J. Lake Sci.(湖泊科学),2010,**22**(5):729-734
http://www.jlakes.org. E-mail:jlakes@niglas.ac.cn
© 2010 by *Journal of Lake Sciences*

安徽女山湖自然保护区浮游生物群落生态*

鲍方印,肖明松,王　松,崔　峰
(安徽科技学院生命科学学院,凤阳 233100)

摘　要:2007 年 4 月-2009 年 5 月对安徽女山湖自然保护区浮游生物群落生态进行调查研究,共检出浮游植物 8 门 45 属 113 种;浮游动物包括原生动物、轮虫、枝角类、桡足类,共检出 33 属 78 种. 分析表明女山湖不同季节浮游生物种类组成的变化趋势不同,但整体看来,浮游植物组成以蓝藻为主,浮游动物以轮虫为主;浮游生物量在不同季节波动较大,表现为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季,而不同年份同一季节的生物量变化不大. 浮游生物的多样性指数在不同季节的变化较大,而丰富度指数 D 在不同季节变化不大,大多数在 1.3 - 3.9 之间,均匀度指数 J' 在 0.5 - 0.8 之间. 平均溶氧量 P_G 达 2.62mg/L. 综合判定,女山湖属于中富营养型,浮游动物群落结构和组成相对稳定,具有较大的开发利用潜力.
关键词:女山湖;浮游生物;生态分布特征

Ecological distribution characteristics of the plankton in the nature reserve of Lake Nüshan, Anhui Province

BAO Fangyin, XIAO Mingsong, WANG Song & CUI Feng
(*College of Science*, *Anhui Science and Technology University*, *Fengyang* 233100, *P. R. China*)

Abstract: In order to understand the status of water quality of nature reserve area of the Lake Nüshan, the plankton community composition was investigated from April, 2007 to May, 2009. 113 species, 45 genera and 8 phylum of phytoplankton were observed in the whole nature reserve area, and 78 species and 33 genera of zooplankton including the Protozoa, the Rotifer class, the Cladocera, the Copepoda were also observed. It indicated the plankton composition of diversity of the Lake Nüshan was different in different seasons. The blue green algae and rotifer were the dominant species in phytoplankton and zooplankton on the whole. Variation of the plankton biomass was big in the different seasons, which displaying the summer > spring > autumn > winter, but less variation of the biomass was found in the same season in different years. The diversity index of plankton changed greatly in the different season, but variation of the abundance index is not obvious in different season. The majority richness index D were 1.3 - 3.9, evenness index J' 0.5 - 0.8. The average dissolved oxygen was 2.62mg/L. In summary, the Lake Nüshan belonged to the middle-eutrophic lake type, and the composition and structure of plankton community were relatively stable, and had good potential value of exploitation.
Keywords: Lake Nüshan; plankton; ecological distribution characteristics

浮游生物是湖泊生态系统中重要的生物类群,浮游生物生产力是水域生态系统中的重要成员,其种类和数量变化是湖泊水质变化的重要指标之一,在湖泊的物质循环和能量流动过程中发挥着重要作用,因此浮游生物群落演变与湖泊富营养化进程关系密切,其群落结构与功能的变化直接或间接地反映着湖泊水质的状况及其发展趋势,在水体生物学监测评价及生物修复中占有重要地位,浮游生物又是鱼类和经济动物的直接或间接饵料,许多学者致力于研究湖泊的浮游生物群落的时空分布及变化规律与水体富营养化的关系[1-6]. 但就研究报道来看,多采用原生动物或浮游植物进行分析比较[7-9],本文拟通过对浮游植物和浮游动物这两大类群综合分析,来探究女山湖自然保护区浮游生物群落特征与水质状况的关系.

女山湖自然保护区于 2006 年 4 月经安徽省人民政府批准设立,位于明光市中部,江淮分水岭以北,淮河

* 安徽省高校自然科学研究重点项目(KJ2009A166)和安徽科技学院重点建设课程项目(ZDKC0904)联合资助. 2009-11-30 收稿;2010-03-16 收修改稿. 鲍方印,男,1965 年生,副教授;E-mail:baofangyin@163.com.

