

沱江内江城区段水质评价

王文林 刘羽鑫 彭未娟 陈小兰 向守曲 谢青 陶敏^{*1}

(内江师范学院生命科学学院, 四川 内江 641100)

摘要: 为综合评价沱江内江城区段水质状况, 对该区域丰水期(8月)与平水期(3月)的4个代表性断面进行采样调查. 结果显示: 总氮总磷含量较高, 尤其是丰水期, 均值分别达到 3.49mg/L、0.46mg/L, 属于Ⅳ~Ⅴ类水; 综合营养指数 TLI(Σ)范围为 45.1~64.1, 处于中-轻度富营养水平. 共检出浮游植物 53 种(属), 其中绿藻种类最多, 为 22 种(属), 占总种类数的 41.51%; 优势种为湖泊假鱼腥藻(*Pseudanabaena limnetica*)、尖头藻(*Raphidiopsis* sp.)、梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)、小球藻(*Chlorella vulgaris*), 暗示着沱江浮游植物种类的静水化趋势与水体富营养化趋势. 从现存量来看, 丰水期密度最大的为蓝藻, 占比高达 42.3%; 平水期硅藻为优势, 占比达 28.4%. 多样性指数(H')范围为 2.28~3.53(均值 2.95), 丰富度指数(d)范围为 3.78~5.62(均值 4.73), 均匀度指数(J)范围为 0.37~0.86(均值 0.67), 丰水期与平水期多样性指数呈寡污-中污状态. 综上, 沱江内江城区段现处于中-富营养状态, 丰水期富营养化趋势明显.

关键词: 沱江内江城区段; 水质评价; 综合营养状态指数; 生物多样性指数; 富营养化;

中图分类号: X824

文献标志码: A

文章编号: 1671-1785 (2019) 10-0062-07

0 引言

水作为最重要的自然资源, 为流域的社会经济发展提供了条件^[1]. 综合评价水环境质量, 全面把握流域水环境污染特征, 是水环境污染防治中的重要基础性工作^[2]. 早期的水质评价多针对理化指标^[3, 4, 5, 6, 7, 8], 而综合研究水生生物群落结构、种类组成评价水质的较少. 近年来随着对生态系统结构与功能的认识逐渐深入, 越来越多的学者开始通过水生生物的种类组成、数量分布和多样性等结构特征来进行水质评价^[9, 10].

沱江, 是长江上游的一级支流, 流域面积为 2.78×10^4 km², 流经了大量农业区和居民住地, 多年平均降水量为约 1 029 mm, 年平均径流量约 149.4×10^8 m³, 其中丰年水径流量为 262.4×10^8 m³, 枯水年径流量为 66.2×10^8 m³, 是四川污染最严重的河流之一^[11]. 2004 年 3 月、5 月, 沱江前后发生的重大水质污染事件, 导致沿岸的简阳、资中、资阳、内江等地居民断水 26d, 沱江流域 50×10⁴ 斤的养殖鱼、不计其数的野生鱼群死亡, 给沱江流域的生态系统及沿岸的水体环境造成了直接和潜在的危害^[12, 13]. 随着工农业生产的加速发展, 沱江水质状况不容忽视, 其水质好坏对城市建设、居民生活质量与环境有着深重的影响. 因此, 客观地评价沱江流域水质的整体现状对于沱江水资源保护和利用具有重要的意义^[14]. 本研究以沱江内江城区段为对象, 根

¹收稿日期: 2019-05-28

DOI: 10. 13603 / j . c n k i . 51-1621 / z . 2019. 10. 012

基金项目: 内江师范学院大学生创新创业项目(X2017010); 内江师范学院大学生科研项目(17NSD-146);

作者简介: 王文林(1996—), 女, 四川遂宁人, 内江师范学院学生; *陶敏(1984—), 女, 四川威远人, 内江师范学院副教授, 博士, 研究方向: 水生生物学;

据环境不同设置 4 个断面，对其进行丰水期与平水期采样调查，分析其浮游植物群落结构、重要水化学指标的变化，从理化指标和浮游植物两个角度进行了水质状况评价，以期为沱江内江城区段水质环境管理和城市居民饮水、工农业用水提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

1.1.1 采样点布设根据沱江流域环境特点，选择高人口密度的地点进行监测，在内江市市区段从上游至下游布设沱江新坝大桥（1#）、桐梓林大桥（2#）、西林大桥（3#）、沱江大桥（4#）4 个采样断面（见图 1）。

