

# 西藏哲古错水源河流夏季浮游植物群落特征差异及其与水环境的关系

杨欣兰, 潘瑛子, 何文佳, 扎西拉姆, 刘 飞\*

(西藏自治区农牧科学院 水产科学研究所/西藏土著鱼类繁育与利用技术工程研究中心, 西藏 拉萨 850032)

**摘要:** 为了解青藏高原湖泊浮游植物群落结构及其与水环境因子的关系, 选择西藏南部退化性湖泊哲古错为研究对象, 于2020年8月按水体属性和地理环境特征, 共设置5个断面, 每个断面设置平行采样点2个, 用25#浮游生物网采集水样共计15个。经过分类鉴定, 共计获得浮游植物5门7纲12目14科31属45类(含属、种), 其群落组成均表现为硅-蓝-绿藻型水体; 于现场测试获得水体理化因子, 通过群落特征参数及聚类分析对哲古错水源河流和湖体浮游植物的差异进行分析, 应用浮游植物群落结构相关性分析和冗余分析(RDA)等方法对浮游植物群落结构分布特征及其与环境因子的关系进行分析。结果表明: 哲古错水体环境受到全球变暖影响较大, 浮游植物群落结构较为简单, 湖泊水源河流和湖体内部水体浮游植物群落结构存在明显差异, 生态环境不稳定; 哲古错湖泊浮游植物的硅藻类群数量和生物量都占据优势; 电导率是影响群落结构的关键环境因子。

**关键词:** 西藏湖泊; 浮游植物; 环境因子; 群落结构特征

中图分类号: Q948.8

文献标志码: A

## Differences in Summer Phytoplankton Community Characteristics and Their Relationship with Water Environment in Chugu-tso Lake and Source Rivers in Tibet

YANG Xinlan, PAN Yingzi, HE Wenjia, Zhaxilamu, LIU Fei\*

(Institute of Fisheries Science, Tibet Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences/Tibet Native Fish Breeding and Utilization Technology Engineering Research Center, Tibet Lhasa 850032, China)

**Abstract:** In order to understand the phytoplankton community structure in lakes on the Qinghai-Tibet Plateau and its relationship with water environmental factors, Chugu-tso lake, a regressive lake in southern Tibet, was selected as the research object. In August 2020, a total of 5 sections were set up according to the water body attributes and geographical environment characteristics. Two parallel sampling points were set for each section, and a total of 15 water samples were collected with 25# plankton nets. After classification and identification, a total of 5 phyla, 7 classes, 12 orders, 14 families, 31 genera and 45 types of phytoplankton (including genus and species) were obtained. Their community composition was all silicon-blue-green algae water bodies. The physical and chemical factors of water bodies were obtained through field tests. Community characteristic parameters and cluster analysis were used to analyze the differences of phytoplankton in the source rivers and Chugu-tso lake. The correlation analysis and redundancy analysis (RDA) of phytoplankton community structure were used to analyze the distribution characteristics of phytoplankton community structure and their relationship with water environmental factors. The results showed that the water environment of Chugu-tso lake is greatly affected by global warming, the phytoplankton community structure is relatively simple, the phytoplankton community structure group of the lake source river and the inner water body of the lake had significantly different, and the ecological environment is unstable. The number and biomass of diatoms of phytoplankton in Chugu-tso Lake are dominant, and electrical conductivity is a key environmental factor affecting community structure.

**Key Words:** Tibetan Lakes; phytoplankton; environmental factors; community structure characteristics

收稿日期: 2022-04-21

基金项目: 西藏自治区自然科学基金项目(XZ202101ZR0058 G, XZ202101ZR0079G)。

作者简介: 杨欣兰(1992-), 女, 研究实习生, 主要从事水生生物与生态学研究, E-mail: Tears\_yang@163.com; \*为通讯作者: 刘飞(1991-), 男, 助理研究员, 主要从事渔业资源调查与外来鱼类生物入侵研究, E-mail: liufei636@163.com。

浮游植物作为湖泊初级生产者, 对水生生态系统的能量动态平衡和水环境状态起到关键作用, 因其群落结构极易受环境因子改变的影响, 且能对水体营养状态的变化迅速做出响应, 并有诸多物种可作为环境指示种<sup>[1-4]</sup>。因此, 浮游植物群落结构特征在一定程度上反映了水体的生态环境状况, 研究

其群落结构与水环境的关系对湖泊状态有至关重要的意义。青藏高原作为全球变化的敏感区,其气候变化情况受到了国内外学界的普遍关注。西藏高原区内湖泊星罗棋布,湖泊总面积为24 000多 $\text{km}^2$ ,占全国湖面总面积的30%。藏南地区为冈底斯山以南地区,大体包括喜马拉雅山与冈底斯山之间狭长的弧形地带,是内陆湖和外流湖交织过渡的地区<sup>[5-6]</sup>;该区湖泊总面积为2 549  $\text{km}^2$ ,占西藏湖泊面积的10.5%<sup>[7]</sup>。