以南(117°58′-118°18′E,32°48′-33°02′N),平均水深1.5-2.5m,为郯庐断裂带局部凹陷洼地积水而成,受洪泽湖水位抬高影响,湖面逐渐扩展,属于淮河流域大型湖泊之一,水产较为丰富. 为了更加合理地利用湖区生物资源,防止水质污染和发生富营养化,2007年4月-2009年5月对女山湖自然保护区浮游生物的种类组成、种群结构、优势种等群落生态学进行了初步研究,结合浮游生物生物量的季节变化及其水平分布状况,对女山湖浮游生物多样性进行初步评价,对女山湖浮游生物可能提供的总产量进行了初步估算,为水体保护、渔业生产和环境污染综合治理与评价提供生物学依据.

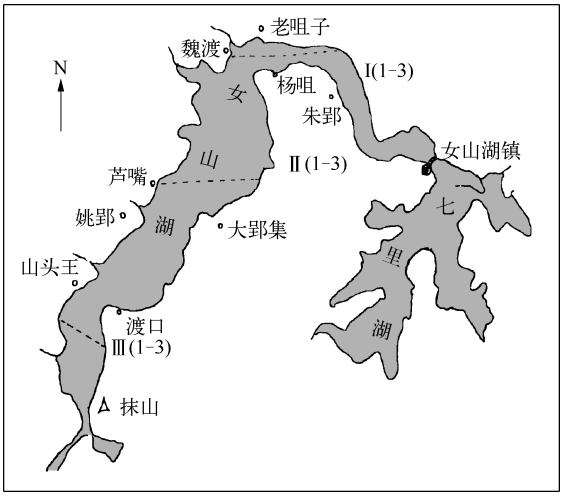


图1 女山湖采样断面分布

Fig. 1 Sampling profiles in Lake Nüshan

1 材料与方法

1.1 采样点的选取及采样方法

根据当地季节变化情况,2007-2009年选择4月(春)、7月(夏)、10月(秋)和12月(冬)进行实地调查取样,同时测定水温、水深、透明度、pH、电导率;根据不同区域的生态特点,划分为3个断面(水域)即魏渡(Ⅰ)、芦嘴敞水区(Ⅱ)、山头王渡口(Ⅲ). 每个断面垂线上,布设4个采样点. 浮游植物和浮游动物定性水样分别用25号筛绢网按"∞"型在各采样点捞取,所采集水样及时用4%甲醛溶液固定;定量水样用中国科学院水生生物研究所生产的1000ml有机玻璃采水器,置水面下0.5、1.0、2.0m处各采集1000ml水样混合,从中取1000ml倒入塑料桶中,现场加入4%的福尔马林溶液固定,置实验室浓缩并进行种类的定性与定量鉴定[7,10-12];枝角类和桡足类用13号的浮游生物网采集,定量样本用2.5L采水器取水10L,用25号筛绢网过滤,4%福尔马林溶液固定带回实验室定性和计数[3-6]. 同时测定溶解性固体、悬浮性固体、总氮、溶解氧等指标[13-16].

1.2 数据处理

采用Shannon-Wiener多样性指数(H')、Margalef种类丰富度指数(D)和Pielou均匀度指数(J')3个指数从不同方面对女山湖区浮游生物多样性进行分析[17].

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数: } H' = -\sum_{i=1}^{S} P_i \log_2 P_i$$

$$\text{Margalef 种类丰富度指数: } D = (S-1)/\log_2 N;$$

$$\text{Pielou 均匀度指数: } J' = H/\log_2 N.$$

式中:S为总种数,N为所有种个体总数,P_i为第i种个体数量在总个体数量中的比例.

1.3 pH、电导率、溶解性固体、悬浮性固体、总氮和溶氧量测定

Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ断面处每个水域分别采集水样(每个水域选4个点,每个点取3层,每层取水1000ml),带回实验室待测;pH值用PHS-3精密数显酸度计直接测定,电导率用DDS-307电导率测量仪直接测出;黑白瓶测浮游植物日生产量[13];总氮等化学指标根据国家标准进行测定,悬浮性固体、溶解性固体用重量法测定[14].

2 结果与分析

2.1 理化指标

女山湖不同断面pH、电导率、溶解性固体、悬浮性固体、总氮、有机质见表1.

