维普资讯 http://www.cqvip.com

173-180

2963(12)

第12卷 第2期 生 态 学 报 Vol.12, No.2
1992年6月 ACTA ECOLOGICA SINICA Jun., 1992

北京4海藻类群落结构特征与水体营养水平的研究*

Q948.208

高玉荣
(中国科学院动物研究所，北京，100080)

摘 要

1987年1—12月对北京4海藻类群落结构进行了逐月的调查。结果表明，4个海藻类群落结构存在明显差异。由西海至前海藻类数量逐渐下降，种类和多样性指数不断上升，前海数量最低，年均为92.7万个/l，种类多达80属126种；至北海藻类数量剧增，年均达2237.0万个/l，种类和多样性指数则最低。前3个海以贫养性及中养性的硅藻占优势，到北海被喜营养的蓝藻所取代，4个海藻类的数量随水温、BOD_5、COD、TN、TP等指标的上升而增加，随水体透明度的上升而降低。用藻类学指标对4海营养水平评价结果为：西海富营养略偏中，后海和前海中营养略偏富，北海富营养。

关键词 藻类，湖泊，水质，生物学评价，富营养化。群落结构，水体营养

一、前 言

藻类是水生态系统的重要成分，它的群落结构与水环境相适应，随水环境的变化而改变[1]，因此，藻类群落结构是评价水体质量的一项重要指标[2,3]，多年来国内外应用藻类学指标评价和监测水质及营养水平，建立了不少方法，并取得了较理想的效果[4-9]。北京4海藻类群落结构特征与水环境因素的关系，目前尚未见报道。

北京4海指西海、后海、前海、北海，为了解4海水质状况，于1987年1—12月作了理化指标和生物群落结构的全面调查，对4海水质作了综合评价，以期预防水体富营养化或减轻其程度、保护自然景观，为水体科学管理提供生物学依据。本文系该项研究的一部分。

二、基本情况与工作方法

北京4海位于长河的下游，自西北向东南呈串珠状连接，总水面积0.7km²，平均水深约1.5m。主要水源来自密云水库，经京密引水渠、长河引入，少量供水来自官厅水库，经永定河引水渠注入，护城河为前4海及中、南海的泄水河道。

鉴于各海水面较小，在各海中心和出水口各设一个采样点，在长河的高梁桥河段设一个对照点(图1)。1987年1—12月每月中旬调查一次。定性样品系用25号浮游生物网拖获，定量样品取0.2—0.5m深处水样1000ml固定，浓缩后，以属为单位计数。按照Shannon[5]提出的计算公式，计算出多样性指数值，$H=-\sum_{i=1}^{n} ni/N \log_2 ni/N$式中：$ni$为第$i$层个体数，$N$为个体总数(个/l)。

* 本文承蒙黄玉瑶先生审阅，并提出宝贵意见，谨此致谢。
本文于1990年5月21日收到。

维普资讯 http://www.cqvip.com

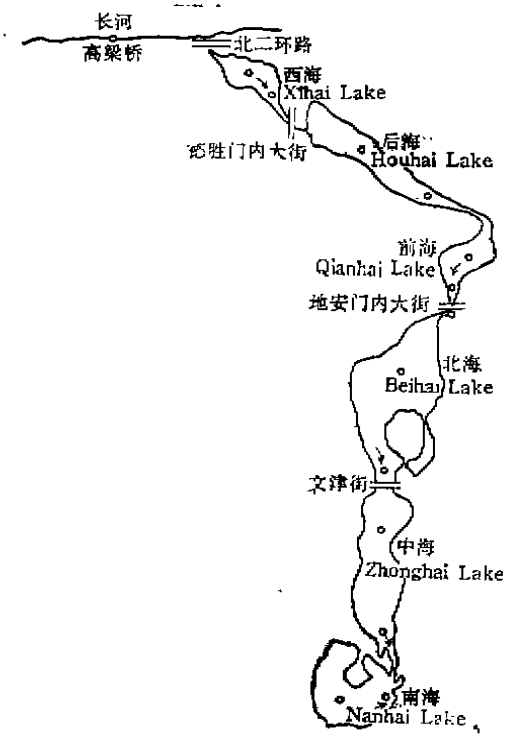

图1 北京6海及采样点位置图

Fig.1 Sketch map oflake Liuhai in Beijing, showing the location of sampling sta tions

