

## 山西晋阳湖浮游藻类分布的时空格局及水质分析\*

郭春燕, 冯佳, 谢树莲\*\*

(山西大学生命科学学院, 太原 030006)

**摘要:** 对山西晋阳湖的浮游藻类进行了研究, 共发现 156 种及 11 变种, 隶属于 5 门, 25 科, 67 属。其中以绿藻门种类最多, 达 29 属 57 种 4 变种; 硅藻门次之, 17 属 34 种 6 变种; 蓝藻门和裸藻门分别为 15 属 32 种 1 变种和 5 属 31 种, 黄藻门最少, 只有 1 属 2 种。秋季浮游藻类种类最多, 冬季最少。浮游藻类细胞密度变化范围为  $2.84 \times 10^6 - 2.30 \times 10^9$  cells/L, 平均细胞密度为  $4.86 \times 10^8$  cells/L。每个季节水体的浮游植物细胞密度均已达到富营养化水平。多样性指数、均匀度指数均较低, 而优势度很高, 说明水体处于富营养状态, 污染严重。

**关键词:** 浮游藻类; 群落结构; 细胞密度; 富营养化; 晋阳湖

### Spatial and temporal distribution of phytoplankton and eutrophication biological assessment of Lake Jinyang in Shanxi, North China

GUO Chunyan, FENG Jia & XIE Shulian

(School of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, P. R. China)

**Abstract:** A total of 156 species and 11 varieties of phytoplankton species were identified from a shallow reservoir, Lake Jinyang, in Shanxi Province, North China, representing 5 divisions, 25 families and 67 genera. Among them, Chlorophyta was the dominant division, a total of 57 species and 4 varieties of 29 genera. The second domination was Bacillariophyta, 34 species and 6 varieties of 17 genera. The next dominations were followed by Cyanophyta and Euglenophyta, with 32 species and one variety of 15 genera and 31 species of 5 genera respectively. Xanthophyta was the least one, only 2 species of one genus. The number of species was highest in autumn and lowest in winter. The range of cell density was  $2.84 \times 10^6 - 2.30 \times 10^9$  cells/L and the average density was  $4.86 \times 10^8$  cells/L. The density of phytoplankton has reached the eutrophication level in every season. Both the diversity index and evenness index were low, but the dominant index was high. It was showed that this lake has become eutrophic and seriously polluted.

**Keywords:** Phytoplankton; community structure; cell density; eutrophication; Lake Jinyang

浮游藻类是重要的水生植物, 个体微小, 种类繁多, 作为物质代谢和能量循环的初级生产者, 对维持水生态系统的平衡起着十分重要的作用, 其生物量的多寡也直接左右着水体生态系统中其它水生生物的正常代谢<sup>[1]</sup>。它们的种类和数量变动与一些环境因素的变化有密切关系, 而且与水体营养状况也密切相关<sup>[2,4]</sup>, 因此, 浮游藻类被广泛应用于水质的生物学评价上。晋阳湖是华北地区最大的人工湖, 然而有关其藻类植物的研究报道却很少<sup>[5,6]</sup>。本文通过对山西省晋阳湖浮游藻类群落结构及季节变化的研究, 从生物学角度评价晋阳湖水质情况及发展趋势, 为发展经济的同时保护水体生态环境提出科学依据, 进而制定和采取切实可行的有效措施来控制水质恶化。

## 1 研究区域和方法

### 1.1 研究区域

晋阳湖坐落在太原市晋源区金胜乡董如村一带, 距市区 3 km, 湖水面积 4.8 km<sup>2</sup>, 与杭州西湖的面

\* 国家自然科学基金项目(30770162)和山西省科技基础条件平台建设项目(2009091015)联合资助。2009-10-13 收稿; 2009-10-29 收修改稿。郭春燕, 女, 1980 年生, 硕士, 助理研究员。

\*\* 通讯作者; E-mail: xiesl@sxu.edu.cn.

积相当,是华北地区最大的人工水体. 晋阳湖水由汾河西干渠引入,是1956年利用低洼地筑坝开掘蓄水而成,水体性质与平原水库相似,为太原第一热电厂提供冷却水,也是重要的水产养殖基地. 平均水深4m,最深处8m,夏季平均最高水温达33℃,冬季为5-15℃,常年不结冰(偶尔部分湖面结冰),具有发电、养鱼、灌溉和旅游等多方面的功能. 研究区域为整个晋阳湖. 在湖面周边选择4个点,1#(37°45'35"N,112°29'35"E)、2#(37°45'39"N,112°30'40"E)、3#(37°46'49"N,112°30'34"E)、4#(37°46'9"N,112°29'18"E),湖心1个点(5#). 1#-5#采集点分别位于晋阳湖的南部、东部、北部(进水口)、西部(热电厂出水口)、中心.