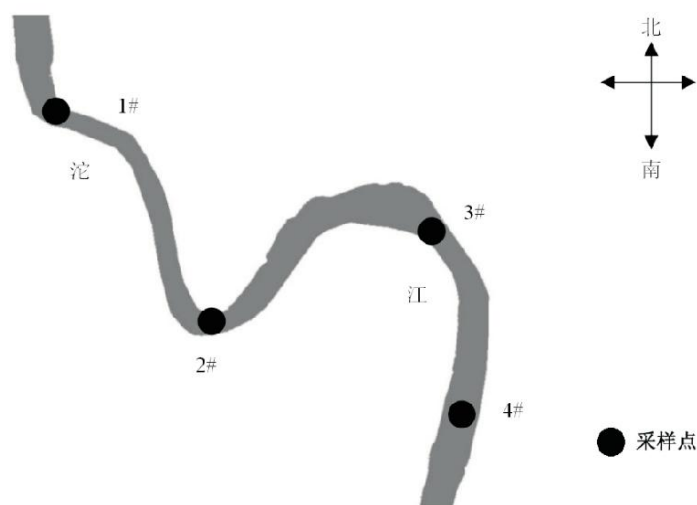


图 1 采样点分布

由图 1 可见，新坝大桥位于内江市市区上游，建成于 2010 年，周边人口较其余三个断面少，附近建有清溪河湿地公园，采样断面上游百米右岸有排污口一个。桐梓林大桥与西林大桥，先后建成于 2005 年、1988 年，周围人口密集，西林大桥上游左岸有一排污口。沱江大桥位于内江市市区下游，历史最久，建成于 1969 年，人口较密集，下游为天宫堂水电站。

1.1.2 浮游植物样品采集与观察

2017 年 8 月（丰水期）与 2018 年 3 月（平水期）对采样断面进行样品采集与调查。

用 25#浮游生物网在水体表面作 ∞ 形循环拖动采集浮游植物定性样品，拖动速度不超过 0.3m/s，时间不超过 5min，装入 50ml 样品瓶，及时加入适量鲁哥试剂进行固定，带回实验室，使用光学显微镜观察并鉴定种类。

使用有机玻璃定深采水器（5L）采集 1L 表层水样，置于棕色的小口瓶，加入 1~1.5ml 鲁哥试剂进行现场固定，带回实验室放入浮游生物沉淀器中沉淀 48h，利用虹吸管清除上层清液，将剩余沉淀物装入 50 ml 样品瓶中，以视野计数法计数藻类[15]，体积法计算生物量^[16]。

1.1.3 水化样品采集与测定

使用便携式溶解氧测量仪 (YSI-550A)、电导率仪 (METTLER TOLEDO sevenGo SG3)、便携式 pH 计 (pHB-4)、等测定溶解氧、电导率、pH、温度等指标。使用有机玻璃定深采水器 (5L) 取 1L 表层水置于洁净小口瓶中, 冷藏避光带回实验室, 24h 内做水化指标检测。按照《地表水环境质量标准 (GB3838—2002)》规定方法测定各理化指标, 包括总氮 (TN)、总磷 (TP)、氨氮 (NH₄-N)、亚硝态氮 (NO₂-N)、硝酸盐氮 (NO₃-N)、高锰酸钾指数 (CODMn)、叶绿素 a (chl_a)。

1.2 评价方法

1.2.1 综合营养状态指数

采用湖泊 (水库) 富营养化评价方法及分级技术规定中的综合营养状态指数 TLI (Σ) 评价方法与标准对调查区域营养状态进行评估。

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \times TLI(j),$$

式中, TLI (Σ) 为综合营养状态指数; W_j 为第 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。根据水体营养物质的污染程度, 通常分成贫营养、中营养和富营养三种水平。营养状态分级为了说明水体富营养状态情况, 采用 0~100 的一系列连续数字对水体营养状态进行分级: TLI (Σ) > 70 处于重度富营养, 60 < TLI (Σ) ≤ 70 为中度富营养, 50 < TLI (Σ) ≤ 60 为轻度富营养, TLI (Σ) > 50 为富营养, 30 ≤ TLI (Σ) ≤ 50 为中营养, TLI (Σ) < 30 为贫营养。在同一营养状态下, 指数值越高, 其营养程度越重。

