

文章编号: 1674-5566(2013)04-0577-09

西藏那曲地区盐湖浮游植物群落结构的特征

陈立婧¹, 杨菲¹, 吴淑贤¹, 刘喜方², 贾沁贤²

(1. 上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037)

摘要: 2009年4-5月对西藏那曲地区12个盐湖进行浮游植物采样调查, 共检出浮游植物58种, 隶属于6门39属, 其中硅藻门种数最多(34种), 占浮游植物总种数的58.62%, 其次为绿藻门(11种)和蓝藻门(8种)。主要优势种为舟形藻属未定种1种、菱形藻属未定种1种、湖泊鞘丝藻和小形卵囊藻。平均生物密度和生物量分别为 9.70×10^4 cells/L和0.1628 mg/L。分析了西藏盐湖浮游植物区系组成特点, 及其与环境因子尤其是含盐量的关系, 结果表明: 浮游植物物种数、生物密度与生物量均与含盐量存在不显著的负相关关系($P > 0.05$), 在盐湖生态系统中, 盐度是决定浮游植物多样性及个体数量的关键因素之一, 浮游植物群落结构受众多生态因子共同影响。

研究亮点: 西藏盐湖不同于内陆淡水湖泊, 其盐度较高, 地理、自然环境恶劣, 尤其那曲地区处于西藏羌北无人区, 进藏调查研究只有少数具备条件的单位能够完成, 因此其盐湖浮游植物一直都缺乏全面详细的调查。本文对西藏那曲地区12个盐湖的浮游植物群落结构进行调查, 以丰富西藏盐湖浮游生物资源、生态学资料, 并为盐湖资源综合性开发利用提供一定参考。

关键词: 西藏盐湖; 浮游植物; 群落特征; 环境因子

中图分类号: S 932.7

文献标志码: A

盐湖通常是指含盐量 ≥ 3.0 g/L的各类湖泊, 作为一种重要的湖泊类型, 除了拥有丰富的矿产资源, 还蕴含丰富的生物资源。我国盐湖大致处于北纬 $30^\circ \sim 50^\circ$ 之间, 集中分布在青藏高原和蒙新高原的山间盆地或高原闭流洼地之中。20世纪60年代以前, 国内学者侧重于西藏盐湖地质和矿产方面研究^[1-3]。随着科学技术的发展, 对盐湖生物学的研究越来越重视, 学者们先后对西藏部分地区的盐湖、盐泉进行了生物资源调查, 但其研究仅限于生物种类描述、区系的分布^[4-10]。中国地质科学院矿产资源研究所盐湖中心进行了西藏东部、北部盐湖生物资源及环境特征综合性调查^[11-12]; 最近, 国内学者对西藏、青海、内蒙古一些盐湖的生物多样性进行了研究, 取得一些新进展^[13-19]。尽管到目前为止盐

湖生物区系组成, 及其与环境因子关系有了一些研究资料, 但是由于西藏盐湖大多地处偏远, 自然环境恶劣, 交通、生活和研究条件不便, 因此大多数盐湖中生物群落结构的深入研究还很少, 本文通过对西藏那曲地区部分盐湖的浮游植物群落特征及其与环境关系进行分析和探讨, 旨在丰富西藏浮游生物资源、生态学资料, 为进一步开发利用盐湖生物资源打下基础。

1 材料与方法

1.1 采样站点设置

2009年4-5月浮游植物调查涉及西藏那曲地区12个湖泊(图1), 该地区地处西藏自治区北部, 位于青藏高原腹地, 平均海拔4500 m以上, 为典型的亚寒带气候区, 年平均气温为 -0.9 °C至

收稿日期: 2013-01-04 修回日期: 2013-05-22

基金项目: 上海高校知识服务平台上海海洋大学水产动物遗传育种中心(ZF1206); 上海市重点学科建设项目(S30701); 国土资源部地质调查项目(1212010818056, 1212011120982)

作者简介: 陈立婧(1971—), 女, 副教授, 研究方向为浮游生物生态学。E-mail: ljchen@shou.edu.cn

通信作者: 贾沁贤, E-mail: jia-qinxian@sohu.com

-3.3 °C, 年相对湿度为 48% ~ 51%, 年均降雨量仅在 100 ~ 200 mm 之间, 年日照时数为 2 852.6 ~ 2 881.7 h, 全年气候干冷, 无绝对无霜期。

