

## 内蒙古锡林郭勒盟盐湖浮游生物的群落特征\*

霍元子<sup>1</sup>, 赵文<sup>1\*\*</sup>, 张永生<sup>2</sup>, 郑绵平<sup>2</sup>, 贾沁贤<sup>2</sup>, 王海雷<sup>1</sup>, 吕光俊<sup>1</sup>

(1: 大连水产学院辽宁省省级高校水生生物学重点实验室, 大连 116023)

(2: 中国地质科学院盐湖与热水资源研究中心, 北京 100037)

**摘要:** 2001年9月和2002年8、9月对内蒙古锡林郭勒盟几个小型盐湖的浮游生物群落特征进行了研究调查。共检出浮游植物59种(属), 优势种类为: 线形粘杆藻、针晶蓝纤维藻、小席藻、微小平裂藻、舟形藻、绿裸藻、普通小球藻、盐生杜氏藻和衣藻等; 浮游动物34种(属), 优势种类为: 膜袋虫、裸口虫、四膜虫、纤毛虫、褶皱臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫、蒙古裸腹蚤、卤虫、咸水北镖水蚤和新月北镖水蚤等。浮游植物生物量以达格尓淖最高, 平均为166.56 mg/L; 其次是扎格斯台淖为106.77 mg/L; 再次是夏日淖和桑根达莱淖, 分别为6.39 mg/L和2.83 mg/L, 变动幅度较小。浮游动物生物量以桑根达莱淖最高, 平均为246.54 mg/L, 变动幅度较大; 其次是扎格斯台淖为27.24 mg/L, 再次为夏日淖和达格尓淖, 分别为12.01 mg/L和2.76 mg/L。文中讨论了内陆盐水浮游生物的种类组成、分布、生物量和盐度耐性与盐度、营养盐、碱度、pH及离子组成的关系等问题。

**关键词:** 浮游生物; 盐湖; 群落特征; 分布

## Plankton Community Diversity of Saline Lakes in Xilinguole, Inner Mongolia, China

HUO Yuanzi<sup>1</sup>, ZHAO Wen<sup>1\*\*</sup>, ZHANG Yongsheng<sup>2</sup>, ZHENG Mianping<sup>2</sup>, JIA Qinxian<sup>2</sup>, WANG Hailei<sup>1</sup> & LV Guangjun<sup>1</sup>

(1: Key Lab of Hydrobiology in Liaoning Provinces university, Dalian Fisheries University, Dalian, 116023, P. R. China)

(2: R&D Center of Saline Lake and Epithemal, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, P. R. China)

**Abstract:** During August 2001 to August - September 2002, an investigation on the characteristics of community diversity of plankton was conducted at some shallow saline lakes in Inner Mongolia, China. Fifty-nine species (genera) of phytoplankton were identified, and the dominant species were *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, *Euglena viridis*, *Gloethece linearis*, *Chlamydomonas* sp., *Dactylococcopsis raphidioides*, *Phorimidium tenuis*, *Merismopedia tenuis* and *Navicula* sp. Thirty-four species (or genera) of zooplankton were identified, and the dominant species were *Brachionus plicatilis*, *Brachionus calyciflorus*, *Artemia* sp., *Cyclidium* sp., *Aholophrya* sp., *Tetrahymena* sp., *Stylonychia* sp., *Arctodiptomus salinus*, *Arctodiptomus stewartianus*, *Moina mongolica*. The average annual biomass of phytoplankton was 166.56 mg/L in the Dageer; That was 106.77 mg/L, 6.39 mg/L and 2.83 mg/L in the Zagesitai, Xiari and Sanggendalai, respectively. The average annual biomass of zooplankton was 246.54 mg/L in Sanggendalai; That was 27.24 mg/L, 12.01 mg/L and 2.76 mg/L in the Zagesitai, Xiari and Dageer, respectively. The relationships between species composition of plankton, distribution, biomass, salinity tolerance and salinity, nutrients, alkalinity, pH, ionic composition were discussed.

**Keywords:** Plankton; salt lakes; community diversity; distribution

目前对大而深的盐湖研究较多<sup>[1]</sup>, 而关于小而浅的、间歇性的盐湖<sup>[2,3]</sup>, 特别是对其生物资源状况以及浮游生物群落结构、动态及其影响因子还知之甚少<sup>[4,5]</sup>. 因此, 作者于2001年9月、2002年8月和9月对锡林郭勒盟的桑根达莱淖、达格尓淖、扎格斯台淖和夏日淖的理化因子和浮游生物群落的多样性特征进行了调查研究, 旨在阐明小型盐湖浮游生物的群落特征, 为深入研究盐湖演化过程和规律以及盐湖生物资源的

\* 国土资源部中国地质科学院合作项目和辽宁省自然科学基金资助项目(002119, 20022099)联合资助. 2004-04-10 收稿; 2005-05-27 收修改稿. 霍元子, 男, 1979年生, 硕士研究生.

