宁夏沙湖浮游植物群落结构及多样性研究

邱小琮[1,2],赵红雪[1]

(1. 宁夏大学生命科学学院,宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学土木与水利工程学院,宁夏 银川 750021)

摘要:于2008年4月-2009年1月对宁夏沙湖浮游植物的种类组成、密度、生物量、优势种以及物种多样性进行了分析研究,并依据浮游植物种类组成和密度,对浮游植物群落结构进行了聚类分析(Cluster Analysis,CA)和多维分析(Multidimensional scaling, MDS)。结果表明,沙湖浮游植物共有8门94属117种,种类构成比例为绿藻49.6%、硅藻21.6%、蓝藻16.0%和其它12.8%。春季优势种的种类较多,蓝、硅、绿藻均有,夏、秋季蓝藻占绝对优势,冬季以绿藻为主。浮游植物种类、密度、生物量和分布依季节而异,高峰期出现在7月,低谷期出现于1月。Margalef指数2.872~4.652, Shannon指数2.058~3.057,均匀度指数0.521~0.759,综合评价沙湖水体为中富营养水平。浮游植物群落结构春、夏、冬季聚为3类,秋季聚为2类,除春季外,MDS分析结果和聚类分析结果一致,支持和证实了聚类分析的结果,很好地揭示了沙湖各季节、各样点间浮游植物群落结构的相似性与差异性。

关键词:沙湖;浮游植物;群落结构;季节变化;多样性指数;聚类分析;多维分析

中图分类号:Q948.1 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-3075(2011)01-0020-07

浮游植物是湖泊水生生物的主要组成部分之一,在水生生态系统中起着极为重要的作用,是水生生态系统生产过程的最初和基础环节,其组成与多样性的变化将直接影响到生态系统的结构与功能。浮游植物的群落结构及其生长量受水体生态环境的直接影响,对水体环境的变化极为敏感,其种类和数量的变化可以反映水质状况(许金花等, 2007)。

宁夏沙湖是我国西部地区著名的风景名胜区,地处贺兰山麓,是宁夏最大的天然半咸水湖泊,总面积45.1 km^2,其中湖水面积8.2 km^2,平均水深2.2 m,含盐量4.3 g/L。沙湖自然景观秀丽独特,1998年被列为国家级自然风景保护区。近年来随着当地工农业经济的发展,过量营养盐进入沙湖,致使沙湖的水质发生了剧烈的变化,目前,沙湖水体已呈现出富营养化状况(宁夏回族自治区环境保护局,2002-2005)。

本研究于2008年4月-2009年1月对沙湖的浮游植物进行了定性和定量的分析和研究,旨在了解沙湖水体浮游植物的种类、组成及其季节变化的特点和规律,为沙湖富营养化评价与治理、水域环境保护以及资源合理开发利用提供生物学依据和基础数据。

收稿日期:2010-06-24 **收修改稿日期**:2010-12-14

基金项目:宁夏自然科学基金项目(NZ0829)。

作者简介:邱小琮,1971年生,男,在读博士,副教授,主要从事水环境科学研究。E-mail:qxc7175@126.com

1 材料和方法

1.1 采样站点设置

根据沙湖的形状,在沙湖设置了5个采样点,分别为老渔场(Ⅰ)、进水口(Ⅱ)、十一队(Ⅲ)、湖中心(Ⅳ)和鸟岛(Ⅴ)(图1)。于2008年4月(春)、7月(夏)、10月(秋)和2009年1月(冬)对沙湖水体中的浮游植物进行定性和定量分析。

1.2 浮游植物标本采集与鉴定

浮游植物的标本采集包括定性和定量2种(黄祥飞等,1999),定性标本用25号浮游生物网采集,现场用鲁哥氏液固定。定量标本用1 L采水器采集,现场用鲁哥氏液固定,经24 h沉淀浓缩至200 mL,再经24 h浓缩至50 mL,然后每50 mL加入2 mL甲醛保存。每瓶样品贴上标签,标明采样地点、日期和点号。浮游植物定性标本一般鉴定到种,至少到属(大连水产学院,1982;梁象秋等,1996;周凤霞和陈剑虹,2005;胡鸿钧和魏印心,2006)。定量标本使用0.1 mL的计数框于显微镜下进行浮游植物计数(黄祥飞等,1999),由其推算出原水体中的浮游植物密度及生物量。

