DOI:10.15928/j.1674-3075.2017.06.006

内蒙古乌梁素海浮游植物优势种的生态位分析

李 兴[1],李建茹[2],李畅游[3]

(1. 内蒙古师范大学,内蒙古节水农业工程研究中心,呼和浩特 010022;
2. 内蒙古机电职业技术学院,呼和浩特 010017;
3. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院,呼和浩特 010018)

摘要:为了摸清内蒙古乌梁素海浮游植物群落结构和物种间关系以及对环境资源的利用程度,2011年7月和2012年2月分别对乌梁素海浮游植物群落结构进行调查,在利用生态位理论的基础上,采用改进的Levins公式和Petraitis指数分析了内蒙古乌梁素海夏季和冬季优势种的生态位宽度和生态位重叠程度变化。结果显示,夏季湖中小空星藻(*Coelastrum microporum*)、栅藻(*Scenedesmus mey*)、小席藻(*Phormidium tenu*)和颤藻(*Oscillatoria vauch*)的生态位较宽,均大于3.6,而冬季的针杆藻(*Synedra ehrenberg*)和尾裸藻(*Euglena caudata*)的生态位较宽,均大于5.0。不同季节的生态位宽度显示,小空星藻、栅藻、小席藻和颤藻适合夏季生长环境,能充分利用湖泊周边环境资源;而针杆藻和尾裸藻在冬季更具有竞争能力。同物种在不同季节中的生态位重叠指数差异较大。生态响应速率分析结果表明,在夏季,除舟形藻(*Navicula bory*)的生长空间属衰退型外,其它优势种均处于发展状态,小席藻的发展空间最大,其次为螺旋藻(*Spirulina princeps*);在冬季,针杆藻、单鞭金藻(*Monochrysis skuja*)、卵形隐藻(*Cryptomonas ovata*)处于衰退状态,其它优势种均处于发展状态,小席藻的发展空间仍最大。浮游植物优势种典范对应排序结果表明,小席藻和螺旋藻受温度影响最大;硅藻门的舟形藻与水体中环境因子的相关性较低,针杆藻受水体pH值影响最大,大部分浮游植物种类的适盐性较低,丰度随盐度增加而减少。

关键词:浮游植物;优势种;生态位;乌梁素海

中图分类号:Q145 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2017)06-0040-08

生态位(Niche)是现代生态学的重要理论之一,其研究在理解群落结构和功能、群落内物种间关系、生物多样性、群落动态演替和种群进化等方面有重要的作用(张金屯,2011;朱耿平等,2013)。20世纪60年代,生态位理论的研究主要集中在动物种群对环境资源的利用方面(杜道林等,1997);70年代以后,科学家把研究目标转移到了植物种群方面,Abrams(1987)认为物种在群落中利用资源的状况反应了种群间的相互关系,种群间生态位的分化能使不同植物在不同资源水平上利用环境资源,降低种间竞争使物种能够共存。植物种群在外界环境的影响下以一定方式组合成植物群落,其生态特性又在不同的环境梯度上表现出一定的变化规律,比如群落中物种组成变化、优势种的地位等(Whittaker, 1967; Whittaker et al,1973)。生态位理论由两方面组成,即生态位宽度和生态位重叠。对于生态位的计算方法目前还存在较多的争议,但利用生态位理论来揭示在特定环境中种群随环境梯度变化的生态分化特性,仍是较为有利的方法。

目前,生态位理论在草地植物种群、放牧对草原植物种群影响(董全民等,2006;郑伟等,2013;王国良等,2014)、水域生态系统中浮游动物(徐春燕等,2012;徐晓群等,2013)、底栖动物(焦海峰等,2011)等方面研究较多,浮游植物群落研究相对较少。本文为了探索乌梁素海浮游植物物种对环境资源的利用及物种间的相互关系,利用生态位理论分析了湖区优势种在夏季及冬季生态位宽度的变化特征及种群间生态重叠关系,为更好地了解乌梁素海浮游植物群落结构的稳定性提供科学依据,也为浮游植物物种的生态位研究打下基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

乌梁素海位于内蒙古自治区巴彦淖尔市乌拉特前旗境内(40°36′~41°03′N,108°43′~108°57′E),

收稿日期:2015-07-05

基金项目:国家自然科学基金(51469026);内蒙古机电职业技术学院院级科研项目(NJDZJZRQN1710);内蒙古青年科技英才计划项目(NJYT-15-B09);内蒙古自然科学基金(2016MS0553)。