\*\* 通讯作者, E-mail: zhaowen@dlfu.edu.cn.

保护和可持续利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样水体描述和采样点的设置

本文研究的 4 个湖泊均位于锡林郭勒盟的正蓝旗境内(图 1)。该地区的地质构造为白垩系组成的拗陷盆地,第四系风积沙漠堆积于第三系,中温带大陆性气候,年平均气温 0.9℃左右,日照时数 3001.5 h,平均风速 4.5 m/s,无霜期 110 d,年降雨量平均为 357.7 mm,蒸发量平均为 1875.8 mm。在桑根达莱淖内共设置 5 个采样点,而在其它几个湖中均只设一个采样点。

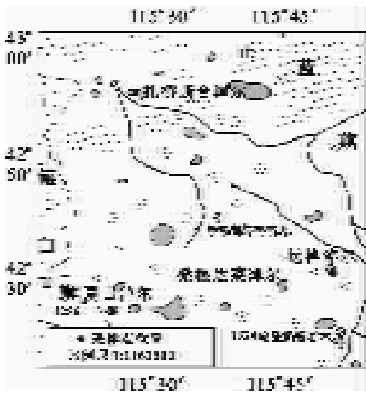


图 1 内蒙锡盟盐湖分布及采样点设置

Fig. 1 Position and sampling sites of salt lakes in Xilinguole, Inner Mongolia

### 1.2 理化因子测定

水化学样品用水生 80 型有机玻璃采水器取样,浅水区直接取表层水样,深水区域则取表、中、底层的混合水样。水样加氯仿保存后在室内按“内陆渔业资源调查试行规范”测定 DO、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、COD、TN 和 TP 含量,Na<sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup> 含量按离子平衡法推算。pH 用 pHB3 便携式 pH 计测定。透明度是用 Secchi 盘测定。8 个主要离子含量之和即为水的含盐量(g/L)。水型根据 Hammer<sup>[1]</sup> 的盐湖分类方法确定。

### 1.3 浮游生物样品采集和测定

浮游植物样品是采水 1 L,深水区域则取表、中、底层的混合水样 1 L,加 10-15 ml 鲁哥氏液,经沉淀浓缩至 30 ml 后于 Olympus 显微镜下用视野计数法<sup>[6]</sup> 进行定量观察;小型浮游动物是将观察后的浮游植物水样继续浓缩后于显微镜下镜检计数;大型浮游动物用 25#(Ø64µm)浮游生物网过滤 20 L 水,用甲醛溶液按体积比 5% 固定,全部计数。按体积法计算生物量。浮游细菌现存量是在

ZESS(HBO 50/AC)显微镜下采用 AODC 法进行测定<sup>[7]</sup>。超微藻类密度采用表面荧光显微计数法测定<sup>[7]</sup>。多样性指数( $H'$ )和均匀性指数( $J$ )的计算采用 Shannon-Wiener 公式和 Pielou 公式<sup>[8]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 水体的水化学状况

根据测定结果,扎格斯台淖属于低-中盐湖泊,而其它三个湖均属于超盐湖泊。这四个盐湖阴离子含量均为 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 分别占到桑根达莱淖、达格尔淖、扎格斯台淖和夏日淖阴离子总量的 50.13%,61.67%,61.58% 和 56.87%;阳离子均以 Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> 含量最大,在各淖中都占到阳离子含量的 98% 以上。因此,这 4 个湖的水型均为碳酸盐型。夏日淖的盐度变化较剧烈,范围为 76.28-108.1 g/L,其他几个湖的盐度变化幅度较缓,桑根达莱淖为 83.39-88.67 g/L,扎格斯台淖为 14.64-21.76 g/L,达格尔淖为 226.22-235.15 g/L。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量在达格尔淖中的含量较高,为 8.65-13.58 g/L,在其他几个湖中的含量较低,值为 0.57-4.49 g/L。pH 均较高,夏日淖两次采样变化幅度较大,为 9.5-10.0,而其它各水体较稳定,在 9.8 左右,变化幅度在 0.1-0.2 之间;碱度以达格尔淖最高,为 1810-2230 mmol/L,其次是夏日淖和桑根达莱淖,平均为 810 mmol/L 和 685 mmol/L,扎格斯台淖碱度最低,为 175 mmol/L。COD 值也较高,变动范围为 8.05-38.04 mg/L。另外,9 月份平均水温为 16.0℃,低于 8 月份的水温(25.7℃)。相关分析表明,盐度与 Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 和 Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> 均呈极显著的正相关( $p < 0.01, n = 16$ )。

