

呼伦湖浮游植物调查与营养状况评价

姜忠峰, 李畅游*, 张 生, 贾克力, 史小红

(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:系统地对呼伦湖浮游植物现状进行了调查和监测, 调查结果显示, 呼伦湖共有浮游植物 142 种属, 隶属 8 门、22 目、40 科, 其中绿藻门 69 种, 硅藻门 29 种, 蓝藻门 27 种, 裸藻门 5 种, 甲藻门 3 种, 隐藻门 2 种, 黄藻门 4 种, 金藻门 3 种。以绿藻、蓝藻和硅藻为优势种属。浮游植物平均生物量为 $6.995 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在此基础上, 分别以浮游植物种类生态学指标和 PCQ 模型对呼伦湖水质进行评价, 并验证了 PCQ 模型用于富营养化评价的可行性, 结果表明呼伦湖处于富营养状态。

关键词:呼伦湖; 浮游植物; 营养状况; 评价

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2011)04-0726-07

Phytoplankton and Nutrition Evaluation in Hulun Lake

JIANG Zhong-feng, LI Chang-you*, ZHANG Sheng, JIA Ke-li, SHI Xiao-hong

(The College of Water Conservancy and Civil Engineering of Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

Abstract: A survey concerning phytoplankton and nutritional levels in Hulun Lake were conducted. The results showed that there were a total of 142 genera phytoplankton, belonged to 8 phylum, 22 orders and 40 families in the Lake. Chlorophyta accounted for the most genera and bacillariophyta took the next, with 69 and 29 genera respectively. Cyanophyta represented 27 genera, while euglenophyta, pyrophyta, cryptophyta, xanthophyta and chrysophyta had 5, 3, 2, 4 and 3 genera respectively. Chlorophyta, cyanophyta and bacillariophyta were the dominant phytoplankton. The average biomass of phytoplankton was found to be $6.995 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. In addition, the nutritional level of Hulun Lake was in eutrophication according to the result of PCQ model and ecological indicators for phytoplankton species.

Keywords: Hulun Lake; phytoplankton; nutritional levels; evaluation

呼伦湖, 也称达赉湖, 为中国第四大湖, 内蒙古第一大湖, 位于内蒙古自治区满洲里市及新巴尔虎左旗、新巴尔虎右旗之间, 地理坐标介于北纬 $48^{\circ}33' \sim 49^{\circ}20'$, 东经 $116^{\circ}58' \sim 117^{\circ}48'$ 之间(图 1)。湖盆东边是兴安岭山脉, 西边及南边是蒙古高原。湖面呈不规则斜长方形, 轴为东北至西南方向, 长度 93 km, 最大宽度 41 km, 湖周长 447 km, 湖水面积 $2\,339 \text{ km}^2$, 平均水深 5.7 m, 最大水深 10 m, 总储水量 138.5 亿 m^3 , 湖岸线弯曲系数为 1.88^[1]。呼伦湖是中国北方数千里之内唯一的大泽, 水域宽广, 沼泽湿地连绵。呼伦湖湿

地生态系统与呼伦贝尔草原和大兴安岭森林生态系统共同构成了我国北方的绿色生态屏障。具有独特自然价值的呼伦湖于 1992 年被确定为国家级自然保护区, 于 2002 年 1 月被拉姆萨尔公约组织批准为国际重要湿地, 于 2002 年 11 月成为世界生物圈保护区网络成员^[2]。但在近 40 多年来, 由于气候变化和人类活动的影响, 呼伦湖水位逐年下降, 水域面积不断减小, 湿地萎缩, 致使周边生态环境和湖水水质严重恶化, 湖水总含盐量和 pH 值逐年升高, 湖周大面积芦苇消失, 渔业资源濒临枯竭和大量珍稀鸟类迁移^[3]。目前, 呼伦湖水质已属中度富营养化水平^[4], 湿地生态环境正在急剧恶化, 严重威胁着我国东北乃至华北地区的生态安全。

有关呼伦湖浮游植物的研究虽然在 20 世纪 80 年代进行过系统的渔业资源调查^[5], 但经过 20 多年, 湖泊水体已发生了巨大的变化。本文旨在通过采样对呼伦湖的浮游植物群落结构作初步研究, 并对水体

收稿日期: 2010-11-04

基金项目: 国家自然科学基金(50569002, 50669004, 50969005, 40901262); 内蒙古自治区水利厅重点支持项目(20080105); 内蒙古自治区“十一五”科技攻关项目; 内蒙古自然科学基金(2009BS0605); 内蒙古农业大学博士科研启动基金项目(BJ07-59)