作者简介:李兴,1981年生,男,副研究员,主要从事水污染控制与水环境保护研究。E-mail: lixinggmm@163.com

通信作者:李建茹。E-mail: lijianru0415@163.com

属蒙新高原湖区典型的中温带季风气候,流域降雨少而蒸发大,且经常出现大风天气,多年平均气温 7.3℃,降水量为 224 mm,蒸发量为 1 502 mm,全年无霜期 152 d。现有水域面积 285.38 km^2,其中芦苇面积 118.97 km^2,明水面积 111.13 km^2,明水区面积 85.7 km^2,为沉水植物密集区;湖水深度在 0.5 ~ 2.5 m,蓄水量 2.5 亿 ~ 3.0 亿 m^3,其补水来源的 90% 经总排干沟汇入乌梁素海后,从西山咀河口排入黄河(图 1)。

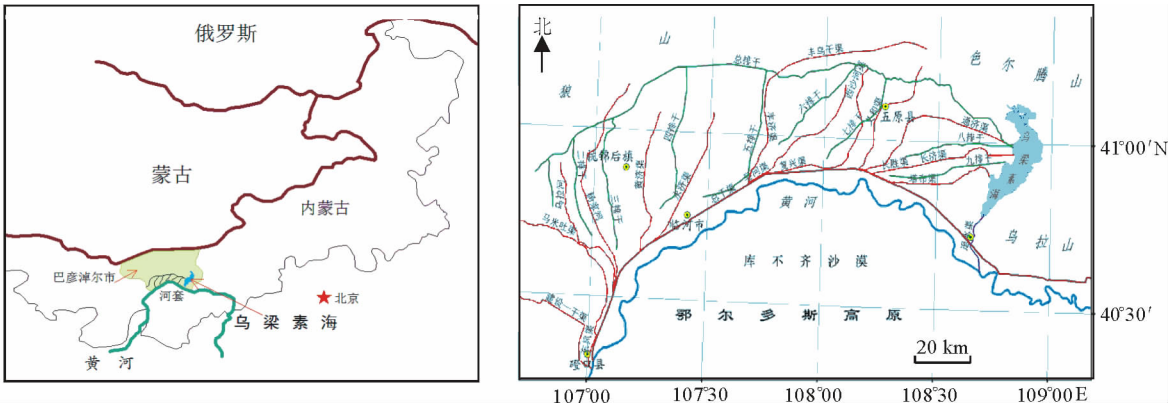

图 1　内蒙古乌梁素海流域水系分布

Fig. 1　Location and water distribution of Wuliangsuhai Lake in Inner Mongolia

1.2　采样点及采样频率

浮游植物采样点的布置依据湖区实际水深、入湖口、出湖口以及湖泊形态、水文和水功能区进行,选取能表征湖泊特征且反应湖泊不同状况的 10 个浮游植物样品采集点(图 2)。根据生态调查规范(黄祥飞等,2000)以及乌梁素海实际水深情况,只取表层以下 0.5 m 处浮游植物样品,对于水深超过 2.0 m 的区域,根据研究区实际情况,进行分层取样。为了减少采样误差,每个采样区域均取 2 个平行样品。每次取样均使用全球 GPS 进行样点定位。

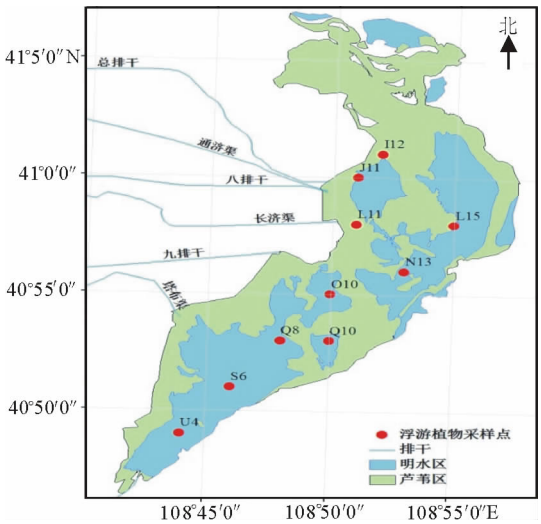

图 2　乌梁素海浮游植物采样点位置

Fig. 2　Location of phytoplankton sampling sites in Wuliangsuhai Lake

采样时间为 2011 年 7 月和 2012 年 2 月,共采集浮游植物样品 2 次,同时尽量将样品的采集时段控制在当天的 09∶00 ~ 15∶00。

1.3　样品采集及处理

浮游植物定性样品用 25 号生物网在水体表面下 0.5 m 处以“∞”字形捞取,将采集的滤液样品放入采样瓶中,并用蒸馏水冲洗生物网 2 ~ 3 次,以免浮游植物残留在生物网上。浮游植物的定性样品用 1% 体积的甲醛溶液保存,用于种类鉴定和分析。定量样品取水面以下 0.5 m 处样品,现场加入鲁格试剂和福尔马林溶液固定,带回实验室等量混合后放入 1L 的棕色瓶中,静置 48 h,用虹吸法将上清液去除,保留 100 mL 左右样品,将其移入 250 mL 的棕色瓶中,再进行静置浓缩,直到浓缩样品为 30 mL 左右,用于种类鉴定和定量计数。