1.2.2 优势度指数

按照 Mcnaughton 优势度指数公式计算优势度:

$$Y = P_i \times f_i.$$

式中, P_i 为第 i 种浮游植物丰度与样品中浮游植物种总丰度的比值 (n_i/N), n 为样品中第 i 种浮游植物的丰度, N 为样品中浮游植物总丰度, f_i 为第 i 种在各站点出现的频率。Y 值 > 0.02 的种类为优势种。

1.2.3 多样性指数

运用 Shannon-Wiener 多样性指数 (H'), Margalef 丰富度指数 (d)、Pielou 均匀度指数 (J) 进行评价。计算公式分别为:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i,$$

$$d = \frac{(S-1)}{\ln N},$$

$$J = \frac{H'}{\log_2 S}.$$

式中, S 为样品中物种种类总数, P_i 为第 i 种浮游植物丰度与样品中浮游植物种总丰度的比值 (n_i/N), n 为样品中第 i 种浮游植物的丰度, N 为样品中浮游植物总丰度. H' 值处于 0~1 为重污染, 1~2 为 α -中污, 2~3 为 β -中污, 1~3 为中污染, 大于 3 时为轻或无污染. d 值处于 0~1 为重污染, 1~3 为 α -中污, 3~4 为 β -中污, 4~5 之间为寡污型, 大于 5 时为清洁. J 值处于 0~0.3 为重污染, 0.3~0.4 为 α -中污, 0.4~0.5 为 β -中污, 0.5~0.8 为寡污型, 0.8~1.0 为清洁.

1.2.4 数据处理与分析

为研究各采样点无机环境因子和浮游植物种类密度季节与空间之间的显著关系, 利用 SPSS 软件进行各理化数据、浮游植物种类密度相关性分析. 数据处理与基本图形绘制在 Microsoft Office Excel 中完成.

2 结果与讨论

2.1 理化指标各采样点各季节理化指标.

$\text{NO}_2\text{-N}$ 含量变化不大, 变化范围为 0.08~0.12mg/L; $\text{NH}_4\text{-N}$ 在丰水期含量较高, 平均 0.16mg/L, 属 II 类水; 平水期均值 0.10mg/L, 属 I 类水; TP 丰水期含量高, 平均为 0.46 mg/L, 属劣 V 类水, 平水期均值 0.25mg/L, 属 IV 类水. TN 丰水期与平水期均值分别为 3.49 mg/L、3.18mg/L, 同属 V 类水. CODMn 的丰水期含量高, 平均为 6.19mg/L, 属 IV 类水, 平水期均值 2.43mg/L, 属 II 类水. 总体上看, 调查江段在丰水期为劣 V 类, 主要污染物质为 TP, 其次为 TN; 平水期为 V 类水, 主要受 TN 影响. 由此可见, 氮磷污染是沱江内江城区段水质目前面临的最严重的问题, 与四川境内其他河流相比, 本区域 TN、TP 含量明显更高^[17, 18, 19], 水质类型与 2015 年和 2016 年一致^[20]. 近几年在沱江水质提升上作出了较多的努力, 但从目前来看污染现状仍不容乐观, 一方面可能与近几年降雨量减少有关, 另一方面流域内各种来源的污染物输入可能仍然较高, 还需进一步调控.

从空间分布来看, 各断面无明显差异 ($P>0.05$), 断面 2#、3#的总磷、总氮含量较高, 其中 2#TP 最高, 为 0.56 mg/L, 3#TN 最高, 为 3.60mg/L, 这可能与两个断面周围高密度人口居住与污水排放有关.

从季节上来看, 各理化指标均有显著差异 ($P<0.05$), TP、TN、 CODMn 、chl a 指标相比较指标丰水期均高于平水期, 与 2013 趋势一致^[21]. 这与丰水期较大的降水量和径流量有关, 地表径流可为沱江内江城区段带入丰富的外来氮磷^[22]. 研究发现, 平水期 $\text{NO}_3\text{-N}$ 值均高于丰水期, 可能与平水期浮游植物生长减缓对营养盐的摄取减少, 且藻类在冬季因老化和缺氧大量死亡, 后经过微生物分解等作用最终形成硝酸盐累积于水体中^[23], 而丰水期带入的氮磷多以有机氮形式存在^[24]等因素有关.