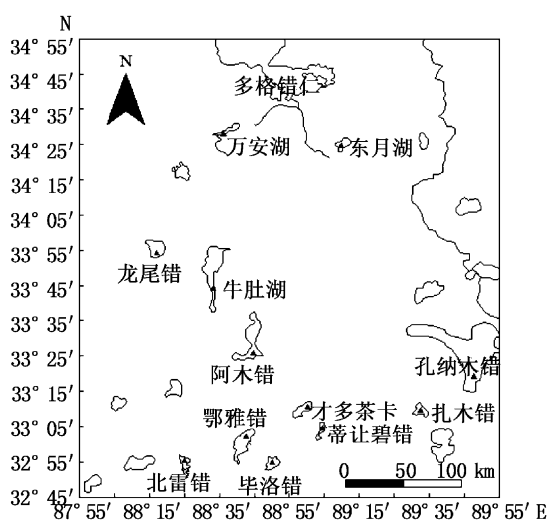


图 1 西藏那曲地区盐湖采样点分布

Fig. 1 Distribution and locality of the sampled salt lakes in Naqu region, Tibet

1.2 样品采集与鉴定

浮游植物的采样和样本检测方法按《湖泊生态调查观测与分析》^[20] 进行, 在沿岸依据各湖泊形态、生物分布特性和采样操作的便利程度设置 2 或 3 个采样点。现场测定温度、含盐量、pH 等理化因子。浮游植物定性样品用 25# 浮游生物网采集。定量样品用有机玻璃采水器采样 1 L, 鲁哥氏液固定, 固定液用量为淡水湖泊的 4 ~ 5 倍; 静止沉淀 48 h, 浓缩至 50 mL 后加入 4% 甲醛溶液保存。采用 0.1 mL 计数框, 在 CX21 型 Olympus 显微镜下用视野计数法进行定量观察, 每个样本重复计数两次取平均值。藻类生物量采用细胞体积法推算, 单细胞藻类的生物量主要根据藻类个体形状测量而得。

1.3 数据处理与分析

根据浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数 (H')、Margalef 丰富度指数 (D)、Pielou 均匀度指数 (J)、优势度 ($Y, Y > 0.02$ 定为优势种)、Jaccard 种类相似性指数 (S_j) 对浮游植物的群落特征进行分析, 其公式如下:

$$H' = - \sum (N_i/N) \log(N_i/N) \quad (1)$$

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (2)$$

$$J = H' / \ln S \quad (3)$$

$$Y = N_i / N \times f_i \quad (4)$$

$$S_j = c / (a + b - c) \quad (5)$$

式中: S 为样品中的浮游植物种类总数; N_i 为第 i 种的个数; N 为采集样品中浮游植物总个体数; f_i 为第 i 种在各站点出现的频度; a 为一个湖泊的浮游植物种类数; b 为另一个湖泊的浮游植物种类数; c 为两个湖泊所共有的浮游植物种类数^[21-23]。采用 SPSS 18.0 软件对数据进行统计和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成

本次采样调查共鉴定出浮游植物 6 门 39 属 58 种。其中硅藻门 19 属 34 种, 占种类总数的 58.62%; 绿藻门 9 属 11 种, 占 18.97%; 蓝藻门 6 属 8 种, 占 13.79%; 裸藻门 3 属 3 种; 隐藻门和甲藻门各 1 属 1 种 (表 1)。蒂让碧错、孔纳木错浮游植物种类最丰富, 分别有 23 和 19 种, 其中均以硅藻类最多, 分别占到总数的 78.26% 和 57.89%, 其次为东月湖、扎木错, 都检出 11 种浮游植物。而阿木错只检出 2 种浮游植物, 均属硅藻门, 且龙尾错和才多茶卡也只检出硅藻, 无其他门藻类。各个湖泊的浮游植物几乎都是硅藻占主导地位, 其次为绿藻、蓝藻。

表 1 那曲地区盐湖浮游植物的分布、组成

Tab. 1 Distribution and composition of phytoplankton in salt lakes of Naqu region

物种名	东月湖	万安湖	龙尾错	牛肚湖	阿木错	才多茶卡	蒂让碧错	扎木错	孔纳木错	鄂雅错	北雷错	毕洛错
蓝藻门 Cyanophyta												
微小粘球藻 <i>Gloeocapsa minutula</i>							+			+		
湖沼色球藻 <i>Chroococcus limneticus</i>				+								
小型色球藻 <i>Chroococcus minor</i>							+		+	+		+
平裂藻属未定种 <i>Merismopedia</i> sp.												+
微小平裂藻 <i>Merismopedia tenuissima</i>									+			
颤藻属未定种 <i>Oscillatoria</i> sp.												+
席藻属未定种 <i>Phormidium</i> sp.		+										
湖泊鞘丝藻 <i>Lyngbya limnetica</i>							+		+			+