表 1 女山湖不同断面 pH、电导率、溶解性固体、悬浮性固体、总氮、有机质

Tab. 1 The pH, conductivity, dissolved solids, suspended solids, total nitriogen and organic matter in the different profiles of Lake Nüshan

样点	pH	电导率 (μS/cm)	溶解性固体 (mg/L)	悬浮性固体 (mg/L)	总氮(mg/L)	有机质(mg/L)
魏渡	7.6 ±0.13	310.3 ±0.15	0.69 ±0.01	6.63 ±0.11	1.09 ±0.11	0.0892 ±0.01
芦嘴敞水区	7.2 ±0.12	348.1 ±0.22	1.04 ±0.04	6.98 ±0.19	1.45 ±0.15	0.1067 ±0.02
山头王渡口	7.5 ±0.16	417.3 ±0.18	0.92 ±0.03	10.45 ±0.21	1.59 ±0.07	0.1592 ±0.01

2.2 浮游生物群落生态

本研究共鉴定出浮游植物 8 门 20 目 34 科 45 属，占浮游生物总数的 58.53%，包括蓝藻门、硅藻门、绿藻门、裸藻门、隐藻门、甲藻门、黄藻门、金藻门；浮游动物共检出 33 属，其中包括原生动物、轮虫类、枝角类、桡足类等，分别占浮游生物总数的 11.34%、24.49%、4.45%、1.20%.

2.2.1 *浮游植物季节变化及生物量* 女山湖自然保护区浮游植物从数量上看，在春季以绿藻最多，夏、秋季以蓝藻最多，冬季则以硅藻最多(表 2). 浮游植物的生物量在各采样点各季节间存在差异. 生物量全年平均值在 1.14 -3.97mg/L 之间，以Ⅰ采样点秋季最高，为 5.28mg/L；其次是Ⅰ采样点夏季，为 4.94mg/L；最低在Ⅱ采样点冬季，为 0.53mg/L. 春季生物量以Ⅲ采样点最高，为 3.26mg/L；夏季生物量以Ⅰ采样点最高，为 4.94mg/L；秋季生物量以Ⅰ采样点最高，为 5.28mg/L；冬季生物量以Ⅰ采样点最高，为 1.35mg/L(表 3).

表 2 女山湖浮游植物种类组成及季节分布*

Tab. 2 Spatio-temporal distribution and species composition of phytoplankton in Lake Nüshan

种类	季节分布				种类	季节分布			
	春季	夏季	秋季	冬季		春季	夏季	秋季	冬季
绿藻门 Chlorophyta					蓝藻门 Cyanophyta				
1. 团藻 *Volvox*	++	+	+		1. 微囊藻 *Microcystis*	+	+	+	+
2. 四孢藻 *Tetrasporales*	+			+	2. 念珠藻 *Nostoc*	+	++	++	
3. 四集藻 *Palmella*					3. 楔形藻 *Gomphosphaeria*	+	++	++	
4. 绿球藻 *Chlorococcum*	+	+			4. 螺旋藻 *Spirulina*	+	++	++	+
5. 纤维藻 *Ankistrodesmus*	++	+	+	+	5. 颤藻 *Oscillatoria*	+	+++	+++	+
6. 四角藻 *Tetraedron*	+		+	+	6. 席藻 *Phormidium*	+	++	+	
7. 集星藻 *Actinastrum*	+				7. 腔球藻 *Goelosphaerium*	+	+	++	+
8. 空星藻 *Pediastrum*	++	+	+		8. 色球藻 *Chroococcus*		+	+	
9. 水绵 *Spirogyra*	+	+	+		9. 平裂藻 *Microcystis*	+	+++	++	
10. 角星鼓藻 *Staurastrum*		+	+		10. 鱼腥藻 *Anabaena*	+	+++	++	
11. 基枝藻 *Basicladia*	+	+			11. 鞘丝藻 *Lyngbya*	+	+++	++	
12. 鼓藻 *Cosmarium*	+	+	+	+	硅藻门 Bacillariophy				
13. 黑孢藻 *Pithophora*	++	+			1. 直链藻 *Melosira*	+	+	+	++
14. 新月藻 *Closterium*	+++	++	+		2. 波纹藻 *Cymatopleura*	+	+	+	
15. 盘星藻 *Pleurotaenium*	++	++	+	+	3. 布纹藻 *Gyrosigma*	+	+	+	
甲藻门 Pyrrophy					4. 羽纹藻 *Pinnularia*	+	+		++
1. 裸甲藻 *Gymnodinium*	+	+			5. 曲壳硅藻 *Achnanthes*		+	+	+
2. 多甲藻 *Peridinium*	+	+			6. 针杆藻 *Synedra*			+	+
隐藻门 Cryptophyta					7. 双菱藻 *Surirella*				+
1. 隐藻 *Cryptomonas*	++	++	+		8. 小环藻 *Cyclotoella*		+	+	+
金藻门 Pyrrophyta					9. 桅杆藻类 *Fragilaria*	+			
1. 锥囊藻 *Dinobryon*	+	+	+	+	10. 双眉硅藻 *Amphora*	+			
裸藻门 Euglenophyta					11. 曲壳藻 *Achnanthes*	+			
1. 裸藻 *Euglena*			+	++	12. 卵形藻 *Cocconeis*		+	+	
2. 囊裸藻 *Trachelomonas*			+	+	13. 圆筛藻 *Coscinldiscus*	+			