作者简介: 姜忠峰(1981—), 男, 山东高唐人, 博士研究生, 主要从事水污染控制和环境保护研究。E-mail: imujzf@163.com

* 通讯作者: 李畅游 E-mail: liey55@126.com

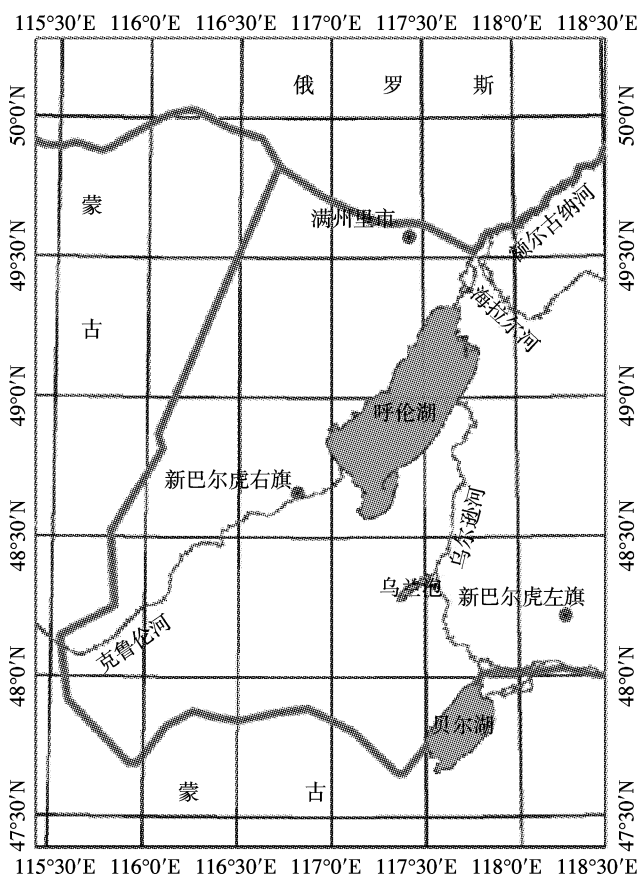


图1 呼伦湖地理位置图

Figure 1 Location of Hulun Lake

营养状况进行评价,从而为呼伦湖渔业的可持续发展及水环境保护提供理论依据。

1 材料与方法

本次调查监测由内蒙古农业大学湖泊研究团队联合中国环境科学研究院于2009年7月根据《湖泊富营养化调查规范》、《渔业水域污染事故调查处理方法》、《内陆水域渔业自然资源调查规范》和相关标准进行。根据呼伦湖水面的具体情况,在水体的中心区、沿岸区、主要进出水口附近等处设代表性的采样点共计10个,采样点设置情况详见图2。

在每个采样点均采集定性、定量样本(水深大于2 m的水域按上述标准中相关规定进行定量样品的分层采集)。定性水样用25号浮游生物网采集,采集后立即用1.5%鲁哥氏液加以固定,室内镜检鉴定;定量水样用2.5 L有机玻璃采水器进行采集,取1 000 mL装入广口瓶,加1.5%鲁哥氏液固定,静止沉淀24 h,抽出上清液浓缩至30 mL,充分摇匀后镜检,吸取0.1 mL于计数框内在显微镜下观察。单细胞或定形群