1.3 优势种确定

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。优势度计算公式:$Y=f_iP_i$,式中:Y是优势度,f_i是第i物种的出现频率,P_i是第i物种个体数占总个体数量的比例,当$Y\geqslant 0.02$时,确定为优势种(徐兆礼和陈亚瞿,1989)。

1.4　物种多样性分析

物种多样性是衡量群落稳定性的一个重要尺度。目前,使用的多样性指数很多,为了较全面地说明沙湖浮游植物的群落结构特征,选取了 3 个多样性指数公式(张婷等,2009)。

①Gleason 和 Margalef 物种丰富度指数(d)

$d = (S-1)/\ln N$

式中:S – 种类数;N – 个体数。

②Shannon-Wiener 物种多样性指数(H') $H' = -\Sigma(n_i/N)\ln(n_i/N)$

式中:n_i – 第 i 种浮游植物的个体数;N – 浮游植物总个体数。

③均匀度指数(e)

$e = H'/\ln S$

式中:H' – Shannon-Wiener 指数;S – 种类数。

1.5　群落结构分析

采用聚类分析(Cluster Analysis,CA)和多维尺度分析(Multidimentional scaling,MDS)方法进行群落结构分析,聚类分析运用 DPS 9.50 软件,多维尺度分析运用 SPSS 13.0 软件。为避免种类检出的偶然性,平衡优势种和稀有种对整个群落影响的权重等,聚类分析和多维分析挑选出现率大于 10% 的种类作为物种变量,并对原始数据做 4 次开方处理(李喆等,2008),然后再计算分析。

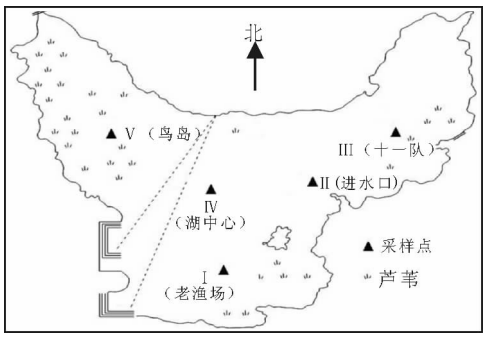

图 1　宁夏沙湖采样点分布

Fig. 1　Locations of sampling sites in Shahu Lake, Ningxia

2　结果

2.1　沙湖浮游植物的种类组成及季节变化

2.1.1　种类组成　共采集到浮游植物 117 种(仅鉴定到属的按 1 种计算),隶属于 8 门 94 属。其中,以绿藻门种类最多,44 属 62 种,占总种类数的 49.6%;硅藻门次之,19 属 27 种,占 21.6%;蓝藻门 14 属 20 种,占 16.0%;裸藻门 5 属 7 种,占 5.6%;金藻门 4 属 4 种,占 3.2%;甲藻门 3 属 3 种,占 2.4%;隐藻门 2 属 2 种,占 1.6%;黄藻门 1 属 1 种,占 0.8%。

沙湖各季节浮游植物组成见表 1。沙湖浮游植物在四季中变化很大,秋季种类数最多,冬季最少;在同一季节中绿藻门的种类数最多,其次是硅藻门和蓝藻门;在各样点间浮游植物种类也有差异,Ⅱ样点的浮游植物种类最多,Ⅰ样点最少;各样点都是绿藻物种最多,其次是硅藻和蓝藻,黄藻最少。

2.1.2　优势种　沙湖浮游植物的优势种主要以蓝藻门的色球藻(*Chroococcus* sp.)、针状蓝纤维藻(*Dactylococcopsis acicularis*)、针晶蓝纤维藻(*D. rhaphidioides*)和绿藻门的小球藻(*Chlorella vulgaris*)、衣藻(*Chlamydomonas* sp.)以及硅藻门的尖针杆藻(*Synedra acus*)为主,不同样点或同一样点不同季节,其优势种和优势类群有所不同(表 2)。