1.4　数据处理

(1)优势种以优势度 $Y \geqslant 0.02$ 确定,优势度指数的计算公式(徐凤洁等,2014):

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i$$

式中:n_i 为样点中第 i 种浮游植物的个体数;N 为样点中所有浮游植物的总数;f_i 为该种属在各样点中出现的频率。

(2)生态位宽度采用修正后的 Levins 指数(徐凤洁等,2014)计算:

$$B_i = 1/(r\sum P_{ij}^2)$$

式中:B_i 为种 i 的生态位宽度;$P_{ij} = n_{ij}/N_i$,代表种 i 在第 j 个资源状态下的个体数占该种所有个体数的比例;r 为样点数。

(3)生态位重叠采用 Petraitis 指数(夏霆等,2014)的计算:

$$SO_{ik} = e^{E_{ik}}$$

$$E_{ik} = \sum_{j=1}^{r}(P_{ij}\ln P_{kj}) - \sum_{j=1}^{r}(P_{ij}\ln P_{ij})$$

$$\Delta SO_{ij} = \sum_{j=1}^{n} SO_{ij} - \sum_{i=1}^{m} SO_{ij}$$

$$R_i = \frac{B_i}{\Delta SO_{ij}}$$

式中:SO 为成对种间生态位特定重叠;k 为不同于 i 的另一浮游植物种;$\sum_{j=1}^{n} SO_{ij}$表明种 i 占用其他种的资源量;$\sum_{i=1}^{m} SO_{ij}$表明种 j 被其他种侵占的资源量;R_i 为生态响应速率。

2 结果

2.1 浮游植物群落结构特征

通过实验室显微镜分类鉴定,乌梁素海夏季和冬季水样中共鉴定出浮游植物40种,分属于7门、35属。浮游植物种类组成如下:绿藻门14属、16种,占种类总数的40%;蓝藻门9属、10种,占25%;硅藻门7属、8种,占20%;裸藻门1属、2种,占5%;隐藻门1属、2种,占5%;金藻门1属、1种,占2.5%;甲藻门1属、1种,占2.5%。夏季优势种类颤藻、螺旋藻、栅藻和绿球藻在冬季没有形成优势种(表1)。

表1 乌梁素海浮游植物优势种的生态位宽度分析

Tab.1 Niche breadth of dominant phytoplankton species in Wuliangsuhai Lake

编号	优势种	生态位宽度	
		夏季	冬季
1	小席藻(*Phormidium tenu*)	3.65	2.60
2	颤藻(*Oscillatoria vauch*)	3.66	–
3	螺旋藻(*Spirulina princeps*)	2.22	–
4	小空星藻(*Coelastrum microporum*)	4.12	1.30
5	衣藻(*Chlamydomonas*)	1.93	2.46
6	栅藻(*Scenedesmus mey*)	3.69	–
7	绿球藻(*Chlorococcum fries*)	2.54	–
8	梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)	1.79	2.37
9	针杆藻(*Synedra ehrenberg*)	2.10	5.32
10	舟形藻(*Navicula bory*)	1.09	2.00
11	单鞭金藻(*Monochrysis skuja*)	2.27	3.42
12	卵形隐藻(*Cryptomonas ovata*)	3.25	2.47
13	尾裸藻(*Euglena caudata*)	2.30	5.04

注:"–"表示不是该季节的优势种。

Note:"–"means not the dominant species of the season.

比较发现,乌梁素海夏冬两季浮游植物种类组成具有显著性差异(图3)。夏季鉴定出浮游植物种类数为33属、37种,其群落组成中绿藻门种类数最多,其中绿藻门14属、15种,蓝藻门9属、10种,硅藻门6属、7种,裸藻门1属、2种,隐藻门1属、1种,金藻门1属、1种,甲藻门1属1种;冬季浮游植物种类数为21属、24种,群落组成以绿藻门、硅藻门种类数最多,其中绿藻门7属、8种,硅藻门6属、6种,蓝藻门4属、4种,隐藻门1属、2种,裸藻门1属、2种,金藻门1属、1种,甲藻门1属、1种。夏季浮游植物总密度为$(3.62 \pm 4.12) \times 10^7$ 个/L,冬季为$(1.32 \pm 0.98) \times 10^7$ 个/L,2个季节浮游植物密度均值为$(2.47 \pm 3.14) \times 10^7$ 个/L。