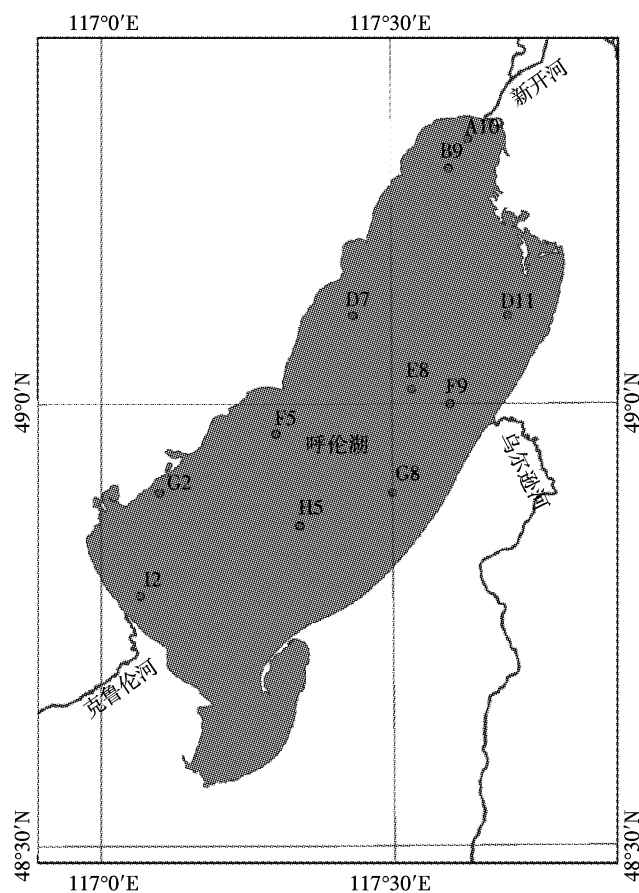


图2 呼伦湖浮游植物采样点布设图

Figure 2 Distribution of sampling sites for the phytoplankton in Hulun Lake

体按细胞计数,不定形群体先测量、计算出体积,再乘以比重1得其生物量,然后除以细胞湿重得细胞数。个体计数按单细胞为一个体,定形群体一个群体为一个体,不定形群体按视野下具体分散状态,不论团块大小均各自定为一个体计数。采样同时测定并记录时间、水温、气温、水深、透明度、pH数据、海拔、经纬度等值,并定性描述和记录采样点的小生境。

2 结果与讨论

2.1 呼伦湖浮游植物种类与组成

经过采样调查,初步鉴定,呼伦湖共有浮游植物142种属,隶属8门、22目、40科。如图3所示,其中蓝藻门27种占19.0%,裸藻门5种占3.5%,甲藻门3种占2.1%,隐藻门2种占1.4%,黄藻门4种占2.8%,金藻门3种占2.1%。由表1可知,各点的分布上,蓝藻门为优势门,以铜绿微囊藻(*Microcystis Kütz.*)、鱼腥藻(*Anabaena Bory.*)、束丝藻(*Aphanizomenon Morr.*)为优势种,蓝球藻(*Chroococcus Nag.*)、颤藻(*Oscillatoria Vauch.*)为常见种。绿藻门居第二,优势种主要为卵囊

藻(*Oocystis Næg*)、十字藻(*Crucigenia Morr*),栅列藻(*Scenebemus Mey*)、集星藻(*Actinastrum Lag*)、盘星藻(*Pebiastrum Mey*)为常见种,鼓藻(*Cosmarium Cord*)、并联藻(*Quadriguls Printz*)为习见种。硅藻门再次之,优势种为舟形藻(*Naviculla Bory*)、小环藻(*Cyclotella Kütz*)等。优势种和常见种在各点出现的频率虽然不同,但总体分布比较均匀。

2.2 呼伦湖浮游植物生物量

呼伦湖各采样点不同藻门的生物量统计如图 4、图 5 所示。呼伦湖 10 个采样点的总平均生物量为 $6.995\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 各采样点总生物量由高到低依次为 $\text{E8}>\text{F9}>\text{F5}>\text{B9}>\text{A10}>\text{I2}>\text{G2}>\text{D7}>\text{G8}>\text{H5}$ 。其中 E8 点的总生物量最高,为 $7.862\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;H5 点总生物量最低,为 $5.491\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。这是由于 E8 点离湖区进出水口较

表 1 呼伦湖各采样点浮游植物分布
Table 1 The distribution of phytoplankton in the sampling points of Hulun Lake