哲古错作为藏南地区的三大圣湖之一,是苯教的朝圣之地,又因其位于哲古草原中间,对当地的牧民放牧、饮水等方面有着至关重要的作用。近年来因全球气候变暖,哲古错受环境影响极大,该湖面积急剧缩小<sup>[8]</sup>,因此,研究该湖泊的水生生态状态刻不容缓。本文通过鉴定出的浮游植物群落结构及其与水环境的关系来研究生物与环境之间的响应机制,旨在为丰富藏南地区水资源的生物数据、解释生物与环境之间的关系、并为该地区的湖泊保护提供可靠的科研依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 湖区概况

哲古错(湖)位于措美县中部( $91^{\circ}39'53.99''$ — $91^{\circ}39'34.29''\text{E}$ ,  $28^{\circ}43'44.62''$ — $28^{\circ}39'28.97''\text{N}$ ),喜马拉雅山北麓东段山间盆地内,西南距县治驻地约48.0 km,海拔4 611 m,湖泊面积56.8  $\text{km}^2$ (长15.5 km,宽约3.66 km,最大宽为5.8 km),岸线长38.0 km。湖区位于印度洋西南季风的背风区,属藏南山地灌丛草原半干旱气候,年均气温 $4.0^{\circ}\text{C}$ 左右,年均降水量300~400 mm。入湖水主要依赖4条河流补给,其中从西岸入湖的业久曲最大,长50.0 km,源头有如米错( $1.0\text{ km}^2$ )、扎古错等小湖,水源为冰川融雪水,水量较大,河口有 $12.0\text{ km}^2$ 的三角洲平原湿地。哲古错(湖)年均蒸发量300~400  $\text{mm}$ <sup>[6-8]</sup>,湖水pH值7.7,矿化度523  $\text{mg/L}$ ,属碳酸钠I型内陆淡水湖。湖周围是哲古草原,属典型的高原草甸生态。哲古区政府驻地在湖西岸阶地上,有简易公路可抵达湖滨,附近随处可见藏野驴、黄羊和岩羊。湖中仅有西藏土著无磷鱼类生存,主要为拉萨裸裂尻鱼指名亚种、拉萨裸裂尻鱼山南亚种和细尾高原鳅。湖面上鸟类聚集,湖岸润泽了大片的湿地草场,整个生态系统丰富多样。该湖泊受气候变化显著,有水位下降、湖内鱼类减少、湖

岸边退化成草原等现象<sup>[9-11]</sup>。

### 1.2 样点设置

采样时间为2020年8月,根据国家标准方法《水质—微型生物群落监测 PFU 法》(GB/T12990—91)、地表水监测断面的布设原则、哲古错水域的自然环境特征及水体功能等特征设置采样点,采集了3个进水口和湖中的两个点(图1)。

### 1.3 样品的采集与处理

水样采集和室内处理均参照我国行业规范的研究方法进行<sup>[12]</sup>。采用25#浮游网采集水样(设置3个平行);定量样品的采集方法同上,采到水样后立即用10%鲁哥氏液固定;在室内静置24 h后浓缩至50 mL,移取0.1 mL浓缩匀液至0.1 mL计数框,在 $10\times 40$ 倍显微镜下全片计数浮游植物数量(重复3次取平均数);理化因子于现场测定,采用便携式水质测量仪。

### 1.4 物种鉴定

在室内借助Olympus研究型光学显微镜,采用活体镜检和固定染色法相结合鉴定物种<sup>[13-15]</sup>,采用Lynn(2008)分类系统进行分类。

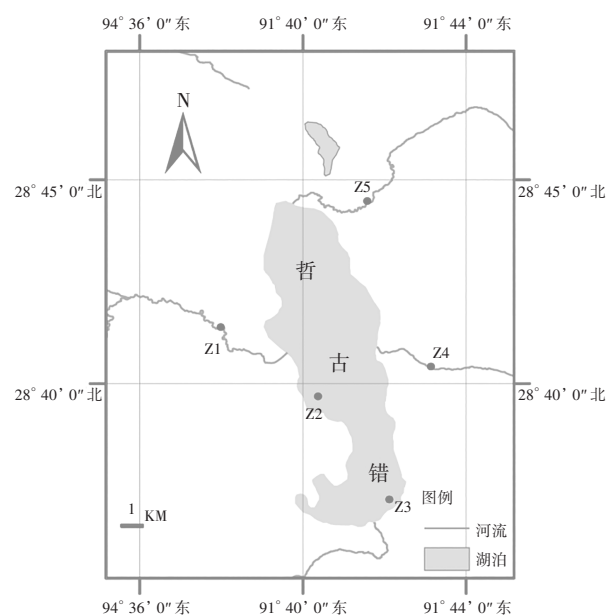


图1 哲古错(湖)各样点分布

### 1.5 数据处理与分析

采用Gleason-Margalef丰富度指数(d)、Shannon-Wiener多样性指数(H)和Simpson优势度指数(S)等指数,计算公式如下:

1) Gleason-Margalef 丰富度指数:  $d = (N_s - 1) / \ln(N_s)$ ;

2) Shannon-Wiener 多样性指数:  $H = -\sum P_i \times \ln P_i$ ,  $P_i = N_i / N$ ;

3)Simpson优势度指数: $S=\sum Ni(Ni-1)/(N(N-1))$ ;

4)Pielou均匀度指数: $E=H/\ln(NS)$ ;

5)Mcnaughton优势度系数: $Y=f_i \times Ni/N^{[16-17]}$ 。

上式中: $N$ 为同一样点中个体总数; $N_i$ 为第*i*种的个体数; $N_s$ 为物种数; $f_i$ 为第*i*种出现的频率。浮游植物出现的频率和相对丰度计算依据McNaughton,优势度 $Y \geq 0.02$ 时定为优势种<sup>[18]</sup>。用Excel计算群落特征参数及优势物种,采用SPSS 24进行Pearson双尾相关分析,Ri386 3.4.1进行聚类分析和典范对应分析,地图用ArcGIS 12.0制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 群落结构基本特征

本次研究共鉴定浮游植物45类(含属、种),隶属于5门7纲12目14科31属,从门级水平分析,硅藻门占比75.56%,其密度占比为90.68%,生物量占比为59.23%,为优势类群;绿藻门占比11.11%,其密度占比0.74%,生物量占比0.32%;蓝藻门占比8.89%,其密度占比为8.31%,生物量占比40.37%,为常见类群;裸藻门占比2.22%,密度占比为0.27%,生物量占比0.07%;隐藻门占比2.22%,密度占比为0.02%,生物量占比为0.003%;无壳缝目(11.11%)为优势类群,管壳缝目(8.89%)和鼓藻目(6.67%)为次优势类群,隐鞭藻目和裸藻目(2.22%)为偶见类群(图2)。

根据 $Y \geq 0.02$ 判定优势属,该湖泊优势属有18属(种),主要为硅藻。优势属排名前3的是针杆藻属(*Synedra* sp.)、等片藻属(*Diatom* sp.)和舟形藻属(*Navicula* sp.),且针杆藻属物种在各个样点均有分布,为广布种类。硅藻门物种无论从门级水平、目级水平还是优势种来看,都占绝对优势。哲古错水体呈典型的硅-蓝-绿藻型水体,见表1。

从群落物种数和种群数量分析可以直接或间接的体现群落结构类型、稳定程度和生境差异等。各样点物种数由大到小依次为Z1,Z2(Z3),Z5,Z4,物种数在29~16之间;密度由大到小依次为Z2,Z4,Z1,Z3,Z5,在 $3.3 \sim 1.8 \times 10^5$  cells/L之间;生物量由大到小依次为Z1,Z2,Z5,Z3,Z4,在34.21~12.74 mg/L之间;Shannon多样性指数均值为2.16,范围在1.22~2.58之间;Margalef多样性指数均值为2.93,范围在1.88~3.54之间;Simpson优势度指数均值为0.21,范围在0.12~0.49之间;Pielou均匀度指数均值为0.68,范围在0.44~0.79之间;Shan-

