

新疆乌伦古湖春、秋季浮游植物群落结构的聚类和多维分析

李喆^{1,2}, 姜作发¹, 马波¹, 霍堂斌¹, 唐富江¹, 郭焱³, 蔡林钢³, 赵文阁²

(1. 哈尔滨师范大学 生命科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150025; 2. 中国水产科学研究院 黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070; 3. 新疆维吾尔自治区水产科学研究所, 新疆自治区 乌鲁木齐 830000)

摘要: 2007年4月和8月对乌伦古湖浮游植物进行了调查。经鉴定, 调查区域内浮游植物共计8门172种(含未定种)。其中绿藻门74种(含未定种), 硅藻门50种(含未定种), 蓝藻门27种(含未定种), 其他种类占12.2%。4月浮游植物平均细胞密度和生物量分别为 33.49×10^4 ind/L和0.455 2 mg/L; 8月分别为 276.28×10^4 ind/L和3.657 8 mg/L。依据浮游植物物种组成和细胞密度, 利用Bray-Curtis相似性测定, 对浮游植物群落结构进行聚类(Cluster analysis)和多维(Multidimensional scaling, MDS)分析。结果显示, 春、秋季布伦托海浮游植物群落结构聚为两大类, 吉力湖聚为三大类; 由于各采样点的水深、水温、pH值、透明度等环境因子的差异导致浮游植物群落结构发生变化, 采用聚类和多维分析, 有效地揭示了乌伦古湖春、秋季各采样点间浮游植物群落结构的相似性; 多维分析与聚类分析结果一致, 从二维空间角度证实了聚类结论。乌伦古湖属高纬度地区水体, 春、秋两季出现以硅藻为优势类群的浮游植物群落类型; 结合乌伦古湖浮游植物的优势种、数量和生物量的检测结果, 该湖属于贫-中营养型湖泊。本研究旨在群落结构层面探讨春、秋季乌伦古湖浮游植物的变化规律, 为今后进一步合理利用该湖丰富的水生生物资源提供科学依据。[中国水产科学, 2008, 15(6): 984-991]

关键词: 乌伦古湖; 浮游植物; 群落结构; 聚类分析; 多维分析

中图分类号: S931

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)06-0984-08

乌伦古湖是中国西风带影响范围最北端的一个湖泊, 位于准噶尔盆地北部, 阿勒泰地区的福海县境内, 是由发源于阿尔泰山的乌伦古河流入而形成。乌伦古湖是中国十大淡水湖之一, 由布伦托海和吉力湖两部分组成, 面积931 km², 容积 1.04×10^{10} m³, 是新疆北部(北疆)最大的内陆封闭型湖泊, 是新疆仅次于博斯腾湖的第二大湖, 也是新疆两大渔业基地之一。目前, 关于乌伦古湖浮游植物的研究较少, 仅限于物种组成和细胞密度方面的研究^[1-2]。本研究利用统计分析软件SPSS for Windows的聚类分析(Cluster Analysis)和多维分析(Multidimensional Scaling, MDS)的多元统计方法, 根据春、秋季乌伦古湖浮游植物的物种组成及其细胞密度, 在群落结构的层面上进行分析, 探讨乌伦古湖浮游植物群落在时间和空间上的变化, 进而更充分地了解该湖浮游植物群落结构的变化规律, 旨在为进一步合理利用乌伦古湖丰富的水生生物资源提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 采样点的设置

2007年4月和8月对乌伦古湖进行了2次采样。该湖水域宽阔, 湖岸整齐, 曲度小而平滑, 采样点布置采用平均布点法。共设置15个固定采样断面, 布伦托海10个(W₁-W₁₀), 吉力湖5个(J₁-J₅)。其中W₉、W₁₀和J₅分别为布伦托海和吉力湖的中心湖区, 采样点分布见图1。

1.2 样品的采集及测定

浮游植物样品采集均为表层、底层混合水样, 采样方式均按《内陆水域渔业自然资源调查手册》^[3]进行。

浮游植物水样经静置、沉降和浓缩至30 mL, 随机抽取0.1 mL浓缩的样品置于显微镜下镜检, 并按物种种类计算细胞个体密度。定性、定量方法均按《内陆水域渔业自然资源调查手册》等进行^[3-6]。

收稿日期: 2008-03-12; 修订日期: 2008-05-26.