### 2.2 浮游植物的种类组成、分布及生物量特征

所调查的水体中共检出浮游植物 7 门 59 种(属),其中桑根达莱淖 43 种,达格尔淖 24 种,扎格斯台淖 31 种,夏日淖 33 种(表 1)。各水体的绿藻、硅藻和蓝藻在种数上占优势。浮游植物生物量以达格尔淖最高,平均为 166.56 mg/L,变动范围为 5.91-268.31 mg/L;其次是扎格斯台淖为 106.77 mg/L;再次是夏日淖和

桑根达莱淖,分别为 6.39 mg/L 和 2.83 mg/L,变动幅度较小(表 2)。就生物量而言,达格尔淖、扎格斯台淖和桑根达莱淖的绿藻和蓝藻占优势,但在 2001 年 9 月扎格斯台淖中的裸藻生物量占优势,夏日淖优势种类生物量变化较大,以硅藻、裸藻、绿藻和蓝藻占优势(表 2、图 2)。

表 1 内蒙古锡盟盐湖浮游植物种类组成

Tab.1 Taxa of phytoplankton collected from saline lakes in Xilinguole, Inner Mongolia

	种类名称	桑根达莱淖	达格尔淖	扎格斯台淖	夏日淖
蓝藻门	<b>Cyanophyat</b>				
小席藻	<i>Phorimidium tenuis</i> (Menegu.) Gom	+	+	+	+
窝形席藻	<i>Phorimidium faveolarum</i> (Mont.) Gom	+			
鞘丝藻	<i>Lyngbya</i> sp.	+	+		
细小平裂藻	<i>Merismopedia tenuis</i>	+		+	
小颤藻	<i>Oscillatoria temuis</i> Ag	+	+	+	+
颤藻	<i>Oscillatoria</i> sp.	+			+
针晶蓝纤维藻	<i>Dactylococopsis raphidioides</i> Hansg	+	+	+	+
微小色球藻	<i>Chroococcus minutus</i> (Kirch.) Nag	+	+	+	+
束缚色球藻	<i>Chroococcus tenax</i> (Kirch.) hier				+
小色球藻	<i>Chroococcus minor</i> (Kutz) Nag.	+		+	+
极大螺旋藻	<i>Spirulina princeps</i> W. et G. S. West	+	+	+	+
大螺旋藻	<i>Spirulina major</i> Kutz		+	+	+
为首螺旋藻	<i>Spirulina princeps</i> W. et G. S. West				+
类颤藻鱼腥藻	<i>Anabaena osicellarioides</i> Bory		+	+	
线形粘杆藻	<i>Gloeothece linearis</i> Nag	+	+	+	+
线形棒条藻	<i>Rhabdoderma lineare</i> schm	+		+	+
管胞藻	<i>Chamaesiphonales</i> sp.	+	+		
中华尖头藻	<i>Raphidiopsis sinensia</i> Jao	+			
硅藻门	<b>Bacillariopyhta</b>				
小环藻	<i>Cyclotella</i> sp.	+			
虹彩圆筛藻	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>				+
舟形藻	<i>Navicula</i> sp.	+	+	+	+
隐头舟形藻	<i>Navicula cryptocephala</i> Kutz			+	
嗜盐舟形藻	<i>Navicula halophila.</i> (Grum.) Cl	+			+
桥弯藻	<i>Gomphonema</i> sp.	+		+	+
菱形藻	<i>Nitzschia</i> sp.	+	+		+
具槽直链藻	<i>Melosira sulcala</i> (Ehrenberg) Kutzing	+			
变异直链藻	<i>Melosira varians</i> Ag.		+		
脆杆藻	<i>Fragilaria</i> sp.	+			+
披针弯杆藻	<i>Achnanthes lanceolata</i>	+			
裸藻门	<b>Euglenophyta</b>				
旋形藻	<i>Monomorophyta</i> sp.			+	
扁裸藻	<i>Phacus</i> sp.				+
旋转囊裸藻	<i>Trachelomonas volvocina</i> Ehr		+		
绿裸藻	<i>Eugliena viridis</i> her	+	+	+	+
隐藻门	<b>Cryptophyta</b>				
尖尾蓝隐藻	<i>Chroomonas acuta</i>	+			
甲藻门	<b>Pyrrophyta</b>				
三角角藻	<i>Ceratium hirundinella</i> (Mull.) Schr	+			
金藻门	<b>Chrysophyta</b>				