non多样性指数和Margalef多样性指数趋势一致,且Simpson优势度指数与Pielou均匀度指数趋势相反,其结果与拉萨河等高原水体研究结果一致(图3)。

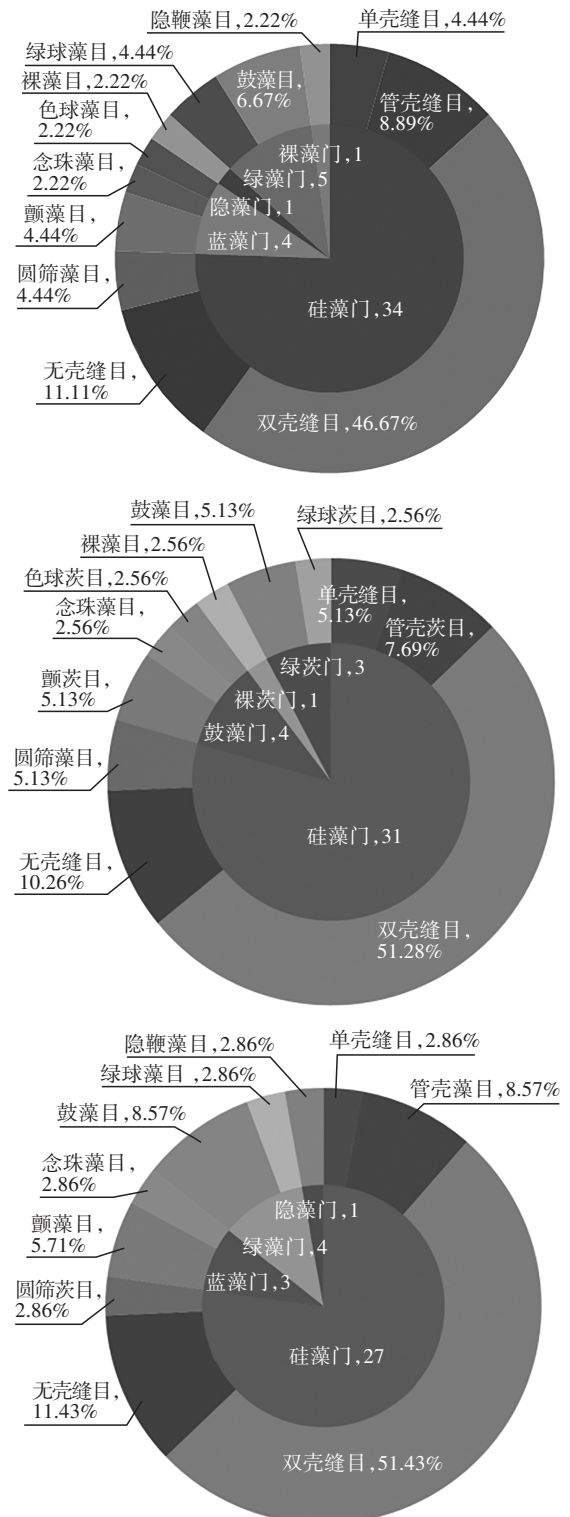
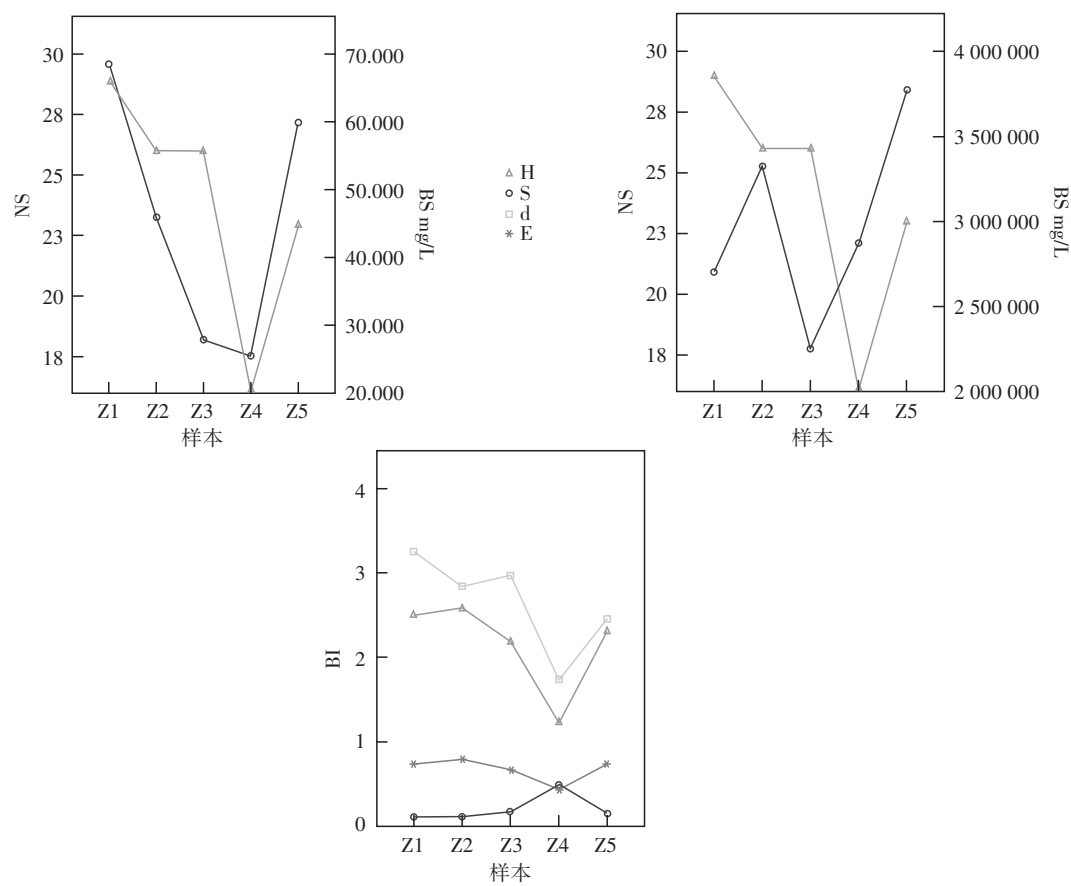