基金项目: 国家环保总局计划项目(新疆水生生物物种资源调查)。

作者简介: 李喆(1983-), 女, 在读硕士, 主要从事水域生态学研究. E-mail: lizhe1010@126.com

通讯作者: 姜作发(1949-), 男, 研究员, 主要从事鱼类资源与生态学研究. E-mail: jzffish@163.com

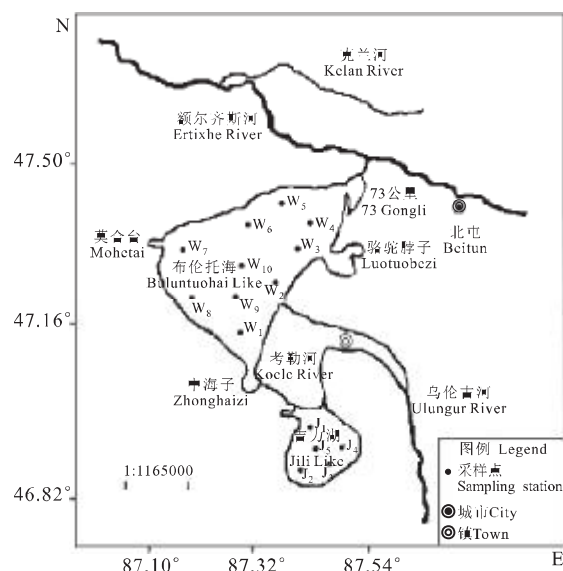


图1 新疆乌伦古湖浮游植物采样点位图

Fig.1 Sampling stations of phytoplankton in Ulungur Lake, Xinjiang

1.3 采样点位置确定及水文测定方法

采样点的确定采用 Map 60 GPS 定位, 分别用超声波水深测定仪、温度计、BMH EASY pH 计、Thermo 溶氧仪和萨氏盘现场测定水深、水温、pH 值、DO 值以及透明度。

1.4 优势种的确定方法

优势种是根据物种的出现频率及个体数量来确定, 用优势度来表示^[7]。

优势度计算公式: $Y = f_i P_i$

式中, Y 是优势度, f_i 是第 i 物种的出现频率, P_i 是第 i 物种个体数量在总个体数量的比例, 当 $Y \geq 0.02$ 时, 确定为优势种^[8]。

1.5 数据的多元统计分析

采用聚类分析 (Cluster analysis) 和多维分析 (Multidimensional scaling, MDS) 2 种多元统计分析方法。

以浮游植物物种和各物种的细胞密度作为原始数据的矩阵, 分别以布伦托海 10 个样点和吉力湖 5 个样点为矩阵样本, 以各样点浮游植物的种类及细胞密度为矩阵的变量。为了平衡优势种和稀有种对整个群落相似性影响的权重, 将原始矩阵的数据通过 4 次开方^[9] 后进行 Bray-Curtis 相似性的测定, 建立相似矩阵^[10-11]。在相似矩阵的基础上进行多元分析, 建立聚类分析树状图和 MDS 二维空

间图。应力系数 (Stress) 值作为 MDS 空间构形图拟合度的指标。

相似性距离 $B(j, k)$ 计算公式:

$$B(j, k) = \frac{\sum_{i=1}^s |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^s |x_{ij} + x_{ik}|}$$

式中, $B(j, k)$ 是第 j 个和第 k 个样品的相似性距离系数, x_{ij} 和 x_{ik} 分别是第 i 物种在第 j 个和第 k 个样品中的细胞密度, s 是样品的种类总数^[10]。

以上多元统计分析均在 SPSS 15.0 统计分析系统中运行。

2 结果与分析

2.1 调查水域的自然状况

乌伦古湖春秋季各采样点的位置及概况见表 1。

从表 1 可以看出, 布伦托海 4 月沿岸带 (W_1-W_8) 水温 5.7~9.7 °C; 水深 5.1~15.6 m; DO 值 8.36~11.2 mg/L; pH 8.40~8.88; 透明度 2.40~3.55 m。中心湖区 (W_9-W_{10}) 水温在 7.5~7.6 °C, 两采样点水深均为 15.6 m, DO 均值 9.68 mg/L; pH 均值 9.48; 透明度均值 3.68 m。布伦托海 8 月河口区 (W_1-W_2) 水温在 20.5~22.4 °C; 平均水深为 6.0 m; DO 均值 7.06 mg/L; pH 均值 9.02; 透明度均值 1.85 m。非河口区 (W_3-W_{10}) 水温在 20.9~22.3 °C; 水深在 7.8~15.6 m; DO 值在 7.01~7.33 mg/L; pH 值在 8.93~9.10; 透明度在 1.50~2.20 m。吉力湖平均水深 9.9 m; 4 月平均水温 7.6 °C; DO 均值 8.79 mg/L; pH 均值 8.48; 透明度均值 3.19 m。吉力湖 8 月平均水温 21.5 °C, 较 4 月高 13.9 °C; DO 均值较 4 月降低 1.86 mg/L; pH 均值 8.68; 透明度均值 1.18 m, 较 4 月降低 2.01 m。

2.2 乌伦古湖浮游植物种类组成

2007 年 4 月和 8 月对乌伦古湖浮游植物进行了调查。经鉴定共计 8 门 172 种 (含未定种)。其中绿藻门 74 种 (含未定种), 硅藻门 50 种 (含未定种), 蓝藻门 27 种 (含未定种), 裸藻门 7 种 (含未定种), 甲藻门 6 种 (含未定种), 金藻门 4 种 (含未定种), 隐藻门 3 种 (含未定种), 黄藻门 1 属。

从不同季节的种类组成来看, 春季 (4 月) 乌伦古湖浮游植物共计 8 门 107 种 (含未定种), 其中绿藻门最多 49 种 (含未定种), 占 45.8%; 硅藻门次之 28 种 (含未定种), 占 26.2%; 蓝藻门 15