续表 1

变形单鞭金藻	<i>Chromulina pascheri</i> Haf	+	+		+
变形棕鞭金藻	<i>Ochromonas mutabilis</i>	+	+	+	+
绿藻门	<b>Chlorophyta</b>				
绿球藻	<i>Chlorococcum</i> sp.	+	+	+	+
普通小球藻	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij	+	+	+	+
椭圆小球藻	<i>Chlorella ellipsoidea</i> Gren	+		+	+
衣藻	<i>Chlamydomonas</i> sp.	+	+		+
具尾四角藻	<i>Tetraedron caudatum</i> (Cord) Hansg			+	
心形扁藻	<i>Platymonas cordiformis</i> (Carter) Dill			+	
鼓藻	<i>Cosmarium</i> Cord sp.	+			+
四尾栅藻	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	+		+	
尖细栅藻	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lag.) Chod		+		
盐生杜氏藻	<i>Dunaliella salina</i> Teodor	+	+	+	+
卵囊藻	<i>Oocystis</i> sp.	+			
单生卵囊藻	<i>Oocystis solitaria</i> Witt			+	
短棘盘星藻	<i>Pediastrum boryanum</i>	+			
双射盘星藻	<i>Pediastrum biradiatum</i>	+	+	+	+
网状空星藻	<i>Coelastrum reticulatum</i>	+			
野生双星藻	<i>Zygnema spontaneum</i> Nordst				+
扭曲蹄形藻	<i>Kirchneriella contorta</i> (Schm) Bohl	+		+	+
小新月藻	<i>Closterium venus</i> Kutz.	+			
细丝藻	<i>Ulothrix tenerrima</i> . (Kutz.) Kutz.			+	+
水绵	<i>Spirogyra</i> sp.	+		+	
链枝藻	<i>Ctenocladus circinnatus</i> Borzi	+	+	+	+
月牙藻	<i>Selenastrum bibraianum</i>				+

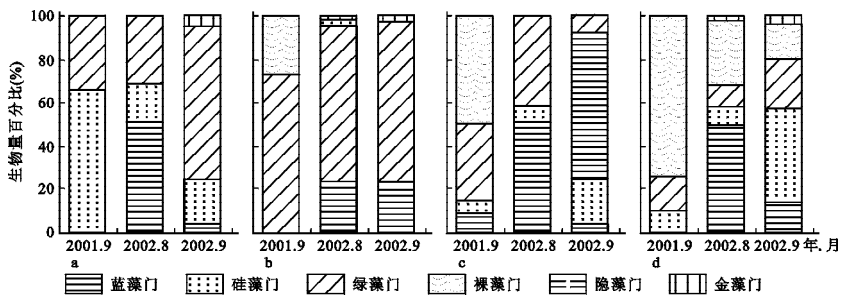


图 2 内蒙锡盟盐湖浮游植物生物量百分比组成(a:桑根达莱淖,b:达格尔淖,c:扎格斯台淖,d:夏日淖)

Fig. 2 Percentage of the biomass of saline lakes in Xilinguole, Inner Mongolia (a: Sanggandalai, b: Dageer, c: Zagesitai, d: Xiar)

### 2.3 浮游动物的种类组成、分布及生物量特征

所调查的水体中共发现浮游动物 34 种(属)(表 3)。其中,原生动 14 种,轮虫 7 种,枝角类 2 种,桡足类 4 种,兼性浮游动物 6 种。盐度较高的达格尔淖浮游动物种类较少,而盐度较低的扎格斯台淖种类较多。就优势种而言,各个湖变化较大(表 3、图 3)。在扎格斯台淖中没有发现褶皱臂尾轮虫,而桡足类只在扎格斯台淖发现四种,并成为扎格斯台淖的优势种类。兼性浮游动物中出现率较高的种类有线虫、盐生摇蚊幼虫和介形虫,但数量不大。卤虫在 4 个湖中均有分布,在桑根达莱淖中数量很大,成为生物量的主要贡献者,而在其他几个水体中生物量较小。浮游动物生物量以桑根达莱淖最高,平均为 246.54 mg/L,由于有人采捕卤虫资源,所以变动幅度较大;其次是扎格斯台淖为 27.24 mg/L,再次为夏日淖和达格尔淖,分别为 12.01 mg/L 和 2.76 mg/L。这三个湖中浮游动物生物量变动幅度较小(表 2)。

表2 内蒙锡盟盐湖浮游生物种类数、生物量、密度和优势种

Tab.2 Species numbers, biomass, density and important species of plankton for saline lakes in Xilinguole, Inner Mongolia

湖泊	采样日期 (年·月)	浮游植物					
		物种数目	生物量(mg/L)	密度( $10^7$ cells/L)	H'	J	优势种
桑根达莱淖	2001.9	19	0.23	0.15	1.18	0.46	普通小球藻,舟形藻,绿球藻
	2002.8	32	1.09	1.04	2.05	0.59	小席藻,线形粘杆藻,普通小球藻
	2002.9	27	7.18	3.89	2.42	0.61	衣藻,盐生杜氏藻,普通小球藻
达格尔淖	2001.9	10	5.91	1.17	1.02	0.39	盐生杜氏藻,绿裸藻,线形粘杆藻
	2002.8	18	268.31	488.76	1.16	0.31	普通小球藻,线形粘杆藻,衣藻,绿裸藻
	2002.9	15	225.45	127.59	1.90	0.51	衣藻,针晶蓝纤维藻,小席藻
扎格斯台淖	2001.9	19	4.33	0.91	3.08	0.83	绿裸藻,单生卵囊藻
	2002.8	18	25.30	871.34	0.27	0.07	扭曲蹄形藻,微小平裂藻,针晶蓝纤维藻
	2002.9	18	290.68	2570.64	1.14	0.27	线形粘杆藻,微小平裂藻
夏日淖	2001.9	15	1.44	0.33	2.29	0.71	绿裸藻,盐生杜氏藻
	2002.8	22	2.70	4.74	1.13	0.26	线形粘杆藻,绿裸藻
	2002.9	25	15.02	3.37	3.41	0.79	嗜盐舟形藻,绿裸藻,衣藻