· 续表 1 ·

隐藻门 Cryptophyta										
嗜蚀隐藻 <i>Cryptomonas erosa</i>										+
甲藻门 Pyrrophyta										
裸甲藻 <i>Gymnodinium aeruginosum</i>	+									
硅藻门 Bacillariophyta										
长刺根管藻 <i>Rhizosolenia longiseta</i>										+
小环藻属未定种 <i>Cyclotella</i> sp.		+	+			+	+		+	
普通等片藻 <i>Diatoma vulgare</i>					+					+
脆杆藻属未定种 <i>Fragilaria</i> sp.	+	+	+	+		+	+	+		
针杆藻属未定种 <i>Synedra</i> sp.									+	
近缘针杆藻 <i>Synedra affinis</i>									+	
平片针杆藻 <i>Synedra tabulata</i>									+	
尖针杆藻极狭变种 <i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i>									+	
肘状针杆藻 <i>Synedra ulna</i>									+	
肘状针杆藻丹麦变种 <i>Synedra ulna</i> var. <i>danica</i>									+	
两头针杆藻 <i>Synedra amphicephala</i>									+	
两头针杆藻中型变种 <i>S. amphicephala</i> var. <i>intermedia</i>									+	
普通肋缝藻 <i>Frustulia vulgaris</i>									+	
美壁藻属未定种 <i>Caloneis</i> sp.									+	
双壁藻属未定种 <i>Diploneis</i> sp.	+									
辐节藻属未定种 <i>Stauroneis</i> sp.				+		+			+	
双头辐节藻 <i>Stauroneis anceps</i>						+			+	
舟形藻属未定种 <i>Navicula</i> sp.	+	+	+			+	+	+	+	+
羽纹藻属未定种 <i>Pinnularia</i> sp.								+	+	+
桥弯藻属未定种 <i>Cymbella</i> sp.	+					+	+			+
两尖桥弯藻 <i>Cymbella amphioxys</i>									+	
新月形桥弯藻 <i>Cymbella cymbiformis</i>									+	
异极藻属未定种 <i>Gomphonema</i> sp.		+				+				
两形壳缝藻 <i>Amphiraphia xizangensis</i>						+				
扁圆卵形藻 <i>Cocconeis placentula</i>								+	+	+
虱形卵形藻 <i>Cocconeis pediculus</i>			+					+		
菱形藻属未定种 <i>Nitzschia</i> sp.	+	+	+	+		+	+	+	+	
菱板藻属未定种 <i>Hantzschia</i> sp.						+				
双尖菱板藻 <i>Hantzschia amphioxys</i>		+		+	+	+	+	+	+	+
双尖菱板藻线形变种 <i>H. amphioxys</i> var. <i>linearis</i>									+	
草鞋形波缘藻 <i>Cymatopleura solea</i>								+	+	
卵圆双菱藻羽纹变种 <i>Surirella ovalis</i> var. <i>pinnata</i>									+	
线形双菱藻 <i>Surirella linearis</i>									+	
窄双菱藻 <i>Surirella angustata</i>								+	+	
裸藻门 Euglenophyta										
囊裸藻属未定种 <i>Trachelomonas</i> sp.	+	+						+	+	
带形裸藻 <i>Euglena ehrenbergii</i>								+		
树状柄裸藻 <i>Colacium arbuscula</i>									+	
绿藻门 Chlorophyta										
球衣藻 <i>Chlamydomonas globosa</i>										+
小柱藻属未定种 <i>Characium</i> sp.	+									
硬弓形藻 <i>Schroederia robusta</i>	+									
微小四角藻 <i>Tetraëdron minimum</i>									+	
小形卵囊藻 <i>Oocystis parva</i>									+	
单生卵囊藻 <i>Oocystis solitaria</i>		+								+
粗肾形藻 <i>Nephrocytium obesum</i>										+
四球藻 <i>Tetrachlorella alternans</i>	+									
双对栅藻 <i>Scenedesmus bijuga</i>										+
四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>									+	+
丝藻属未定种 <i>Ulothrix</i> sp.		+								

本次采样调查的那曲地区 12 个盐湖浮游植物多以硅藻门种类为优势种(表 2)。其中龙尾错、阿木错、才多茶卡、蒂让碧错、扎木错的优势种仅为硅藻门种类。孔纳木错、鄂雅错、牛肚湖

和东月湖的优势种既有硅藻门种类也有蓝藻门种类,但是东月湖还有裸甲藻。万安湖和毕洛错以绿藻门种类为优势种。北雷错中蓝藻门的湖泊鞘丝藻占绝对优势。

表 2 那曲地区盐湖浮游植物优势种的优势度

Tab. 2 The dominant species of phytoplankton in salt lakes of Naqu region

物种名	东月湖	万安湖	龙尾错	牛肚湖	阿木错	才多茶卡	蒂让碧错	扎木错	孔纳木错	鄂雅错	北雷错	毕洛错
蓝藻门												
湖沼色球藻				0.667								
小型色球藻										0.211		0.095
微小平裂藻									0.457			
席藻属未定种	0.369											
湖泊鞘丝藻									0.241		0.869	
甲藻门												
裸甲藻	0.298											
硅藻门												
脆杆藻属未定种								0.147				
舟形藻属未定种	0.285		0.500			0.375		0.147	0.138	0.184		
桥弯藻属未定种							0.106					
虱形卵形藻							0.275					
菱形藻属未定种			0.227	0.095		0.420		0.265	0.138			
双尖菱板藻					0.500							
绿藻门												
小形卵囊藻												0.361
单生卵囊藻		0.101										
丝藻属未定种		0.810										