种（含未定种），占 14.0 %；其他占 14.0 %。秋季（8 月）共计 7 门 101 种（含未定种），绿藻门最多，40 种（含未定种），占 39.6 %，硅藻门次之，32 种（含未定种），占 31.7 %，蓝藻门 18 种（含未定种），占 17.7 %，其他占 11.0 %。从两季种类变化来看，绿藻门最多，硅藻门次之（表 2）。

表 1 新疆乌伦古湖采样点自然状况
Tab.1 Environmental descriptions of sampling stations of Ulungur Lake in Xinjiang

采样点 Sampling station	东经 East longitude	北纬 North latitude	海拔 /m Altitude	水深 /m Depth		水温 / °C Temperature		DO/(mg · L ⁻¹)		pH		透明度 /m Transparency	
				4 月	8 月	4 月	8 月	4 月	8 月	4 月	8 月	4 月	8 月
				April	August	April	August	April	August	April	August	April	August
W ₁	87° 15' 35"	47° 05' 11"	474	6.9	6.9	9.7	20.5	8.36	7.12	8.40	9.02	2.40	1.70
W ₂	87° 20' 16"	47° 12' 41"	474	5.1	5.1	7.7	22.4	8.70	7.00	8.45	9.01	3.50	2.00
W ₃	87° 25' 02"	47° 16' 20"	482	10.5	10.5	7.2	22.3	8.44	7.04	8.55	9.08	3.25	1.80
W ₄	87° 30' 31"	47° 20' 41"	469	7.8	7.8	9.0	21.9	8.80	7.10	8.52	9.10	3.00	1.80
W ₅	87° 21' 13"	47° 24' 40"	474	15.6	15.6	6.7	21.6	11.20	7.21	8.59	9.02	3.10	1.50
W ₆	87° 17' 02"	47° 20' 30"	472	9.3	9.3	7.4	21.5	8.44	7.33	8.57	9.03	2.95	2.10
W ₇	87° 03' 31"	47° 17' 10"	474	10.9	10.9	5.7	20.9	8.50	7.33	8.47	9.03	3.50	2.10
W ₈	87° 06' 55"	47° 10' 40"	475	15.4	15.4	6.5	22.0	9.03	7.21	8.88	8.93	3.55	2.00
W ₉	87° 14' 20"	47° 10' 25"	473	15.6	15.6	7.6	21.8	9.05	7.03	8.65	9.03	3.15	2.20
W ₁₀	87° 15' 05"	47° 14' 48"	476	15.6	15.6	7.5	22.0	10.30	7.01	10.30	9.06	4.20	2.00
J ₁	87° 24' 27"	46° 58' 11"	484	10.9	10.9	8.6	22.0	8.75	6.58	8.67	8.66	3.20	1.30
J ₂	87° 21' 21"	46° 54' 00"	487	7.7	7.7	8.6	21.9	9.86	6.42	8.41	8.56	3.50	1.20
J ₃	87° 27' 16"	46° 55' 08"	476	9.0	9.0	6.6	23.3	8.67	7.50	8.67	8.77	3.10	1.30
J ₄	87° 31' 15"	46° 56' 48"	474	6.8	6.8	7.4	19.6	8.25	7.20	8.25	8.67	3.05	0.85
J ₅	87° 26' 46"	46° 56' 46"	477	15.2	15.2	7.0	20.8	8.40	6.95	8.40	8.75	3.10	1.25

注：W₁–W₁₀ 是布伦托海采样点；J₁–J₅ 是吉力湖采样点。
Note: W₁–W₁₀ are sampling stations of Buluntuohai Lake. J₁–J₅ are sampling stations of Jili Lake.

表 2 新疆乌伦古湖浮游植物种类组成
Tab.2 Species component of phytoplankton in Ulungur Lake, Xinjiang

季节 Season	项目 Item	合计 Total	蓝藻门 Cyanophyta	绿藻门 Chlorophyta	硅藻门 Bacillariophyta	甲藻门 Dinophyta	隐藻门 Cryptophyta	裸藻门 Euglenophyta	金藻门 Chryso- phyta	黄藻门 Xantho- phyta	优势种 Dominant species
春季 (4 月) Spring (April)	种数	107	15	49	28	5	2	3	4	1	尖针杆藻 (<i>Synedra acus</i>)
	Species number										扭曲小环藻 (<i>Cyclotella comta</i>)
	比例 /%										细小舟形藻 (<i>Navicula gracilis</i>)
											系带舟形藻 (<i>Navicula cincta</i>)
											球状衣藻 (<i>Chlamydomonas globosa</i>)
											蓝纤维藻 (<i>Dactylococcopsis</i> sp.)
裸甲藻 (<i>Gymnodinium</i> sp.)											
秋季 (8 月) Autumn (August)	种数	101	18	40	32	3	3	4	0	1	尖针杆藻 (<i>Synedra acus</i>)
	Species number										扭曲小环藻 (<i>Cyclotella comta</i>)
	比例 /%										细小舟形藻 (<i>Navicula gracilis</i>)
											膨胀四角藻 (<i>Tetraedron tumidulum</i>)
											水花束丝藻 (<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>)
											蓝纤维藻 (<i>Dactylococcopsis</i> sp.)

