

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2022.0091

赵志楠, 王俊健, 张元娜, 等. 南水北调中线水源区浮游植物群落结构及其生物多样性[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2022, 20(5): 914-924. ZHAO Z N, WANG J J, ZHANG Y N, et al. Phytoplankton community structure and biodiversity in the water source area along the middle route of South-to-North Water Transfer Project[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2022, 20(5): 914-924. (in Chinese)

南水北调中线水源区浮游植物群落结构 及其生物多样性

赵志楠^{1,2}, 王俊健³, 张元娜^{1,2}, 景自博^{1,2}, 侯宇², 孙文俊^{2,4}, 王晓慧¹

(1. 北京化工大学化学工程学院, 北京 100029; 2. 清华大学环境学院, 北京 100084;

3. 自然资源部北海预报中心, 山东 青岛 266100; 4. 清华苏州环境创新研究院, 江苏 苏州 215009)

摘要: 为探究南水北调中线水源区丹江口水库浮游植物群落结构变化及其生物多样性, 于 2014—2015 年对丹江口水库进行为期 1 年的调查和分析。发现浮游植物共 8 门 76 属 101 种, 其中, 绿藻门、蓝藻门及硅藻门占总种数 90.10%, 绿藻门种类数最多(45 种), 其次是蓝藻门(26 种)和硅藻门(20 种)。浮游植物群落结构随季节变化有所不同: 夏秋季节生物量明显高于冬春季节; 优势种在冬季以颗粒直链藻、颗粒直链藻极狭变种、铜绿微囊藻和小环藻为主, 春季以球衣藻、薄甲藻属及小环藻为主, 夏季以简单颤藻、单胞衣藻原变种和球衣藻为主, 秋季以类颤藻鱼腥藻、简单颤藻、球衣藻和小环藻为主。应用 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 、Pielou 均匀度指数 J' 、Margalef 丰富度指数 D_m 评价水质结果表明: 丹江口水库夏秋季水体营养化程度更高。典型对应分析表明: 水温、透明度、总氮、总磷等是影响浮游植物群落结构的主要环境因子, 夏秋季受温度影响蓝藻、绿藻数量逐渐增多, 一定程度上增加了受水区生态变化风险。本研究可为南水北调中线水源区丹江口水库生态环境变化及生物迁移风险提供数据支持。

关键词: 丹江口水库; 浮游植物; 群落结构; 时空分布; 多样性指数

中图分类号: TV211;X524 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



浮游植物是淡水生态系统的主要组成部分, 作为水域环境中重要的初级生产者^[1], 主要利用叶绿素通过光合作用进行自养生活, 在能量流动、物质循环和信息交换中发挥着关键作用, 对维持水域生态系统的稳定至关重要^[2-3]。浮游植物对周边环境尤为敏感, 对水质参数、气候状况及水动力条件等引起的外界环境变化能做出快速响应^[4], 常用来监测水质受污染状况^[5], 其物种组成、优势种演替及生物多样性等信息可以反映库区水体水生态环境状

况^[6], 对其群落结构的深入研究将对库区水质保护及生态系统的健康发展具有重要意义^[7]。浮游植物的生长受光照、水温、营养盐水平和水动力学等条件共同影响^[8]。水温随季节变化显著, 王三秀等^[9]研究发现, 春冬季节水温偏低, 好低温的硅藻、金藻和黄藻较易生长, 而夏秋季节水温偏高, 蓝藻、绿藻等耐高温藻类迅速繁殖。同时, 水温分层现象在季节变化中也非常明显, 冬季水温低, 表层与底部水体形成对流, 水体呈完全掺混状态^[10]。春季气温逐

收稿日期: 2022-03-02 修回日期: 2022-05-25 网络出版时间: 2022-09-28

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20220926.1856.006.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFC0408700); 国家科技重大专项(2017ZX07108-002; 2017ZX07502003; 2012ZX07404-002); 国家自然科学基金项目(51778323; 51761125013)

作者简介: 赵志楠(1997—), 男(回族), 宁夏吴忠人, 主要从事饮用水处理和紫外线消毒研究。E-mail: 15910786829@163.com

通信作者: 孙文俊(1981—), 男, 辽宁大连人, 副研究员, 博士, 主要从事饮用水深度处理技术、紫外线消毒和高级氧化技术、工业水处理技术、环境风险分析等研究。E-mail: wsun@tsinghua.edu.cn

渐升高,表层水温高于底部水体,热量传递不均导致水体开始出现分层。夏季水体温差最大,水体分层现象最明显。曾明志等^[11]、白杨^[12]指出,水温分层会导致底部水体出现季节性缺氧,造成沉积物中营养盐大量释放,容易引起水华现象。氮磷等营养盐是维持浮游植物生长的必需元素,张辉等^[13]发现较低的营养盐水平会引起浮游植物种群数量的骤减。浮游植物群落结构与水体动力学特征密切相关,研究表明水力停留时间较长的湖泊型水库中蓝藻多为主要优势种,而河流型水库浮游植物群落结构更趋于多藻种共存^[14]。

丹江口水库作为南水北调中线工程的水源地,具有防洪、供水、发电、灌溉、航运、养殖等功能^[15-16],自2014年12月通水至2021年7月,总计调水量达400亿 m^3 ,直接获益人口超7900万人,其水质状况直接决定受水区居民的饮水安全^[17]。对丹江口水库浮游植物的研究最早始于水库筹建前,波鲁茨基等^[18]调查发现库区浮游植物主要由适应湍急水流的固着性硅藻组成。水库建成后,余志堂^[19]、杨广等^[20]、郇红娟等^[21]对水库浮游植物演变趋势作了深入的研究,发现自丹江口水库蓄水以来,水体由流水状态变为相对静水状态,由于水流变缓,水体交换性能变差,库区水体透明度和氮磷等营养元素滞留效应增强,浮游植物密度及生物量与蓄水前相比有较大提高,浮游植物群落结构由河流特征逐渐演变为湖泊特征,硅藻和蓝藻占相当比例。近年来,申恒伦等^[22]、谭香等^[23]、王英华等^[24]、贾海燕等^[25]对水库的浮游植物时空变化及环境因子相关性进行了详尽的研究,发现水力停留时间、水温、营养盐等水文条件和理化因子共同影响浮游植物群落结构。由调水和蓄水引起的水位及蓄水面积变化会影响经地表径流及上游来水带来的营养盐的含量。由于不同类型浮游植物对营养盐的敏感性不同,在不同营养条件下会产生不同的优势物种和功能群,而适宜的温度可以加快浮游植物的光合作用进程,促进其生长繁殖。

南水北调中线工程自2014年12月正式通水后,由于大坝加高后库容面积增大,库岸线绵延曲折产生了很多缓流区较易滋生藻类,长期的调水可能会引起丹江口水库水质基本指标发生变化进而影响浮游植物群落结构,改变水源区周边的生态环境,因此了解丹江口水库水质基本指标变化情况及浮游植物群落结构的时空分布特征,评估水体富营养

化潜在风险显得尤为重要。本研究依据南水北调中线工程水源地丹江口水库采样结果,分析浮游植物群落结构组成、优势种属及生物量变化、时空分布及多样性特征并通过相关性分析确定影响群落结构的主要环境因子,为丹江口水库水生态环境变化提供依据,同时为南水北调生物迁移风险初步预测提供重要数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域与采样点

