36" N, 102°42'13" E)的泥滩上3次观察到小滨鹬(*Calidris minuta*),每次均为1只。该泥滩由湖边鱼塘改造,堆积工程泥浆并种植水生植物形成。发现该鸟的同时,在该泥滩还记录到了黑翅长脚鹬(*Himantopus himantopus*)、蒙古沙鸨(*Charadrius mongolus*)、环颈鸨(*C. alexandrinus*)及金眶鸨(*C. dubius*)等。

观察到的小滨鹬全长约14 cm,浅色眉纹,喉和下体白色,脚和嘴均为黑色,嘴黑色且短而直(见封4图)。该种与同属的相似种长趾滨鹬(*Calidris subminuta*)、青脚滨鹬(*C. temminckii*)的主要区别在于该种腿及脚为黑色,而长趾滨鹬腿及脚为黄绿色,青脚滨鹬腿及脚偏绿或近黄;与同属的相似种红颈滨鹬(*C. ruficollis*)的主要区别在于该种腿较长,内侧次级飞羽和中覆羽具红褐色边缘,背部具有明显的白色“V”形斑,而红颈滨鹬腿较短,内侧次级飞羽和中覆羽无红褐色边缘,背部无白色“V”形斑。

小滨鹬繁殖区在欧亚大陆北部、西伯利亚,往东到楚科奇半岛。越冬区在非洲、波斯湾、红海、里海和亚洲南部的孟加拉国、印度、斯里兰卡、缅甸(赵正阶 2001)。我国境内小滨鹬属偶见物种,在东部和北部有少量记录。在香港,1986年有第一次记录之后,几乎每年春季均有少量记录(Carey et al. 2001),在天津(王凤琴 2007)、河北北戴河(约翰·马敬能等 2000)、吉林白城(于国海等 2012)、浙江杭州(刘安兴等 2001)、上海(蔡友铭 2008)、内蒙古阿拉善右旗(旭日干 2007)及新疆精河县(马鸣等 2010)等地也有过少量记录。

经查阅《中国鸟类分类与分布名录》(第二版)(郑光美 2011)、《中国鸟类分布名录》(郑作新 1976)、《中国鸟类志:非雀形目》(赵正阶 2001)、《云南鸟类志:上卷 非雀形目》(杨岚等 1994)、《中国鸟类野外手册》(约翰·马敬能等 2000)等相关学术著作及网络数据库,云南省尚未有小滨鹬分布的报道,此次观察为该种在云南省的首次记录。

白皓天 罗 康 王紫江 张征恺 丁洪波 吴兆录*
云南大学生态学与地植物学研究所 昆明 650091

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 31060079);

* 通讯作者,E-mail: zlwu@ynu.edu.cn;

第一作者介绍 白皓天,男,硕士研究生;研究方向:生态学与保护生物学;E-mail:181705854@qq.com。

收稿日期:2013-05-30,修回日期:2013-06-27