2.1.3　密度与生物量　沙湖浮游植物的密度与生物量见表 3。沙湖春季蓝藻密度最高,其次为硅藻和绿藻;夏季蓝藻占绝对优势,绿藻和硅藻密度也较高;秋季蓝藻依然占绝对优势,绿藻和硅藻次之;冬季绿藻密度最高,其次为硅藻、隐藻和蓝藻。Ⅱ号样点全年浮游植物平均密度最小,其变幅为 140.10×10^4 ~ $1\ 452.10\times10^4$ 个/L,平均为 774.23×10^4 个/L。Ⅴ号样点全年浮游植物平均密度最大,其变幅为 189.60×10^4 ~ $2\ 100.90\times10^4$ 个/L,平均为 $1\ 183.85\times10^4$ 个/L。最低密度出现在冬季Ⅱ号样点,为 140.01×10^4 个/L,最高密度出现在夏季Ⅴ号样点,为 $2\ 100.90\times10^4$ 个/L。

浮游植物生物量变化幅度为 1.494 ~ 7.792 mg/L,各样点年度平均生物量为 3.164 ~ 5.484 mg/L。Ⅴ号样点最高,为 5.484 mg/L,Ⅱ号样点最低,为 3.164 mg/L。各样点中,浮游植物生物量最低出现在冬季的Ⅲ号样点,为 1.494 mg/L,最高点出现在夏季的Ⅴ号样点,为 7.792 mg/L。春季硅藻生物量最高,其次为绿藻、裸藻和蓝藻。夏季蓝藻生物量最高,其次为硅藻、甲藻和绿藻。秋季浮游植物生物量依次为蓝藻、硅藻、绿藻和甲藻。冬季绿藻生物量最高,其次为硅藻和隐藻。

2.2　沙湖浮游植物多样性

沙湖的 Margalef 指数变动范围为 2.872 ~ 4.652,平均为 3.548,秋季最高,夏季最低。Ⅱ号样点的值相对较高,年平均值 4.006,Ⅰ号样点最低,年平均值 3.206。Shannon 指数变动范围为 2.058 ~ 3.057,平均值 2.548,春季最高,夏季最低,5 个样点差别不大。均匀度指数为 0.521 ~ 0.759,平均值 0.635,春季最高,夏季最低。

表1 宁夏沙湖各季节浮游植物种类组成

Tab.1 Species component of phytoplankton of each season in Shahu Lake, Ningxia

季节	项目	合计	绿藻	硅藻	蓝藻	裸藻	金藻	甲藻	隐藻	黄藻
春季	种数	89	45	23	11	7	2	0	0	1
	比例/%	100.0	50.6	25.8	12.4	7.9	2.2	0.0	0.0	1.1
夏季	种数	79	40	20	16	1	0	1	1	0
	比例/%	100.0	50.6	25.3	20.3	1.3	0.0	1.3	1.3	0.0
秋季	种数	100	45	26	13	7	4	2	2	1
	比例/%	100.0	45.0	26.0	13.0	7.0	4.0	2.0	2.0	1.0
冬季	种数	70	32	20	5	6	3	1	2	1
	比例/%	100.0	45.7	28.6	7.1	8.6	4.3	1.4	2.9	1.4