现存量由叶绿素a推算[10]。

三、结果与讨论

1. 各海藻类群落结构特征与水体营养水平

各海水条件不同，藻类的种类、数量、多样性指数(H值)、各门藻类所占比例及藻类的优势种均有所不同(图2、图3、表1、表2)。

西海全年共发现藻类76属101种，其中硅藻最多，有17属29种，数量占总数的43.03%，其次为隐藻、蓝藻，绿藻虽种类多，但数量低，仅占17.94%。优势种为具星小环藻、普通等片藻等清洁种和中污种。年均数量为190.1万个/l，H值变化在2.06—3.34之间。夏季种类数量多，6月份最多有49属，数量达914.8万个/l，而1月份仅有20属，数量只有14.5万个/l。

后海有藻类77属117种，年均数量为97.9万个/l，隐藻虽只2属，数量却居首位，占总数35.96%，第二位的硅藻，其它门藻类均较少。优势种为卵形隐藻、尖尾蓝隐藻、具星小环藻等，H值变化在2.13—3.52之间，生物量比西海略低，年均为1.92mg/l。

前海有藻类80属126种，其中硅藻、绿藻分别有45和41种，硅藻数量最高，约为绿藻的3倍以上，数量居第二位的为隐藻，金藻占总数的9.82%，是4海中金藻比例最高的。H值变化在2.69—3.80之间，年均数量92.7万个/l，生物量为1.40mg/l，在4海中最低。季节变化不太明显，数量最高的4月份，仅有184.8万个/l。

北海有藻类73属109种。年均数量2237.037万个/l。其中绿藻种类最多，有37种，密度达297.3万个/l，蓝藻有21种，密度最高，年均高达1421.1万个/l，占总数的61.53%。优势种为点形平列藻、宽松螺旋藻、螺旋鞘丝藻等。多样性指数最低，变化在1.58—2.91之间。季节变化明显，冬季种类、数量少，1月份仅有28属，数量为45.2万个/l，而夏、秋季种类数量均多，8月份达50属，数量达8473.3万个/l，生物量达14.45mg/l，仅蓝藻数量就高达6501.5万个/l。

一般，水体越清洁、营养水平越低，藻类的种类就越多，H值越高，数量及生物量则越低；而富营养或污染水体藻类种类少，数量多，H值低。对照点高梁桥有藻类61属80余种，年均数量为111.8万个/l。4海藻类与对照点比较看出，由高梁桥向下游，种类、H值不断增加，生物量、数量不断下降，前海藻类数量、生物量最低，H值及种类数最高。到北海，藻类数量、生物量剧增，数量约为前海的24倍，种类减少，H值在4海中最低。藻类的上述

维普资讯 http://www.cqvip.com

变化表明高梁桥已受到一定程度的有机污染，水体处于中富营养状态，向下游污染程度逐渐降低，营养水平不断下降，到前海已降至中营养略偏富的状态，北海再度受到污染，进入富营养状态(图2、图3)。

清洁或低营养水体中硅藻、金藻、隐藻、甲藻门的种类数量多，而富营养或重污水体蓝藻、裸藻及绿藻门的绿色鞭毛类多[11,12]。高梁桥及4海各门藻类的数量百分比有明显变化，由1表看出，高梁桥至前海，硅藻、隐藻比例最大，并且金藻、甲藻、黄藻的比例不断上升，蓝藻、绿藻、裸藻比例不断下降；到北海蓝藻比例剧增，硅藻、金藻、隐藻等几门藻类比例大幅度下降，蓝藻数量约为前海的360倍，占绝对优势。由上游至下游的藻类群落演替现象表明水体营养程度由高逐渐降低，又急剧上升的变化趋势(表1)。

由高梁桥至北海，藻类优势种有明显变

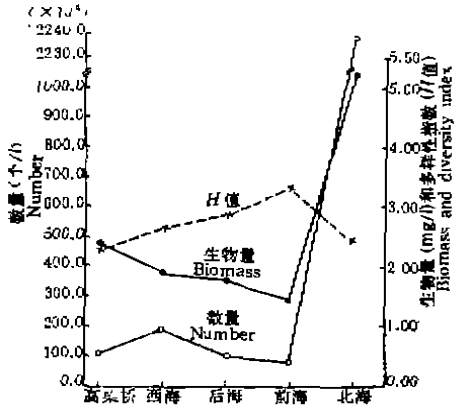

图2 各海藻类数量、生物量及H值比较

Fig.2 The comparison of number and biomass of algae and diversity index in various lake