湖泊	采样日期 (年·月)	浮游动物					
		物种数目	生物量(mg/L)	密度(ind./L)	H'	J	优势种
桑根达莱淖	2001.9	13	2.53	8799.4	0.94	0.72	褶皱臂尾轮虫,卤虫
	2002.8	12	701.65	1037.3	1.33	0.49	卤虫,线虫,褶皱臂尾轮虫
	2002.9	10	35.44	40567.2	0.04	0.01	卤虫,褶皱臂尾轮虫
达格尔淖	2001.9	4	7.95	36.65	1.25	0.71	卤虫,蝇蚊幼虫,褶皱臂尾轮虫
	2002.8	5	0.01	112.5	1.19	0.59	褶皱臂尾轮虫
	2002.9	7	0.32	6145	0.21	0.07	纤毛虫,萼花臂尾轮虫
扎格斯台淖	2001.9	17	43.74	2787.5	2.57	0.72	咸水北镖水蚤,蒙古裸腹蚤,锯缘真剑水蚤
	2002.8	12	21.15	1127.5	1.11	0.35	卤虫,新月北镖水蚤
	2002.9	7	16.82	2200	0.91	0.35	新月北镖水蚤
夏日淖	2001.9	9	16.07	95340.8	0.67	0.27	卤虫,膜袋虫,四膜虫
	2002.8	7	16.69	22000	1.44	0.72	褶皱臂尾轮虫,壶状臂尾轮虫
	2002.9	9	3.28	43731	0.14	0.05	裸门虫,褶皱臂尾轮虫

2.4 浮游细菌和超微藻类的密度

浮游细菌和超微藻类密度的测定结果见表4。从表4可见,达格尔淖浮游细菌和超微藻类的密度最高,其次是扎格斯台淖和夏日淖,桑根达莱淖最低,各个盐湖间差别较大。

2.5 浮游生物的种类组成、密度及生物量与理化因子的关系

在4个盐湖广泛的盐度范围内,浮游动物生物量与盐度间呈极显著的正相关( $r=0.7065, p<0.01, n=16$ )。浮游细菌和超微藻类的密度与盐度间也呈极显著的相关关系,相关系数分别为0.9686和0.9560。

3 讨论

3.1 浮游生物区系组成的特点

在2001-2002年3次调查中共检出浮游植物59种,浮游动物34种,有些种类可能在鉴定中有遗漏,实际种类应更多一些,但所得结果基本上反映了所调查地区盐湖浮游生物的种类组成和数量、生物量分布的概貌。

在所检出的59种浮游植物中,除盐藻、大螺旋藻等是较典型的半咸水或盐水种之外,其它绝大多数藻类是淡水普生性的广盐种或喜盐种,对盐度的适应较广。这与其他地区的研究结果相一致<sup>[9-11]</sup>。如扭曲蹄形藻和双射盘星藻,据赵文<sup>[9]</sup>的材料,出现的最高盐度为10.5 g/L和50.8 g/L,而我们在盐度高达88.67 g/L和235.15 g/L的桑根达莱淖和达格尔淖中发现了这两种藻;小颤藻和尖细栅藻出现的盐幅国外材料为200-300 g/L,在我们调查中出现的最高盐度为226.22 g/L。本次调查的水体均为小型盐湖,湖水在蒸发浓缩的过程中盐度及其他理化因子经常有缓慢而大幅度的变化,这样有规律的周期性的变化对水生生物起着自然驯化的作用。在这几个小型盐湖中淡水藻类占绝对优势可能就是通过自然选择作用把能耐高盐高碱的基因得以保存下来的缘故。

表3 内蒙锡盟盐湖浮游动物种类组成

Tab. 3 Taxa of zooplankton collected from saline lakes in Xilinguole, Inner Mongolia