表2 宁夏沙湖浮游植物优势种

Tab.2 Dominant phytoplankton species in Shahu Lake, Ningxia

种类		春季	夏季	秋季	冬季
蓝藻门 Cyanophyta	色球藻 *Chroococcus* sp.	+	+	+	
	针晶蓝纤维藻 *Dactylococcopsis rhaphidioides*	+			
	针状蓝纤维藻 *D. acicularis*	+	+	+	
	弯形尖头藻 *Raphidiopsis curvata*		+	+	
	小席藻 *Phormidium tenue*			+	
	水华束丝藻 *Aphanizomenon flos-aquae*		+		
	为首螺旋藻 *Spirulina princeps*			+	
隐藻门 Cryptophyta	啮蚀隐藻 *Cryptomonas erosa*				+
	尖尾蓝隐藻 *Chroomonas acuta*				+
金藻门 Chrysophyta	棕鞭藻 *Ochromonas* sp.				+
硅藻门 Bacillariophyta	梅尼小环藻 *Cyclotella meneghiniana*	+			
	颗粒直链藻 *Melosira granulata*				+
	尖针杆藻 *Synedra acus*	+	+		+
	连结脆杆藻 *Fragilaria construens*	+			
	波形羽纹藻 *Pinnularia undulata*	+			
	美丽星杆藻 *Asterionella formosa*	+			
绿藻门 Chlorophyta	小球藻 *Chlorella vulgaris*	+			+
	镰形纤维藻 *Ankistrodesmus falcatus*	+			
	膨胀四角藻 *Tetraedron tumidulum*	+	+		
	四尾栅藻 *Scenedesmus quadricauda*				+
	衣藻 *Chlamydomonas* sp.	+		+	+

表3 宁夏沙湖浮游植物密度与生物量

Tab.3 Density and biomass of phytoplankton in Shahu Lake, Ningxia

种类	春季		夏季		秋季		冬季	
	密度/ 10^4 个·L^{-1}	生物量/ mg·L^{-1}	密度/ 10^4 个·L^{-1}	生物量/ mg·L^{-1}	密度/ 10^4 个·L^{-1}	生物量/ mg·L^{-1}	密度/ 10^4 个·L^{-1}	生物量/ mg·L^{-1}
蓝藻 Cyanophyta	268.78	0.266	1 400.30	2.102	1 008.52	1.457	9.58	0.045
隐藻 Cryptophyta	0	0	17.12	0.017	20.66	0.119	16.98	0.100
甲藻 Pyrrophyta	0	0	2.16	1.080	2.22	1.013	0.96	0.048
金藻 Chrysophyta	3.66	0.074	0	0	10.02	0.069	8.52	0.072
黄藻 Xanthophyta	0.60	0.001	0	0	0.54	0.001	0.54	0.001
硅藻 Bacillariophyta	166.96	1.892	122.42	1.396	101.20	1.230	33.24	0.475
裸藻 Euglenophyta	6.50	0.545	2.46	0.246	3.48	0.260	1.20	0.095
绿藻 Chlorophyta	142.94	0.954	164.46	0.999	131.58	1.036	88.66	0.805
总计	589.44	3.731	1 708.92	5.840	1 278.22	5.186	159.68	1.641

2.3 沙湖浮游植物群落结构

2.3.1 聚类分析 图2~图5为沙湖4个季节浮游植物的聚类分析。春季聚类分析把沙湖5个不同样点的浮游植物分为3个类群,类群1(Ⅰ、Ⅴ样点)平均浮游植物密度为634.15×10^4 个/L,平均种类数55;类群2(Ⅲ样点)浮游植物密度为664.10×

10^4 个/L,种类数 62;类群 3(Ⅱ、Ⅳ 样点)平均浮游植物密度为 507.40 × 10^4 个/L,平均种类数 55。

表 4　宁夏沙湖浮游植物多样性指数

Tab. 4　Diversity index of phytoplankton in Shahu Lake, Ningxia

季节	多样性指数	采样点 Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	平均值
春季	*D*	3.353	3.889	3.365	3.366	3.482	3.491
	H	2.883	2.928	3.019	2.882	3.057	2.954
	e	0.726	0.712	0.732	0.726	0.759	0.731
夏季	*D*	3.061	3.456	3.061	3.571	2.966	3.223
	H	2.058	2.136	2.168	2.155	2.140	2.1314
	e	0.521	0.526	0.549	0.526	0.544	0.5334
秋季	*D*	3.539	4.652	4.089	3.762	3.601	3.929
	H	2.321	2.423	2.461	2.372	2.343	2.384
	e	0.569	0.559	0.583	0.575	0.570	0.571
冬季	*D*	2.872	4.028	3.152	3.103	3.113	3.254
	H	2.559	2.799	2.818	2.616	2.812	2.721
	e	0.685	0.689	0.736	0.687	0.734	0.706