* 优势种(+++)、常见种(++)和偶见种(+).

表3 女山湖浮游植物生物量的季节变化
Tab. 3 Seasonal variation of phytoplankton biomass in Lake Nüshan

样点	生物量(mg/L)				
	春季	夏季	秋季	冬季	年平均值
魏渡	1.31	4.94	5.28	1.35	3.22
芦嘴敞水区	1.65	1.44	0.95	0.53	1.14
山头王渡口	3.62	3.18	4.60	0.61	3.00

2.2.2 女山湖浮游植物日生产量 利用黑白瓶法测定女山湖浮游植物日生产量(溶氧量),样点表层水体毛产量(P_G)和平均水体净生产量(P_N)为1.97、-2.30mg/L;水面下0.5m处P_G和P_N分别为4.46、8.16mg/L;水面下1.5m处P_G和P_N分别为1.14、0.67mg/L;样点平均P_G和P_N分别为2.62、2.17mg/L. Wingerg & Jorgensew提出以生产量为标准划分湖泊类型,生产量为0、0.5-1.0、1.0-2.5、2.5-7.6、7.6-10mg/L分别对应极度贫营养型、贫营养型、中营养型、富营养型、极富营养型,根据此标准可以判断出女山湖水体的营养类型介于中营养型与富营养型之间.

2.2.3 浮游动物季节变化及生物量变化 女山湖浮游动物共检出33属,其中包括原生动物、轮虫类、枝角类、桡足类等(表4).春、夏、秋、冬季种类组成均以桡足类为首,所占百分比为秋季>夏季>春季>冬季;此外,个别浮游动物种类为季节性类群,如矩形尖额蚤只在春季出现.浮游动物生物量分布特征,夏季>秋季>春季>冬季.四类浮游动物以桡足类生物量最大,春、秋、冬季分别为2.03、2.39、1.45mg/L,夏季以轮虫为主,生物量为2.37mg/L,略低于桡足类(2.41mg/L)(表5).

表4 女山湖浮游动物种类组成及季节分布*
Tab. 4 Spatio-temporal distribution and species composition of zooplankton in Lake Nüshan

种类	季节分布				种类	季节分布			
	春季	夏季	秋季	冬季		春季	夏季	秋季	冬季
原生动物 Protozoa					10. 龟甲轮虫 *Keratella*	++	+++	++	++
1. 草履虫 *Paramecium*	+	+	+		11. 腔轮虫 *Lecane*	++	++	++	++
2. 变形虫 *Amoeha*		+	+		12. 多枝轮虫 *Polyarthra*	+	+	+	+
3. 钟虫 *Vorticella*		+++	++	+	13. 同尾轮虫 *Diurella*	++	+++	++	++
4. 焰毛虫 *Askenasia*	+		+	+	枝角类 Cladocera				
5. 铃壳虫 *Tintionnopsis*	++	+	+++		1. 大型溞 *Daphniamagna*		+		
6. 匣壳虫 *Centropyxis*	+	+	+	+	2. 透明薄皮溞 *Leptodoradindti*	+	++	+	+
7. 表壳虫 *Arcella*	+	++	++		3. 僧冒溞 *Dcucullata*	++	++	++	++
8. 刺胞虫 *Acanthencystis*	++	+	+	++	4. 角突网纹溞 *Ceriodaphniacornuta*		+		
轮虫 Retifera					5. 粗毛溞 *Macrothrix*		+		
1. 红眼旋轮虫 *P. erythrophthalma*	+			+	6. 矩形尖额溞 *Alonapuadrangularia*	+			
2. 臂尾水轮虫 *B. epihanes*		+	+		7. 浆线溞 *Daphniacarinata*		+		
3. 月形腔轮虫 *Lecane*	+	+++	++		8. 仙达溞 *Sida*		+		
4. 晶囊轮虫 *Asplanchna*		+	+		9. 秀体溞 *Diaphanosoma*	+	++	+	
5. 尖尾疣毛轮虫 *S. stylata*	+	+	+	+	桡足类 Copepoda				
6. 三肢轮虫 *Filinia*. sp.		+	+		1. 猛水蚤 *Harpacticoida*		+	+	
7. 迈氏三肢轮虫 *Filinia*. sp.		+	+		2. 哲水蚤 *Calanoida*	+	++	++	+
8. 曲腿龟甲轮虫 *K. valga*	+	+	++	+	3. 剑水蚤 *Cyelops*	++	+++	+++	++
9. 臂尾轮虫 *Brachionus*	++	+++	++	++					