2.2 浮游植物生物密度与生物量

本次调查的 12 个湖泊的浮游植物平均生物密度为 9.70×10^4 cells/L, 生物量为 0.162 8 mg/L。虽然这 12 个湖都分布在西藏那区地区,但是生物密度和生物量都有明显差异($P < 0.05$, 图 2)。阿木错的生物密度和生物量均最低,分别为 0.10×10^4 cells/L 和 0.000 5 mg/L。东月湖生物密度最高,达 45.66×10^4 cells/L,其次是蒂让碧错和北雷错;生物量也是东月湖最高,为 0.982 4 mg/L,蒂让碧错、扎木错次之。

2.3 浮游植物多样性指数

浮游植物多样性的 3 种指数在各水体的变化趋势基本一致,但大小顺序不尽相同(图 3)。蒂让碧错的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(D)均最高,分别为 2.50 和 1.87;北雷错、阿木错最低,分别为 0.44 和 0.14。而各湖的 Pielou 均匀度指数(J)差异不大,阿木错最高,北雷错最低。

2.4 浮游植物种群相似性

本次采样的 12 个盐湖浮游植物种类相似性

指数列于表 3,其中龙尾错和才多茶卡相似性最高(0.50),其次为万安湖和才多茶卡(0.43)、万安湖和龙尾错(0.36)、龙尾错和扎木错(0.33)、才多茶卡和扎木错(0.31)。而东月湖和阿木错、龙尾错和阿木错、万安湖和北雷错、龙尾错和北雷错、阿木错和北雷错、鄂雅错和北雷错、牛肚湖和毕洛错、阿木错和毕洛错的相似性指数均为 0。

2.5 浮游植物群落构成及湖泊类型划分

对于各个湖泊群落结构分析表明,不同湖泊间,藻类种类组成及密度、生物量都存在较大差异。按照不同门类藻类所占生物量和密度比例在藻类群落结构的优势地位,进行湖泊藻类属性类型的划分。划分原则为:符合硅藻生物量比例 $> 60\%$ 及密度比例 $> 20\%$ 条件的归为硅藻型湖泊;硅藻生物量比例 $> 60\%$ 、但密度比例略低于 20% ,或者生物量比例在 $50\% \sim 60\%$ 及密度比例 $> 20\%$ 、并且存在明显次要优势藻类的湖泊归为硅藻过渡型湖泊;再去除上述两类湖泊后,其余湖泊按照生物量及密度优势地位再进一步划分为蓝藻型湖泊、绿藻型湖泊等,对优势地位