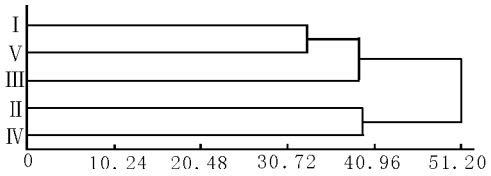

图 2　沙湖春季浮游植物群落聚类

Fig. 2　Cluster analysis of phytoplankton community in Shahu Lake in spring

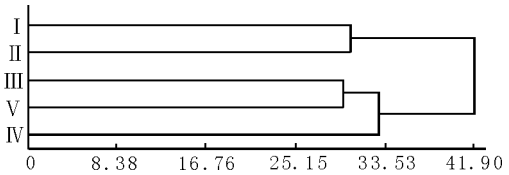

图 3 沙湖夏季浮游植物群落聚类

Fig. 3　Cluster analysis of phytoplankton community in Shahu Lake in summer

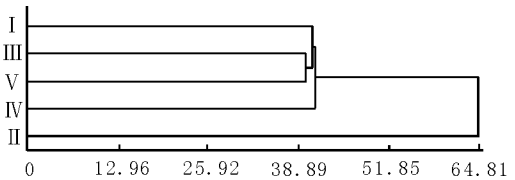

图 4 沙湖秋季浮游植物群落聚类

Fig. 4　Cluster analysis of phytoplankton community in Shahu Lake in autumn

夏季可分为 3 个类群,类群 1(Ⅰ、Ⅱ样点)平均浮游植物密度为 1 587.40 × 10^4 个/L,平均种类数 55;类群 2(Ⅲ、Ⅴ样点)平均浮游植物密度为 1 935.45 × 10^4 个/L,平均种类数 52;类群 3(Ⅳ样点)浮游植物密度为 1 498.90 × 10^4 个/L,种类数 60。

秋季可分为 2 个类群,类群 1(Ⅰ、Ⅲ、Ⅴ和Ⅳ样点)平均浮游植物密度为 1 347.20 × 10^4 个/L,平均种类数 62;类群 2(Ⅱ样点)浮游植物密度为 1 002.30 × 10^4 个/L,种类数 76。

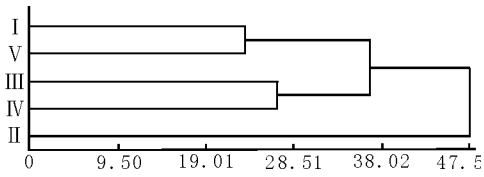

图 5 沙湖冬季浮游植物群落聚类

Fig. 5　Cluster analysis of phytoplankton community in Shahu Lake in winter

冬季可分为 3 个类群,类群 1(Ⅰ、Ⅴ样点)平均浮游植物密度为 173.95 × 10^4 个/L,平均种类数 44;类群 2(Ⅲ、Ⅳ样点)平均浮游植物密度为 155.20 × 10^4 个/L,平均种类数 46;类群 3(Ⅱ样点)浮游植物密度为 140.10 × 10^4 个/L,种类数 58。

聚类结果表明,类群内各样点浮游植物群落的相似性较高,类群间差异明显。

2.3.2　多维尺度分析　图 6 ~ 图 9 为沙湖 4 个季节浮游植物组成的 MDS 图。春季,5 个样点的种类可以分成 4 个类群,类群 1(Ⅰ、Ⅴ样点)、类群 2(Ⅲ样点)、类群 3(Ⅳ样点)和类群 4(Ⅱ样点),夏、秋、冬季多维尺度分析结果与聚类分析的结果一致。多维尺度分析的结果清楚地显示了各样点浮游植物群落的距离(即相似性),并且表明各季节各类群间浮游植物群落的组成存在明显的差异。