依据丹江口水库的水文地貌特征,在汉江和丹江两个库区设置采样点。其中,汉江库区设置2个点(浪河口 S1、汉库库心 S2),丹江库区设置6个点(台子山 S3、坝前 S4、陶岔出水口 S5、小三峡入水口 S6、党子口 S7、丹库库心 S8),各采样点位置见表1。

表1 丹江口水库采样点位
Tab. 1 Sampling sites in the Danjiangkou Reservoir

库区	编号	采样点	纬度	经度
汉江库区	S1	浪河口	32°50.61'	111°31.85'
	S2	汉库库心	32°40.86'	111°30.95'
丹江口库区	S3	台子山	32°39.11'	111°40.84'
	S4	坝前	32°41.35'	111°33.12'
	S5	陶岔出水口	32°37.04'	111°16.25'
	S6	小三峡入水口	32°34.61'	111°25.95'
	S7	党子口	32°35.22'	111°29.58'
	S8	丹库库心	32°33.54'	111°29.40'

1.2 样品采集与测定

分别于2014年12月(冬季)和2015年4月(春季)、7月(夏季)、10月(秋季)进行采样。使用25号浮游生物网(64 μm)在水下0.5 m深处做“∞”字状回旋3~5 min采集浮游植物定性标本,采集的样品装入白色样品瓶中,加入4%福尔马林固定液进行固定。浮游植物定量标本使用有机玻璃采水器在水面0.5 m深处收集1 L水,装入白色样品瓶后固定。定性样品带回实验室直接镜检,定量样品需摇匀后静置沉淀24 h,用虹吸法将上清液吸出后,收集余下的40 mL沉淀,再用上清液冲洗沉淀瓶收集,定容至50 mL,随后进行镜检。参照《中国淡水藻类》进行浮游植物种类鉴定和计数^[26]。

采用便携式水质检测仪(HACH SL1000)测定pH、温度、电导率(Cond)、氨氮(NH_4^+-N)、亚硝态氮($NO_2^- -N$)、硝态氮($NO_3^- -N$);使用塞氏盘测量水

体透明度(SD);参照《水和废水分析方法》^[27]测定水体总磷(TP)、总氮(TN)。

1.3 数据分析

采用目镜视野法计算浮游植物个体数,通过显微镜测量形态特征(直径、长度和宽度)计算得出生物体积,利用体积换算法得出生物量(密度取 1 g/cm³)。选择优势度 Y 、Margalef 丰富度指数 D_m 、Pielou 均匀度指数 J' 、Shannon-Wiener 多样性指数 H' ^[28] 计算浮游植物群落指标,当 $Y \geq 0.02$ 时,定义该物种为优势种^[29]。运用 Canoco 4.5 软件对浮游植物与环境因子进行典型对应分析(CCA)。

优势度 Y 公式:

$$Y = \frac{N_i}{N} \times F_i$$

Shannon-Wiener 公式:

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i$$

Pielou 公式:

$$J' = \frac{H'}{\ln S}$$

Margalef 公式:

$$D_m = \frac{(S-1)}{\log_2 N}$$

式中: S 为总物种数; P_i 为 i 物种个体数占总物种个体数的比例; N_i 为物种 i 的数量, N 为所有物种的个体总数; F_i 为物种 i 的出现频率。

2 结果与讨论

2.1 水体理化特征

丹江口水库水质理化指标检测结果见图 1(图中部分水质指标因浓度较低未检出)。

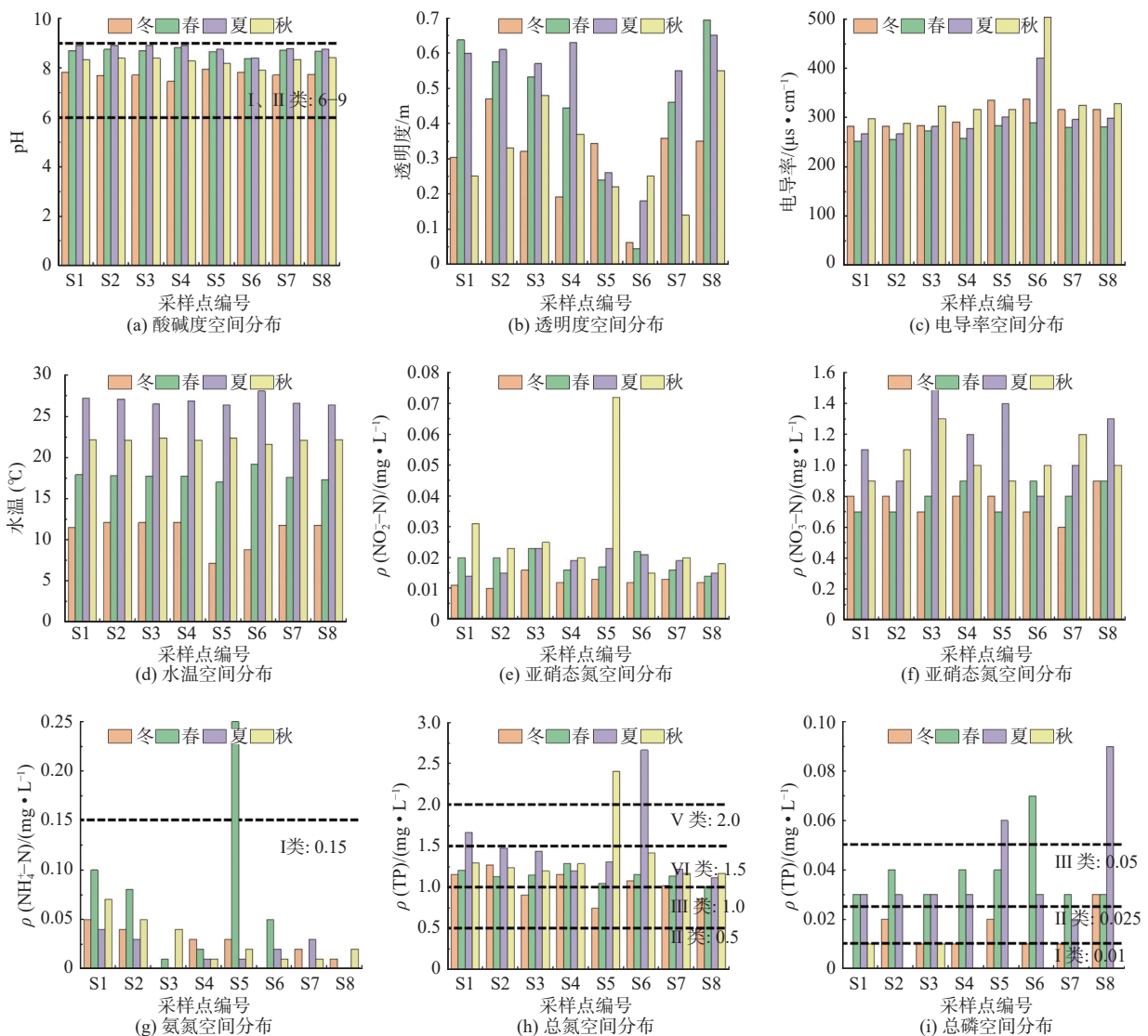


图 1 丹江口水库水质理化指标空间变化

Fig. 1 Spatial variation of physical and chemical indexes of water quality in Danjiangkou Reservoir