浮游植物		采样点									
		A10	B9	D7	E8	F5	F9	G2	G8	H5	I2
绿藻门	鼓藻 <i>Cosmarium Cord</i>	++	+	+	++	+	++	+	-	+	++
	卵囊藻 <i>Oocystis Næg</i>	++	+++	++		+++	++	++	+	++	+++
	十字藻 <i>Crucigenia Morr</i>	+++	++	++	-	++	++		+	-	++
	纤维藻 <i>Ankistrodesmus Cord</i>	-	+	+	+	-	+	-	+	+	-
	小球藻 <i>Chlorella Beij</i>	-		-	+		-	-	+	+	-
	肾形藻 <i>Nephrocytium Næg</i>		-		-	-		+	-	+	-
	浮球藻 <i>Planktosphaeria C.M.Simth</i>		+		-	+		++	-	-	++
	集星藻 <i>Actinastrum Lag</i>	++	++	++		++	+++		+	+	+++
	胶网藻 <i>Dictyosphaerium Næg</i>				+		-	-			-
	韦氏藻 <i>Westella Link</i>	-		-	++	-	-	-	+	-	
	并联藻 <i>Quadriguls Printz</i>	+	-			+	+				+
	绿梭藻 <i>Chlorogonium Enr</i>	+	+	+	-	-	-		+	-	-
	新月藻 <i>Closterium Nitzsch</i>	-	-	-	-		-	-			
	胶囊藻 <i>Gloeocystis Næg</i>	-				-	-	-			-
	空球藻 <i>Edorina Bory</i>		-	-			-	-	-		-
	蹄形藻 <i>Kirchneeriella Schm</i>	+	+	+	-	++	-			+	-
	盘星藻 <i>Pebiastrum Mey</i>	++	+	++	-	++	+		+	-	++
	栅列藻 <i>Scenebemus Mey</i>		++	++	-	-	++		-		+
	纺锤藻 <i>Elakatothrix Will</i>	-	-				-				
	衣藻 <i>Chlamydomonas Ehr</i>	-	-				-		-	+	
	四球藻 <i>Tetrachlorella Korseh</i>		-	-			-	-	+	-	
	微芒藻 <i>Micractinium Fres</i>		-	-	-	-	-				-
	弓形藻 <i>Schroederia</i>	-	-	+		-		-	+	-	-
	双形藻 <i>Dimorphococcus</i>	-	-	-	-			+	-		-
	空星藻 <i>Coelastrum</i>	-	-	+				-	+	-	-
	球囊藻 <i>Sphaerocystis Chob</i>			-	-				-		-
	月牙藻 <i>Selenebemus Mey</i>		-		-			-			
	绿球藻 <i>Chlorococcum Fries</i>			-		-			-		-
	实球藻 <i>Pandorina Bory</i>	-	-	+				-	+	-	+
	群星藻 <i>Sorastrum Kütz</i>		-			-		-	+		-
	多芒藻 <i>Golenkinia Chod</i>	-		+	+			-	-		
	水棉藻 <i>Spirogyra Link</i>		-			+			-	-	+
	小箍藻 <i>Trochiscia Kütz</i>	-		-			-	+	+		
	转板藻 <i>Mougeotia Ag.</i>	-	-			-			-		-
	四角藻 <i>Tetraedron Kuetz</i>			-	+	-	-	+	+	-	
	双星藻 <i>Zygnema Ag.</i>			-							-

续表 1

浮游植物		采样点									
		A10	B9	D7	E8	F5	F9	G2	G8	H5	I2
硅藻门	舟形藻 <i>Naviculla</i> Bory		+					-	+		
	小环藻 <i>Cyclotella</i> Kütz	+	+		-	-	++	-	+	-	++
	脆杆藻 <i>Fragilaria</i> Lyngby				-	-	-				+
	直链藻 <i>Melosira</i> Ag		-	-			-	-			
	桥弯藻 <i>Cynbella</i> Ag				-		-	-	-	+	
	根管藻 <i>Rhizosolenia</i> Her	+	-					-			
	羽纹藻 <i>Pinnularia</i> Her			+			-		-		
	双菱藻 <i>Surirella</i> Turp					-		-			
	针杆藻 <i>Synedra</i> Her	-						-			++
	双眉藻 <i>Anmphor</i> Her	-	-		++	-		+	+	-	+
	曲壳藻 <i>Achnanthes</i> Bory				+++		-	+	-		-
	异端藻 <i>Gompgonema</i> Ag	-	-	-				-			-
	波形藻 <i>Cymatopleura</i> W.surth				++	-		-	-		-
	星杆藻 <i>Asteconella</i>			-				-		-	-
	菱形藻 <i>Nitzschia</i> Hass				-	-		-			-
蓝藻门	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> Bory.							-			
	微囊藻 <i>Microcystis</i> Kütz.	++	++	+	-	+	++	+	-	-	+
	平裂藻 <i>Merismopedia</i> Mey.	+++	+++	++		+	++	+	+	-	++
	蓝球藻 <i>Chroococcus</i> Nag.			+	+	-	-	-	+		+
	林氏藻 <i>Lyngbya</i> Ag.	++	++	++		+	+	-	+		++
	楔形藻 <i>Gomphosphaeria</i> Kütz			-				-			
	隐球藻 <i>Aphanaocapsa</i> Näg	-	-	-	-		-				
	颤藻 <i>Oscillatorja</i> Vauch.			+		-		-	-	+	+
	束丝藻 <i>Aphanizomenon</i> Morr.	-	-	+	-		-				-
	蓝纤维藻 <i>Dactylococcopsis</i> Hansg.		+	-		++	+	-	-		++
	尖头藻 <i>Raphidiopsis</i>	+		-	-		++	+	-		-
	胶鞘藻 <i>Phormidium</i> Kütz				-	-		-	+	-	
	胶球藻 <i>Nastacarsa</i> Näg		-	-			-				
	念珠藻 <i>Nostoc</i> Vauch	-	-	+	+	-		+	-	+	
	腔球藻 <i>Coelosphaerium</i> Näg.										-
裸藻门	尖尾裸藻 <i>Colacium</i> Her	-	-		-	-		+	+		
	裸藻 <i>Euglena</i> Oxyurio Schmar			-	-		-				-
甲藻门	角甲藻 <i>Ceratiun</i> Schr	-	-		+		+	-	+	-	
	裸甲藻 <i>Gymnodinium</i> Stein	-	-	-	-	+		+	+		-
金藻门	锥囊藻 <i>Dinodryon</i> Her			-	++			-			
	棕鞭藻 <i>Ochromonas</i> Wyss.	+	+		-	-	+	-	+	+	-
	绿囊藻 <i>Chlorobotrys</i> regularis			-	-	+					-
黄藻门	蛇孢藻 <i>Ophiocytium</i> Näg	-	-		-		-			-	
	黄丝藻 <i>Heteortrichales</i>	-	-	-		-	-	-	+		-
隐藻门	隐藻 <i>Cryptomonas</i> Ehr	+	+	-	-	-		+		-	
	蓝隐藻 <i>Cgroomonas</i> Hansg	-	-	-			-	+	-		+