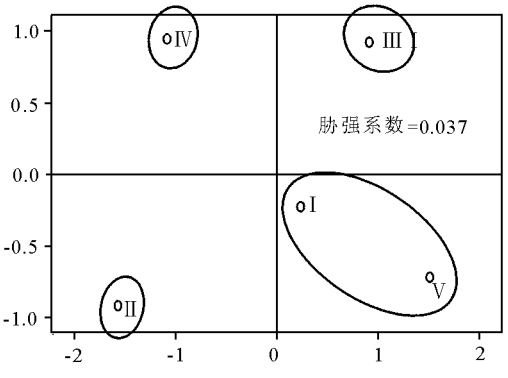

图 6　沙湖春季浮游植物群落多维尺度标序

Fig. 6　Multidimensioual Scaliny (MDS) ordination of phytoplankton community in Shahu Lake in spring

3　讨论

3.1　沙湖浮游植物的种类、密度和生物量

沙湖浮游植物以蓝、绿和硅藻为 3 大优势藻群,且蓝藻占绝对优势,3 种藻类种数占总种数的

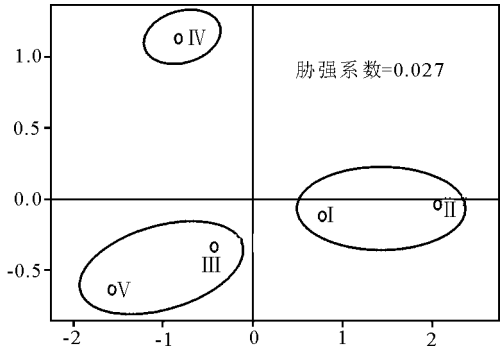

图7 沙湖夏季浮游植物群落多维尺度标序

Fig. 7 Multidimensioual Scaliny (MDS) ordination of phytoplankton community from Shahu Lake in summe

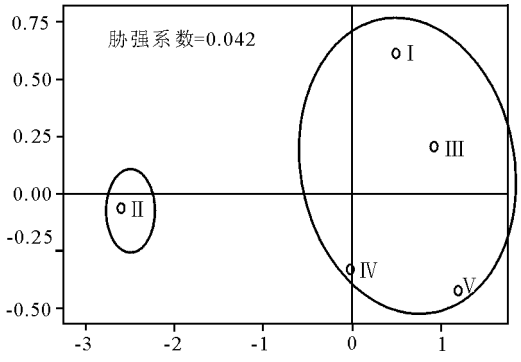

图8 沙湖秋季浮游植物群落多维尺度标序

Fig. 8 Multidimensioual Scaliny (MDS) ordination of phytoplankton community from Shahu Lake in autumn

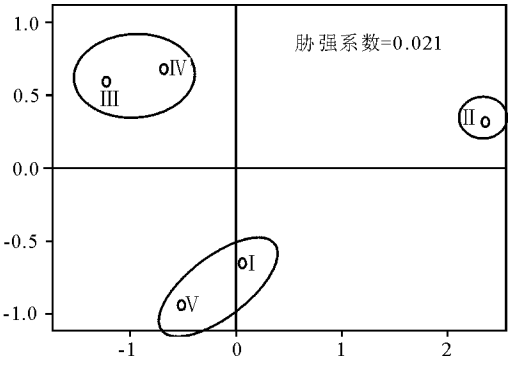

图9 沙湖冬季浮游植物群落多维尺度标序

Fig. 9 Multidimensioual Scaliny (MDS) ordination of phytoplankton community from Shahu Lake in winter

87.2%，因此，沙湖浮游植物类型属于蓝—绿—硅藻型。沙湖浮游植物种类季节变化明显，冬季种类数最少，秋季最多。蓝藻在春、夏、秋季密度最大，夏秋季节数量达到顶峰，其数量的剧增直接决定浮游植物密度的增加。绿藻和硅藻数量对沙湖浮游植物组成的变化影响也较大，冬季时蓝藻数量骤减，主要优势种多为绿藻和硅藻。浮游植物在不同的季节其组成有明显的变化，原因主要是水环境因素的影响，不同季节水体的温度、光照、溶解氧和营养盐水平等均有差异，而不同的门类对环境条件的适应情况有所差别，因而造成了沙湖浮游植物组成和分布的变化。