1.2 研究方法

采样时间为2004年9月至2005年8月,每月采集一次. 浮游植物定性用25#浮游生物网采集样品,4%(V/V)的甲醛溶液固定. 用酸处理法制作硅藻永久制片. 依据有关文献进行种类鉴定<sup>[7-8]</sup>. 浮游植物定量:用采水器分别于水面和水面以下0.5m处采集水样1L,加入1%(V/V)的鲁哥氏液固定,离心浓缩,定容到30ml,利用计数框计数<sup>[9]</sup>. 现场记录水温、透明度、溶解氧、pH和电导率,测定总氮和总磷.

2 研究结果

2.1 浮游藻类种类组成

晋阳湖水温变化较大,最低6.3℃,最高38.3℃,除受季节变化影响外,位于热电厂冷却水排水口处的4#采样点水温明显较高. 透明度变化范围不大,在0.50-0.77m之间;溶解氧在5.8-14.2mg/L之间;pH偏碱性(7.07-8.58);电导率在1129-2860μS/cm之间;总氮2-4mg/L;总磷0.1-0.2mg/L.

对晋阳湖浮游藻类进行鉴定与分析,共发现156个种及11变种,隶属于5门,25科,67属. 其中绿藻门为29属57种4变种;硅藻门为17属34种6变种;蓝藻门、裸藻门次之,分别为15属32种1变种和5属31种;黄藻门最少,为1属2种.

绿藻中绿球藻目的种类最多,共有50种(含变种),占绿藻种类的82%. 硅藻中主要为羽纹纲的种类,为38种(含变种),占硅藻种类数的95%. 蓝藻门的种类尽管相对较少,但优势种类较多,细胞密度较绿藻门和硅藻门大,如银灰平裂藻 *Merismopedia glauca* (Ehr.) Näg.、固氮鱼腥藻 *Anabaena azotica* Ley、两栖颤藻 *Oscillatoria amphibia* Ag.、小颤藻 *O. tenuis* Ag. 等. 裸藻门没有优势种,除绿色裸藻 *Euglena viridis* Ehr. 四季都出现外,其他种类只在个别季节出现. 黄藻门种类最少,仅有2种,小刺角绿藻 *Goniochloris brevispinosa* Pasch. 和钝角绿藻 *G. mutica* (Br.) Fott.

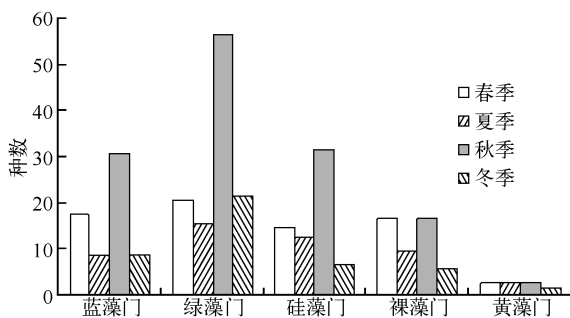


图1 晋阳湖浮游藻类种类的季节分布

Fig.1 The seasonal variation of phytoplankton of Lake Jinyang

优势类群;1#、2#、3#、4#采样点的优势类群除蓝藻外,还有绿藻和硅藻且3#采样点还出现了裸藻. 两栖颤藻 *O. amphibia* Ag. 几乎为全年各个采样点的优势种群,据有关文献,该种是污染水体中常见种,为中污到多污带指示植物<sup>[8]</sup>. 固氮鱼腥藻 *A. azotica* Ley 为夏季各个采样点的优势种群,秋季优势种最多,冬季最少(表1).

2.2 浮游藻类的时空变化

晋阳湖浮游藻类的季节变化明显,春季和秋季种类数明显多于夏季和冬季. 在同一季节均以绿藻门的种类数最多,其次是蓝藻门和硅藻门. 各采样点中,以1#采样点浮游藻类种类最多,5#采样点最少,2#、3#、4#采样点种类数相差不大(图1).