由图 1 可以看出:丹江口水库全年 pH 值为 7.5~8.9,均值为 8.4,水质偏弱碱性,库区不同区域酸碱度无较大差别。除 S6 小三峡点位电导率较高(504 $\mu\text{s}/\text{cm}$)外,其他点位电导率均无明显区别。库区水体透明度在 0.044~0.690 m 范围变动,平均值为 0.415 m,其中 S5 陶岔和 S6 小三峡点位透明度偏低。水温变化范围在 7.1~28.1 $^{\circ}\text{C}$ 。库区水体氨氮质量浓度水平偏低,大部分采样点氨氮质量浓度低于 0.15 mg/L,符合 I 类水标准。但汉江库区氨氮质量浓度明显高于丹江库区,其中春季 S5 陶岔点位氨氮质量浓度陡增为 0.25 mg/L。硝态氮质量浓度随季节变化明显,冬季、春季、夏季、秋季的硝态氮质量浓度平均值分别为 0.76、0.81、1.15、1.05 mg/L,夏季明显高于其他季节。亚硝态氮质量浓度分布较为均匀,仅 S5 陶岔点位偏高达 0.07 mg/L。总氮除了在春季 S6 小三峡、S1 浪河口和冬季 S5 陶岔点位质量浓度较高外,其余点位均符合 III~IV 类水标准。总磷质量浓度范围在 0~0.09 mg/L,均值为 0.02 mg/L,秋季仅在 S1 浪河口、S3 台子山点位检出磷,除个别点位质量浓度偏高外,基本符合 III 类水标准。浮游植物维系生命活动需要利用氮磷等营养盐,水体中营养盐水平偏低会影响浮游植物的正常生长。氮磷比常被用来评价浮游植物的生长情况,一般来说氮磷比高于 16 认为磷为浮游植物生长限制性因子^[30],本研究中丹江口水库各采样点氮磷比基本大于 16,说明磷是浮游植物限制性营养因子。

2.2 浮游植物种类组成及优势种

本研究在丹江口水库 4 次采样共检测到浮游植物 8 门 76 属 101 种(图 2),其中绿藻门、蓝藻门、硅藻门为优势门,占有物种的 90.10%,是丹江口水库主要的浮游植物。各门种属数为:硅藻门 17 属 20 种,蓝藻门 17 属 26 种,绿藻门 32 属 45 种,其他为甲藻门、金藻门、隐藻门、黄藻门、裸藻门共 10 属 10 种。通过优势度计算得到丹江口水库浮游植物优势种共 9 种,分别是蓝藻门的简单颤藻(*Oscillatoria sp.*)、类颤藻鱼腥藻(*A. oscillarioides*)、铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*),硅藻门的小环藻(*Cyclotella sp.*)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)及颗粒直链藻极狭变种(*Melosira granulata var. angustissima*),绿藻门的球衣藻(*Chlamydomonas globosa* Snow.)、单胞衣藻原变种(*Chlamydomonas sp.*)和甲藻门的薄甲藻属(*Glenodinium sp.*)。丹江

口水库浮游植物群落结构自建库起不断发生变化,水库未动工修建前浮游植物多为矽藻门、甲藻门等适应河道的固着型藻类^[18]。建库蓄水后,随着水流速度变慢,水体温度和透明度得到提升,浮游植物种类组成发生变化,主要以蓝藻门、硅藻门和绿藻门为主,席藻、盘星藻和直链藻是优势藻种^[18]。大坝加高完成后,王英华等^[24]、施建伟等^[31]于 2014—2016 年调查发现丹江口水库浮游植物为硅藻-绿藻型,脆杆藻(*Fragilaria*)、小环藻占绝对优势。在本研究中,丹江口水库浮游植物绿藻门种类最为丰富,其次是蓝藻门和硅藻门,浮游植物种类较之前有增加的趋势,可能是大坝扩容后库区水文条件和理化指标发生了变化,水流缓滞使得氮磷等营养盐滞留效应增强,为浮游植物的生长创造了条件,导致丹江口水库浮游植物群落结构发生改变,水体向富营养化程度发展^[32]。

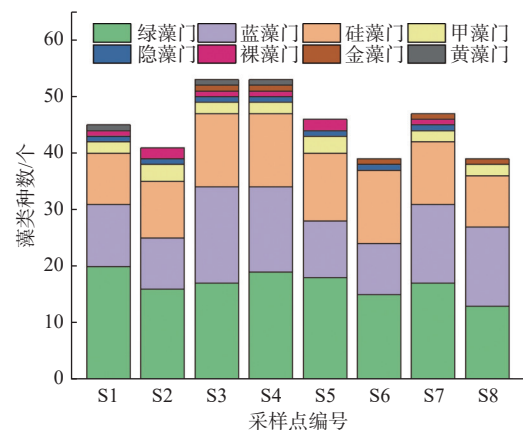


图 2 丹江口水库各采样点位浮游植物种类组成

Fig. 2 Species composition of phytoplankton in Danjiangkou Reservoir

2.3 浮游植物群落结构季节变化

丹江口水库浮游植物在冬、春、夏、秋季节 8 个站位的平均生物量分别为(0.003 \pm 0.001)、(0.006 \pm 0.002)、(0.129 \pm 0.018)、(0.481 \pm 0.029)mg/L,呈现出明显的季节性变化规律。与邬红娟等^[21]调查结果一致,丹江口水库浮游植物生物量呈现出夏秋两季高,冬春两季低的特征。丹江口水库地处亚热带季风气候区,夏季光照强度大,水面温度高,平均水温可达 26.9 $^{\circ}\text{C}$ (图 1),良好的光照和水温条件使得浮游植物通过光合作用大量繁殖。秋季降雨量增加,氮磷等营养盐通过地表径流形式进入水库,充足的营养盐水平加速了浮游植物的生长,故夏秋季节浮游植物生物量较高。春冬季节水温相对较低,平均水温分别为 10.9、17.8 $^{\circ}\text{C}$ (图 1),较低的水温限制

了浮游植物呼吸作用和光反应过程中酶促反应的强度,直接影响了浮游植物生长,故冬春季节浮游植物生物量较低^[33]。本研究表明丹江口水库夏季浮游植物平均密度达 1.1×10^6 cell/L,明显高于密云水库浮游植物密度 (10^4 cell/L),密云水库作为受水区在接纳丹江口水库的来水后,其原有的水生态系统可能被打破,造成浮游植物群落结构的变化,存在一定的生态变化风险^[34]。

分析丹江口水库 4 个季度浮游植物样品采集结果,发现不同季节浮游植物优势种有明显差别。如图 3 所示,冬季浮游植物主要以硅藻门为主,颗粒直链藻、颗粒直链藻极狭变种、铜绿微囊藻及小环藻为优势种,其中颗粒直链藻极狭变种占总生物密度比例最高达 40.07%,说明颗粒直链藻极狭变种非常适合在低温环境中生存。春季浮游植物种类分布较为均匀,绿藻门的球衣藻、甲藻门的薄甲藻属及硅藻门的小环藻成为优势种,其优势种生物密度仅占总生物密度一半(52.78%)。夏季随温度升高,蓝藻和绿藻占据竞争优势,蓝藻门的简单颤藻、绿藻门的单胞衣藻原变种和球衣藻生物密度占比达到峰值,分别为 50.86%、17.41% 和 6.68%。秋季优势种主要为蓝藻门的类颤藻鱼腥藻、简单颤藻,绿藻门的球衣藻和硅藻门的小环藻,其中球衣藻优势度最高。不同藻种的生长特性不同,受环境因素影响丹江口水库不同季节的优势藻种会有所变化。硅藻具有耐低温性,适合在温度较低的环境中生存,其最适生长水温为 $14 \sim 18$ °C^[35]。本研究中冬、春、秋季水温变化范围在 $7.1 \sim 22.4$ °C(图 1),比较适宜硅藻生长,因此硅藻成为丹江口水库冬季、春季和秋季的优势种。夏季光照增强使得水体温度升高,水温变化范围在 $26.4 \sim 28.1$ °C(图 1),硅藻生长受到限制,不再成为优势种,但较高的温度加快了蓝藻细胞的分裂速率,促进了蓝藻的生长繁殖并最终成为优势种^[36]。秋季丹江口水库进入丰水期,雨水通过地表径流的形式携带较多的营养盐进入水体,蓝藻、绿藻等摄取充足的营养物质成为主要优势种。丹江口水库冬季硅藻占绝对优势,夏季和秋季蓝藻数量逐渐增多,最终取代硅藻成为主要优势种,说明水温通过影响蓝藻生长进而导致藻类群落结构变化^[37-38]。丹江口水库不同季节浮游植物群落结构区别较大,由冬季的硅藻向春季绿藻、甲藻和硅藻,以及夏秋季的蓝藻、绿藻和硅藻转变。一般来说甲藻、硅藻是中营养型水体的优势种^[39],而绿藻、蓝藻