从优势种及常见种来看,春、秋季乌伦古湖浮游植物优势种及常见种有水花束丝藻(*Aphanizomenon flos-aquae*)、蓝纤维藻(*Dactylococcopsis* sp.)、尖针杆藻(*Synedra acus*)、扭曲小环藻(*Cyclotella comta*)、美丽双菱藻(*Surirella elegans*)、薄羽纹藻(*Pinnularia macilenta*)、细小舟形藻(*Navicula gracilis*)、系带舟形藻(*Navicula cincta*)、卵形藻(*Cocconeis* sp.)、普通小球藻(*Chlorella vulgaris*)、球状衣藻(*Chlamydomonas globosa*)、柱状栅裂藻(*Scenedesmus bijuga*)、四角十字藻(*Crucigenia Puadrata*)、膨胀四角藻(*Tetraedron tumidulum*)、湖生卵囊藻(*Oocystis lacustris*)、光甲藻(*Glenodinium* sp.)、裸甲藻(*Gymnodinium* sp.)、蓝隐藻(*Chroomonas* sp.)。

从不同月份、不同湖区优势种及常见种来看,布伦托海春季(4月)沿岸带(W_1 - W_8)以尖针杆藻(*Synedra acus*)、细小舟形藻(*Navicula gracilis*)、系带舟形藻(*Navicula cincta*)为主,中心湖区(W_9 - W_{10})以裸甲藻(*Gymnodinium* sp.)为主。布伦托海秋季(8月)河口区(W_1 - W_2)以尖针杆藻(*Synedra acus*)和膨胀四角藻(*Tetraedron tumidulum*)为主,非河口区(W_3 - W_{10})以膨胀四角藻(*Tetraedron tumidulum*)、湖生卵囊藻(*Oocystis lacustris*)和蓝纤维藻(*Dactylococcopsis* sp.)为主。吉力湖春季(4月) J_1 - J_4 以尖针杆藻(*Synedra acus*)为主,但在 J_2 站位花环锥囊藻(*Dinobryon sertularia*)占优势, J_5 站位以水花束丝藻(*Aphanizomenon flos-aquae*)为主。吉力湖秋季(8月) J_1 - J_4 以水花束丝藻(*Aphanizomenon flos-aquae*)、蓝纤维藻(*Dactylococcopsis* sp.)、柱状栅裂藻(*Scenedesmus bijuga*)为主,但在 J_2 站位席藻(*Phormidium* sp.)占有一定比例,其数量占14.7%; J_4 站位尖针杆藻(*Synedra acus*)也占有一定比例(17.5%); J_5 站位鞘藻(*Oedogonium* sp.)占一定优势(21.1%)。

2.3 乌伦古湖浮游植物的聚类分析

2.3.1 布伦托海浮游植物群落的聚类分析

(1)4月布伦托海浮游植物群落的聚类见图2。结果显示,群落结构分成两大聚类时,类间距离较大,说明这两聚类的特点突出,群落结构相距较远。因此,将布伦托海4月10个样点(W_1 - W_{10})分成两大聚类。即聚类I包括 W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 、 W_5 、 W_6 、 W_7 、 W_8 ;聚类II包括 W_9 、 W_{10} 。从距离测度值

(Similarity)也可证明以上结果, W_9 与 W_{10} 间的值为0.402,而 W_9 与聚类I相距最近的 W_1 间的距离测度值为0.977。

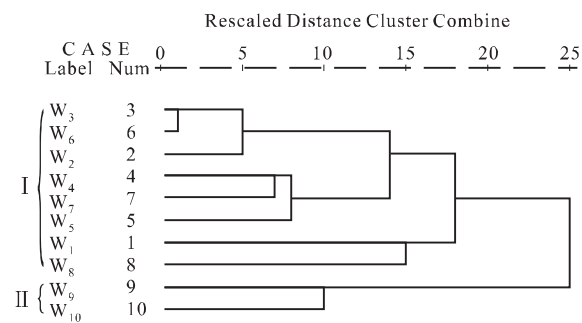


图2 4月布伦托海浮游植物群落结构聚类树状图

Fig.2 Dendrogram of cluster analysis of phytoplankton assemblage collected from Buluntuohai Lake in April

(2)8月布伦托海浮游植物群落结构与4月相比有所不同,虽然聚类结果显示分类数也为两大类(图3)。但组成截然不同,聚类I包括了 W_3 、 W_4 、 W_5 、 W_6 、 W_7 、 W_8 、 W_9 、 W_{10} 。 W_1 、 W_2 间的距离测度值为0.437,与聚类I相距最近的 W_3 间的距离测度值为0.630。因此 W_1 、 W_2 聚成一类,即聚类II。