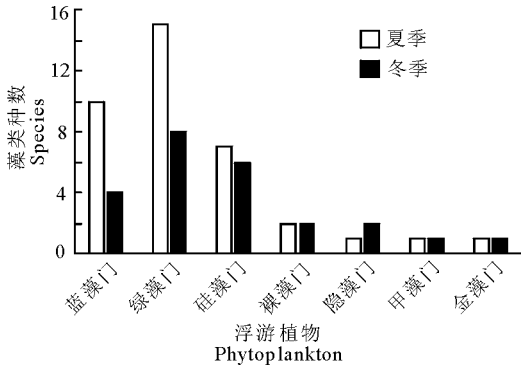

图3 浮游植物各门种类数比较

Fig.3 Variation of phytoplankton species number in summer and winter

根据优势度计算结果($Y \geqslant 0.02$),乌梁素海浮游植物优势种分属6门、13属、13种(表1)。其中,夏季13种,冬季9种。颤藻(*Oscillatoria*)、螺旋藻(*Spirulina*)、栅藻(*Scenedesmus*)、绿球藻(*Chlorococcum*)仅在夏季为优势种属,针杆藻(*Synedra*)和尾裸藻(*Euglena caudata*)在冬季具有极显著优势。

2.2 浮游植物优势种的生态位宽度

生态位宽度反映了一个物种利用环境中各种资源的能力,也是物种适应环境能力的体现。表1是夏季和冬季优势种生态位宽度的变化情况。夏季乌梁素海浮游植物优势种的生态位宽度为1.09~4.12,其中小空星藻、栅藻、小席藻、颤藻的生态位较宽,小空星藻、栅藻、小席藻、颤藻在夏季时期的环境资源利用充分,具有较强的竞争能力;冬季生态位宽度为1.30~5.32,其中针杆藻、尾裸藻的生态位宽度较宽,针杆藻、尾裸藻在冬季时期的环境资源利用充分,具有较强的竞争能力。

小席藻、小空星藻在夏季的生态位宽度明显高于冬季,而尾裸藻、针杆藻、衣藻在冬季的生态位宽度明显高于夏季,小席藻和小空星藻适应在夏季温度较高的环境中生长和繁殖,而尾裸藻、针杆藻、衣藻更适应冬季气候。相对而言,小席藻、小空星藻、

衣藻、梅尼小环藻、针杆藻、单鞭金藻、卵形隐藻以及尾裸藻在两季中分布较为广泛,各藻种生态位宽度反映了其数量以及占据资源点位的多少。

2.3　浮游植物优势种的生态位重叠

乌梁素海夏冬季优势种的生态重叠指数分析结果见表 2 和表 3。

夏季,藻种的生态位重叠指数在 0.01 ~ 1.46,均值为 0.75,其中小席藻与螺旋藻、小席藻与绿球藻、衣藻与针杆藻、针杆藻与舟形藻的生态位重叠指数较大(>1.3)。冬季,藻种的生态位重叠指数在 0.01 ~ 1.37,均值为 0.52,其中衣藻与栅藻、舟形藻与卵形隐藻的生态位重叠指数较高(>1.3)。

表 2　乌梁素海夏季优势种的生态位重叠指数

Tab. 2　Niche overlap of summer dominant phytoplankton species in Wuliangsuhai Lake

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1													
2	0.709												
3	1.401	1.188											
4	0.868	0.836	–										
5	0.494	0.417	0.014	0.039									
6	1.041	0.663	–	0.069	0.751								
7	1.327	0.802	–	0.010	1.012	1.237							
8	0.673	0.304	–	1.072	0.964	0.314	1.168						
9	1.101	1.138	0.299	1.095	1.462	0.697	1.042	0.203					
10	1.151	1.382	0.364	1.010	1.137	1.047	1.158	0.817	1.396				
11	0.647	0.600	–	1.108	0.289	0.450	0.217	0.285	1.137	0.704			
12	0.543	0.721	0.018	0.219	0.833	0.862	0.661	0.819	0.298	0.133	0.359		
13	0.955	1.223	0.090	1.062	1.009	1.264	0.845	0.279	0.757	0.625	0.675	1.265	

表 3　乌梁素海冬季优势种的生态位重叠指数

Tab. 3　Niche overlap of winter dominant phytoplankton species in Wuliangsuhai Lake