沙湖夏季浮游植物密度和生物量为全年最大，冬季最小，各样点之间差别不大。按国内有关评价湖泊富营养化标准（金相灿和屠清瑛，1990），浮游植物密度 $<3\times10^5$ 个/L 为贫营养型，$(3\sim10)\times10^5$ 个/L为中营养型，$>10\times10^5$ 个/L 为富营养型。浮游植物生物量与营养状态的关系为：<3 mg/L 为贫营养型，3～5 mg/L 为中营养型，5～10 mg/L 为富营养型，>10 mg/L 为极富营养型（沈韫芬等，1990）。沙湖浮游植物年平均密度为 $1\ 203.83\times10^4$ 个/L，变幅 159.68×10^4 个/L～$1\ 708.92\times10^4$ 个/L，年平均生物量为 4.099 mg/L，变幅 1.641～5.840 mg/L。根据浮游植物密度及生物量指标，沙湖处于中富营养状态。

3.2 沙湖浮游植物多样性

物种多样性指数是反映生物群落组成特征的参数，是衡量群落稳定性的一个重要尺度，它是由群落中生物的种类数和各个种的数量分布组成的，物种多样性指数越高，表明群落中的生物种类越多，食物链及群落结构越复杂，自动调节能力越强，群落越稳定。群落多样性可以用多个指数来表示，Shannon-Wiener 指数通常用于反映群落结构的复杂程度，Margalef 指数对物种数的依赖程度较强，它能充分反映物种种类的分布情况，均匀度反映各物种个体数目分配的均匀程度。因此，在选择多样性指数来研究浮游植物时需要慎重考虑，应选择多个指数进行评价。孙军等（2001）认为浮游植物多样性指数中，Shannon-Wiener 指数最为合理。本文应用 Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数和均匀度对沙湖浮游植物进行研究，从结果来看，3 个指数都可以较好表达沙湖浮游植物的多样性。

Margalef 多样性指数主要反映了群落物种的丰富度，当 $d>5$ 时为清洁水；$d=4\sim5$，水质轻度污染；$d=3\sim4$ 时，水质中度污染；$d<3$，水质重度污染（沈韫芬等，1990）。Shannon-Wiener 多样性指数反映了群落物种的多样性，H 值 0～1 为富营养，1～3 为中营养，大于 3 为贫营养（林碧琴和谢淑琦，1988）。均匀度指数有效地描述了种类之间个体分配的均匀性，e 值在 0～0.3 为重污染，0.3～0.5 为中污染，0.5～0.8 为轻污染或无污染（沈韫芬等，1990）。沙湖的各样点之间，物种的多样性差异不大，最低值均出现在 7 月，这是因为夏季水温升高，

湖水营养成分补充增加,造成蓝藻大量繁殖,优势明显,抑制了其它藻类的生长,从而使得多样性指数减小。一般说来,多样性指数越大,水质越好,因此,在沙湖各样点中,相对营养较丰富的鸟岛、老渔场和湖心区物种多样性指数较低,由以上 3 个指数判断,可以认为沙湖处于中富营养状态。

3.3　沙湖浮游植物群落结构

聚类分析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特征,通过距离测度值来表示样点间相似性,值越小越相似,越早聚为一类,越大则越不相似(李春喜等,2005)。从聚类结果可以看出,沙湖浮游植物的种群结构四季变化明显,季节不同,类群不同,浮游植物的种类和密度差异较大,而类群内各样点浮游植物群落的相似性较高,种类数与主要优势种组成基本相同。

MDS 可以直观地将群落标于多维坐标中,分析不同样点群落结构的距离关系(即相似性),在一定的相似性水平下,群落组成越相近的 2 个样点,在 MDS 图上代表它们的点距离越近;群落组成相差越远的 2 个样点,则代表它们的点在图上的距离就越远。从结果可见,MDS 各图形分析的胁强系数值均小于 0.05,吻合很好,可以正确解释样点间的相似关系。对照聚类分析图和 MDS 图,可以看出,除春季外,MDS 分析结果和聚类分析结果十分相似,表明 MDS 分析支持了聚类分析的结果,而且更直观地显示了类群之间的距离关系(即相似程度),可以较好地显示沙湖浮游植物群落结构。

参考文献

大连水产学院. 1982. 淡水生物学[M]. 山东:农业出版社.