*优势种(+++)、常见种(++)和偶见种(+).

表5 女山湖浮游动物生物量的季节变化
Tab. 5 Seasonal variation of zooplankton biomass in Lake Nüshan

浮游动物	生物量(mg/L)				
	春季	夏季	秋季	冬季	年平均值
原生动物	0.04	0.07	0.03	0.01	0.04
轮虫	1.51	2.37	1.74	1.26	1.72
枝角类	1.44	1.97	1.66	1.17	1.56
桡足类	2.03	2.41	2.39	1.45	2.07
总计	5.02	6.82	5.82	3.89	5.38

2.2.4 女山湖浮游生物不同年份生物量变化 女山湖浮游植物和浮游动物的生物量在不同采样点、不同季节间均存在差异,不同采样点生物量不同主要是理化因子的影响,不同季节生物量不同主要是因为气候因子的影响,而不同年份生物量的变化则主要是年降雨量和人为因素的

影响. 在调查的2年中,同一季节生物量有些变化,但春、冬季变化不大,夏、秋季受暴雨或洪水影响不同年份变化较大,2008年夏、秋季节浮游植物和浮游动物生物量均较低(图2).

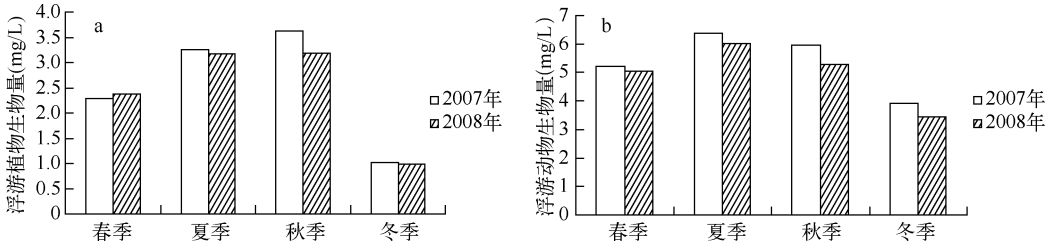


图2 2007年和2008年女山湖浮游植物(a)和浮游动物(b)生物量的变化

Fig. 2 Yearly variation of phytoplankton(a) and zooplankton(a) biomass in Lake Nüshan in 2007 and 2008

2.3 女山湖浮游生物多样性指数、丰富度指数和均匀度指数

用1.3.3的方法计算各样点的浮游植物、浮游动物的Shanno-Wiener多样性指数(H')、Margalef种类丰富度指数(D)和Pielou均匀度指数(J'). 利用生物指数评价标准对女山湖水质做简单的评价,各个样点浮游生物的多样性指数在不同季节的变化较大,其中夏、秋季较高,冬、春季较低;而各样点丰富度指数的季节变化与生物多样性指数的变化相似;各样点均匀度系数在不同季节也有一定变化,其值均在0.5以上(除Ⅰ号样点夏季为0.49外),表明女山湖水质绝大多数月份为清洁,偶尔出现轻度污染(表6).