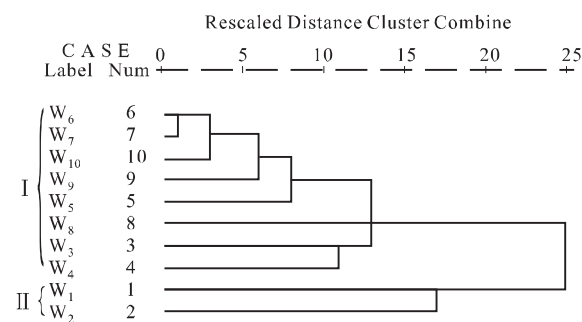


图3 8月布伦托海浮游植物群落结构聚类树状图

Fig.3 Dendrogram of cluster analysis of phytoplankton assemblage collected from Buluntuohai Lake in August

2.3.2 吉力湖浮游植物群落的聚类分析

(1)4月吉力湖浮游植物群落的聚类见图4。聚类结果显示, J_3 、 J_4 的浮游植物群落距离最短(距离测度值为0.238),并与 J_1 相对最近(距离测度值为0.469),聚合为聚类I。 J_2 和 J_5 都与聚类I的距离较远(距离测度值分别为0.705和0.829),且两样点本身的距离也较远,因此分别各成一类。即 J_2 为聚类II, J_5 为聚类III。

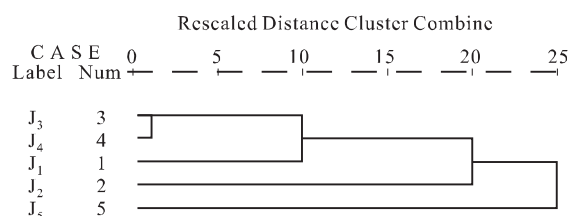


图4 4月吉力湖浮游植物群落结构聚类树状图

Fig.4 Dendrogram of cluster analysis of phytoplankton assemblage collected from Jili Lake in April

(2)8月吉力湖浮游植物群落结构也呈现三大聚类(图5)。聚类I包括J₁、J₃(距离测度值为0.319);聚类II包括J₂、J₄(距离测度值为0.342);而J₅自成一类即为聚类III。但不同的是8月J₃与J₁的距离最短,群落结构最为相似,且与J₄成为不同的聚类别群。而在4月J₃与J₄距离最短(距离测度值为0.238),群落结构最为相似。并且在8月中J₂的聚类结果发生明显的变化,由4月的自成一类,变为与J₄的群落结构相似。

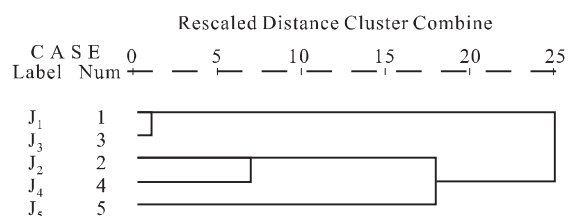


图5 8月吉力湖浮游植物群落结构聚类树状图

Fig.5 Dendrogram of cluster analysis of phytoplankton assemblage collected from Jili Lake in August

2.4 呼伦湖浮游植物群落的多维分析

2.4.1 布伦托海浮游植物群落的多维分析

(1)4月布伦托海浮游植物群落的多维分析见图6。结果显示,在二维空间中W₁、W₂、W₃、W₄、W₅、W₆、W₇、W₈相对密集,归为一类;W₉、W₁₀为另一类;说明布伦托海4月样点W₁、W₂、W₃、W₄、W₅、W₆、W₇、W₈的浮游植物群落结构相似;W₉与W₁₀的群落结构相似。该结果与布伦托海4月浮游植物群落的聚类结果一致(图2)。

(2)8月布伦托海浮游植物群落的多维分析见图7。结果显示,W₃、W₄、W₅、W₆、W₇、W₈、W₉、W₁₀这8个样点的二维空间位置相对密集。说明这8个样点浮游植物群落相似。而W₁和W₂与它们的距离较远,归为一类。这与图3的聚类结果一致。

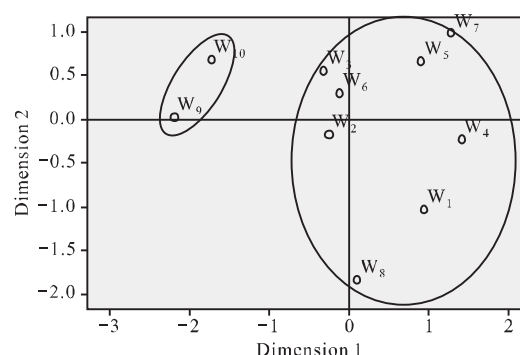


图6 4月布伦托海浮游植物群落的多维分析图

Fig.6 Ordination of MDS of phytoplankton assemblage collected from Buluntuo Lake in April

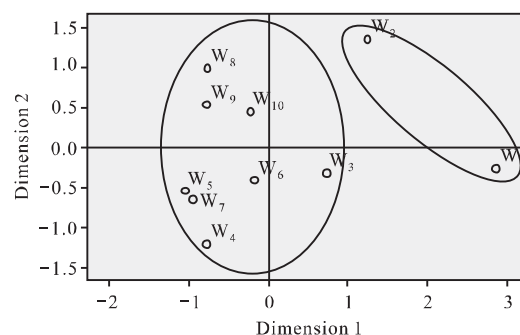


图7 8月布伦托海浮游植物群落的多维分析图

Fig.7 Ordination of MDS of phytoplankton assemblage collected from Buluntuo Lake in August