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1													
2	–												
3	1.151	–											
4	1.151	–	–										
5	0.196	–	0.009	0.009									
6	–	–	–	–	1.348								
7	–	–	–	–	–	–							
8	0.323	–	0.010	0.010	0.254	0.061	0.042						
9	1.040	–	–	–	0.338	0.067	0.134	0.997					
10	0.115	–	–	–	–	0.268	0.084	0.694	0.293	0.683			
11	0.469	–	0.007	0.007	0.577	0.179	–	0.824	0.650	1.154			
12	0.536	–	–	–	0.860	0.338	–	0.885	0.872	1.371	1.171		
13	0.678	–	–	–	0.499	0.140	0.200	0.666	0.899	0.500	0.858	0.727	

研究结果表明,夏季蓝藻门的小席藻与螺旋藻、硅藻门的针杆藻与舟形藻以及小席藻与绿球藻、衣藻与针杆藻的资源利用情况和生态习性较为相似。冬季绿藻门的衣藻和栅藻以及不同门的舟形藻与卵形隐藻的利用资源能力和多样化程度较高,具有较强的竞争能力。夏季衣藻与针杆藻、针杆藻与舟形藻的环境适应性较为相似,生态重叠指数分别为 1.462、1.396;冬季衣藻与针杆藻、针杆藻与舟形藻的生态重叠指数分别下降为 0.338、0.683,藻种间的生态位重叠指数会随着环境资源的变化而发生较大的变化。

在种属间生态位重叠方阵中,当 $i=j$ 时,通过比较 ΔSO_{ij} 大小来说明不同的环境条件下不同种属的发展衰退状况。ΔSO_{ij} 为正值时,表明该种属处于发展状态,为负值时则为衰退状态,为 0 时则表明该种属为中型种(王翠红等,2004)。为了确定不同时期优势种对生境条件的生态响应状况,本文根据生态位宽度计算了生态响应速率,计算结果如表 4 所示。

夏季,只有舟形藻的生长空间在缩小,处于衰退状态,属衰退型,其它优势种均处于发展状态,其中小席藻的发展空间最大,其次是螺旋藻。

冬季,针杆藻、单鞭金藻、卵形隐藻处于衰退状态,衰退空间不大,其它优势种均处于发展状态,其中小席藻的发展空间最大。

2.4 乌梁素海浮游植物种群生态位分化

首先对乌梁素海浮游植物优势种进行去趋势分析(DCA),得出4个轴长度最大值为2.501,虽然最长梯度小于3,根据线性模型是单峰模型一种特例,所以分析中选择单峰模型CCA分析是合适的。乌梁素海浮游植物种类组成与各项环境因子之间的CCA分析见图4和表5。

表4 乌梁素海优势种的生态响应速率

Tab.4 Ecological response rate of dominant phytoplankton species in Wuliangsuhai Lake

优势种编号	夏季 ΔSO_{ij}	夏季 R	冬季 ΔSO_{ij}	冬季 R
1	10.901	0.335	5.659	0.459
2	0.927	3.948	–	–
3	7.536	0.295	–	–
4	3.522	1.170	4.482	0.290
5	2.489	0.775	1.301	1.891
6	2.515	1.467	–	–
7	1.431	1.775	–	–
8	4.012	0.446	1.294	1.832
9	0.285	7.368	-0.221	-24.072
10	-0.114	-9.561	0.497	4.024
11	4.439	0.511	-0.237	-14.430
12	4.179	0.778	-1.101	-2.243
13	0.861	2.671	0.492	10.244

CCA排序中的环境因子温度(T)、盐度(Sal)、总氮(TN)、总磷(TP)、总溶解固体(DSS)、悬浮物(SS)、叶绿素a(Chl-a)、化学需氧量(COD)和pH值共解释了浮游植物群落种类组成55.5%的总变异。轴1和轴2的特征值分别为0.582和0.444,分别解释了总变异的20.2%和15.4%;轴1和轴2的种类-环境相关系数分别为0.969和0.945,表明这9个环境因子与浮游植物群落存在显著的相关性。颤藻、绿球藻和尾裸藻适宜于富营养化水体,图4说明其受营养盐TN和TP影响最大。

结合各环境因子与排序轴的相关性大小(表5),分析图4可知,CCA轴1基本反映了DSS(0.7207)、Sal(0.7133)、COD(0.468)和Chl-a(-0.3072)的梯度变化,DSS、Sal和COD逐渐增加,与轴1呈极显著性正相关;而Chl-a逐渐下降,与轴1呈显著性负相关。轴2基本反映了TP(0.5032)、T(0.7229)和SS(-0.8295)的梯度变化,沿轴2从下到上,TP和T逐渐增加,与轴2呈极显著性正相关;SS逐渐减少,与轴2呈极显著性负相关。浮游植物种类除4种分布在排序图的右侧外,其余大部分种类集中分布在排序图的左侧,说明大部分浮游植物种类的适盐性较低,丰度随盐度增加而减少。梅尼小环藻、栅藻、衣藻、单鞭金藻和卵形隐藻等与轴1的距离最近,表明这些种受总溶解固体浓度和盐度的影响最大,水体叶绿素a浓度增加的主要贡献者。分布在图4右侧上方的小席藻和螺旋藻受温度影响最大;硅藻门的舟形藻与水体中环境因子的相关性较低,与其他浮游植物种类之间的距离较远。分布在右侧下方的硅藻门的针杆藻,受水体pH值影响最大,与水体中其他环境因子相关性很低。