是富营养型水体的优势种,说明丹江口水库自冬季至秋季水体有富营养化趋势。

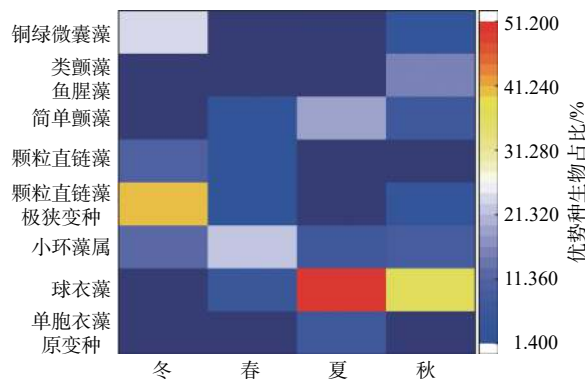


图 3 不同季节浮游植物优势种类生物占比分布热图

Fig. 3 Heat map of phytoplankton dominant species distribution in different seasons

2.4 浮游植物群落结构空间分布

丹江口水库浮游植物优势种生物量空间分布见图 4(图中部分采样点生物量因含量较低未检出),对比各采样点发现 S1 浪河口、S2 汉库库心点位浮游植物生物量明显高于其他点位,其夏秋两季生物量均维持在较高水平,而 S6 小三峡点位生物量相对偏低。冬季丹江口水库浮游植物有近半数的生物量分布在 S1 点位,其他点位则较为均衡。推测可能是冬季温度低不太适合大多数浮游植物的生长,但 S1 点位更接近入库支流的上游,水位波动较大导致水库底层的沉积物悬浮到水中为浮游植物的生长繁殖创造了条件,所以相较于其他点位其生物量较高^[40]。S6 小三峡点位浮游植物生物量在所有采样点中含量相对较低,可能是由于该点位水体透明度较低(图 1)。透明度在一定程度上是水体光照强弱的体现,较低的透明度会使浮游植物对光照的吸收能力变弱进而影响群落生产力水平^[41]。整体来看,汉江库区(S1、S2 点位)浮游植物生物量明显高于丹江库区(S3~S8 点位),分析往年丹江口水库浮游植物生物量分布规律,发现仅 2013—2014 年丹江库区生物量高于汉江库区,其余年份汉江库区生物量均高于丹江库区。推测主要是由汉江库区氨氮、总氮水平较高引起(图 1),氨氮作为一种重要的氮源不需要氮素形态转化就能被水体中的浮游植物直接利用,对浮游植物的生长至关重要,而汉江库区库岸线狭长支流较多,通过地表径流形式带入较多含氮营养盐,且汉江库区位于坝前,水力停留时间相对较长,为浮游植物的大量繁殖创造了条件^[42-43]。

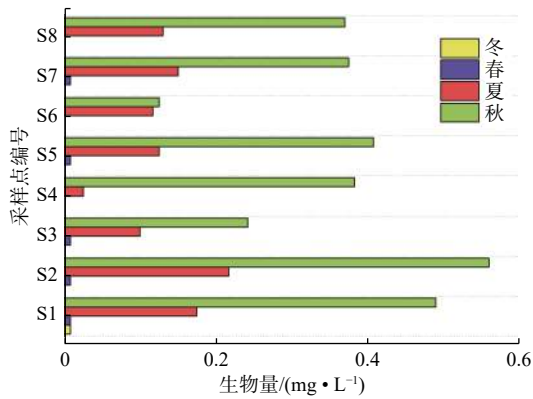


图4 浮游植物优势种类生物量空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of biomass of dominant phytoplankton

2.5 浮游植物群落多样性分析

物种多样性指数与群落结构特征密切相关,浮游植物群落组成越复杂,物种分布越均匀,生态系统抵御外界环境变化的能力越强,说明水质状况越好。Shannon-Wiener 多样性指数 H' 、Pielou 均匀度指数 J' 、Margalef 丰富度指数 D_m 是评价湖库的富营养状况常用指标^[44]。 H' 主要反映浮游植物群落的复杂程度, $H' > 3$ 时水体为轻度污染, $1 < H' \leq 3$ 为中度污染, $0 < H' \leq 1$ 为重度污染^[45]。如图 5 所示,丹江口水库 H' 在 1.76~2.53,平均值为 2.11。4 个季节 H' 从低到高依次为 $1 < \text{冬} < \text{夏} < \text{秋} < \text{春} < 3$,属于中度污染水体。 J' 代表群落均匀程度,在 $0.5 \leq J' \leq 0.8$ 为轻污染, $0.3 \leq J' \leq 0.5$ 为中污染, $J' < 0.3$ 为重污染。丹江口水库 J' 在 0.48~0.75,4 个季节 J' 从低到高依次为 $0.4 < \text{夏} < 0.5 < \text{冬} < \text{秋} < \text{春} < 0.8$,其中,冬、春、秋季为轻污染,夏季为中污染。 D_m 代表种类数, $D_m > 3$ 时为轻污染, $1 < D_m \leq 3$ 为中污染, $0 \leq D_m \leq 1$ 为重污染。丹江口水库 D_m 在 1.89~3.44,4 个季节 D_m 从低到高依次为 $1 < \text{夏} < \text{秋} < 3 < \text{春} < \text{冬}$,其

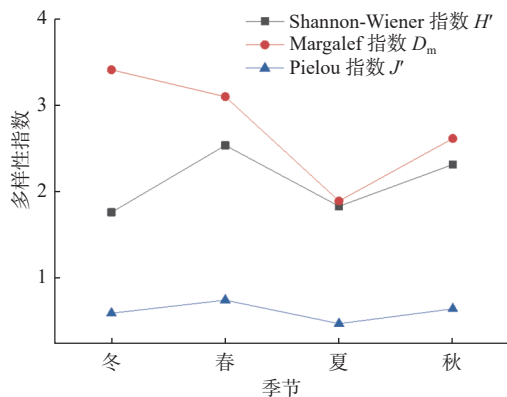


图5 不同季节浮游植物 Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数和 Pielou 指数值

Fig. 5 Shannon-Wiener index, Margalef index and Pielou index values of phytoplankton in different seasons