2.4.2 吉力湖浮游植物群落的多维分析

(1)图8展示了4月吉力湖浮游植物群落结构的相对关系。结果显示,在二维空间中J₁、J₃、J₄相对密集,J₂与它们有一段距离,J₅与J₁、J₃、J₄也有一段距离,且J₅与J₂距离更远。该结果也与吉力湖4月浮游植物群落的聚类结果一致(图4)。

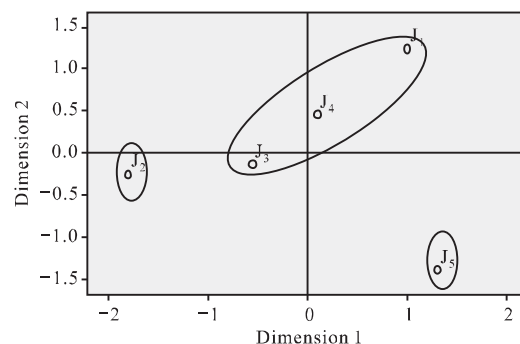


图8 4月吉力湖浮游植物群落的多维分析图

Fig.8 Ordination of MDS of phytoplankton assemblage collected from Jili Lake in April

吉力湖 8 月浮游植物群落的多维分析结果见图 9。由图 9 可见, J_1 与 J_3 相对密集; J_2 与 J_4 相对密集; J_5 距离它们都较远自成一类。这一结果也与图 5 的聚类分析结果一致。

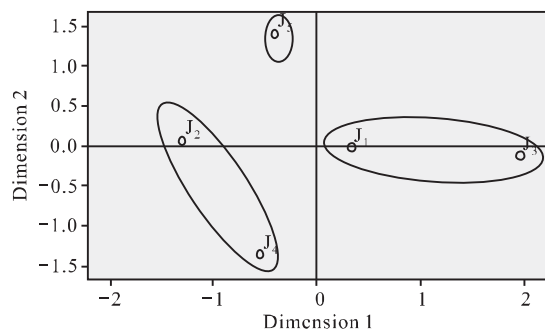


图 9 8 月吉力湖浮游植物群落的多维分析图

Fig.9 Ordination of MDS of phytoplankton assemblage collected from Jili Lake in August

3 讨论

3.1 春秋季乌伦古湖浮游植物群落结构特点

高纬度地区水体存在典型水温季节变化, 春秋两季出现以硅藻为优势类群的浮游植物群落类型^[12]。乌伦古湖位于准噶尔盆地北部, 阿勒泰地区福海县境内的戈壁、荒漠之中, 属高纬度地区水体。调查期间, 春季 (4 月) 优势种中硅藻, 占 57.1 %, 硅藻中尖针杆藻 (*Synedra acus*) 在采样点的出现频率为 80.0 %; 秋季 (8 月) 优势种蓝、绿藻虽有所增加, 但硅藻仍占 50.0 % (表 2)。

春季 (4 月) 乌伦古湖浮游植物数量、生物量均值为 33.49×10^4 ind/L 和 0.455 2 mg/L; 秋季 (8 月) 数量、生物量均值为 276.28×10^4 ind/L 和 3.657 8 mg/L, 秋季 (8 月) 明显高于春季 (4 月), 约 8.2 倍和 8.0 倍。这种变化符合高纬度地区水体存在典型水温季节变化的变动规律^[12]。从数量、生物量来看, 硅藻在各季节均占优势 (春季占 51.3 % 和 67.9 %; 秋季占 22.0 % 和 31.5 %)。从优势种类、数量和生物量组成结果分析, 乌伦古湖浮游植物是以硅藻为优势类群的湖泊。

依据何志辉利用浮游植物对中国湖泊、水库营养类型的划分标准^[13], 结合乌伦古湖浮游植物的优势种、数量和生物量的检测结果, 乌伦古湖应属于贫 - 中营养型湖泊。

3.2 春秋季乌伦古湖浮游植物群落的聚类分析

聚类分析 (Cluster Analysis) 是将没有分类的个体按相似程度归于同一类, 分成几个能提供信息的小类别, 借此了解其中主要类别的态度或特征, 以便得出研究结果。可通过距离测度值来表示样点间不相似性, 值越小越相似, 越早聚为一类, 越大则越不相似^[14]。本研究应用 SPSS 15.0 对春秋季乌伦古湖浮游植物群落进行了聚类分析 (Cluster Analysis)。由于布伦托海是封闭性湖区, 吉力湖是有入水口和出水口的系过性湖区。因此, 对群落结构进行多元统计分析时, 将数据通过 Bray-Curtis 相似性测定后进行了不同月份不同湖区的聚类分析。