表5 乌梁素海浮游植物优势种CCA分析结果

Tab.5 Canonical correspond analysis(CCA) of dominant phytoplankton species in Wuliangsuhai Lakee

轴	特征值	种类-环境相关系数	种类变量累积率	种类-环境相关性累积率	总特征值	总典范特征值
1	0.582	0.969	20.2	29.8	2.879	1.950
2	0.444	0.945	35.6	52.6		
3	0.351	0.898	47.8	70.6		
4	0.222	0.810	55.5	82.0		

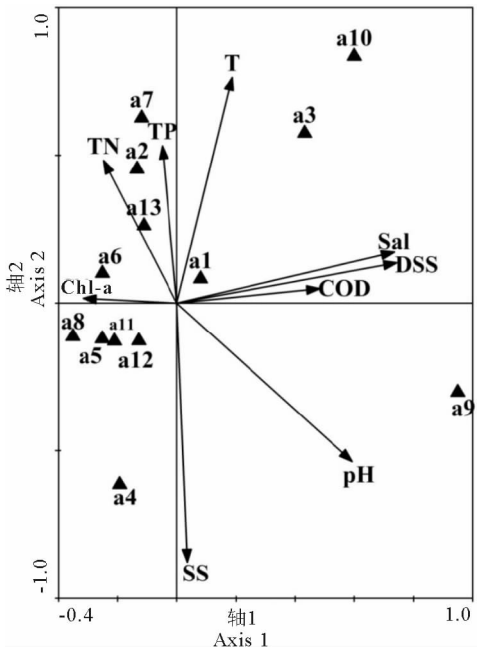

图4 乌梁素海浮游植物优势种典范对应排序

Fig.4 CCA ordination diagram of dominant phytoplankton species and relationship to environmental parameters in Wuliangsuhai Lake

3 讨论

3.1 浮游植物优势种的生态位宽度

生态位越宽,表示物种对环境中各种资源的利用能力越强,其在环境中的竞争能力就越强,被特化的程度就越小,即为广布种或是泛化种;生态位越窄,其对环境中各种资源的利用能力越弱,在环境中的竞争能力越小,被特化的程度就越大,即特化种,

通常可作为水域的指示种。在现代生态学研究中,使用生态位宽度表示物种占有生境资源的数量及其空间分布状况,在不同季节,生态位宽的优势种分布广、密度大,适应生境变化的能力也强。在夏季,乌梁素海绿藻门的小空星藻和栅藻、蓝藻门的小席藻和颤藻生态位较宽,这些藻种在夏季的全湖内均有分布,且在各个分布点上的密度也最大,说明对夏季的生境适应性也强。这与乌梁素海发生水华时绿藻门藻种暴发的情况一致。冬季硅藻门的针杆藻和裸藻门的尾裸藻生态位较宽,在全湖的密度最大,非常适应冬季的温度,占据资源的点位和数量较大。生态位窄的优势种分布相对集中、密度不大,适应生境变化的能力也较弱,夏季乌梁素海优势种的衣藻、梅尼小环藻和舟形藻的生态位较窄,不能分布在各个监测点位上,对生境的适应能力较差。这些藻种的生态位在冬季也很窄,表明占据资源点位和出现的时间相对集中。

孟东平等(2006)利用生态位理论研究汾河太原段清洁河段与污染河段中优势种的生态位宽度和生态位重叠指数,发现优美曲壳藻(*Achnanthes delicatula*)是清洁河段生态位最宽的藻种,而中间菱形藻(*Nitzschia intermedia*)和纤维藻属(*Ankistrodesmus*)是污染河段生态位最宽的藻种,同时生态位重叠指数表明清洁河段中藻类对资源的利用明显高于污染河段,即污染河段的藻类分化现象明显;不同污染程度的巢湖东区和西区,其同一浮游植物种的生态位宽度存在较大差异(汪志聪等,2010;WANG et al,2012)。因此可以利用同一物种在不同营养状态下生态位宽度变化的特性,将物种作为水体的指示种具有一定的意义。