2.3 浮游藻类优势种的季节变化

经统计,不同采样点或同一采样点在不同季节,其优势种有所不同. 蓝藻的种类虽不是最多但是数量上占优势,绿藻的种类最多但优势种不及蓝藻多. 5#采样点蓝藻是主要

表1 晋阳湖优势种群季节变化  
Tab.1 The dominant species in each sampling sites of Lake Jinyang

季节	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
春季	<i>O. amphibia</i>	<i>O. amphibia</i>	<i>O. amphibia</i>	<i>O. amphibia</i>	<i>O. amphibia</i>
	<i>Synedra acus</i>	<i>S. acus</i> <i>Tabellaria fenestrata</i>	<i>E. viridis</i> <i>T. fenestrata</i>	<i>S. acus</i> <i>T. fenestrata</i>	
夏季	<i>O. amphibia</i>	<i>O. amphibia</i>	<i>A. azotica</i>	<i>A. azotica</i>	<i>A. azotica</i>
	<i>A. azotica</i>	<i>A. azotica</i>	<i>Merismopedia convoluta</i>	<i>M. convoluta</i>	
	<i>M. glauca</i>				
秋季	<i>O. amphibia</i>	<i>O. amphibia</i>	<i>O. amphibia</i>	<i>T. fenestrata</i>	<i>O. amphibia</i>
	<i>A. azotica</i>	<i>A. azotica</i>	<i>F. capucina</i>	<i>M. glauca</i>	<i>A. azotica</i>
	<i>T. fenestrata</i>	<i>Fragilaria capucina</i>	<i>O. tenuis</i>	<i>M. convoluta</i>	<i>M. glauca</i>
	<i>M. glauca</i>	<i>T. fenestrata</i>	<i>M. glauca</i>	<i>A. angustus</i>	<i>A. angustus</i>
	<i>Merismopedia tenuissima</i>	<i>M. glauca</i>		<i>Secenedesmus acuminatus</i>	
	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	<i>Ankistrodesmus angustus</i>			
冬季	<i>O. amphibia</i>	<i>O. amphibia</i>	<i>O. amphibia</i>	<i>O. amphibia</i>	

## 2.4 浮游藻类细胞密度的时空变化

晋阳湖浮游藻类细胞密度的变化范围为  $2.84 \times 10^6 - 2.30 \times 10^9$  cells/L, 平均密度为  $4.86 \times 10^8$  cells/L. 秋季密度最高, 为  $10.48 \times 10^8$  cells/L, 冬季次之, 为  $2.4 \times 10^8$  cells/L, 春季为  $9.7 \times 10^7$  cells/L, 夏季最低, 为  $7.3 \times 10^7$  cells/L. 不同采样点的细胞密度也存在变化, 1<sup>#</sup> 采样点细胞密度最大, 其次是 2<sup>#</sup> 采样点, 5<sup>#</sup> 采样点最小. 一般来说, 水面表层的浮游藻类细胞密度要比水面下 0.5m 处高, 但 2<sup>#</sup> 采样点在春季 0.5m 处要比 0m 处高, 3<sup>#</sup> 采样点在秋季 0.5m 处高于 0m 处.

## 2.5 浮游藻类群落结构分析

生物指标可以简便、直接地反映水体浮游藻类生态现状. 本文采用 Shannon-Weaver 多样性指数 ( $H'$ )、均匀度 ( $e$ )、丰度 ( $D$ ) 和优势度 ( $d$ ) 对水质进行评价.

$$H' = - \sum (n_i/N) \cdot \log_2(n_i/N); e = H/H_{\max}, H_{\max} = \lg S;$$

$$d = (n_1 + n_2)/N; D = (S - 1)/\log_2 N$$

式中,  $n_i$  为  $i$  种的个体数,  $N$  为总个体数,  $S$  为总种类数,  $n_1, n_2$  分别为第 1 优势种和第 2 优势种个体数.

Shannon-Weaver 生物多样性指数可以反映水体的水质状况, 当多样性指数大于 3 时, 水质清洁, 指数 2-3 时为轻度污染, 指数 1-2 时, 为中度污染, 0-1 时, 为重度污染, 多样性指数等于 0 时, 为严重污染. 晋阳湖浮游藻类群落多样性指数变化范围为 0.036-0.088, 可见各采样点的水质都已重度污染 (表 2). 均匀度也反映水质状况,  $0 < e < 0.3$  为多污带,  $0.3 < e < 0.4$  为  $\alpha$  中污带,  $0.4 < e < 0.5$  为  $\beta$  中污带,  $e > 0.5$  为寡污带. 晋阳湖浮游藻类均匀度变化范围为 0.020-0.044, 均处于多污带 (表 2). 一般情况下, 健康环境的生物丰度高, 优势度低, 而污染环境丰度低, 优势度高. 晋阳湖浮游藻类丰度变化范围为 3.232-16.863, 优势度变化范围为 0.987-0.993, 比较而言, 1<sup>#</sup> 和 2<sup>#</sup> 采样点的水质更差.