种类名称		桑根达莱淖	达格尔淖	扎格斯台淖	夏日淖
原生动物	<b>Protozoa</b>				
辐射变形虫	<i>Amoeba radiosa</i> Dujardin	+	+	+	+
普通表壳虫	<i>Arcella vulgaris</i> Ehre.	+			
裸口虫	<i>aholophrya</i> sp.	+			+
片状漫游虫	<i>Litonotus fasciola</i> Ehrenberg				+
斜管虫	<i>Chilodonella</i> sp.	+			
四膜虫	<i>Tetrahymena</i> sp.	+		+	+
草履虫	<i>Paramecium</i> sp.	+		+	
膜袋虫	<i>Cyclidium</i> sp.	+		+	+
钟形钟虫	<i>Vorticella campanula</i> Ehrenberg			+	
累枝虫	<i>Epistylis</i> sp.			+	
短柱虫	<i>Rhabdostyla brevipes</i>			+	
环靴纤虫	<i>Cothurnia annulata</i> Stokes			+	
旋回侠盗虫	<i>Strobilidium gyrans</i> Stoke			+	+
纤毛虫	<i>Stylonychia</i> sp.		+		+
轮虫	<b>Rotifera</b>				
旋轮虫	<i>philodina</i> sp.	+			
爱德里亚狭甲轮虫	<i>Colurella adriatica</i> Ehrenberg			+	
褶皱臂尾轮虫	<i>Brachionus plicatilis</i> O. F Mueller	+	+		+
角突臂尾轮虫	<i>Brachionus angularis</i> Gosse	+	+	+	+
萼花臂尾轮虫	<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas	+	+		
壶状臂尾轮虫	<i>Brachionus urceus</i> Linnaeus	+			+
变形臂尾轮虫	<i>Brachionus variabilis</i> Hempel			+	
枝角类	<b>Cladocera</b>				
蒙古裸腹蚤	<i>Moina mongolica</i> Daday		+	+	
直额裸腹蚤	<i>Moina rectirostris</i> (Leydig)			+	
桡足类	<b>Copepoda</b>				
新月北镖水蚤	<i>Arctodiaptomus stewartianus</i> (Daday)			+	
锯缘真剑水蚤	<i>Eucyclops serrulatus</i> Fischer			+	
咸水北镖水蚤	<i>Arctodiaptomus salinus</i> (Daday)			+	
近邻剑水蚤	<i>Cyclops vicinus</i> Uijanim			+	
无甲目	<b>Anostraca</b>				
卤虫	<i>Artemia</i> sp.	+	+	+	+
兼性浮游动物					
线虫	<i>Nematoda</i> sp.	+		+	+
卤蝇	Salt fly	+			
盐生摇蚊幼虫	<i>Tendipes</i> gr. <i>Salinarius</i>	+	+	+	
蠓蚊幼虫	<i>Ceratopogonidae</i>	+	+		+
介形虫	<i>Ostracoda</i> sp.	+	+	+	+
划蝽	<i>Sigra distanti</i>	+		+	

表4 内蒙锡盟盐湖中的细菌和超微藻类的密度

Tab. 4 Density of Bacteria and Picoplankton in the saline lakes of Xilinguole, Inner Mongolia

湖泊	采样日期	细菌密度 ( $10^5$ 个/ml)	超微藻类密度 ( $10^3$ 个/ml)
桑根达莱淖	8月	0.85	0.15
	9月	2.90	0.18
达格尔淖	8月	831.60	788.40
	9月	1366.20	1600.20
扎格斯台淖	8月	450.00	396.00
	9月	675.00	605.70
夏日淖	8月	95.40	1.56
	9月	120.60	2.66

我们的研究结果及许多资料表明,内陆盐水浮游植物生物量在各水体中差异很大,即使同一水体不同季节或同一季节的不同年份差异也很大.如在本次调查中,达格尔淖浮游植物生物量,2001年8月为5.91 mg/L,而在2002年8月和9月,分别达到了268.31和225.45 mg/L,扎格斯台淖也呈相似的变化.造成大幅度变化的原因可能是随着盐度、水温和离子组成等环境因子的变化,一种或几种浮游植物爆发性增殖的结果,另外,还与浮游动物的摄食压力有关.

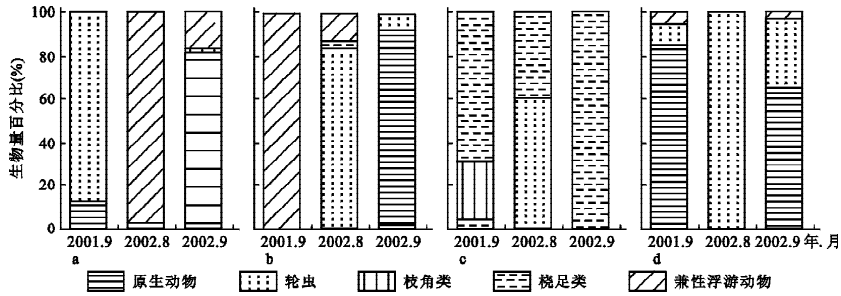


图3 内蒙锡盟盐湖浮游动物生物量百分组成(a:桑根达莱淖, b:达格尔淖, c:扎格斯台淖, d:夏日淖)

Fig. 3 Percentage of biomass of zooplankton in Xilinguole, Inner Mongolia (a: Sanggendalai, b: Dageer, c: Zagesitai, d: Xiari)