布伦托海春季 (4 月) 浮游植物沿岸带 (W_1 - W_8) 聚为一类, 中心湖区 (W_9 - W_{10}) 聚为一类。这是由于沿岸带的水温在 5.7~9.7 °C; 水深较浅, 平均水深 10.2 m; DO 均值低 (8.93 mg/L); pH 均值 8.55; 透明度均值较中心湖区低了 0.52 m。中心湖区水温在 7.5~7.6 °C, 平均水深为 15.6 m, DO 均值比沿岸带高了 0.75 mg/L; pH 均值 9.48; 透明度均值较高 (3.68 m), 详见表 1。综合以上两大类群水文状况的不同, 导致各采样点浮游植物种类组成出现差异。从优势种类上看, 沿岸带以硅藻门尤其是尖针杆藻 (*Synedra acus*)、细小舟形藻 (*Navicula gracilis*)、系带舟形藻 (*Navicula cincta*) 为主, 而中心湖区却以甲藻门的裸甲藻 (*Gymnodinium* sp.) 为主。因此, 从水文状况、主要优势种类综合分析, 显示出春季布伦托海浮游植物聚类为两类, 即沿岸带和中心湖区。

布伦托海秋季 (8 月) 浮游植物河口区 (W_1 - W_2) 聚为一类, 非河口区 (W_3 - W_{10}) 聚为一类。这是由于乌伦古湖水源自乌伦古河, 8 月为丰水期, 大量的河水注入, 受水动力学的影响, 致使两大类群所在湖区的水文状况有所不同。河口区水温在 20.5~22.4 °C; 水较浅, 平均水深较非河口区浅 6.6 m; DO 均值 7.06 mg/L; pH 均值 9.02; 透明度均值较非河口区略低。非河口区水温在 20.9~22.3 °C; 水深均值为 12.6 m; DO 均值比河口区略高了 0.1 mg/L; pH 均值 9.04; 透明度均值 1.94 m (表 1), 从而导致 8 月布伦托海浮游植物群落结构分为两大类。优势种类上, 河口区以硅藻门的尖针杆藻 (*Synedra acus*) 和绿藻门的膨胀四角藻 (*Tetraedron tumidulum*) 为主, 非河口区以绿藻门的膨胀四角藻 (*Tetraedron tumidulum*)、湖生卵囊藻 (*Oocystis*

lacustris) 和蓝藻门的蓝纤维藻 (*Dactylococcopsis* sp.) 为主。

吉力湖春季 (4 月) 的浮游植物群落聚类为 3 类, 即沿岸带 J_1 、 J_3 、 J_4 为一类, 中心湖区 J_5 为一类, J_2 由于种类组成中金藻门的花环锥囊藻 (*Dinobryon sertularia*) 在该样点占优势, 与其他吉力湖的样点有明显的区别, 自成一类。

吉力湖秋季 (8 月) 的浮游植物群落仍聚为 3 类, 即 J_1 、 J_3 为一类, J_2 、 J_4 为一类, J_5 为一类。这是由于 J_1 、 J_3 样点处于水生植物比较丰富的沿岸带, 浮游植物种类组成相似性较高; J_2 点处于河口, J_4 虽然也处于沿岸带但由于其岸边为戈壁, 因此, 浮游植物种类组成与 J_1 、 J_3 不相似; J_5 处是吉力湖的中心, 水较深 15.2 m, 浮游植物群落组成与另两类差异较大, 因此, 自成一类。

乌伦古湖春、秋季聚类分析结果显示出一定差异, 分析生态因子, 可以看出, 4 月乌伦古湖平均水温 $7.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 8 月 $21.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 升高了 $14.1\text{ }^{\circ}\text{C}$; 而温度等理化因子与浮游植物的迅速繁殖有着内在的关联, 并带动下行生物链 - 浮游动物生物量的变动^[15]。而浮游植物数量的变动与温度呈显著的正相关^[16]。同时, 8 月是乌伦古河的丰水期, 由于水动力学的影响导致水文状况的变化 (表 1), 尤其是水体的透明度均值下降了 1.57 m (4 月 3.24 m、8 月 1.67 m), 而透明度是藻类生长、繁殖、分布的限制条件之一^[17-18]。因此, 从水量的补给、水温和透明度的变化分析, 春秋季节乌伦古湖浮游植物群落结构聚类分析发生差异。

3.3 春秋季节乌伦古湖浮游植物群落的多维分析

多维分析 (Multidimensional Scaling, MDS) 能在低维空间较好的反映相似矩阵的信息^[19]。因此, 本研究运用经过 Bray-Curtis 相似性测定的相似矩阵作进一步的多元统计分析——多维分析 (Multidimensional Scaling, MDS), 结果的应力系数 (Stress) 值可作为 MDS 空间构形图拟合度的指标, 当应力系数 (Stress) 值 0.2 以上为不好 (Poor)、0.1 为一般 (Fair)、0.05 为好 (Good)、0.000 完全配合 (Perfect)^[14]。布伦托海 4 月和 8 月应力系数 (Stress) 值分别为 0.104、0.139 (图 6、7); 吉力湖 4 月和 8 月应力系数 (Stress) 值分别为 0.000 和 0.005 (图 8、9)。多维分析结果表明, 图 6 至图 9 可以很好地反应布伦托海、吉力湖春秋季节浮游植物群落结构相似性。从而表明多维分析与聚类结果显示是相一致的, 从二维空间角度证明了聚类结论的正确性。

参考文献:

- [1] 任慕莲. 新疆吉力湖的渔业 [M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1990: 21-48.
- [2] 叶尚明, 苏德学, 刘栓, 等. 新疆乌伦古湖水生生物资源调查研究 [J]. 水利渔业, 2004, 24(2): 51-53.
- [3] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 12-122.
- [4] 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: 23-915.
- [5] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱 [M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 2-129.
- [6] 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: 12-122.
- [7] Asknes L, Wassman P. Modeling the significance of zooplankton grazing for export production [J]. Limnol Oceanogr, 1993, 38: 978-985.
- [8] 罗民波, 陆健健, 王云龙, 等. 东海浮游植物数量分布与优势种 [J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5076-5085.
- [9] Clarke R. Non-parametric Multivariate Analyses of Changes in Community Structure [J]. Australian Journal of Ecology, 1993, 18: 117-143.
- [10] Bray R, Curtis T. An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin [J]. Ecology Monogr, 1957, 27: 325-349.
- [11] 张锦平, 夏静. 长江口浮游植物群落的聚类分析 [J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(4): 456-460.
- [12] Serra T, Colomen J, Baserba C, et al. Quantified distribution of diatoms during the stratified period of Boadella reservoir [J]. Hydrobiologia, 2002, 589: 235-244.
- [13] 何志辉. 中国湖泊和水库的营养分类 [J]. 大连水产学院学报, 1987, 1: 1-10.
- [14] 林震岩. 多变量分析 SPSS 的操作与应用 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2007: 387-430.
- [15] 王云龙, 袁 骥, 沈新强. 长江口及邻近水域春季浮游植物的生态特征 [J]. 中国水产科学, 2005, 12(3): 300-306.
- [16] 李广楼, 陈碧鹃, 崔 毅. 莱州湾浮游植物的生态特征 [J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 292-299.
- [17] Parkhill J, Cembella A. Effects of salinity, light and inorganic nitrogen on growth and toxigenicity of the marine dinoflagellate *Alexandrium tamarense* form northeastern Canada [J]. Plankton, 1999, 21: 939-955.
- [18] 栾青杉, 孙军, 宋书群, 等. 长江口夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析 [J]. 植物生态学报, 2007, 31(3):

445 450.

物群落结构的多元统计分析 [J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(4):

[19] 吴荣军, 李瑞香, 朱明远, 等. 应用 PRIMER 软件进行浮游植

316 321.

Cluster analysis and multidimensional scaling analysis in spring and autumn of phytoplankton community structure of Ulungur Lake, Xinjiang

LI Zhe^{1,2}, JIANG Zuo-fa¹, MA Bo¹, HUO Tang-bin¹, TANG Fu-jiang¹, GUO Yan³, CAI Lin-gang³, ZHAO Wen-ge²

(1. College of Life Science and Technology, Harbin Normal University, Harbin 150025, China; 2. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China; 3. Institute of Aquatic Products Science, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, China)

Abstract: Ulungur Lake was the second largest lake by surface area (931 km²) and volume (1.04×10^{10} m³) after Bosten Lake in Xinjiang Uygur Autonomous Region, which is located in the north of Junggar basin and made up of Buluntuo Lake and Jili Lake. The phytoplankton of Ulungur Lake was studied in April and August 2007. The phytoplankton assemblage was composed of 172 species in total, belonging to 8 taxonomic groups. Chlorophyta were represented by the highest number of taxa (74) followed by Bacillariophyta (50), Cyanophyta (27), Euglenophyta (7), Dinophyta (6), Chrysophyta (4), Cryptophyta (3) and Xanthophyta (1), in which unconfirmed taxa were found in 172 taxa. The average cell density ranged from 33.49×10^4 ind/L in April to 276.28×10^4 ind/L in August, while the average biomass ranged from 0.4552 mg/L in April to 3.6578 mg/L in August. According to species composition and cell density, the cluster analysis and multidimensional scaling (MDS) of phytoplankton community structure were carried out by Bray-Curtis index. The results revealed that phytoplankton community of Buluntuo Lake can be classified to two groups in spring and autumn, while that of Jili Lake can be classified to three groups. However, in different seasons, the results of cluster and MDS analysis were different because of diverse geographic environment and ecologic environment such as depth, temperature, pH and transparency. At the same time, both the MDS analysis and cluster analysis revealed the same results, which certified the result of cluster analysis from 2-dimensional space. The similarity of phytoplankton community structure was revealed efficiently among different sampling stations in spring and autumn, and the variation of phytoplankton community structure was also discussed in Ulungur Lake. The research also revealed that Bacillariophyta was dominant in Ulungur Lake in spring and autumn. According to dominant species, density and biomass of phytoplankton in spring and autumn, Ulungur Lake belong to oligotrophic- mesotrophic lake. The aim of this paper was to discuss variation law of phytoplankton community in Ulungur Lake and to provide scientific evidence for rational use affluent hydrobiont resources in the future. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(6): 984–991]

Key words: Ulungur Lake; phytoplankton; phytoplankton community structure; Cluster Analysis; MDS

Corresponding author: JIANG Zuo-fa. E-mail: jzffish@163.com