2.2 综合营养状态指数

研究期间综合营养状态指数时空变化如图 2 所示.

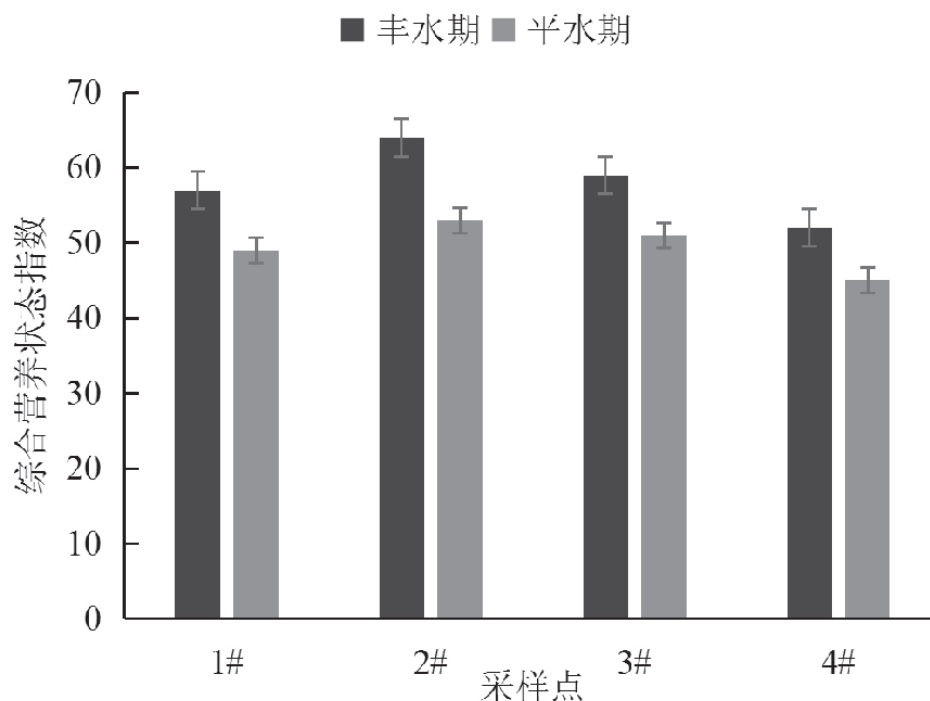


图2 丰水期与平水期综合营养状态指数

根据图2所示,综合营养状态指数季节上有显著差异($P<0.05$),丰水期4个断面平均TLI(Σ)为58,平水期为49.5,总体属于中营养到轻度富营养化状态,丰水期有轻度污染。由于城区下游天宫堂水电站的拦截作用,沱江内江城区段向静水型转变,在一定程度上降低了其自净能力,与2009年相比,营养水平明显增高^[26]。从空间分布看,中间断面2#与3#在两个季节中TLI(Σ)均稍高,尤其2#丰水期TLI(Σ)为最高(>60)呈中度富营养;上下游断面1#、4#稍低,其中4#平水期处于中营养状态(TLI(Σ)为45)。这与各断面周边人为干扰密不可分,中间断面位于城市中心位置,人口密集,污染物排放强度大;上下游断面在城区边缘,人口相对较少,水质稍好。