中,夏秋季为中污染,冬春季为轻污染。Shannon-Wiener 多样性、Margalef 丰富度和 Pielou 均匀度指数评价水体为轻度-中度污染状况,夏秋季节浮游植物种类丰富且多样性高,而冬季丰富度和多样性都很低。丹江口水库多样性分析表明夏季、秋季水体受污染程度更高,有一定富营养化趋势,较易发生水华现象。

2.6 浮游植物与环境因子相关性分析

如图 6 所示,选择丹江口水库浮游植物优势种与 pH、透明度(SD)、电导率(EC)、温度(T)、亚硝态氮(NO_2^- -N)、硝态氮(NO_3^- -N)、氨氮(NH_4^+ -N)、总氮(TN)、总磷(TP)共 9 个环境因子进行典型对应分析(CCA)。结果表明,不同季节环境因子对丹江口水库浮游植物群落结构的影响存在差异。冬季浮游植物群落结构与硝态氮、水温两个环境因子密切相关,第一轴解释率达 95.2%。春季主要受总磷、氨氮和透明度等多个环境因子影响,第一轴的解释贡献率为 81.5%。夏季第一轴贡献率为 75.7%,水温、总氮及总磷对浮游植物群落结构具有重要影响。秋季第一轴可解释 82.2% 的群落结构差异,透明度,电导率对浮游植物群落结构影响较大。

浮游植物群落结构与水温、光照、营养盐等环境因子密切相关,浮游植物与环境因子的相关性可以在一定程度上反映水库生态环境变化。在本研究中丹江口水库浮游植物群落结构主要受水温、透明度、总氮、总磷、氨氮及电导率等环境因子的综合影响,不同季节起主导作用的环境因子不同。水温对冬季和夏季浮游植物群落结构有较大影响,冬季水温与浮游植物群落结构呈负相关性,夏季呈正相关(图 6)。这是由藻类对水温的适应条件所致,硅藻适宜在较低的水温中生存,而绿藻、蓝藻等适宜在较高的水温中生存,水温通过影响优势类群的演替来改变丹江口水库浮游植物群落结构。丹江口水库自大坝加高后,正常蓄水位从 157 m 提高至 170 m,库容从 174.5 亿 m^3 增加到 319.5 亿 m^3 ,由季节变化引起的水温垂向分层现象加剧,夏季表底水体温差最大,水体无法完全混合,表层和底层水体形成温跃层,而中层水体为等温层。稳定分层的水体难以进行物质的转移,大量氮磷营养盐沉积到水底,营养盐分布不均导致表层水体质量浓度低而底层水体质量浓度高,氮磷营养盐质量浓度变化可以直接影响浮游植物的生长和代谢进程,故总氮、总磷成为决定丹江口水库夏季浮游植物群落结构的

关键环境因子。秋季汛期来临,降雨携带大量外源污染物进入水库,水中离子数量增多,水体开始变

得混浊,电导率和透明度成为影响浮游植物群落结构主要的环境因子之一。

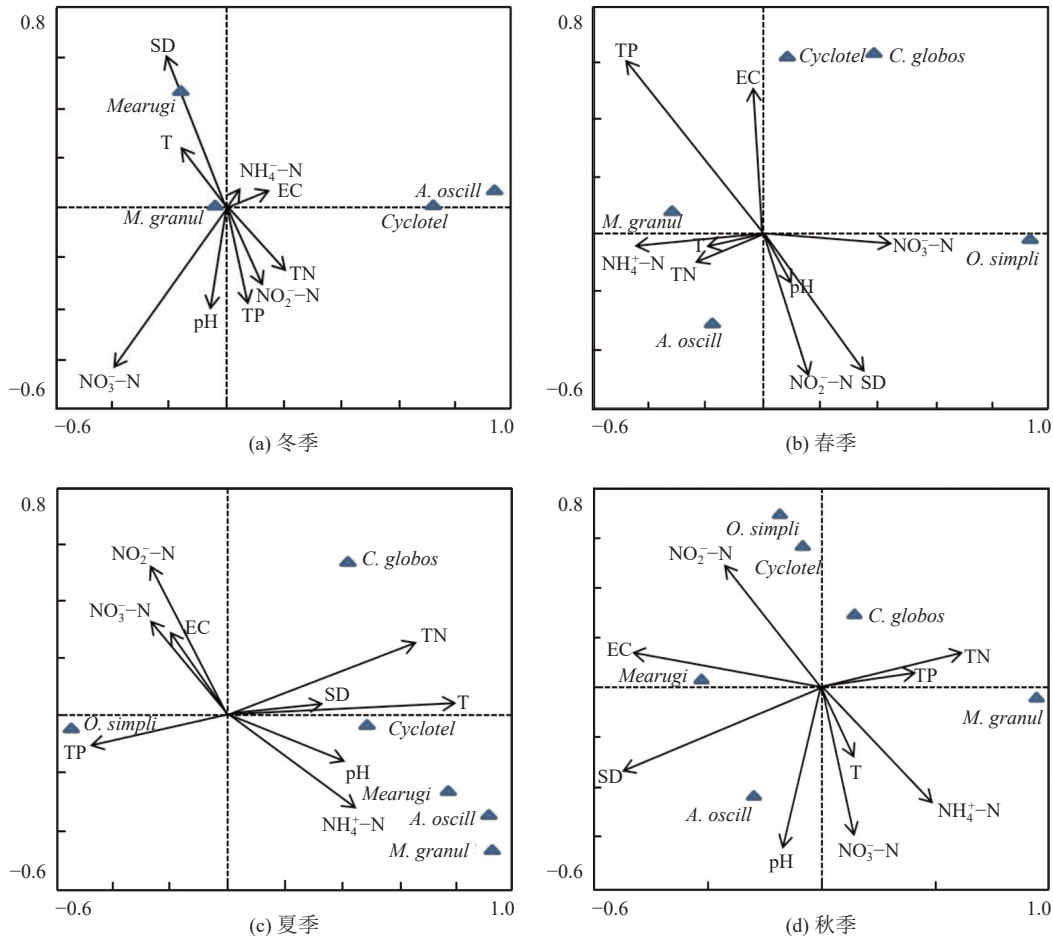


图 6 不同季节浮游植物优势物种与环境因子的 CCA 分析

Fig. 6 CCA analysis of dominant phytoplankton species with environmental factors in different seasons

3 结论

本研究检出丹江口水库浮游植物共 8 门 76 属 101 种,主要由绿藻、蓝藻和硅藻组成。丹江口水库浮游植物优势种随季节变化差异显著,冬季主要以硅藻为主,铜绿微囊藻、颗粒直链藻、颗粒直链藻极狭变种、小环藻为优势种。春季演替为绿藻-甲藻-硅藻型,球衣藻、薄甲藻属和小环藻成为优势种。夏秋季节逐渐发展为蓝藻-绿藻-硅藻型,简单颤藻、单胞衣藻原变种和球衣藻成为优势种,且夏秋季节浮游植物生物量明显高于其他季节,表明丹江口水库自冬季至秋季水体富营养化程度加深。丹江口水库浮游植物空间分布较为明显,汉江库区浮游植物生物量高于丹江库区,小三峡点位受透明度影响生物量相对偏低。多样性指数评价表明库区浮游植物群落结构存在一定的季节差异,夏秋季水体营

养状态等级更高。CCA 分析表明丹江口水库浮游植物群落结构主要受水温、透明度、总氮、总磷等环境因子影响。

参考文献 (References):