不明显的湖泊归类到混合型湖泊(表4),从表4中可见,本次调查中硅藻型湖泊最多(8个),占到

统计湖泊总数(12)的66.67%,其次是绿藻型湖泊(2个),蓝藻型、甲藻型湖泊各1个。

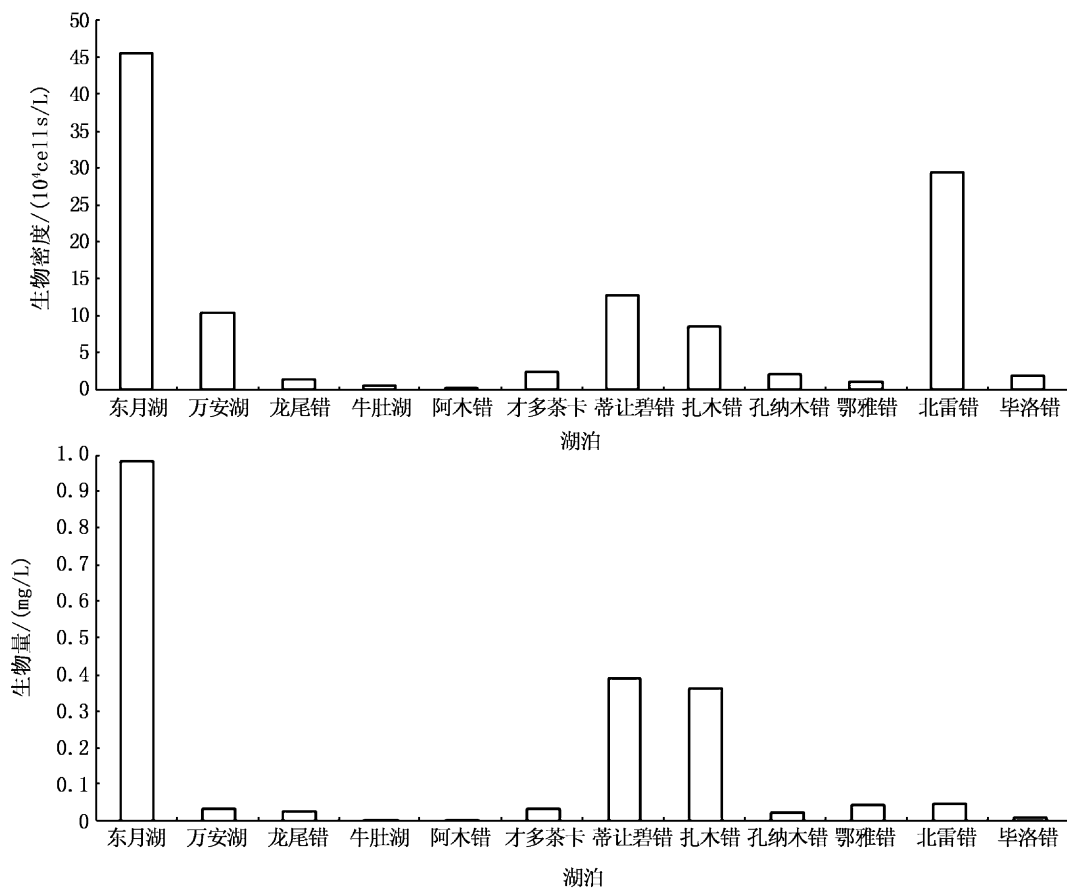


图2 那曲地区盐湖浮游植物生物密度与生物量

Fig. 2 Density and biomass of phytoplankton in salt lakes of Naqu region

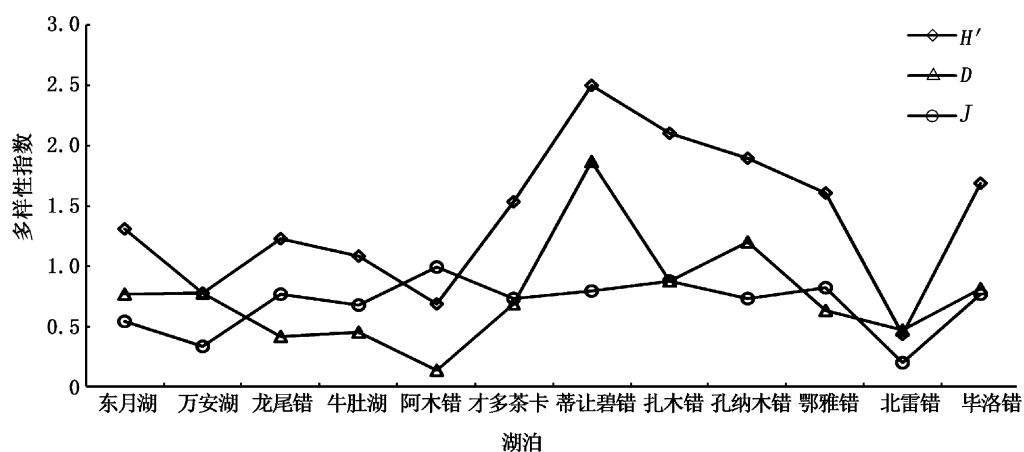


图3 那曲地区盐湖浮游植物多样性指数

Fig. 3 Diversity index of phytoplankton in salt lakes of Naqu region

表3 那曲地区盐湖浮游植物相似性指数
Tab.3 Similarity index of phytoplankton in salt lakes of Naqu region

	东月湖	万安湖	龙尾错	牛肚湖	阿木错	才多茶卡	蒂让碧错	扎木错	孔纳木错	鄂雅错	北雷错	毕洛错
东月湖	1.00	0.24	0.23	0.14	0.00	0.24	0.17	0.16	0.11	0.06	0.06	0.05
万安湖		1.00	0.36	0.25	0.10	0.43	0.27	0.24	0.21	0.13	0.00	0.06
龙尾错			1.00	0.25	0.00	0.50	0.17	0.33	0.14	0.09	0.00	0.08
牛肚湖				1.00	0.17	0.25	0.12	0.23	0.09	0.09	0.09	0.00
阿木错					1.00	0.90	0.04	0.08	0.05	0.13	0.00	0.00
才多茶卡						1.00	0.22	0.31	0.21	0.13	0.06	0.06
蒂让碧错							1.00	0.21	0.27	0.20	0.07	0.07
扎木错								1.00	0.20	0.20	0.06	0.11
孔纳木错									1.00	0.18	0.08	0.17
鄂雅错										1.00	0.00	0.14
北雷错											1.00	0.23
毕洛错												1.00

表4 依据浮游植物特征对那曲地区盐湖类型的划分
Tab.4 Classifications of salt lakes in Naqu region based on characteristics of phytoplankton

	主要优势类群			次要优势类群			湖泊名称
	名称	密度/%	生物量/%	名称	密度/%	生物量/%	
硅藻型	硅藻	100	100				阿木错, 龙尾错, 才多茶卡
	硅藻	97.06	97.23	裸藻	2.94	2.77	扎木错
	硅藻	83.53	99.07	蓝藻	15.53	0.08	蒂让碧错
	硅藻	22.86	95.04	蓝藻	57.14	1.24	孔纳木错
	硅藻	39.47	99.56	蓝藻	60.53	0.44	鄂雅错
	硅藻	33.33	92.86	蓝藻	66.67	7.14	牛肚湖
蓝藻型	蓝藻	98.98	91.48	硅藻	0.51	6.11	北雷错
绿藻型	绿藻	45.90	52.63	硅藻	11.48	43.16	毕洛错
	绿藻	91.07	66.77	硅藻	8.36	27.79	万安湖
甲藻型	甲藻	29.83	55.46	硅藻	30.16	40.03	东月湖