2.3 浮游植物群落结构

各采样点浮游植物种类数组成如图3所示。

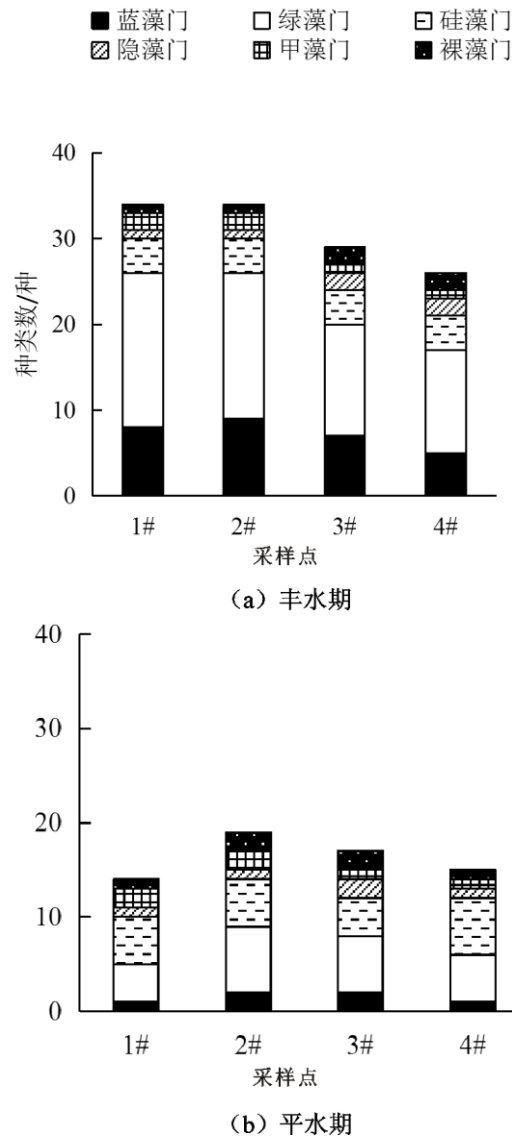
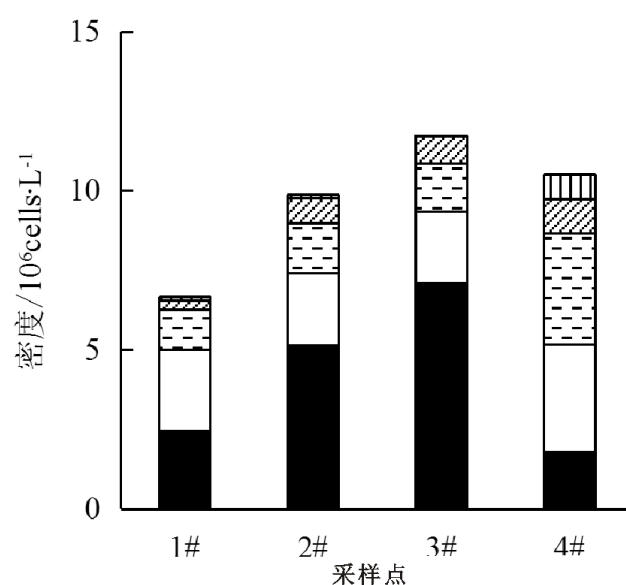


图3 浮游植物种类数组成

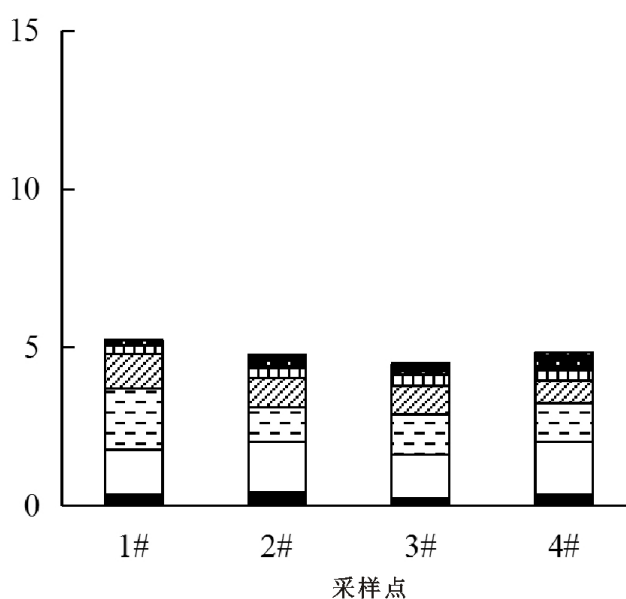
调查期间共检出浮游植物 6 门 53 种 (属)。由图 3 可知, 检出的浮游植物中绿藻门种类数最多, 为 22 种 (属), 占总种类数的 41.5%; 其次为蓝藻门 14 种 (属), 占 26.4%; 硅藻门 8 种 (属), 为 15.1%; 裸藻门 4 种 (属), 为 7.6%; 甲藻门 3 种 (属), 占 5.7%; 隐藻门 2 种 (属), 占 3.8%。绿藻、蓝藻等典型的湖泊型藻类种类数增多[26, 27], 暗示着沱江内江城区段水文条件与水环境均朝着静水化发展, 与嘉陵江等长江上游部分支流一样, 水电站的建设与运行造成并加剧了这样转变^[28]。