## 3 讨论

### 3.1 晋阳湖浮游藻类群落现状

晋阳湖分布的浮游藻类中, 绿藻门为优势门类, 种类最多, 硅藻门和蓝藻门为亚优势门类, 细胞密度则以蓝藻门最高. 春季和秋季浮游藻类种类明显多于夏季和冬季.

浮游藻类的分布在不同季节变化明显, 造成这种变化的原因主要是气候因素<sup>[10]</sup>, 另外污水的排入也是一个不可忽视的因素. 不同季节, 水体的温度、光照、溶解氧、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也有差别, 因而就造成了藻类分布的季节变化<sup>[11]</sup>. 一般情况, 夏季由于营养物质的大量消耗及其

表2 晋阳湖浮游植物群落结构分析  
Tab. 2 The community structure of phytoplankton of Lake Jinyang

采样时间(年-月)	样点	2004-09	2004-10	2004-11	2004-12	2005-01	2005-03	2005-04	2005-05	2005-06	2005-07	2005-08	平均值
优势度( <i>d</i> )	1#	0.996	0.996	0.996	0.995	-	0.997	0.909	0.996	0.993	0.998	0.995	0.987
	2#	1.000	0.999	0.997	0.997	-	0.998	0.955	0.996	0.992	0.998	0.996	0.993
	3#	0.994	0.999	0.993	0.997	-	0.997	0.939	0.996	0.990	0.998	0.997	0.990
	4#	0.998	0.999	0.996	0.996	0.998	0.997	0.969	0.997	0.984	0.990	0.984	0.992
	5#	0.997	0.996	-	-	-	-	-	0.993	0.984	0.998	0.984	0.992
丰度( <i>D</i> )	1#	3.500	3.483	3.385	3.478	-	3.483	3.790	3.693	3.845	3.885	3.569	3.611
	2#	3.119	2.924	3.057	3.151	-	3.147	3.317	3.366	3.520	3.506	3.211	3.232
	3#	11.175	8.537	10.139	10.267	-	11.254	13.019	14.275	19.479	17.014	11.612	12.677
	4#	11.809	8.695	10.364	10.467	11.961	11.433	12.739	13.947	20.931	53.435	19.597	16.853
	5#	7.268	6.707	-	-	-	-	-	9.405	11.252	13.190	8.476	9.383
多样性指数( <i>H'</i> )	1#	0.020	0.074	0.038	0.125	-	0.330	0.188	0.013	0.068	0.008	0.015	0.088
	2#	0.001	0.018	0.023	0.029	-	0.203	0.096	0.016	0.275	0.013	0.020	0.069
	3#	0.023	0.027	0.036	0.021	-	0.180	0.169	0.013	0.107	0.012	0.014	0.060
	4#	0.017	0.021	0.050	0.029	0.040	0.255	0.081	0.020	0.113	0.124	0.075	0.075
	5#	0.012	0.066	-	-	-	-	-	0.026	0.080	0.014	0.018	0.036
均匀度指数( <i>e</i> )	1#	0.010	0.037	0.019	0.063	-	0.167	0.095	0.007	0.034	0.004	0.008	0.044
	2#	0.001	0.009	0.012	0.015	-	0.105	0.049	0.008	0.141	0.007	0.011	0.036
	3#	0.012	0.014	0.019	0.011	-	0.094	0.088	0.007	0.055	0.006	0.007	0.031
	4#	0.009	0.011	0.026	0.015	0.021	0.132	0.042	0.010	0.058	0.064	0.039	0.039
	5#	0.007	0.037	-	-	-	-	-	0.015	0.045	0.008	0.010	0.020

它动物的吞食,浮游藻类数量进入低谷,秋季则升高<sup>[12]</sup>。

不同采样点无论在一年中的不同季节还是同一季节也存在差异。1<sup>#</sup>采样点浮游藻类种类最多,5<sup>#</sup>采样点最少。这种差异的存在与其地理位置有关,1<sup>#</sup>处于湖湾处,浮游藻类容易富集,种类较多,而5<sup>#</sup>处于湖心,浮游藻类生长不丰富,4<sup>#</sup>位于热电厂排水口附近,水温略高,该采集点也处于一湖湾处,因此浮游藻类种类多于2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>采样点。