图2 哲古错(湖)浮游植物整体、水源河流及湖泊内部群落结构示意

表1 哲古错(湖)浮游植物优势种及其优势度

物种名	拉丁名	优势度					物种名	拉丁名	优势度				
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5			Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
布纹藻	<i>Gyrosigma</i> sp.	-	0.03	-	-	-	扁圆卵形藻	<i>Cocconeis placentula</i>	0.03	0.04	-	-	-
脆杆藻	<i>Fragilaria</i> sp.	0.02	0.02	-	-	-	菱形藻	<i>Nitzschia</i> sp.	0.07	-	0.06	-	-
小环藻	<i>Cyclotella</i> sp.	-	0.05	-	-	-	等片藻	<i>Diatoma</i> sp.	0.02	-	-	0.55	0.08
波缘藻	<i>Cymatopleura</i> sp.	-	-	0.02	-	-	长等片藻	<i>Diatom aelongaturn</i>	-	-	-	0.02	-
双菱藻	<i>Surirella</i> sp.	-	0.04	-	-	-	异极藻	<i>Gomphonema</i> sp.	-	-	0.02	-	0.02
羽纹藻	<i>Pinnularia</i> sp.	0.03	0.09	0.04	-	-	舟形藻	<i>Navicula</i> sp.	0.04	0.28	0.22	0.0	0.07
针杆藻	<i>Synedra</i> sp.	0.24	0.05	0.33	0.08	0.17	桥弯藻	<i>Cymbella</i> sp.	0.14	-	0.05	-	0.10
肘状针杆藻	<i>Synedra ulna</i>	0.02	-	-	-	0.19	颤藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	0.13	0.02	0.05	0.03	0.03
双头辐节藻	<i>Stauroneis smithii</i>	0.08	0.07	0.06	-	-	平裂藻	<i>Merismopedia</i> sp.	-	0.02	-	-	-

注：“-”表示 Y<0.02;Z<sub>1</sub>至Z<sub>5</sub>表示不同样本。



NS:物种数;BS:生物量;RS:丰度;BI:生物指数;H:Shannon多样性指数;S:Simpson优势度指数;d:Margelafe多样性指数;E:Pielou均匀度指数。

图3 哲古错(湖)浮游植物群落结构参数与生物指数组成



2.2 聚类分析

将哲古错(湖)浮游植物分布、理化因子和浮游植物物种数据按采样点进行聚类分析,并用物种组成数据分别做聚类分析。其结果显示:浮游植物的物种分布将5个采样点分成两个大组,Z4和Z5为一组,Z2与Z1和Z3合成一组;

其理化因子将5个采样点分成两大组,Z4单独为一组,Z2和Z3与Z1和Z5合成一组;物种数据将5个样点分为两大组,Z4单独成立为一组,Z2,Z5依次与Z1和Z3合成一大组。整体的聚类结果都显示Z4与其他样点不同,具有明显的空间差异(图4)。

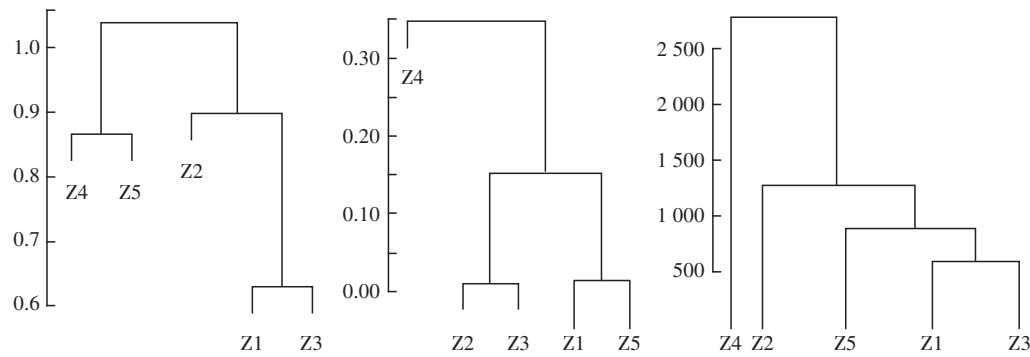


图4 哲古错(湖)浮游植物分布情况与理化因子的聚类分析

2.3 浮游植物与水体环境因子的相关性分析

为研究哲古错(湖)夏季浮游植物群落特征参数与水环境因子之间的关系,使用所得数据进行Pearson双尾相关分析。结果如下:Shannon多样性指数与Pielou多样性指数受电导率影响,呈负相关

关系( $p<0.05$ );Simpson指数受电导率影响,呈正相关关系( $p<0.05$ );生物量受水温影响,呈负相关关系( $p<0.05$ );其他群落特征参数受其他水环境因子的影响不大,无统计学意义(表2)。