这4个小型盐湖原生动物的区系组成与赵文<sup>[13]</sup>等的研究结果基本一致。我们在研究中发现了普通表壳虫、巡回侠盗虫,其分布的盐度上限分别为79.32 g/L、108.19 g/L。片状漫游虫、斜管虫、四膜虫和草履虫也较记载的盐幅高。原生动物中的纤毛虫类占浮游动物总种类的85.71%;在生物量上,原生动物成为这4个盐湖浮游动物生物量的主要贡献者(图2)。由此可见,原生动物特别是纤毛虫类是内陆盐水浮游动物群落结构的重要组成部分,在一些超盐水体中往往成为优势种类<sup>[13]</sup>。Macan<sup>[12]</sup>指出盐湖中轮虫最常见的为褶皱臂尾轮虫、角突臂尾轮虫和环顶巨腕轮虫。我们的调查中没有见到环顶巨腕轮虫,但轮虫的区系组成与赵文等<sup>[14]</sup>和何志辉等<sup>[15]</sup>的研究结果是基本一致的。角突臂尾轮虫已记载的最高盐度为68.9 g/L,我们见到的最高盐度为235.15 g/L。枝角类区系组成较简单,仅见到蒙古裸腹溞和直额裸腹溞。在本次调查中,仅在盐度14.64–21.76 g/L的扎格斯台淖中发现了桡足类。其中新月北镖水蚤、咸水北镖水蚤和锯缘真剑水蚤构成了扎格斯台淖浮游动物生物量的主要部分(图2)。本文结果及资料<sup>[15–18]</sup>再次表明,北镖水蚤属至少在北半球的内陆盐水中普遍存在,其中最为常见的是咸水北镖水蚤和直刺北镖水蚤。这也应是内陆盐水动物区系的共性之一。

### 3.2 浮游生物区系组成和环境因子的关系

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,这表明盐度并不是决定浮游植物种类组成和分布的唯一生态因子。研究表明,碳酸钠对硅藻具有毒性,且随盐度升高毒性作用加剧。在所调查的达格尔淖中, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量达73.63–88.75 g/L,而硅藻种数仅为3种,较硫酸盐型或氯化物型的硝池和盐池(16–18)种类少得多。Fritz等<sup>[19]</sup>研究表明微小冠盘藻(*Stephanodiscus parvus*)、极小冠盘藻(*S. minutulus*)等几种典型的淡水藻类,能在富营养型的超盐湖泊中出现;Mohleji等<sup>[20]</sup>发现 $\text{Na}^+$ 能够促进月牙藻和铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)对磷的吸收而 $\text{K}^+$ 却产生抑制作用。桑根达莱淖和达格尔淖浮游植物种数为27种和15种,而与之盐度相近的九连城淖和二泉井盐淖只有11种和4种<sup>[9]</sup>,可能就是与较高的营养盐和离子浓度有关。众所周知,pH高碱度大的盐水中蓝藻往往占优势,但这也取决于 $\text{SO}_4^{2-}$ 的含量或 $\text{SO}_4^{2-}:\text{MoO}_4^{2-}$ 的比例。Marino等<sup>[21]</sup>研究发现在Alberta的13个盐湖中的固氮蓝藻的种数和生物量随着 $\text{SO}_4^{2-}:\text{MoO}_4^{2-}$ 比例的增加而减少。综合看来,限制高盐水体浮游植物的区系分布是众多生态因子共同作用的结果。

近年来,许多国内外学者对浮游动物和环境因子之间的关系进行了较为深入的研究。Derry et al<sup>[22]</sup>研究表明,在低盐湖泊(0.5–3 g/L),钝角狭甲轮虫(*Colurella obtuse*)、四齿单趾轮虫(*Monostyla quadridentus*)和尖削叶轮虫(*Notholca acuminata*)与 $\text{Cl}^-$ 显著相关;*Leptodiatomus sicilis*和*Diatomus nevadensis*与碱度和 $\text{SO}_4^{2-}$ 显著相关。Bos et al<sup>[23]</sup>发现,盐水桡足类与较低浓度的 $\text{Mg}^{2+}$ 和 $\text{Ca}^{2+}$ 相关。而Hammer等<sup>[24]</sup>研究表明,盐度、pH和电导率的综合作用对生物多样性起着决定性的作用。赵文等<sup>[13,14,16]</sup>则认为离子组成、碱度、pH和离子系数对内陆盐水浮游动物区系有很大影响。本文的结果表明,随着盐度和碱度的升高,浮游动物种数减少,且浮游动物的生物量随着盐度的升高而呈极显著的下降( $r=0.7065, p<0.01, n=16$ )。pH虽然与浮游动物间没有规律性的联系,但与碱度对浮游动物的毒性有协同作用。

关于内陆盐水浮游细菌和超微藻类的研究报道很少<sup>[25]</sup>. 本次仅测定了浮游细菌和超微藻类的密度, 至于浮游细菌和超微藻类的种类组成, 季节变动以及与其他浮游生物的关系尚需进一步研究.