浮游植物种类组成在季节上存在显著差异 ($P < 0.05$)。丰水期各断面种类数较高, 在 26—34 种间变化, 平水期则较低为 14—19 种, 受到温度、营养等季节变化因素的影响[29, 30]。

各采样点浮游植物密度组成如图 4 所示。



(a) 丰水期



(b) 平水期

图4 浮游植物密度分布

由图4可见，从浮游植物现存量来看，丰水期藻类密度主要由蓝藻、绿藻、硅藻组成，分别占42.3%、26.8%、20.1%，以喜高温的蓝藻^[31]密度最大，平均达到 $4.1 \times 10^6 \text{ cell/L}$ ，其中以3#断面蓝藻的密度最高，可达 $7.1 \times 10^6 \text{ cell/L}$ 。丰水期水温较高，水量充足，氮磷含量丰富，适合藻类尤其是蓝藻生长增殖^[32]，为水华易发期，是进行重点防控的季节。平水期则是绿藻、硅藻、隐藻较多，分别占21.5%、28.4%、18.7%，以喜低温的硅藻^[33]密度最大，平均达到 $1.37 \times 10^6 \text{ cell/L}$ 。

优势种优势度指数与频度。

根据优势度指数，丰水期优势种湖泊假鱼腥藻 (*Pseudanabaena limnetica*)、尖头藻 (*Raphidiopsis* sp.)、梅尼小环藻 (*Cyclotella meneghiniana*)、小球藻 (*Chlorella vulgaris*)，其中优势度最高为假鱼腥藻，达 0.074，其次为梅尼小环藻 (*Cyclotella meneghiniana*) 为 0.070。平水期优势种为小球藻 (*Chlorella vulgaris*)、隐藻 (*Cryptomonas* sp.)、舟形藻 (*Navicula* sp.)，其中优势度最高的为小球藻 (*Chlorella vulgaris*)，达 0.090，脆杆藻 (*Fragilaria* sp.)、纤维藻 (*Ankistrodesmus* spp.) 在丰水期与平水期都占优势。裸藻及甲藻种类少且优势度低。假鱼腥藻为多污指示种，梅尼小环藻、小球藻、脆杆藻均为 α -中污指示种^[34,35]，蓝藻、绿藻等藻种出现频度高，表示丰水期沱江已处于富营养化状态，平水期硅藻、隐藻频度高^[36]，则表示处于中营养状态。

2.4 多样性指数

研究区域浮游植物多样性指数变化趋势如图 5，丰水期多样性指数 (H') 平均为 2.99，最低为 4#(2.32)，处于 β -中污；丰富度指数 (d) 平均为 4.95，最低为 4#(4.48)，为寡污型；均匀度指数 (J) 平均为 0.55，整体为寡污型，其中最低点 4#(0.37) 处于 α -中污。平水期多样性指数 (H') 平均为 2.90，丰富度指数 (d) 平均为 4.37，均匀度指数 (J) 平均为 0.78，整体处于寡污。从多样性来看，沱江处于寡污到中污状态，比嘉陵江部分江段稍好^[37]。