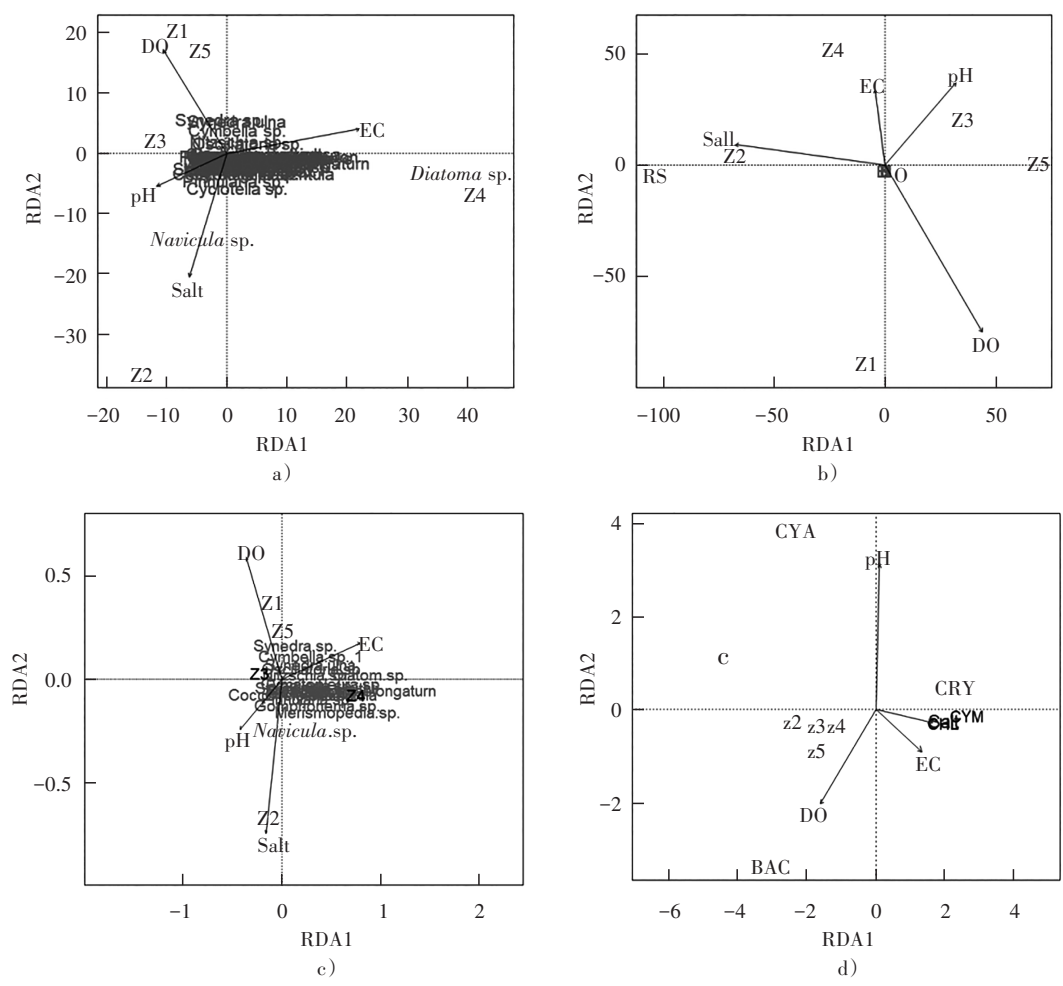
表2 哲古错(湖)浮游植物群落结构与理化因子Pearson相关性分析(双尾)

指标	NS	BS	H	S	d	E	RS	DO	Salt	pH	EC	WT	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
NS	1													
BS	0.601	1												
H	0.917*	0.685	1											
S	-0.928*	-0.662	-0.990**	1										
d	0.995**	0.537	0.873	-0.892*	1									
E	0.862	0.687	0.993**	-0.979**	0.809	1								
RS	-0.181	0.454	0.201	-0.147	-0.281	0.309	1							
DO	0.582	0.907*	0.561	-0.596	0.548	0.543	0.222	1						
Salt	0.156	-0.019	0.367	-0.257	0.108	0.405	0.333	-0.412	1					
pH	0.201	-0.353	0.298	-0.365	0.210	0.329	-0.045	-0.266	0.155	1				
EC	-0.862	-0.316	-0.902*	0.919*	-0.848	-0.887*	0.042	-0.259	-0.381	-0.629	1			
WT	-0.330	-0.923*	-0.450	0.455	-0.264	-0.475	-0.573	-0.917*	0.269	0.343	0.079	1		
NH <sub>4</sub> -N	0.645	0.126	0.300	-0.374	0.716	0.191	-0.793	0.383	-0.455	0.056	-0.388	0.017	1	
NO <sub>3</sub> -N	0.250	0.003	0.477	-0.384	0.201	0.519	0.345	-0.361	0.981**	0.323	-0.526	0.242	-0.405	1

注:DO为溶解氧,Salt为盐度,pH为酸碱度,EC为电导率,WT为水温,NH<sub>4</sub>-N为氨态氮,NO<sub>3</sub>-N为硝态氮。

为了进一步阐释哲古错浮游植物群落结构情况以及群落特征参数与环境因子之间的关系,将7个群落特征参数与环境指标先用DCA(Detrended Correspondence Analysis)分析,结果中Lengths of gradient的第一轴小于3.0,选用冗余分析(Redundancy Analysis, RDA)<sup>[19]</sup>。其排序轴的累积特征值结果为:①将物种分布与环境因子进行RDA分析,大部分物种聚于RDA的中间,Z1,Z3和Z5样点于第二象限,舟形藻和小环藻等的分布受盐度的影响,桥弯藻等物种受溶解氧的影响,等片藻则受电导率的影响,且影响浮游植物分布的关键性环境因子是电导率。②将生物参数与环境因子进