表6 女山湖浮游植物和浮游动物Shannon-Wiener多样性指数、Margalef种类丰富度指数和Pielou均匀度指数

Tab. 6 Shannon-Wiener diversity index, Margalef richness index and Pielou evenness index of phytoplankton and zooplankton in Lake Nüshan

浮游生物	指标	魏渡				芦嘴敞水区				山头王渡口			
		春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
浮游植物	H'	2.96	3.98	4.90	2.84	3.27	3.34	2.59	1.99	2.49	3.98	3.52	1.83
	D	2.35	3.77	3.99	2.44	3.09	2.32	1.94	1.3	2.13	3.21	3.31	1.19
	J'	0.82	0.51	0.67	0.81	0.84	0.49	0.60	0.79	0.77	0.50	0.80	0.91
浮游动物	H'	3.26	4.18	4.70	2.87	2.67	4.94	3.19	2.19	1.78	4.53	3.90	2.36
	D	2.95	3.07	3.89	1.94	1.89	3.72	2.04	1.20	1.63	3.81	3.71	1.99
	J'	0.74	0.49	0.69	0.83	0.66	0.50	0.78	0.82	0.60	0.53	0.71	0.84

3 讨论

3.1 浮游生物与水体富营养化的关系

本次调查,共检出女山湖自然保护区浮游植物包括8门20目34科48属,包括蓝藻门、硅藻门、绿藻门、裸藻门、隐藻门、甲藻门、黄藻门、金藻门;浮游动物共检出33属包括原生动物类、轮虫类、枝角类、桡足类等;其中春季以绿藻最多,夏、秋季以蓝藻最多,冬季则以硅藻最多(表2). 这可能由于蓝藻含有其他藻类所不具备的色素如藻蓝素等,可以获取很少能为其他藻类所利用的绿色、橙色等光谱,藻胆蛋白和Chl. a还能使蓝藻有效获得光能[18],且水华蓝藻具有的浮力机制,使其在与其他藻类的竞争中占有很大优势[19-20]. 近年来,因沿岸大面积围垦,水中大量放养鱼类和围网养蟹,使水中沉水植物大量减少. 水草遭到破坏后,水体缓冲能力下降,被水草固定的氮磷释放到水体中,草型湖泊逐渐变为藻型湖泊,水体富营养化. 从藻类演替来看,在富营养化初期主要优势种为甲藻、绿藻,到富营养化中期,演替为绿藻和蓝藻为主,当优势种为蓝藻时,进入重营养化时期[21-22]. 目前,女山湖由于过量放养草鱼和围网螃蟹导致水草逐渐消亡,加上残饵、鱼粪等大量沉积,导致有机污染,浮游生物上升,绿藻门和蓝藻门占优势,这说明女山湖已进入富营养化中期. 通过对该湖水体的溶氧量进行测定,也印证了这一结论.

3.2 浮游生物与水体理化因子的关系

水体中的总氮量增多使水体富营养化,导致水体中的浮游生物大量繁殖,使水体中的有机腐败物和有机质含量增多,分解这些有机物时需要消耗的溶解氧就增多,从而使水中溶解氧含量变小,溶解性固体和悬浮性固体含量的增多导致水体的电导率也随之增高;水中浮游生物的分泌物和残体变多,进而使水中有机腐败物含量增多,有机质和有机酸含量也增多,最终影响到水体 pH 值的变化.

水中溶解氧是影响水生生物生活和分布的重要因素,水体溶解氧含量的高低及其时空变化情况,是水域环境优劣的重要综合指标之一,除少数肉食性浮游动物外,一般的浮游动物主要依靠浮游植物为食,因此氮磷含量间接决定着浮游动物数量多寡. 随着光照的增强,水温升高,导致水体中发生一系列物理、化学和生物变化,水体中的营养盐释放和有机分解加快,物质循环、能量流动加快,加重了水体的营养程度[23].

3.3 围网和围箱养鱼对浮游生物的影响

在湖泊鱼类中,鲢鱼主要是以浮游植物为食,一般认为隐藻、甲藻、金藻、黄藻和硅藻门的种类不能被消化;浮游动物和鲢鱼均以浮游植物为食,鳙鱼所食的饵料比鲢鱼多一个转化环节,经过这个环节转化有部分有机质被消耗,因而适当投放鳙鱼既可增加鱼产量,又可控制水体中浮游动物的数量,以提高水体总体渔获量[24-25]. 湖泊渔业的指导思想首先是保护湖泊生态平衡、增进湖泊生态资本,在此基础上发展生态经济. 近年来,由于自然资源的变化和人类活动的影响,女山湖的鱼类资源不断减少,鱼类品种趋于小型化和低龄化. 湖区采取人工放流、新品种移植、围网和围箱养鱼等措施,投放的商品饵料和水草有一部分未被鱼类所利用,而且鱼类的粪便也不断沉积,造成水体污染;而且围网和围箱养鱼大都在水草丛生区域,使水体对流较弱,这样水体中有机及无机营养迅速增加,使该湖浮游生物的数量和生物量较高,应该通过人为调控,使系统的结构更合理,功能更完善,充分发挥生态系统的生物生产力,并且使之保持这种动态平衡[26].