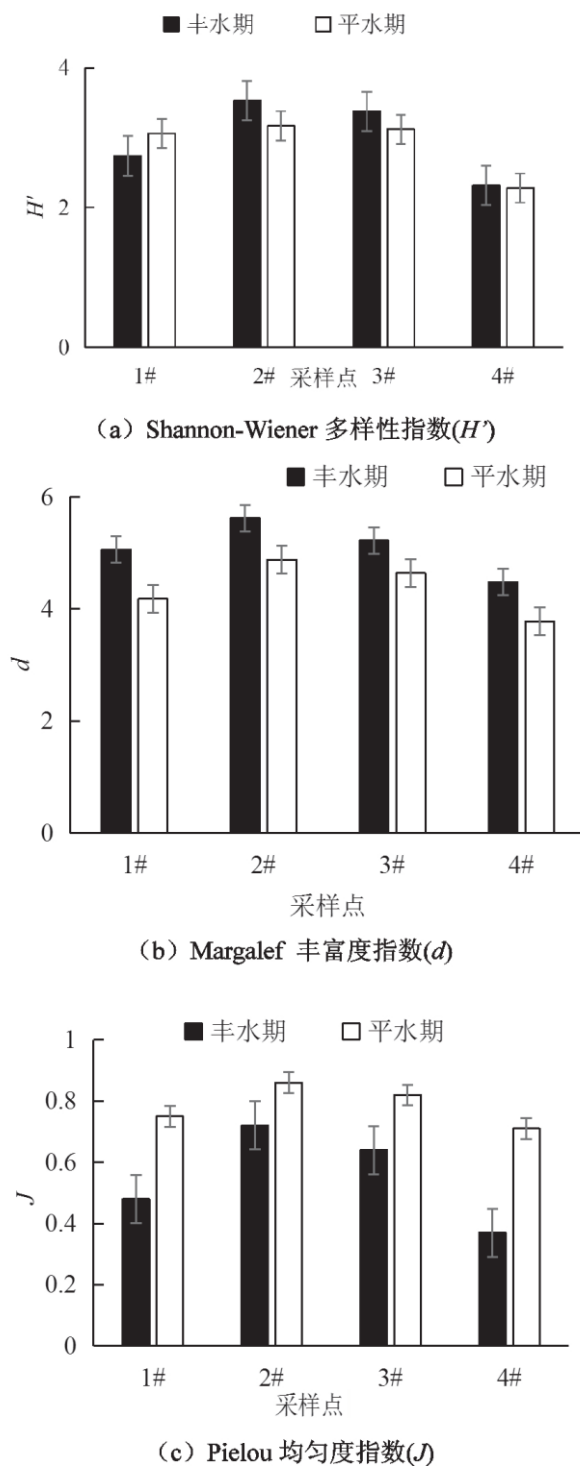


图5 浮游植物多样性指数空间分布

3 结论

通过对沱江内江城区段丰水期（8月）与平水期（3月）代表性断面的调查，发现：沱江内江城区段总氮、总磷含量较高，尤其是丰水期，均值分别达到 3.49mg/L、0.46 mg/L，属于IV-V类水；综合营养指数 TLI（ Σ ）范围为 45.1~64.1，处于中-

轻度富营养水平。共检出浮游植物 53 种（属），其中绿藻种类最多，为 22 种（属），占总种类数的 41.51%。丰水期密度最大的为蓝藻，占比高达 42.3%；平水期为硅藻优势，占比达 28.4%。典型的湖泊型藻类蓝藻与绿藻的优势地位，暗示着该区域水文环境向静水化发展，且富营养化趋势明显。从空间分布来看，中游人口密度大的两个断面总氮、总磷含量较高，且藻类密度较大。多样性指数（H_s）范围为 2.28~3.53，丰富度指数（d）为 3.78~5.62，均匀度指数（J）为 0.37~0.86，其均值分别为 2.95、4.73、0.67，沱江整体处于寡污-中污状态。

综合以上结果，沱江内江城区段目前存在一定程度的污染，富营养化趋势明显，尤其是丰水期中游人口较多的断面，加之水流速度缓慢，发生水华的可能性较大，应进行重点防控。建议除继续坚持减排以外，在城区排污口附近建设湿地景观，通过湿地多孔底质的生物过滤及物理过滤作用，将较大粒径的污染物质留持降解，并通过植物根系的吸收减少外源性营养物质的持续输入和积累，降低沱江的营养负荷。

参考文献:

[1]孟伟. 中国流域水环境污染综合防治战略[J]. 中国环境科学, 2007(5):712-716.

[2]胡成, 苏丹. 综合水质标识指数法在浑河水质评价中的应用[J]. 生态环境学报, 2011, 20(1):186-192.

[3]BOZZETTI M, SCHULZ U H. An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil. *Hydrobiologia*, 2004, 529(1):133-144.

[4]陈国珍, 祝长生, 邢建晶. 濛溪河泸县段流域水环境污染现状评价[J]. 四川环境, 2009, 28(6):76-80.

[5]吴菊珍, 罗垂敏. 浅谈三江源区隆务河流域水资源现状[J]. 四川环境, 2008(3):41-44.

[6]柏祥, 陈开宁, 黄蔚, 等. 五里湖水质现状与变化趋势[J]. 水资源保护, 2010, 26(5):6-10.

[7]王波, 李伟, 尹元畅, 等. 沱江流域成都段水环境污染特征及治理对策[J]. 绿色科技, 2016(4):57-59.

[8]邓光毅, 王加友, 张红霞. 长江水质评价和预测的数学模型[J]. 内江师范学院学报, 2006, 21(S1):181-184.