### 3.2 晋阳湖水水质污染原因

从研究结果还可知,晋阳湖每个季节浮游藻类细胞密度均超过  $10^6$  cells/L,多样性指数、均匀度指数较低,而优势度很高,说明水体污染已较严重<sup>[8]</sup>。其污染产生主要有几方面的原因。第一,生活污水的排放增加了湖中磷的含量。晋阳湖周围有7个自然村,周边居民生活污水的排入,尤其是含磷洗涤剂的使用,造成外源氮、磷的增加,引起藻类非正常过量繁殖,出现富营养现象,其中磷是多数湖泊形成富营养化的最关键的限制因素<sup>[13]</sup>。第二,水产养殖业的发展加剧了水质富营养化。由于晋阳湖水产养殖业不断发展,大量投放饲料,过量的饲料滞留在湖水中使富营养化加剧。第三,旅游业的发展和电厂热水的排入也对湖水造成了污染。游人的增多,一些垃圾的随意丢弃,造成水体有机质的富集。发电厂增温冷却水的排放,造成局部水体热污染,使喜较高温度的蓝藻、绿藻大量繁殖,水体混浊,溶解氧降低,出现富营养化。第四,湖中底泥营养盐大量释放,加速了其水体的富营养化过程。第五,晋阳湖的大部分水域水体流动缓慢,致使有机质得不到及时的分解,这也是造成水体富营养化的一个重要原因。

### 3.3 晋阳湖水水质污染防治对策

要防止晋阳湖水体富营养化程度的发展,必须采取一些相应的措施。第一,限制网箱养鱼面积,减轻内源污染。人工养殖固然能增加收益,但是大量饵料及粪便进入水体必然导致浮游藻类的大量繁殖,使水体缺氧,造成鱼类大量死亡<sup>[14]</sup>。因此,要加强渔业管理,科学地适度养殖。第二,杜绝污染物的排入,对湖水进行及时的清理。生活污水的排入,一些垃圾的随意丢弃,造成外源氮、磷的增加,引起藻类非正常过量繁殖,必然会加剧富营养化程度现象<sup>[15]</sup>。第三,加强宣传教育,提高公众觉悟,自觉保护环境。水环境直接影响着人类生活,而水体质量又直接取决于社会成员的行为,因此,必须使人们充分认识到水体富营养化对公共卫生与健康的危害以及给整个地区经济的可持续发展造成的长期潜在的负面影响。第四,加强水环境科学的研究,为保护和改善水质寻求有效途径,特别是利用生物调控,恢复湖泊生态系统。

## 4 参考文献

- [1] 姜作发,夏重志,董崇智等. 哈蟆通水库水位变化对浮游植物初级生产力及能量转化效率的影响. 中国水产科学, 2001, **8**(4): 23-26.
- [2] 沈会涛,刘存歧. 白洋淀浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析. 湖泊科学, 2008, **20**(1): 773-779.
- [3] 欧阳昊,韩博平. 从东江调水后契合石水库的水质和浮游植物群落结构特征. 湖泊科学, 2007, **19**(2): 204-211.
- [4] 陈平长,高亚辉,林 鹏. 深圳福田红树林保护区浮游植物群落的变化及其生态学研究. 厦门大学学报, 2005, **44**(增刊): 11-15.
- [5] 谢淑琦,郭玉清,王翠红. 晋阳湖硅藻之研究. 山西大学学报(自然科学版), 1991, **14**(4): 412-418.
- [6] 谢淑琦,郭玉清,王翠红. 晋阳湖渔业用水水质的生物学评价. 山西大学学报(自然科学版), 1990, **13**(1): 90-96.
- [7] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态. 北京:科学出版社, 2006: 1019.
- [8] 沈韞芬,章宗涉,龚循矩等. 微生物监测新技术. 北京:中国建筑工业出版社, 1990: 524.
- [9] 章宗涉,黄祥飞主编. 淡水浮游生物研究方法. 北京:科学出版社, 1991: 333-339.
- [10] Kiplagat K, Lothar K, Francis MM. Temporal changes in phytoplankton structure and composition at the Turkwel Gorge Reservoir. *Hydrobiologia*, 1998, **368**: 41-59.
- [11] Thomnton KW, Kimmel BL, Payne FE. Reservoir limnology: ecological perspectives. New York: Wiley-Interscience Publication, 1990.
- [12] Reynold CS. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [13] 韩 菲,陈永灿,刘昭伟. 湖泊及水库富营养化模型研究综述. 水科学进展, 2003, **14**(6): 785-791.
- [14] 孙惠乐,赵兴文,张秀兰等. 晋阳湖发生大量死鱼事件的情况分析. 中华预防医学杂志, 1999, **33**(2): 122.
- [15] 况琪军,马沛明,胡征宇等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展. 安全与环境学报, 2005, **5**(2): 87-91.