- [1] KLAMT A M, QIAN F, HU K, et al. The rise and fall of primary producers and consumers in a multiply-stressed shallow lake (Lake Qilu, China) over the last 200 years[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 129: 107891. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107891.
- [2] 周绪申, 齐向华, 吴筱, 等. 滦河干流浮游植物多样性及污染状况[J]. *南水北调与水利科技*, 2015, 13(3): 448-452. (ZHOU X S, QI X H, WU X, et al. Phytoplankton diversity and pollution in the main stream of Luanhe River[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2015, 13(3): 448-452. (in Chinese))
- [3] 包洪福, 孙志禹, 陈凯麒. 南水北调中线工程对丹江口库区生物多样性的影响[J]. *水生态学杂志*, 2015, 36(4): 14-19. (BAO H F, SUN Z Y, CHEN K Q. Eff-

- ects of middle route of South-to-North Water Transfer project on biodiversity in Danjiangkou Reservoir area[J]. *Journal of Hydroecology*, 2015, 36(4): 14-19. (in Chinese))
- [4] 马迎群, 赵艳民, 迟明慧, 等. 嘉兴南湖水系浮游植物群落结构及其环境影响因子[J]. *水生态学杂志*, 2021. (MA Y Q, ZHAO Y M, CHI M H, et al. Phytoplankton community structure and its influencing factors in South Lake system of Jiaxing[J]. *Journal of Hydroecology*, 2021. (in Chinese)) DOI: [10.15928/j.1674-3075.201905230131](https://doi.org/10.15928/j.1674-3075.201905230131).
- [5] YUAN Y, JIANG M, LIU X, et al. Environmental variables influencing phytoplankton communities in hydrologically connected aquatic habitats in the Lake Xingkai basin[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 91: 1-12. DOI: [10.1016/j.ecolind.2018.03.085](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.085).
- [6] 夏莹霏, 胡晓东, 徐季雄, 等. 太湖浮游植物功能群季节演替特征及水质评价[J]. *湖泊科学*, 2019, 31(1): 134-146. (XIA Y F, HU X D, XU J X, et al. Seasonal succession characteristics and water quality assessment of phytoplankton functional groups in Taihu Lake[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, 31(1): 134-146. (in Chinese)) DOI: [10.18307/2019.0113](https://doi.org/10.18307/2019.0113).
- [7] 刘双爽, 陈诗越, 姚敏, 等. 水生生物群落所揭示的湖泊水环境状况: 以东平湖为例[J]. *应用与环境生物学报*, 2017, 23(2): 6. (LIU S S, CHEN S Y, YAO M, et al. The status of lake water environment revealed by aquatic biome: A case study of Dongping Lake[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2017, 23(2): 6. (in Chinese))
- [8] 尹涛, 丁爱中. 北京南海子湖水华期间浮游植物对环境周期性变化的生理响应[J]. *南水北调与水利科技*, 2015, 13(4): 650-653. (YIN T, DING A Z. Physiological responses of phytoplankton to periodic environmental changes during bloom in Nanhaizi Lake, Beijing[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2015, 13(4): 650-653. (in Chinese))
- [9] 王三秀, 魏莱, 王爽, 等. 上海水源地毗邻湖库浮游植物群落结构的季节变化及其影响因子[J]. *湖泊科学*, 2022, 34(4): 1127-1139. (WANG S X, WEI L, WANG S, et al. Seasonal variation of phytoplankton community structure and its influencing factors in adjacent lakes and reservoirs of Shanghai water source[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2022, 34(4): 1127-1139. (in Chinese)) DOI: [10.18307/2022.0407](https://doi.org/10.18307/2022.0407).
- [10] 王耀耀, 徐涛, 崔玉洁, 等. 神农溪水体季节热分层特征及其对水华影响[J]. *水生态学杂志*, 2020, 41(4): 19-26. (WANG Y Y, XU T, CUI Y J, et al. Characteristics of seasonal thermal stratification of water body in Shennongxi and its influence on bloom[J]. *Journal of Hydroecology*, 2020, 41(4): 19-26. (in Chinese)) DOI: [10.15928/j.1674-3075.2020.04.003](https://doi.org/10.15928/j.1674-3075.2020.04.003).
- [11] 曾明正, 黄廷林, 邱晓鹏, 等. 我国北方温带水库——周村水库季节性热分层现象及其水质响应特性[J]. *环境科学*, 2016, 37(4): 1337-1344. (ZENG M Z, HUANG T L, QIU X P, et al. Seasonal thermal stratification and water quality response characteristics of Zhoucun Reservoir, a temperate reservoir in north China[J]. *Environmental Science*, 2016, 37(4): 1337-1344. (in Chinese))
- [12] 白杨. 深水湖泊与浅水湖泊热力分层特征及其影响因素[D]. 无锡: 江南大学, 2017. (BAI Y. Characteristics and influencing factors of thermal stratification in deep and shallow lakes[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017. (in Chinese) DOI: [CNKI:CDMD:2.1017.273188](https://doi.org/CNKI:CDMD:2.1017.273188).)
- [13] 张辉, 彭宇琼, 邹贤妮, 等. 新丰江水库浮游植物功能分组特征及其与环境因子的关系[J]. *中国环境科学*, 2022, 42(1): 13. (ZHANG H, PENG Y Q, ZOU X N, et al. Functional grouping of phytoplankton in Xinfengjiang Reservoir and its relationship with environmental factors[J]. *China Environmental Science*, 2022, 42(1): 13. (in Chinese))
- [14] 张茉莉, 王恩瑞, 昌盛, 等. 珠海市磨刀门水道输水水源水库群浮游植物群落特征及其环境驱动因子[J]. *环境科学*, 2022, 43(10): 4489-4501. (ZHANG M L, WANG E R, CHANG S, et al. Characteristics and environmental driving factors of phytoplankton community in water source reservoir of Modaomen Waterway in Zhuhai City[J]. *Environmental Science*, 2022, 43(10): 4489-4501. (in Chinese)) DOI: [10.13227/j.hjcx.202112285](https://doi.org/10.13227/j.hjcx.202112285).
- [15] 万育生, 王栋, 黄朝君. 丹江口水库来水情势分析与径流预测[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2021, 19(3): 417-426. (WAN Y S, WANG D, HUANG C J. Analysis of incoming water situation and runoff forecast of Danjiangkou Reservoir[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2021, 19(3): 417-426. (in Chinese)) DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0045](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0045).
- [16] MA B J, WU C, DING F X, et al. Predicting basin water quality using source-sink landscape distribution metrics in the Danjiangkou Reservoir of China[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 127: 107697. DOI: [10.1016/j.ecolind.2021.107697](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107697).
- [17] 胡敏锐, 王旭辉. 优化供水格局受益人口增至7900万 南水北调中线工程累计调水400亿立方米[J]. *中国水利*, 2021(14): 8-11. (HU M R, WANG X H. A total of 40 billion cubic meters of water will be transferred from the middle route of the South-to-North Water Diversion Project[J]. *China's Water Conservancy*, 2021(14): 8-11. (in Chinese)) DOI: [10.3969/j.issn.1671-461X.2021.07.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-461X.2021.07.007).
- [18] E.B.波鲁茨基, 伍献文, 白国栋, 等. 丹江口水库库区