[9]王川, 岳兴建, 谢嗣光, 等. 越溪河春季底栖动物的群落结构及水质评价[J]. 内江师范学院学报, 2010, 25(12):59-64.

[10]贺雪, 刘果, 刘天凤, 等. 黄河水库水质评价: 基于浮游植物群落周年变化[J]. 内江师范学院学报, 2018, 33(8):121-128.

[11]杜明, 柳强, 罗彬, 等. 岷、沱江流域水环境质量现状评价及分析[J]. 四川环境, 2016, 35(5):20-25.

[12]周祖冰. 沱江流域水资源可持续利用的思考[J]. 中国防汛抗旱, 2006(1):48-50.

[13]贾滨洋, 张伟, 张峰瑜. 严重污染事故后河流的生态恢复: 以沱江为例[J]. 环境科学导刊, 2008(5):35-40.

[14]陈雨艳, 余恒, 向秋实, 等. 沱江流域水环境质量分析[J]. 四川环境, 2015, 34(2):85-89.

[15]杨萍萍. 浮游植物显微镜计数方法适用范围探究[J]. 资源节约与环保, 2017(7):101-102.

-
- [16]左涛,王荣.海洋浮游动物生物量测定方法概述[J].生态学杂志,2003(3):79-83.
- [17]龚廷登,杨伟阶,何滔,等.金沙江水富段水生生物的群落结构及水质监测[J].淡水渔业,2014,44(4):25-34.
- [18]李金阳.嘉陵江南充段水质监测分析与综合评价[J].四川环境,2014,33(4):77-82.
- [19]马永红,曾燊,任丽萍,等.嘉陵江四川段藻类植物群落结构及水质评价[J].应用生态学报,2012,23(9):2573-2579.
- [20]周开锡,罗德康.断面水质评价法在内江市主要河流及湖库水环境质量分析中的应用[J].环境研究与监测,2017(3):60-63.
- [21]陶敏,谢碧文,齐泽民,等.沱江浮游植物群落特征及水质评价[J].海洋与湖沼,2016,47(4):854-861.
- [22]夏品华,李秋华,林陶,等.百花湖水库的湖沼学反应特征研究[J].环境科学学报,2011,31(8):1660-1669.
- [23]包静玥,鲍建国,李立青.山地城市新建湖库氮磷营养盐时空特征研究[J].环境科学,2014(10):3709-3715.
- [24]许萌萌,张毅敏,高月香,等.湖泊氮磷赋存形态和分布研究进展[C].第二届全国流域生态保护与水污染控制研讨会论文集,2014.
- [25]刘佳,徐亮,张秋劲,等.四川省水体富营养状况时空分布调查.中国环境监测,2012,28(5):6-8.
- [26]郝达平,鞠伟,刘伟,等.湖泊浮游藻类监测技术研究及应用[J].江苏水利,2013(12):40-42.
- [27]裴海燕.南四湖藻类种群特征[M].北京:中国环境科学出版社,2010:38-43.
- [28]杨敏,张晟,刘朔孺.草街水库蓄水后嘉陵江浮游植物群落特征及水质评价[J].环境科学,2015(7):2480-2486.
- [29]张家路,王银平,蔺丹清,等.扬中夹江浮游植物种群特征及其对环境因子的响应[J].上海海洋大学学报:1-13.
- [30]谭香,夏小玲,程晓莉.丹江口水库浮游植物群落时空动态及其多样性指数[J].环境科学,2011,32(10):2875-2882.
- [31]郑维发,曾昭琪.淡水蓝藻的高温适应[J].湖泊科学,1994,6(4):356-363.
- [32]邱光胜,胡圣,叶丹,等.三峡库区支流富营养化及水华现状研究[J].长江流域资源与环境,2011,20(3):311-316.
- [33]刘杨平,黄迎春,王鹤立.浅谈环境因子对硅藻生长的影响[J].科技信息,2009(33):658.
- [34]冯天翼,宋超,陈家长.水生藻类的环境指示作用[J].中国农学通报,2011,27(32):257-265.
- [35]张峥,卢雁,邵亮,等.利用着生藻类评价辽河流域水质状况[J].环境保护与循环经济,2008,28(11):29-31.
- [36]金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范(第二版)[M].北京:中国环境科学出版社,1990.

[37]任丽平, 马永红. 嘉陵江浮游生物群落结构研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(8):1129-1134.