行RDA分析,横纵坐标值较大,浮游植物群落特征参数受环境的影响不明显,但可以看出密度受盐度的影响,其他参数受电导率的影响。此结果与Pearson双尾相关性的结果一致。③将优势物种与环境因子进行RDA分析,电导率为影响优势种最大的环境因子,等片藻为贡献率最高的生物因子,且受电导率影响极高。④以门为关键词(以拉丁名的前3字母设为简称),将门类的生物量与环境因子进行RDA分析,盐度和溶解氧的贡献率较大,盐度影响裸藻门、绿藻门和隐藻门物种,溶解氧影响硅藻门物种(图5)。



a):物种组成与分布;b):群落特征参数;c):优势物种;d):门类生物量

图5 哲古错(湖)夏季浮游植物与环境因子的RDA分析

3 结论与讨论

3.1 浮游植物群落结构特征差异

哲古错浮游植物物种组成以硅藻占绝对优势,其次是蓝藻和绿藻。这与巴松措、拉萨河、尼

洋河和拉鲁湿地<sup>[20-22]</sup>等青藏高原水体调查结果一致,表明哲古错浮游植物物种组成具有一般高原水体的普遍性特征。本研究结果显示,浮游植物群落结构简单,优势物种明显,水体分布不均

匀,呈硅-绿-蓝藻型水体。硅藻作为该湖泊主要的物种组成成分,是较原始的藻类,属于相对喜凉的生物,对高盐、高碱等极端环境适应能力较强,且相对适合生存在较冷的环境中。水位高、水量大、水温相对较低的环境有利于硅藻在竞争中占优势,这也是硅藻现存量在哲古错湖泊相对比例高的主要原因。针杆藻、等片藻和舟形藻是该湖泊主要的优势种,这与杨菲<sup>[23]</sup>研究西藏盐湖浮游植物的结果一致。针杆藻作为水华藻种,该湖泊有轻微水华现象,但尖针杆藻是清洁水体的指示种<sup>[24-25]</sup>,表明该水体有水华指示藻,却并不影响水体环境。

通过研究水源河流和湖泊内部水体的浮游植物群落结构,发现两者之间具有一定差异。从群落数据和聚类分析的结果可知,水源河流浮游植物呈硅-蓝-绿型水体,湖体则呈硅-绿-蓝型水体,物种分布组成及理化因子结合可以看出各个样点都具有明显的空间异质性。水源河流与湖泊水体浮游植物的差异主要体现在Z4样点与其他样点之间,该样点是哲古错东部进水口,距离公路较近,受牧场过度放牧影响较大,人为干扰严重。采样时,肉眼可见河道水量降低导致的河床水位下降及河堤淤泥裸露的现象,且采样时间是夏季,哲古错湖泊水体有别于内陆其他水体<sup>[25-26]</sup>,会因为夏季降雨量增多而水流量较大或有升高的现象,反而因为气温升高、水体蒸发量升高而水位降低,从而形成Z4样点的浮游植物群落特征生物参数跟其他样点差异较大。

### 3.2 浮游植物群落结构与水环境的关系

从研究结果可以看出,浮游植物群落结构受水体温度、盐度、电导率和溶解氧的影响,且影响浮游植物的关键性环境因子为电导率。舟形藻和小环藻受盐度的影响与其他学者的研究结果一致<sup>[27-28]</sup>,因哲古错水体退缩且紧临哲古草原,湖边常年放牧,硅藻又属真核生物,具有较硬的硅质细胞壁,细胞体积大,密度大,更适应于相对严峻的生存环境<sup>[29]</sup>,在青藏高原湖泊水体容易生存,极易产生优势种,受温度影响虽大,却也易受某些可溶性离子影响。因西藏山南地区土地矿化度较高,地表金属含量过高<sup>[30-32]</sup>,舟形藻等又

有一定的化学趋向性,致使浮游植物的群落结构和优势物种易受盐度和电导率的影响。另外,该湖泊属于退化型湖泊,夏天雨水流量较大,但日晒较强,水温相对较高,蒸发速率越大,浮游植物存留的越少,从而导致浮游植物群落结构较为单一。该湖泊以哲古草原为邻,海拔在4 700 m以上,环境较为恶劣,周边存在过度放牧现象,人为干扰较为严重。夏季降雨量较大,雨水随地表径流后流入湖中,使水体中可溶性离子含量增加,水体的电导率也随之增加,从而影响浮游植物的群落结构,这与滇池的研究结果一致<sup>[33-34]</sup>。因此,影响浮游植物群落结构的主要环境因子为电导率。