本次研究表明,夏季的小空心藻、栅藻、小席藻和颤藻,冬季的针杆藻和尾裸藻的生态位较宽,与其他藻种相比更有竞争能力,能更好地利用环境资源。无论夏季还是冬季,衣藻、梅尼小环藻和舟形藻的生态位均较窄,说明在不同的季节,相应较宽生态位的藻种此时分泌化感物质和水生植物竞争抑制了其生长,这些较宽生态位的藻种对衣藻、梅尼小环藻和舟形藻产生了很大的竞争压力,影响其对资源的利用。这也决定了生态位较窄的优势种,在适合自己生长的生境条件下分布范围也较窄,也有可能是共同的生境特殊因子对该优势种的数量和分布起到了抑制作用。

3.2　浮游植物优势种生态位重叠

在现代生态学研究中,使用生态位重叠表示物种或物种之间对资源的利用情况和对生境适应能力的相似程度以及物种分布地段的交错程度。当 2 个物种利用同一资源或共同占有某一资源因素(食物、营养成分、空间等)时,就会出现生态位重叠现象,生态位重叠指数是生态位测度的另一个指标。通过对不同物种生态位重叠指数的计算,来反映物种之间对相同环境资源的利用情况。生态位重叠指数越大,表示不同物种对相同资源的分享程度及适应环境的相似性就越大。优势种的分布状况与生态位的重叠程度关系密切。

不同季节中衣藻与针杆藻、针杆藻与舟形藻生态重叠指数的变化,说明夏季与冬季环境资源的差异较大,引起了藻种生态位的变化,从而导致生态重叠指数的变化。夏季的小席藻与螺旋藻、小席藻与绿球藻、衣藻与针杆藻、针杆藻与舟形藻和冬季的衣藻与栅藻、舟形藻与卵形隐藻的生态位重叠指数均较高,说明优势种之间在资源利用上竞争激烈,且占据竞争优势。无论是冬季还是夏季,衣藻与针杆藻和栅藻,舟形藻与卵形隐藻和针杆藻生态位重叠较高,在不同时期和不同分布点位均有分布,且分布数量和占据资源较多,竞争压力也大。夏季和冬季造成衣藻数量较少的原因很可能是衣藻与针杆藻、栅藻在资源竞争过程中受到较强的抑制作用所致。由于藻种的生态位与资源状态息息相关,当环境资源比较丰富的时候,物种间的生态位一般不会发生变化,当其共同需要的环境资源贫乏时,物种间由于竞争利用资源,使得其生态位发生改变,同时生态重叠指数也发生变化。

在复杂的生态环境中,浮游植物群落的生态位总是倾向于分享其他物种的基础生态位部分,引起了几种物种对资源的共同需求,使得不同物种的生态位处于不同程度的重叠现象,当 2 种或 2 种以上物种出现生态位重叠并产生竞争压力的时候,如果资源不充足,生态位重叠的物种间就会产生竞争,这也导致了不同物种生态位重叠的情况显著影响着一定生境下的浮游植物群落结构。

在乌梁素海,衣藻与针杆藻、针杆藻与舟形藻的生态重叠指数夏季与冬季相差很大,这种变化是由于生境条件发生变化导致的,竞争关系随着环境的变化也产生了波动,同时也决定了夏季和冬季浮游植物群落结构的变化,相对条件下,生境条件的变化也是冬季硅藻门数量多于夏季的主要原因,这与郭坤等(2016)研究结果一致。

参考文献

董全民,赵新全,马玉寿,等,2006. 放牧对高寒小嵩草草甸冷季草场主要植物种群的生态位的影响[J]. 中国草地学报,28(6):10-17.

杜道林,苏杰,刘玉成,1997. 栲树种群生态位动态研究[J]. 应用生态学报,8(2):113-118.

郭坤,杨德国,彭婷,等,2016. 湖北省长湖浮游植物优势种生态位分析[J]. 湖泊科学,28(4):825-834.

黄祥飞,陈伟民,蔡启铭,2000. 湖泊生态调查观测与分析[M]. 北京:中国标准出版社.

焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等,2011. 渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位[J]. 生态学报,31(14):3928-3936.

孟东平,王翠红,辛晓芸,等,2006. 汾河太原段水体浮游藻类生态位的研究[J]. 环境科学与技术,29(10):95-97.

汪志聪,吴卫菊,左明,等,2010. 巢湖浮游植物群落生态位的研究[J]. 长江流域资源与环境,19(6):685-691.

王翠红,张金屯,2004. 汾河水库及河道中优势硅藻生态位的研究[J]. 生态学杂志,23(3):58-62.

王国良,吴波,杨秋玲,等,2014. 济南市五峰山地区灌草丛草地植被生态位研究[J]. 中国农学通报,30(1):68-72.

夏霆,陈静,曹方意,等,2014. 镇江通江城市河道浮游植物优势种群生态位分析[J]. 长江流域资源与环境,23(3):345-350.