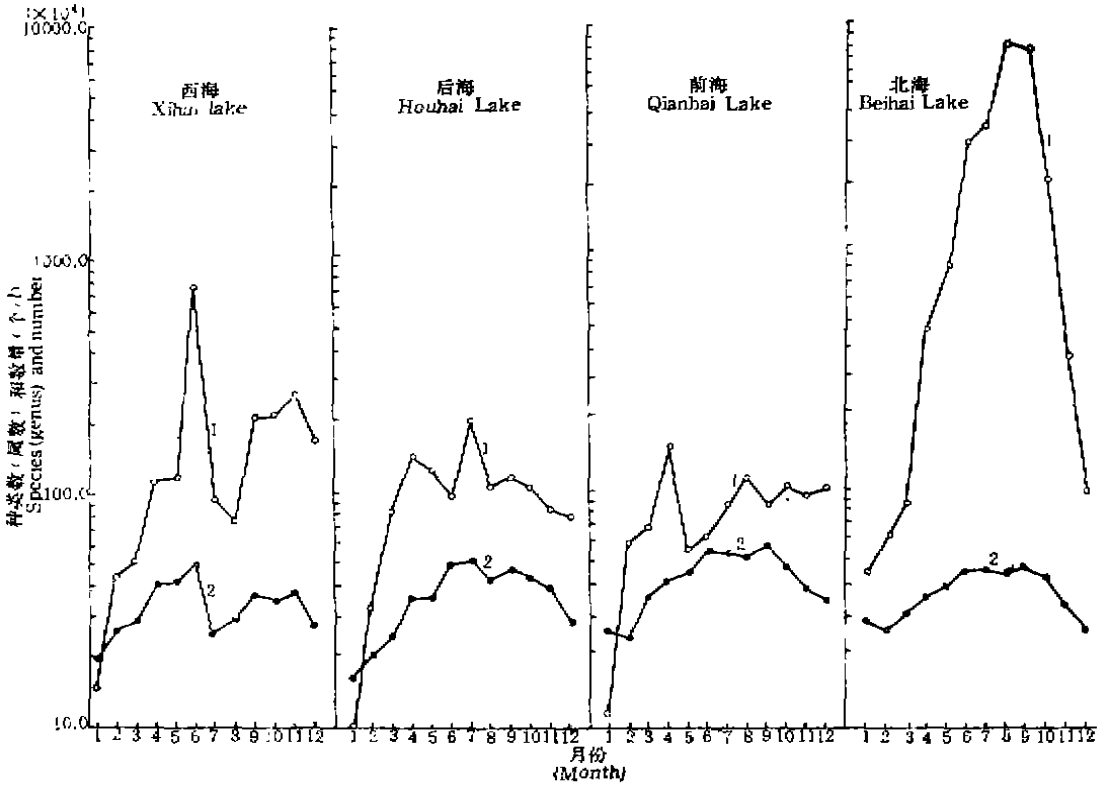

图3 各海藻类种类和数量在不同月份的变化

1. 数量 2. 种类量

Fig.3 The monthly variations of algal species and number in various lake

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 1 4海各门藻类所占数量百分比(%)

Table 1 The precentage composition of algal number of various phylum in various lake

门 类 Phylum	高梁桥 Gaoliangqiao	西 海 Xihai	后 海 Houhai	前 海 Qianhai	北 海 Beihai
绿藻门 Chlorophyta	7.87	17.94	14.19	12.41	13.32
硅藻门 Bacillariophyta	74.51	43.03	33.50	38.30	18.59
蓝藻门 Cyanophyta	12.08	15.36	4.09	4.17	61.53
隐藻门 Cryptophyta	2.33	19.89	35.96	29.38	2.96
裸藻门 Englenophyta	1.34	1.63	2.45	1.37	2.54
甲藻门 Pyrrophyta	0.45	0.37	3.17	3.13	0.32
金藻门 Chrysophyta	0.98	1.53	6.23	9.82	0.73
黄藻门 Xanthophyta	0.46	0.16	0.41	0.43	0.01

化，由表2列出的主要藻类对照污水生物系统表[6-8]，看出上游喜清洁及中污种类占优势，到北海优势种类为耐污或富营养性种类，藻类在高梁桥至北海出现的种群演替现象也同样表明了上述营养水平的变化规律(表2)。

不同学者根据各自具体情况，总结出不同生态指标划分营养等级的标准[5,11-14]。表3综合了几个学者的标准，并与4海藻类的实测值对照，一致结论是：高梁桥和西海水体为