2.6 浮游植物的种类组成、密度、生物量与理化因子的关系

本次调查的西藏那曲地区 12 个盐湖分布于海拔 4 824 ~ 5 025 m, 含盐量范围为 8 ~ 138 g/L, pH 变化幅度不大, 偏碱性。大多数属于硫酸盐型湖泊, SO_4^{2-} 含量在蒂让碧错最高, 为 27 652 mg/L, 北雷错和龙尾错均属于碳酸盐型湖泊, 北雷错的 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 离子均最高, 分别为 3 080.7 mg/L 和 3 578.9 mg/L(表 5)。

根据 Pearson 相关性分析, 在 8 ~ 138 g/L 的含盐量范围内, 浮游植物物种数总体来说随着盐度的升高呈减少的趋势, 但相关性并不显著 ($r = -0.205, P = 0.522$)。浮游植物生物密度与生物量也与盐度存在不显著负相关关系, 相关系数分别为 -0.298 和 -0.289。

3 讨论

3.1 浮游植物区系组成特征

本次调查过程中, 由于地理环境条件限制仅在 4 - 5 月采样 1 次, 采样点较少, 且鉴定时可能遗漏某些物种, 实际种类数应该更多一些, 但所得结果基本上反映了所调查盐湖春季浮游植物的种类组成和密度、生物量的基本特点。在所检出的 58 种浮游植物中, 大多数都是淡水普生性的广盐种或喜盐种, 对盐度的适应范围较广, 仅有几种如喙头舟形藻、扁圆卵形藻、卵圆双菱藻等是较典型的微咸水、半咸水或咸水种。这与其他盐水区研究结果一致^[14-16, 24-26], 说明西藏浮游植物可能大多数为淡水起源, 在盐度及其他环境因子变化的长期的自然选择作用下, 耐高盐高

碱等抗逆基因得到保存,产生了适应性。

此次调查发现硅藻优势明显,结合各门藻类生物密度和生物量所占比例,进行湖泊藻类属性类型的划分,本次调查中的 12 个湖泊中有 8 个属于硅藻型湖泊,且在其他型湖泊中硅藻也占据次要优势种的地位,这主要是由于硅藻多为适冷性物种,其多数适合生长在较冷的环境中^[27],其次,硅藻属于较原始的门类,更能适应生存于一些高

盐高碱等极端环境中^[28],青藏高原地处高寒地带,人口稀少,水体营养盐和溶解性有机成分来源较少,故一般生长在水温较高、含溶解性有机物质较多的富营养型水体中的种类很少,尤其是腐生性的种类几乎绝迹。由此可见,这一地区的浮游藻类区系特点与西藏其他地区研究结果一致,充分反映出高寒地区贫营养型水体中的生物组成特点。

表 5 那曲地区盐湖理化因子

Tab. 5 Physical and chemical parameters of salt lakes in Naqu region

	经纬度	海拔/m	温度/°C	含盐量/(g/L)	pH	水化学类型
东月湖	34°22'43.2"N 89°10'35.4"E	4 850	-6	15	8.1	氯化物型
万安湖	34°27'18.8"N 88°34'50.8"E	4 927	-6	11	7.7	-
龙尾错	33°54'09.5"N 88°17'11.2"E	4 977	-6	50	8.0	碳酸盐型
牛肚湖	33°38'39.7"N 88°34'09.6"E	5 020	-	8	7.8	硫酸钠亚型
阿木错	33°26'04.9"N 88°44'33.1"E	4 971	-	49	8.1	硫酸钠亚型
才多茶卡	33°10'51.8"N 88°58'35.6"E	4 855	-	35	8.3	硫酸钠亚型
蒂让碧错	33°05'10.6"N 89°03'38.7"E	4 850	-6	30	8.9	硫酸钠亚型
扎木错	33°10'12.4"N 89°42'36.9"E	4 904	-6	26	8.2	硫酸钠亚型
孔纳木错	33°14'48.9"N 89°47'49.9"E	4 941	-	40	-	-
鄂雅错	33°01'59.1"N 88°42'51.2"E	4 832	-1	138	7.8	硫酸镁亚型
北雷错	32°55'51.2"N 88°24'55.8"E	4 826	-6	50	9.0	碳酸盐型
毕洛错	32°55'32.9"N 88°51'28.3"E	4 824	-6	40	8.3	硫酸镁亚型