徐春燕,俞秋佳,徐国洁,等,2012. 淀山湖浮游植物优势种生态位[J]. 应用生态学报,23(9):2550-2558.

徐凤洁,俞秋佳,王昊彬,2014. 淀山湖夏秋季浮游植物优势种生态特征分析[J]. 华东师范大学学报(自然科学版),(6):90-100.

徐晓群,曾江宁,陈全震,等,2013. 浙江三门湾浮游动物优势种空间生态位[J]. 应用生态学报,24(3):818-824.

张金屯,2011. 数量生态学(第2版)[M]. 北京:科学出版社.

郑伟,董全民,李世雄,等,2013. 放牧对环青海湖高寒草原主要植物种群生态位的影响[J]. 草业科学,30(12):2040-2046.

朱耿平,刘国卿,卜文俊,等,2013. 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用[J]. 生物多样性,21(1):90-98.

Abtams P A, 1987. Alternative models of character displacement and niche shift Ⅰ: Adaptive shifts in resource use when there is competition for nutritionally nonsubstitutable resources[J]. Evolution, 41(3):651-661.

WANG Z C, LI Z J, LI D H, 2012. A niche model to predict Microcystis bloom decline in Chaohu Lake, China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 30(4):587-594.

Whittaker R H, 1967. Gradient analysis of vegetation[J]. Biological Reviews, 42(2):207-264.

Whittaker R H, Levin S A, Root R B, 1973. Niche, habitat and ecotype[J]. American Naturalist, 107(5):3321-3381.

(责任编辑 万月华)

Ecological Niche Analysis of Dominant Phytoplankton Species in Wuliangsuhai Lake, Inner Mongolia

LI Xing[1], LI Jian-ru[2], LI Chang-you[3]

(1. Inner Mongolia Engineering Research Center for Water-saving Agriculture, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, P. R. China;
2. Inner Mongolia Technical College of Mechanics and Electrics, Hohhot 010017, P. R. China;
3. College of Water Resources and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, P. R. China)

Abstract: Ecological niche is a fundamental theory of modern ecology and two important aspects are niche breadth and niche overlap. The concept applies to ecological differentiation within a population across an environmental gradient. The objective of this study was to explore phytoplankton community structure and the relationships between species and utilization of environmental resources in Wuliangsuhai Lake. Niche breadth and overlap of dominant summer and winter phytoplankton species in Wuliangsuhai Lake were analyzed using the formulations of Levin and Petraitis. In July 2011 and February 2012, phytoplankton sampling was carried out from 09 : 00 to 15 : 00 at 10 sampling sites on Wuliangsuhai Lake. Sites were located at the lake entrance and exit, the different morphological sections, water functional areas and hydrologic controls. A total of 40 phytoplankton belonging to 35 genera and 7 phyla were identified during the investigation, with significant variation in species composition between summer and winter. In summer, 37 phytoplankton species from 33 genera were observed with dominance by Chlorophyta (15 species, 14 genera), while in winter, 24 species from 21 genera were observed with dominance by Chlorophyta (8species, 7 genera) and Bacillariophyta (6 species, 6 genera). The total phytoplankton density was $(3.62 \pm 4.12) \times 10^7$ cell/L in summer and $(1.32 \pm 0.98) \times 10^7$ cell/L in winter, with an average value of $(2.47 \pm 3.14) \times 10^7$ cell/L over the two seasons. The niche breadth of *Coelastrum microporum*, *Scenedesmus mey*, *Phormidium tenu*, *Oscillatoria vauch* (>3.6) was relatively wide in summer and the niche breadth of *Synedra ehrenberg*, *Euglena caudate* (>5.0) was wide in winter, indicating that *Coelastrum microporum*, *Scenedesmus mey*, *Phormidium tenu*, *Oscillatoria vauch* had broader tolerances and better use of environmental resources in summer, while *Synedra ehrenberg*, *Euglena caudate* were more competitive in winter. Niche overlap for the same species was significantly different between summer and winter. Analysis of the ecological response rate indicates that the growth space of dominant species in summer expanded, except for *Navicula bory*, and the growth space of *Phormidium tenu* was largest, followed by *Spirulina princeps*. The growth space of *Synedra ehrenberg*, *Monochrysis skuja*, and *Cryptomonas ovata* receded in winter and the growth space of *Phormidium tenu* was largest. Canonical correspondence analysis (CCA) shows that the growth of *Phormidium tenu* and *Spirulina princeps* depended strongly on water temperature and *Synedra ehrenberg* growth depends more on pH. The abundance of most phytoplankton species decreased with increased salt concentration.

Key words: phytoplankton; dominant species; ecological niche; Wuliangsuhai Lake