表 2 各海优势藻类分布状况

Table 2 The distribution of dominant algae in various lake

种 类 Species	高梁桥 Gaoliang qiao	西海 Xihai	后海 Houhai	前海 Qianhai	北海 Beihai
具星小环藻 *Cyclotella stelligera*	+++	+++	+++	+++	+
扭曲小环藻 *Cyclotella comta*	++	++	++	+++	+
普通等片藻 *Diatoma vulgare*	+++	+++	+	++	+
变异脆杆藻 *Fragilaria virescens*	++	+++	++	+++	+
新月桥弯藻 *Cymbella cymbifromis*	−	++	++	++	−
膨胀桥弯藻 *Cymbella tumida*	++	++	++	++	
分歧锥囊藻 *Dinibryon divergens*	+	++	++	++	+
椭圆小球藻 *Chlorella ellipsoidea*	+++	++	++	+	+
斜生生栅藻 *Scenedesmus obliquus*	+++	++	++	+	+++
尖尾蓝隐藻 *Chroomonas acuta*	++	++	+++	++	++
卵形隐藻 *Cryptomonas ovata*	++	++	+++	+++	+
嗜铁隐藻 *Cryptomona serosa*	+	+	−	−	+++
颗粒直链藻 *Melosira granulata*	+	+	+	−	+++
螺旋纤维藻 *Ankistrodesmus sporalis*	+	−	+	−	+++
水华微囊藻 *Microcystis flos-aquae*	+		+		+++
点形平列藻 *Merismapedia punatata*	++	+	+	+	++++
螺旋鞘丝藻 *Lyngbya contarta*	−+	+	+	+	+++
宽松螺旋藻 *Spirulina laxissima*	+	+	−	+	++++

注：−偶然出现，+经常出现，++较多，+++很多，++++非常多。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 3　4海营养程度分级标准及实测年均值[1)]

Table 3　The standard of tropic level and annual average value measured in various lake

项　目 Items	数量 (万个/l) Number	生物量 (mg/l) Biomass	H值 H value	优势藻类 Dominant algae	透明度 (m) Transparency	TP (mg/l)	TN (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)
贫-中营养 Oligo-meso-trophy	<30	<1.5	>3	隐藻 Cryptophyceae	≤2.0				
中营养 Mesotrophy	30－100	1.5－5.0	2－3	甲藻 Pyrrophyceae	≤1.5	≤0.025	≤0.3	≤2.0	≤3.0
中-富营养 Meso-eutrophy	≥1500		1—2	硅藻 Bacillariophyceae 绿藻 Ghlorophyceae	1.0	≤0.06	≤0.6	≤3.0	≤4.0
富营养 Eutrophy	≥2000	5—10	<1	硅藻 Bacillariophyceae 绿藻 Ghlorophyceae 蓝藻 Cyanophyceae	≤0.7	≤0.1	≥1.0	≤5.0	≤7.0
高梁桥 Gaoliangqiao	111.8	2.398	2.351	硅藻 Bacillariophyceae	0.56	0.104	1.238	4.460	4.530
西海 Xihai	190.1	1.773	2.695	硅藻 Bacillariophyceae 隐藻 Cryptophyceae	0.71	0.091	1.089	2.130	3.970
后海 Houhai	97.9	2.210	2.946	硅藻 Bacillariophyceae 隐藻 Cryptophyceae	0.97	0.046	0.996	1.230	3.58
前海 Qianhai	92.7	1.518	3.320	硅藻 Bacillariophyceae 隐藻 Cryptophyceae	1.12	0.035	0.911	1.180	3.510
北海 Beihai	2237.0	5.251	2.436	硅藻 Bacillariophyceae 蓝藻 Cyanophyceae	0.45	0.992	0.921	1.640	5.140

1）水质资料摘自"北京六海环境评价与控制对策的研究"，1989年。

富营养略偏中，后海和前海为中营养略偏富，北海为富营养，营养水平由高到低排列顺序为：北海＞高梁桥＞西海＞后海＞前海。并且藻类指标与理化指标评价是一致的(表3)。

2．各海藻类季节变化与水体营养水平

水温是藻类群落结构变化的重要影响因素，在北京，除冬季外，绝大部分时间在适宜藻类生长范围内(5—25℃)[16]。图2看出，4海藻类变化的一致规律是营养水平低的冬季，