4 参考文献

[1] 杨宇峰,黄祥飞. 浮游动物生态学研究进展. 湖泊科学,2003,**12**(1):81-87.
[2] 肖明松,王 松,鲍方印. 花园湖浮游生物调查及其渔业利用. 水利渔业,2007,**27**(2):63-65.
[3] 许木启,朱 江,曹 宏. 白洋淀原生动物群落多样性变化与水质关系. 生态学报,2001,**21**(7):1114-1120.
[4] 梁文裕,王 俊,王志山. 宁夏鹤泉湖浮游植物现状及水质评价. 宁夏大学学报(自然科学版),2001,**22**(4):426-429.
[5] 刘冬燕,赵建夫,张亚雷等. 富营养水体生物修复中浮游植物的群落特征. 水生生物学报,2005,**29**(2):177-183.
[6] Xu Muqi, Zhu Jiang, Cao Hong *et al*. The ecological degradation and restoration of Baiyangdian Lake, China. *Journal of Freshwater Ecology*, 1998, **13**(4):433-446.
[7] 张 梅,李 原. 滇池浮游植物的生物多样性调查研究. 云南大学学报(自然科学版),2005,**27**(2):170-175.
[8] 吴生才,陈伟民. 太湖浮游植物生物量的周期性变化. 中国环境科学,2004,**24**(2):151-154.
[9] 许恒龙,张永忠,闫华超. 以浮游植物评价网箱养鱼对鱼塘水质影响的研究. 水产养殖,1998,(1):13-15.
[10] 大连水产学院. 淡水生物学(上册). 北京:农业出版社,1982.
[11] 大连水产学院. 淡水生物学(下册). 北京:农业出版社,1985.
[12] 韩茂森. 淡水浮游生物图谱. 北京:农业出版社,1980.
[13] 兰柳春. 黑白瓶测氧法测定西津水库初级生产力. 广西水产科技,2005,(2):29-32.
[14] 国家环境保护局《水生生物监测手册》编委会. 水生生物监测手册. 南京:东南大学出版社,1992.
[15] 郭沛涌,沈焕庭,刘阿成等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性. 生态学报,2003,**23**(5):892-900.
[16] 许海平. 湖泊水环境管理与污染物总量控制. 云南环境科学,1999,**18**(2):25-26.
[17] 黄祥飞,陈伟民,蔡启铭. 湖泊生态调查观测与分析. 北京:中国标准出版社,2000.
[18] 刘光钊. 水体富营养及其藻害. 北京:中国环境科学出版社,2005.
[19] Mur LR, Gons HJ, van Liere L. Some experiments on the competition between green algae and blue-green bacteria in light-limited environments. *FEMS Microbiology Letters*, 1977, **6**(1):335-338.
[20] Humphries SE, Lyne D. Cyanophyte blooms: the role of cell buoyancy. *Limno & Oceanogr*, 1988, **33**(1):79-91.
[21] 陈 慧,王 进. 巢湖富营养化危害及控制对策. 合肥工业大学学报(自然科学版),1999,(S1):63-66.
[22] 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富裕营养化发生机制与控制途径初探. 湖泊科学,2002,**14**(3):194-199.
[23] 沈 军,周忠泽,陈元启等. 安徽升金湖秋季浮游藻类多样性与水质评价. 水生态学杂志,2009,**2**(3):17-21.
[24] 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术. 北京:化学工业出版社,2001.
[25] 胡兴跃,梁银铨,胡小建等. 东港湖浮游生物调查及渔业利用. 水利渔业,1999,**19**(6):29-32.
[26] 吴瑞金. 我国湖泊资源环境现状与对策. 中国科学院院刊,2001,**3**:176-181.