注: - 表示数据不详。

3.2 浮游植物种类数、密度、生物量、多样性及相似性分析

本次调查的 12 个盐湖中,生物密度和生物量最高的是东月湖,这是由于裸甲藻的出现,占据了总生物密度的 1/3,而在其他湖泊中均未检测到甲藻。其次则是蒂让碧错,且蒂让碧错的浮游植物最丰富有 23 种,Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(D)也最高,分别为 2.50 和 1.87,但是与我国内陆淡水湖泊相比,种类数、生物密度、生物量、多样性均较低,与青藏高原尕斯库勒湖^[13]、内陆盐湖苏干湖^[29-30]差不多。这与本次调查期间温度较低有关,也与无人区盐湖盐度较高,营养成分较低等极端环境特征密切相关,且浮游动物如西藏拟溞对硅藻类摄食也是构成藻类生长繁殖的限制因素^[15]。

相似性指数反映了生境的相似程度,仅与种群的物种组成相关,与物种多样性大小没有关系。相似性等级一般划分为 6 级^[31]。本研究中的相似性指数大多数在 0~0.25 之间,表明其生境不相似,而万安湖、龙尾错、才多茶卡和扎木错

的生境轻度相似。相似度不大也可能与各湖泊的成因不同以及矿化度、阴阳离子含量差别较大有关^[3]。

3.3 浮游植物群落结构特征与环境因子关系

在盐湖生态系统中,含盐量高且富于变化是其生态环境的一个显著特点。一般而言,盐度与浮游生物物种多度存在着不显著的负相关性,即湖水盐度越高,可适应生存的物种愈少,多样性指数降低,而群落生物量并不低。霍元子等^[14]对内蒙地区盐湖研究也表明浮游植物种数虽然随着盐度的升高而呈减少趋势,但相关并不显著;袁显春等^[15]对西藏阿里地区盐湖浮游生物调查研究指出,含盐量在 0.31~300.71 g/L 范围内,浮游生物物种多度与盐度存在不显著的负相关关系;赵文^[24]对中国北方内陆盐水的研究结果表明,在广泛的盐度范围内,浮游植物种数与盐度之间有显著的负相关关系,但在特定范围内如 0~10 g/L、10~50 g/L 等,这种相关性则不显著。本次调查的盐湖含盐量范围相对较小(8~138 g/L),在此盐度范围内,浮游植物物种数、生物密

度、生物量随含盐量升高而减少,但影响不显著。因此盐度并不是决定藻类群落特征的唯一环境因子,应该还有其他因子的影响。

相关研究表明水生生物对盐度的适应能力与水体盐类组成有关^[12,32],HAMMER^[33]指出盐度、pH 等综合作用对生物多样性起着决定性的作用。WOOD 和 TALLING^[25]的研究表明,碳酸盐型水体的 pH 和碱度均较高,pH 高碱度大的盐水中蓝藻往往占优势,且姜海波和邱海胜^[34]研究表明,蓝藻是一种适应能力很强的物种,能够耐受各种逆境条件(热、干旱、盐胁迫),本次调查的水体中 pH 最高的碳酸盐型湖泊北雷错正属于蓝藻型湖泊,其蓝藻的生物密度和生物量分别达 98.98% 和 91.48%,再次证明了这一论点。此外,本次调查中 5 个硫酸钠亚型盐湖牛肚湖、阿木错、才多茶卡、蒂让碧错、扎木错都属于硅藻型湖泊,唯一出现甲藻的东月湖正是唯一一个氯化物型湖泊,这也说明了水体化学成分对藻类群落组成的影响。

参考文献:

- [1] 郑绵平,齐文.我国盐湖资源及其开发利用[J].矿产保护与利用,2006(5):45-50.
- [2] WILLIAMS W D. Chinese and Mongolian saline lakes: a limnological overview[J]. Hydrobiologia,1991,2(10):39-66.
- [3] 王苏名,窦鸿身.中国湖泊志[M].北京:科学出版社,1998.
- [4] 沈嘉瑞,宋大祥.中国西藏日喀则和江孜地区桫类研究[J].动物学报,1963,15(1):79-97.
- [5] 沈嘉瑞,宋大祥.西藏枝角类的初步研究[J].动物学报,1964,16(1):61-67.
- [6] 沈嘉瑞,宋大祥.西藏西北部的浮游甲壳动物[J].动物学报,1965,17(3):298-308.
- [7] 饶钦止.西藏南部地区的藻类[J].海洋与湖沼,1964(2):170-192.
- [8] 沈韞芬.西藏高原的原生动物.青藏高原综合科学考察丛书,西藏水生无脊推动物[M].北京:科学出版社,1983.
- [9] 李尧英.西藏高原及横断山区的温泉蓝藻[J].水生生物学报,1985,9(3):264-279.
- [10] 郑绵平,刘文高,向军.西藏扎布耶盐湖嗜盐菌、藻的发现和地质生态学意义[J].地质学报,1985,59(2):162-171.
- [11] 郑绵平.青藏高原盐湖资源研究的新进展[J].盐湖研究,2001,22(2):97-102.
- [12] ZHAO W, ZHENG M P, LIU X F, et al. Biological and ecological features of saline lakes in northern Tibet, China [J]. Hydrobiologia,2005,541:189-203.
- [13] 许木启,曹宏,贾沁贤,等.青藏高原柴达木盆地尕斯库勒湖浮游生物群落多样性特征的初步研究[J].生物多样性,2002,10(1):38-43.
- [14] 霍元子,赵文,张永生,等.内蒙古锡林郭勒盟盐湖浮游生物的群落特征[J].湖泊科学,2005,17(3):243-25.
- [15] 袁显春,郑绵平,赵文,等.西藏阿里地区盐湖浮游生物生态调查[J].地质学报,2007,81(12):1754-1763.
- [16] 赵文.中国盐湖生物的研究现状及展望[J].大连水产学院学报,2009,24(5):439-443.
- [17] 刘文盈,高润宏,张秋良,等.鄂尔多斯高原盐沼湿地浮游植物的多样性与评价[J].干旱区资源与环境,2009,23(5):143-148.
- [18] 庞科,姚锦仙,王昊,等.额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征[J].生态学报,2011,31(12):3391-3398.
- [19] 赵文.中国盐湖生态学[M].北京:科学出版社,2010.
- [20] 黄祥飞.湖泊生态调查观测与分析[M].北京:中国标准出版社,1999.
- [21] 陈立婧,刘樵,彭自然,等.阳澄湖养蟹网围内外轮虫结构的变化及分析[J].水产学报,2011,35(8):1247-1257.
- [22] 张宇,钟俊生,蒋日进,等.长江口沿岸碎波带浮游动物种类组成及季节性变化[J].上海海洋大学学报,2011,20(2):252-259.
- [23] 陈明超,章守成.枸杞岛海域浮游植物群落结构分析[J].上海海洋大学学报,2011,20(4):607-612.
- [24] 赵文.中国北方内陆盐水的浮游植物[J].大连水产学院学报,1992,7(2):49-64.
- [25] WOOD R P, TALLING J F. Chemical and algal relationships in a Salinity series of Ethiopian inland waters [J]. Hydrobiologia,1988,158:29-67.
- [26] SERVANT V S, ROUX M. Multivariate analysis of diatoms and water chemistry in Bolivian saline lakes [J]. Hydrobiologia,1990,197:267-290.
- [27] PEDRO M, ALEXANDRA C, ANA B. Phytoplankton dynamics in a coastal saline lake [J]. Acta Oecologica, 2003, 24: 87-96.
- [28] BLINN D W. Diatom community structure along physicochemical gradients in saline lakes [J]. Ecology, 1993, 74: 1246-1263.
- [29] 武发思,葛亮,蔡泽平,等.甘肃省苏干湖浮游植物多样性研究[J].西北植物学报,2008,28(12):2521-2526.
- [30] 武发思,鄢金灼,蔡泽平,等.大、小苏干湖浮游藻类的群落组成特点研究[J].水生生物学报,2009,33(2):264-270.
- [31] 孟顺龙,陈家长,胡庚东,等.2008年太湖梅梁湾浮游植物群落周年变化[J].湖泊科学,2010,22(4):557-584.
- [32] ELIZABETH A C. Factors influencing species diversity in saline waters of Death Valley, USA [J]. Hydrobiologia,1988,158:215-226.
- [33] HAMMER U T. Saline lake ecosystems of the world [M]. Junk, Dordrecht,1986.
- [34] 姜海波,邱海胜.蓝藻对 UV-B 增强的响应与适应[J].西北植物学报,2005,25(6):1259-1268.

Characteristics of community structures of phytoplankton in the salt lakes in Naqu region, Tibet

CHEN Li-jing¹, YANG Fei¹, WU Shu-xian¹, LIU Xi-fang², JIA Qin-xian²

(1. Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Ministry of Land and Resources, Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environment, Beijing 100037, China)

Abstract: The phytoplankton of 12 salt lakes in Naqu region, Tibet had been investigated during April to May in 2009. A total of 58 species of phytoplankton were identified, belonging to 39 genera of 6 phyla. Bacillariophyta (34 species) was dominant in species richness by 58.62 percentage, followed by Cyanophyta (11 species) and Chlorophyta (8 species). *Navicula* sp., *Nitzschia* sp., *Lyngbya limnetica*, *Oocystis parva* were the main dominant species. The average density and biomass of phytoplankton were 9.70×10^4 cells/L and 0.1628 mg/L, respectively. This paper also discusses the phytoplankton community characteristics of Tibet salt lakes, and the relationship between floristic composition characteristics of phytoplankton and environmental factors, especially the salinity. The results show that the correlation between phytoplankton species, density, biomass and salinity were not significant ($P > 0.05$). In salt lakes, the salinity is an important limiting factor in determining the structure of phytoplankton community, and it is controlled by numerous ecological factors.

Key words: Tibet salt lake; phytoplankton; community characteristics; environmental factors