维普资讯 http://www.cqvip.com

种类、数量低于营养水平较高的春、夏、秋3季。冬季优势种为硅藻、金藻、绿藻门的耐低温种类，春、夏、秋3季优势种多为蓝藻、裸藻、隐藻门的种类。

从4个海藻类季节变化比较看出，营养水平较高的北海比营养水平较低的前3个海季节变化更明显，冬季4个海藻类较接近，其它3季明显不同，尤其是8、9月份，北海藻类数量为前海的58和134倍，此时，北海水中的TN、TP、BOD_5、COD 等均比前3个海高出几倍(图3)。

3. 藻类与水体理化因素的关系

4个海全年测定的理化指标与藻类数量相关性分析结果看出，藻类数量随水体BOD_5、COD、TN、TP含量及水温的上升而上升，随水体透明度的上升而下降；而水体中的叶绿素a、色度、悬浮物则随藻类数量的增加而上升，均呈显著相关，TP、水温、透明度与藻类数量的关系最密切(表4)。在各门藻类中，蓝藻与TP的关系尤为密切，其关系表达为：$\ln y = 4.1084\ln x + 14.2118$ 式中：x为TP含量(mg/l)，y为蓝藻数量(万个/l)，$r = 0.8761 > r_{0.01}$ $p < 0.01$。蓝藻数量随水体TP含量的增加而增加，与Smith(1985)及大连水产学院(1982)的实验结果一致[12,18]。各海的pH、DO 均在适应范围内，且变化不大，与藻类数量无明显

表4 4海藻类数量与n个生态因素相关分析性

Table 4 The correlation analysis of algal number(10^4cell/l)with ecologcal factors in lakes.

项目 Item	变化范围 Change range	关系式 Relational expression	r值 r value	n	相关水平 Correlation level
色度(y) Chromaticitya	11—17度	$y = 0.0009x + 12.0528$	0.6960	48	$r > r_{0.11}$
叶绿素a(y) Chlorophyll a	0.003—0.0328mg/L	$y = 0.00003x + 0.003682$	0.8669	48	$r > r_{0.01}$
悬浮物(y) Suspended solid	1.0—18.8mg/l	$y = 0.00217x + 4.88166$	0.7212	48	$r > r_{0.01}$
透明度(x) Transparency	0.18—1.80m	$\ln y = -2.1954\ln x + 7.2342$	−0.6966	48	$r > r_{0.01}$
水温(x) Water temprature	2.4—27.6℃	$y = 61.5179x - 276.0673$	0.7604	12	$r > r_{0.01}$
BOD_5(x)	0.2—3.2mg/l	$y = 1043.4251x - 1006.4709$	0.5574	48	$r > r_{0.01}$
COD(x)	2.16—6.84mg/l	$y = 632.4555x - 1377.0888$	0.6964	48	$r > r_{0.01}$
TP(x)	0.016—0.239mg/l	$y = 28137.000x - 1258.2740$	0.7990	48	$r > r_{0.01}$
TM(x)	0.60—1.89mg/l	$y = 2609.1992x - 2118.4099$	0.6990	48	$r > r_{0.01}$

相关。密云水库水质较清洁，水流入长河后，沿途受到工农业生产及城市活动的影响，到高梁桥断面水中BOD_5、TP、TN含量明显上升，富营养程度显著提高。经松林闸入西海再流至前海，水中生长大量维管束植物，消耗掉大量氮磷，由于近几年来政府对什刹海污染源的治理和管理措施的加强，湖水自然净化较好，藻类数量下降，营养程度明显降低。北京4海及中南海是著名的风景旅游点，尤其是北海，每年游客超过1300万人次，节假日最多接纳游客达40万人/d，给湖泊带来大量废弃物，加上地表经流，上游流入，底泥释放及人工养鱼等使水中有机物大量增加，加之水体更新能力极差，造成水体营养水平迅速上升。因此，控制污染源、调节水量、加强游乐活动管理及科学养鱼等是减轻和预防水体富营养程度的重要措施。

维普资讯 http://www.cqvip.com

三、结　论

调查资料表明，藻类群落结构在4海有明显差异。西海、后海、前海藻类数量低，尤其是前海，年均为92.7万个/l，由西海至前海逐渐降低。种类变化则相反，由西海至前海逐渐增多，前海最多，累计达80属126种，多样性指数最高。优势种为清洁种和中污种，营养水平由富营养略偏中的程度降至中营养略微偏富的程度。体现水体自净作用明显。到北海藻类数量剧增，种类和多样性指数下降，耐污的蓝藻占绝对优势，水体富营养程度较高。