### 参考文献:

- [1] 张辉,彭宇琼,邹贤妮,等. 南亚热带特大型水库浮游植物群落特征及其与环境因子的关系:以新丰江水库为例[J]. 湖泊科学,2022,34(2):404-417.
- [2] 刘红磊,李艳英,周滨,等. 北方滨海人工湿地水生生物群落快速重建目标及适宜物种清单确定——以天津临港二期湿地为例[J]. 生态学报,2021,41(15):6 091-6 102.
- [3] NISHIOKA J, OBATA H, HIRAWAKE T, et al. A Review: Iron and Nutrient Supply in the Subarctic Pacific and Its Impact on Phytoplankton Production[J]. Journal of Oceanography, 2021, 77(4): 561-587.
- [4] FLYNN K, KIMMANCE S, CLARK D, et al. Modelling the Effects of Traits and Abiotic Factors on Viral Lysis in Phytoplankton[J]. Frontiers in Marine Science, 2021, 8: 71-84.
- [5] 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [6] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏河流与湖泊[M]. 北京:科学出版社,1984.
- [7] 谭博真,杨学芬,杨瑞斌. 西藏哲古错高原裸鲤年龄结构与生长特性[J]. 中国水产科学,2020,27(8):879-885.
- [8] 周荣军,马声浩,龚宇,等. 西藏错那—哲古错断裂的新活动与1806年错那7(1/2)级地震[J]. 四川地震,1997(3):35-39.
- [9] 孙芮茸. 哲古塘的变迁[J]. 西藏人文地理,2019(4):128-131.
- [10] 潘瑛子,付佩佩,周建设,等. 西藏哲古措2种土著鱼类消化道寄生蠕虫的群落结构及感染状况[J]. 中国水产科学,2020,27(11):1295-1304.
- [11] 夏瑛. 藏东南措美大火成岩省含水火成杂岩体成因[D]. 北京:中国地质大学,2017.
- [12] 章宗涉,黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京:科学出版社,1991.
- [13] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏藻类[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [14] 周凤霞,陈剑虹. 淡水微型生物与底栖动物图谱[M]. 2版. 北

- 京:化学工业出版社,2011.
- [15] 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.
- [16] SIMPSON E H. Measurement of Diversity[J]. Nature, 1949, 163 (4148):688.
- [17] PIELOU E. Ecological Diversity [M]. New York: Wiley Interscience, 1975.
- [18] PRATT J R, CAIRNS JR J. Functional Groups in the Protozoa: Roles in Differing Ecosystems1, 2[J]. The Journal of Protozoology, 1985, 32(3):415-423.
- [19] 赖江山,米湘成,任海保,等. 基于多元回归树的常绿阔叶林群丛数量分类——以古田山24公顷森林样地为例[J]. 植物生态学报,2010,34(7):761-769.
- [20] 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的关系:1.浮游植物[J]. 湖泊科学,2013, 25(5):695-706.
- [21] 安瑞志,潘成梅,塔巴拉珍,等. 西藏巴松错浮游植物功能群垂直分布特征及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学,2021,33 (1):86-101.
- [22] 巴桑,杨欣兰,黄香,等. 拉萨河下游春、夏季浮游植物群落特征与水质评价[J]. 高原科学研究,2017,1(1):25-38.
- [23] 杨菲. 西藏盐湖浮游植物及原生动物群落结构特征的研究[D]. 上海:上海海洋大学,2014.
- [24] 侯天琪,王珊珊,陈洪举,等. 2013年夏季渤海和黄海浮游植物群落特征及比较分析[J]. 海洋环境科学,2021,40(4): 591-600.
- [25] 李磊. 大庆龙凤湿地浮游植物功能类群分布格局及环境相关性研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨师范大学,2021.
- [26] 王宁. 乌东德水电站建设对金沙江下游浮游生物群落特征影响分析[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2021.
- [27] 王峰. 舟形藻的运动行为和觅食机制探究[D]. 上海:华东师范大学,2018.
- [28] 王珺,赖秋明,姚发壮,等. 人工培养条件下环境因子对微小环藻生长的影响[J]. 海洋渔业,2013,35(2):195-201.
- [29] 张涛,陈丽,刘晓曦,等. 云南中部和南部湖泊夏季浮游植物空间分布及其影响因子[J]. 生态学杂志,2020,39(10):3 350-3 362.
- [30] 吴志山,刘阳,陈龙照,等. 西藏乃东县温区一带地球化学异常特征与找矿方向[J]. 矿产勘查,2021,12(5):1 199-1 206.
- [31] 洛桑尖措,卿成实,李光明,等. 西藏山南地区错那洞穹窿岩石地球化学异常特征[J]. 物探与化探,2020,44(1): 13-24.
- [32] 兰双双,吕杜,曾攀,等. 西藏浪卡子县穷子地区土壤地球化学特征及找矿预测[J]. 地质找矿论丛,2019,34(2): 286-293.
- [33] 王华,杨树平,房晟忠,等. 滇池浮游植物群落特征及与环境因子的典范对应分析[J]. 中国环境科学,2016,36(2): 544-552.
- [34] 冯秋园,王殊然,刘学勤,等. 滇池浮游植物群落结构的时空变化及与环境因子的关系[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2020,56(1):184-192.