- 水生生物调查和渔业利用的意见[J]. 水生生物学报, 1959, 000(1): 33-56. (WU X W, BAI G D, et al. Aquatic biology survey and fishery utilization in Danjiangkou Reservoir[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1959, 000(1): 33-56. (in Chinese))
- [19] 余志堂. 汉江中下游鱼类资源调查以及丹江口水利枢纽对汉江鱼类资源影响的评价[J]. 水库渔业, 1982(1): 19-27. (YU Z T. Investigation of fish resources in the middle and lower reaches of Hanjiang River and evaluation of the impact of Danjiangkou water conservancy project on fish resources in Hanjiang River[J]. Journal of Hydroecology, 1982(1): 19-27. (in Chinese))
- [20] 杨广, 杨干荣, 刘金兰. 丹江口水库浮游生物资源调查[J]. 湖北农学院学报, 1996, 16(1): 5. (YANG G, YANG G R, LIU J L. Investigation on plankton resources in Danjiangkou Reservoir[J]. Journal of Hubei Agricultural College, 1996, 16(1): 5. (in Chinese))
- [21] 邬红娟, 彭建华, 韩德举, 等. 丹江口水库浮游植物及其演变[J]. 湖泊科学, 1996, 8(1): 43-50. (WU H J, PENG J H, HAN D J, et al. Phytoplankton and its evolution in Danjiangkou Reservoir[J]. Journal of Lake Sciences, 1996, 8(1): 43-50. (in Chinese)) DOI: 10.18307/1996.0106.
- [22] 申恒伦, 徐耀阳, 王岚, 等. 丹江口水库浮游植物时空动态及影响因素[J]. 植物科学学报, 2011, 29(6): 683-690. (SHEN H L, XU Y Y, WANG L, et al. Temporal and spatial dynamics of phytoplankton in Danjiangkou Reservoir and its influencing factors[J]. Plant Science Journal, 2011, 29(6): 683-690. (in Chinese))
- [23] 谭香, 夏小玲, 程晓莉, 等. 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(10): 2875-2882. (TAN X, XIA X L, CHENG X L, et al. Temporal and spatial dynamics and diversity index of phytoplankton community in Danjiangkou Reservoir[J]. Environmental Science, 2011(10): 2875-2882. (in Chinese))
- [24] 王英华, 陈雷, 牛远, 等. 丹江口水库浮游植物时空变化特征[J]. 湖泊科学, 2016, 28(5): 1057-1065. (WANG Y H, CHEN L, NIU Y, et al. Temporal and spatial variation of phytoplankton in Danjiangkou Reservoir[J]. Journal of Lake Sciences, 2016, 28(5): 1057-1065. (in Chinese)) DOI: 10.18307/2016.0516.
- [25] 贾海燕, 徐建锋, 雷俊山. 丹江口库湾浮游植物群落与环境因子关系研究[J]. 人民长江, 2019, 50(4): 31-41. (JIA H Y, XU J F, LEI J S. Study on the relationship between phytoplankton community and environmental factors in Kuwan, Danjiangkou[J]. Yangtze River, 2019, 50(4): 31-41. (in Chinese)) DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2019.05.011.
- [26] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类系统、分类及生态[M]. 北京:科学出版社, 2006. (HU H J, WEI Y X. Freshwater algae in China systematics, classification and ecology[M]. Beijing: Science Press, 2006.(in Chinese))
- [27] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版.北京:中国环境科学出版社, 2002. (Editorial Board of water and Wastewater Monitoring and Analysis method, State Environmental Protection Administration. Methods for monitoring and analysis of water and wastewater [M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.(in Chinese))
- [28] SHANNON C E. A mathematical theory of communication. ACM SIGMOBILE Mob[J]. Comput Commun Rev, 2001, 5(1): 3-55. DOI: 10.1145/584091.584093.
- [29] 马一明, 李秋华, 潘少朴, 等. 贵州高原花溪水库浮游植物优势种生态位及种间联结性动态分析[J]. 湖泊科学, 2021, 33(3): 785-796. (MA Y M, LI Q H, PAN S P, et al. Dynamic analysis of niche and interspecific association of dominant phytoplankton species in Huaxi Reservoir, Guizhou Plateau[J]. Journal of Lake Sciences, 2021, 33(3): 785-796. (in Chinese)) DOI: 10.18307/2021.0314.
- [30] 王睿喆, 王沛芳, 任凌霄, 等. 营养盐输入对太湖水体中磷形态转化及藻类生长的影响[J]. 环境科学, 2015, 36(4): 1301-1308. (WANG R Z, WANG P F, REN L X, et al. Effects of nutrient inputs on phosphorus transformation and algae growth in Taihu Lake[J]. Environmental Science, 2015, 36(4): 1301-1308. (in Chinese))
- [31] 施建伟, 朱静亚, 黄进, 等. 南水北调中线工程水源头区浮游生物群落研究[J]. 河南师范大学学报, 2016, 44(6): 114-119. (SHI J W, ZHU J Y, HUANG J, et al. Study on plankton community in water source area of middle Route of South-to-North Water Transfer Project[J]. Journal of Henan Normal University, 2016, 44(6): 114-119. (in Chinese))
- [32] 王教元. 滇西北湖泊水文调控与生态环境响应的时空特征[D]. 昆明: 云南师范大学, 2019. (WANG J Y. Temporal and spatial characteristics of lake hydrological regulation and ecological environment response in northwest Yunnan[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2019.(in Chinese))
- [33] 贺玉晓, 郑永坤, 李卫国, 等. 丹江口水库早春真核浮游植物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 环境科学学报, 2021, 41(6): 9. (HE Y X, ZHENG Y K, LI W G, et al. Characteristics of eukaryotic phytoplankton community structure and its relationship with environmental factors in Danjiangkou Reservoir in early spring[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, 41(6): 9. (in Chinese)) DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2020.0550.