4海藻类群落结构存在季节变化，冬季种类、数量及生物量均低，春、夏、秋季数量及种类均多。富营养水平较高的北海比前3个海季节变化更为明显。

藻类与水环境因素密切相关，藻类数量随水中BOD_5、COD、TP、TN含量及水温的上升而上升，随水体透明度的上升而下降；水体的色度及叶绿素a、悬浮物含量随藻类数量的增加而增加。

用藻类群落结构特征对4个海的评价结果，营养水平由高到低排列顺序为：北海＞西海＞后海＞前海。这一结论与理化及其它生物指标的评价结果相吻合。

参 考 文 献

〔1〕Barnes, R. S. K., et al, *Fundamentals of aquatic ecosystems*. Blackwell scientific publications. London. 1978, 208—212.

〔2〕Shubert, L. E., Algaeas ecological indiacors Academic. Ⅲ, 1984.

〔3〕Alabasten, J. S., *Biological monitoring of inland fisheries*, London. Applied Science pub ltd. 1978, 51—194.

〔4〕Margalef, D. R., Information theory in ecology. *General systems*. 1958, 3:36—71.

〔5〕Shannon, C., et al, *The mathematical theory of communication*. Univ.Illionois Press, Urbana. 1949, 49—73.

〔6〕合田健，《水环境指标》，东京恩考社，1979，227—301.

〔7〕Fjerdingstad, E., Pollution of streams estimated by benthal phytomicro-organismsI, A.saprobic system based on communities of organisms and ecological factors. *Int. Revue Hydro biol.* 1964, 49 (1) :63—131.

〔8〕日本生态学会环境问题专门委员会，《环境と生物指标》Ⅰ——水界编，东京共立，1975,54—89.

〔9〕王　炜，利用藻类学指标评价第二松花江水体污染，中国环境科学，1985，5（3）：31—36.

〔10〕宋仁元等译，水和废水标准检验法(第15版)，中国建筑工业出版社，1985，901—905.

〔11〕金相灿等，中国湖泊富营养化，中国环境科学出版社，1990,189—364.

〔12〕大连水产学院，《淡水生物学》(下册)，农业出版社，1982,208—216.

〔13〕沈韫芬等，微型生物监测新技术，中国建筑工业出版社　1990,119—151.

〔14〕日本水产学会，《水圈の富营养化と水产增殖》，恒星社厚生阁，1973,96—97.

〔15〕郑　重，《浮游生物学概论》，科学出版社，1964,168—169.

〔16〕Smith, V, H., Predictive models for the biomass of bluegreen algae in lakes. *Water Resour. Bull.* 1985, 21 (3) :433—439.

〔17〕Ghilarov, A. M., Report on eutrophication studies in the U. S. S. R. *Water Research*. 1983, 17 (5) :607—611.

维普资讯 http://www.cqvip.com

A STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN ALGAL COMMUNITY AND TROPHIC LEVEL FOUR IN LAKE SIHAI, BEIJING

Gao Yu-Rong
(*Institute of Zoology, Academia Sinic, Beijing,* 100080)

The lake Liuhai is consisted of 6 small lakes located in central urban area of Beijing city (Fig.1)

The investigation of algal community related to the trophic level in lake Liuhai was carried out monthly through Jan.to Dec.1987 The results obtained on the first 4 lakes are as follows:

1. The algal species, density and diversity index in the lakes appeared obvious horizontal variations, and the number and diversity index of species in lake Shishahai, i. e., Lakes Xihai, Houhai and Qianhai, were remakbly higher than that in lake Beihai. On the contrary, the density of algae in lake Shishahai was remakbly lower than that in Beihai, Instead of cleanliness-loving species,the pollution-resisting species of algae are dominant species in Beihai. This results indicated that the trophic level of lake Beihai was much higher than that of lake Shishahai.

2. It was found that the algal species and density in the four lakes exhibited obviously seasonal fluctuations. The highest content appeared in summer and autumn,and the lowest in winter.This phenomenon was light in lake Shishahai.

3. The results from a correlation analysis of algal density with some ecoloogical factors in lakes indicated that the algal number increases as water temperature, water colour, total phosphorus, total nitrogen, BOD_5, COD, suspended solid increase but as water transparency decreases.

4. The community successions of algae are well coincided with the variations of water quality. According to the date of algal communities,the water quality of the lake Shishahai belongs to mesoeutrophic lake, and lake Beihai is eutrophic.

Key words: algae, lake, water quality, bioassessment, eutrophication.