胡鸿钧,魏印心. 2006. 中国淡水藻类:系统、分类及生态[M]. 北京:科学出版社.

黄祥飞,陈伟民,蔡启铭. 1999. 湖泊生态调查观测与分析[M]. 北京:中国标准出版社:72 – 74.

金相灿,屠清瑛. 1990. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京:中国环境科学出版社:286 – 302.

李春喜,姜丽娜,邵云,等. 2005. 生物统计学[M]. 3 版. 北京:科学出版社:287 – 290.

李喆,姜作发,马波,等. 2008. 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[J]. 中国水产科学, 15(6):984 – 990.

梁象秋,方纪祖,杨和荃. 1996. 水生生物学:形态和分类[M]. 北京:中国农业出版社.

林碧琴,谢淑琦. 1988. 水生藻类与水体污染监测[M]. 沈阳:辽宁大学出版社: 244 – 245.

宁夏回族自治区环境保护局. 2002-2005. 宁夏回族自治区环境质量报告书[R].

沈韫芬,章宗涉,龚循矩,等. 1990. 微型生物监测新技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社:119 – 130.

孙军,刘东艳,魏皓,等. 2001. 琉球群岛邻近海域浮游植物多样性的模糊综合评判[J]. 海洋与湖沼, 32(4): 445 – 453.

徐兆礼,陈亚瞿. 1989. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲐鲹渔场的关系[J]. 生态学杂志,7(4): 13 – 15.

许金花,潘伟斌,张海燕. 2007. 城市小型浅水人工湖泊浮游藻类与水质特征研究[J]. 生态科学, 26(1): 36 – 40.

张婷,李林,宋立荣. 2009. 熊河水库浮游植物群落结构的周年变化[J]. 生态学报, 29 (6) :2971 – 2979.

周凤霞,陈剑虹. 2005. 淡水微型生物图谱[M]. 北京:北学工业出版社.

(责任编辑　杨春艳)

Community Structure and Biodiversity of Phytoplankton in Shahu Lake, Ningxia

QIU Xiao-cong[1,2], ZHAO Hong-xue[1]

(1. Life Science College, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;
2. Colloge of Civill and Conservancy Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Based on the data in Shahu Lake in Ningxia province from Apr. 2008 to Jan. 2009, the species composition, phytoplankton density, phytoplankton biomass, seasonal variation and dominate species of the phytoplankton were discussed. Phytoplankton communities were studied by Cluster analysis and Multidimensional scaling. 8 phyla, 94 genera and 117 species of phytoplankton community in Shahu Lake were identified. The proportion of the community composition was Chlorophyta 49.6%, Bacillariophyta 21.6%, Cyanophyta 16.0%, and others 12.8%. The dominant species were some species of Cyanophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta in spring. Some species of Cyanophyta were the absolute dominant species in summer and autumn. The dominant species were some species of Chlorophyta in winter. The composition and distribution of the phytoplankton in Shahu Lake was different according to the variation of seasons. The seasonal variation of the phytoplankton in Shahu Lake was that the highest peaks appeared in July, and the lowest peaks appeared in January. Margalef index is between 2.872 – 4.652, Shannon index is between 2.058 – 3.057, Evenness index is between 0.521 – 0.759. The water body of Shahu Lake was near to medium eutrophication. The 5 stations can be separated into three groups in spring, summer, winter, and two groups in autumn by the cluster analysis based on the species composition. The results of cluster analysis were supported and confirmed by multidimensional scaling in each season but for spring, and showed the similarity and differences of each season and each station in Shahu Lake.

Key words: Shahu Lake; phytoplankton; community structure; seasonal variation; diversity index; cluster analysis; multidimensional scaling