- [34] 谷雨, 闫兰玲, 姚建良, 等. 钱塘江(杭州段)浮游藻类季节动态与环境因子[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2021, 19(2): 334-341. (GU Y, YAN L L, YAO J L, et al. Seasonal dynamics and environmental factors of planktonic algae in Qiantang River (Hangzhou section)[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2021, 19(2): 334-341. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0035.
- [35] 杨俊丽, 李希磊, 于潇, 等. 莱州湾扇贝养殖区环境因子的变化特征及其对浮游植物的影响[J]. *烟台大学学报(自然科学与工程版)*, 2019, 032(1): 38-46. (YANG J L, LI X L, YU X, et al. Variation characteristics of environmental factors and their effects on phytoplankton in scallop culture area of Laizhou Bay[J]. *Journal of Yantai University(Natural Science and Engineering Edition)*, 2019, 032(1): 38-46. (in Chinese)) DOI: 10.13951/j.cnki.37-1213/n.2019.01.008.
- [36] ZHU G W, SHI K, LI W, LI N, et al. Seasonal forecast method of cyanobacterial bloom intensity in eutrophic Lake Taihu, China[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, 32(5): 1421-1431. DOI: 10.18307/2020.0504.
- [37] XU H, CHEN J, ZHU G W, et al. Effect of concentrations of phosphorus and nitrogen on the dominance of cyanobacteria[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, 31(5): 1239-1247. DOI: 10.18307/2019.0518.
- [38] 邱光胜, 涂敏, 叶丹, 等. 三峡库区支流富营养化状况普查[J]. *人民长江*, 2008, 39(13): 1-4. (QIU G S, TU M, YE D, et al. General survey of eutrophication in tributaries of the Three Gorges Reservoir area[J]. *Yangtze River*, 2008, 39(13): 1-4. (in Chinese))
- [39] 朱红伟, 陈江海, 王勇. 水动力条件对水体自净作用的影响[J]. *南水北调与水利科技*, 2020, 16(6): 97-102. (ZHU H W, CHEN J H, WANG Y, et al. Effect of hydrodynamic conditions on self-purification of water body[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2020, 16(6): 97-102. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2018.0159.
- [40] 魏洪祥, 王兴兵, 寇凌霄, 等. 鸭绿江下游浮游植物群落结构与环境因子的关系[J]. *水生态学杂志*, 2018, 39(4): 73-78. (WEI H X, WANG X B, KOU L X, et al. Relationship between phytoplankton community structure and environmental factors in the lower reaches of Yalu River[J]. *Journal of Hydroecology*, 2018, 39(4): 73-78. (in Chinese)) DOI: 10.15928/j.1674-3075.2018.04.010.
- [41] 王晶晶, 李雅慧, 李海明, 等. 天津某水库无机氮分布规律[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2020, 18(6): 116-121. (WANG J J, LI Y H, LI H M, et al. Distribution of inorganic nitrogen in a reservoir in Tianjin[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2020, 18(6): 116-121. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2020.0122.
- [42] 熊满堂, 王普泽, 叶少文, 等. 丹江口水库浮游植物群落时空特征及其鱼产力评估[J]. *中国水产科学*, 2021, 28(6): 715-727. (XIONG M T, WANG P Z, YE S W, et al. Temporal and spatial characteristics of phytoplankton community and assessment of fish productivity in Danjiangkou Reservoir[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(6): 715-727. (in Chinese)) DOI: 10.12264/JFSC2021-0242.
- [43] 梁建, 路伟亭. 涡河中下游浮游植物时空分布及成因[J]. *水利水电科技进展*, 2019, 39(5): 43-48. (LIANG J, LU W T. Spatial and temporal distribution and genesis of phytoplankton in the middle and lower reaches of Vortex River[J]. *Advances in Science and Technology of Water*, 2019, 39(5): 43-48. (in Chinese)) DOI: 10.3880/j.issn.1006-7647.2019.05.007.
- [44] 黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000. (HUANG X F. Investigation, observation and analysis of lake ecology[M]. Beijing: Investigation, Observation and Analysis of Lake Ecology, 2000. (in Chinese))
- [45] 闫苏苏, 刘翔孺, 雷波. 长寿湖浮游植物多样性及水质评价[J]. *环境影响评价*, 2017, 39(3): 61-65. (YAN S S, LIU S R, LEI B. Phytoplankton diversity and water quality assessment in Changshou Lake[J]. *Environmental Impact Assessment*, 2017, 39(3): 61-65. (in Chinese)) DOI: 10.14068/j.ceia.2017.03.016.

Phytoplankton community structure and biodiversity in the water source area along the middle route of South-to-North Water Transfer Project

ZHAO Zhinan^{1,2}, WANG Junjian³, ZHANG Yuanna^{1,2}, JING Zibo^{1,2}, HOU Yu²,
SUN Wenjun^{2,4}, WANG Xiaohui¹

(1. College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. North China Sea Marine Forecasting Center, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266100, China;

4. Tsinghua Suzhou Institute of Environmental Innovation, Suzhou 215009, China)

Abstract: Phytoplankton can respond quickly to environmental changes caused by water quality parameters, climate and hydrodynamic conditions, and is often used to monitor water quality pollution. Its species composition, the succession of dominant species, and biodiversity can reflect the water ecological environment in the reservoir area. Since the middle route of the South-to-North Water Transfer Project was officially put into operation in 2014, due to the increase of the reservoir capacity area after the dam was raised, many slow flow areas were generated along the bank lines, which caused easily growing algae. Long-term water transfer may change the phytoplankton community structure of Danjiangkou Reservoir, affect the ecological environment around the water source area and cause water quality problems. Therefore, it is particularly important to understand the spatial and temporal distribution characteristics of the phytoplankton community structure in the Danjiangkou Reservoir and evaluate the potential risk of eutrophication.

A portable water quality detector (HACH SL1000) was used to measure pH, temperature, conductivity (Cond), ammonia nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrite nitrogen ($\text{NO}_2^-\text{-N}$), and nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^-\text{-N}$). Total phosphorus (TP) was measured by ammonium molybdate spectrophotometry GB 11893-1989, total nitrogen (TN) was measured by alkaline potassium persulfate ultraviolet spectrophotometry GB 11892-1989, and transparency (SD) was measured by Plug plate. A 25# plankton net (64 μm) was used to do "∞" zigzagging for 3-5 minutes at a depth of 0.5 m to collect qualitative samples of phytoplankton. A plexiglass water collector was used to collect quantitative samples of phytoplankton at a depth of 0.5 m. The number of phytoplankton was calculated by the eyepiece field method, the biological volume was calculated by morphological characteristics and measured by a microscope. The biomass was calculated by the volume conversion method. Dominance Y, Margalef richness index, Pielou evenness index, and Shannon-Wiener diversity index were selected to calculate phytoplankton community indicators. Typical correspondence analysis (CCA) between phytoplankton and environmental factors was performed using Canoco 4.5 software.

The 101 species of phytoplankton were detected belonging to 76 genera of 8 phyla, 20 species belonging to 17 genera of diatoms, 26 species belonging to 17 genera of cyanophyta, 45 species belonging to 32 genera of chlorophyta, and 10 species belonging to 10 genera of dinoflagellates, chrysophyta, Cryptophyta, xanthophyta and Euphyta. There were 9 dominant phytoplankton species in Danjiangkou Reservoir, which were *Melosira granulatus*, *Melosira granulata var. angustissima*, *Microcystis aeruginosa*, *Pseudanabaena sp.*, *Glenodinium*, *Oscillatoria sp.*, *Chlamydomonas sp.*, *Cyclotella sp.*, *Chlamydomonas globosa* Snow. The average biomass of phytoplankton in Danjiangkou Reservoir in winter, spring, summer and autumn were (0.003±0.001) mg/L, (0.006±0.002) mg/L, (0.129±0.018) mg/L and (0.481±0.029) mg/L, respectively. In Danjiangkou Reservoir, the biomass of phytoplankton at Langhekou site S1 and Nancaojiayuan site S2 was relatively high, while that at Xiaogsanxia site S6 was relatively low. The Shannon-Wiener diversity index (H'), Pielou evenness index (J') and Margalef richness index (D_m) of phytoplankton in Danjiangkou Reservoir ranged from 1.76 to 2.53, 0.48 to 0.75 and 1.89 to 3.44.

The dominant species of phytoplankton in Danjiangkou Reservoir varied significantly with the season. Diatoms dominated in winter, followed by green algae-dinoalgae-diatoms in spring, and gradually developed into blue algae-green algae-diatoms in summer and autumn, indicating that the eutrophication degree of water in Danjiangkou Reservoir deepened from winter to autumn. The spatial distribution of phytoplankton in Danjiangkou Reservoir was obvious, and the phytoplankton biomass in Hanjiang Reservoir was higher than that in Danjiang Reservoir. The evaluation of diversity index showed that the water in the reservoir area was mild to moderately polluted, and the trophic status of water was higher in summer and autumn, with a certain eutrophication trend, and the risk of bloom was greater. The phytoplankton community structure in Danjiangkou Reservoir was mainly affected by environmental factors such as water temperature, transparency, total nitrogen and total phosphorus, summer, autumn season cyanobacteria, and green algae overgrowth may cause deterioration of water quality of Danjiangkou Reservoir.

Key words: Danjiangkou Reservoir; phytoplankton; community structure; temporal and spatial distribution; diversity index