#### 4 参考文献

- [1] Hammer U T. Saline Lake Ecosystems of the world. Dr W Junk Dordrecht, 1986: 616.
- [2] Garcia C M, Niell F X. Seasonal change in a saline temporary lake ( Fuente de Piedra, Southern Spain). *Hydrobiologia*, 1993, **267**: 211 - 223.
- [3] Garcia C M, Echecharria F, Niell F X. Size structure of plankton in a temporary, saline lake. *J Plankton Res*, 1995, **17**: 1803 - 1817.
- [4] Zhao Wen, He Zhi-hui. Biological and ecological features of inland saline waters in North Hebei, China. *International Journal of Salt Lake Research*, 1999, **8**: 267 - 285.
- [5] Pablo J, Lopez-Gonzalez, Francisco Guerrero, et al. Seasonal fluctuations in the plankton community in a hypersaline temporary lake (Honda, Southern Spain). *International Journal of Salt Lake Research*, 1998, **6**: 353 - 371.
- [6] 李永函, 赵文主编. 水产饵料生物学. 大连: 大连出版社, 2002: 330 - 332.
- [7] 黄祥飞, 陈伟民, 蔡启铭主编. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1999: 104 - 106.
- [8] 孙濡泳主编. 动物生态学原理. 第三版. 北京: 北京师范大学出版社, 2001: 398 - 400.
- [9] 赵文. 中国北方内陆盐水的浮游植物. 大连水产学院学报, 1992, **7**(2, 3): 49 - 64
- [10] Wood R P, Talling J F. Chemical and algal relationships in a salinity series of Ethiopian inland waters. *Hydrobiologia*, 1988, **158**: 29 - 67.
- [11] Servent-vildary S, Roux M. Multivariate analysis of diatoms and water chemistry in Bolivian saline lakes. *Hydrobiologia*, 1990, **197**: 267 - 290.
- [12] Macan T T. Freshwater Ecology. London: Longman, 1963: 247 - 248.
- [13] 赵文, 何志辉. 三北地区内陆盐水的原生动物. 水生生物学报, 1995, **19**(3): 193 - 202.
- [14] 赵文, 何志辉. 三北地区内陆盐水的轮虫. 大连水产学院学报, 1993, **8**(2, 3): 20 - 31.
- [15] 何志辉, 秦建光, 王洪起等. 晋南和银川地区盐水和超盐水体的浮游动物. 水生生物学报, 1989, **13**(1): 24 - 37.
- [16] 赵文, 姜宏, 何志辉. 三北地区内陆盐水的浮游甲壳类. 大连水产学院学报, 1996, **11**(1): 1 - 13.
- [17] Alonso M. Anostraca, Cladocera and Copepoda of Spanish saline lakes. *Hydrobiologia*, 1990, **197**: 221 - 231.
- [18] Metz H, Forro L. The chemistry and crustacean zooplankton of the Seewinkel Pans; a review of recent conditions. *Hydrobiologia*, 1991, **210**: 25 - 38.
- [19] Fritz S C, Juggins S, Battarbee R W. Diatom assemblages and ionic characterization of lakes of the Northern Great Plains, North America: A tool for reconstructing past salinity and climate fluctuations. *Can J Fish Aquat Sci*, 1993, **50**: 1844 - 1856.
- [20] Mohleji S C, Verhoff F H. Sodium and potassium ions effects on phosphorus transport in algal cells. *J Wat Poll Cont Fed*, 1980, **52**(1): 110 - 125.
- [21] Marino R, Howarth W, Shames J, Prepas E E. Molybdenum and Sulfate as controls on the abundance of nitrogen-fixing cyanobacteria in saline lakes in Alberta. *Limnol Oceanogr*, 1990, **35**(2): 245 - 259.
- [22] Derry A M, Prepas E E, Hebert P D N. A comparison of zooplankton communities in saline lakewater with variable anion composition. *Hydrobiologia*, 2003, **505**: 199 - 215.
- [23] Bos D G, Cumming B F, Witters C E, et al. The relationship between zooplankton, conductivity and lake-water ionic composition in 111 lakes from the Interior Plateau of British Columbia, Canada. *Int J Salt Lake Res*, 1996, **5**: 1 - 15.
- [24] Hammer U T, Forro L. Zooplankton distribution and abundance in saline lakes of British Columbia, Canada. *Int J Salt Lake Res*, 1992, **1**: 65 - 80.
- [25] 迪丽拜尔·托乎提, 徐晓晶. 新疆艾丁湖及邻近地区嗜盐菌和耐盐菌的数量分布. 生态学报, 2001, **21**(8): 1388 - 1391.