注:+++多,++较多,+,少,-很少

远,水流舒缓,并且水深较浅,适宜浮游植物生长繁殖;而 H5 点虽处于湖区中心,但该点水较深,常年波浪较大,不利浮游植物生长。从浮游植物种类来看,蓝藻门的平均生物量最高,为 2.976 mg·L⁻¹,占总平均生物量的 42.54%;其次为绿藻门,平均生物量为 2.466 mg·L⁻¹,占总平均生物量的 35.26%;金藻门的平均生

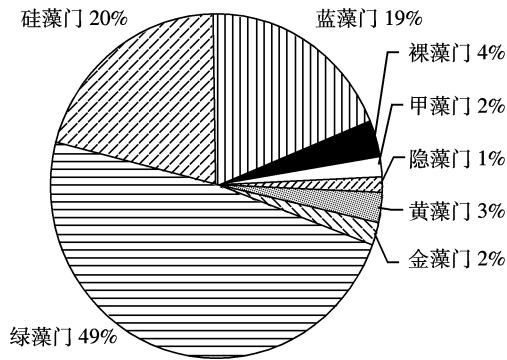


图3 呼伦湖浮游植物种类组成

Figure 3 Species composition of the phytoplankton in Hulun Lake

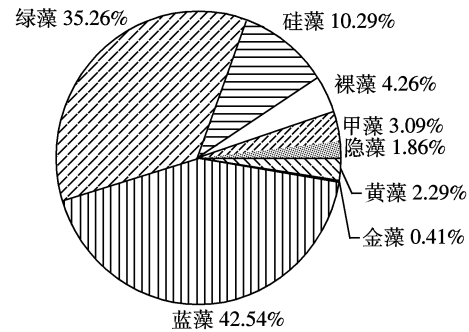


图4 呼伦湖各采样点浮游植物生物量分布

Figure 4 The biomass of phytoplankton in each sampling points of Hulun Lake

物量最低, 仅为 $0.0287 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 占总平均生物量的 0.41%。

2.3 呼伦湖浮游植物现状与前期调查对比

将本次调查结果与 1988 年^[5]检测进行对比, 如图 6、图 7 所示。由图可知蓝绿藻门仍为优势种类; 所有各门的种类数均有减少, 其中以绿藻门的减少最为明显。从组成结构来看, 蓝藻门、裸藻门、甲藻门、隐藻门、金藻门种类数所占百分比均有上升, 其中以裸藻

门组成百分比增幅最大, 为 5.3%; 绿藻门、硅藻门所占百分比略有下降, 黄藻门种类数所占百分比与历史调查结果持平。另外, 根据本次调查监测湖中浮游植物生物量平均为 $6.995 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 1988 年调查生物量平均为 $6.330 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 生物量增幅达 10.51%。这主要是因为呼伦湖近几年水位持续减低, 含盐量、pH 升高, 人为富营养化加剧, 有机质形成速度增快, 生长过程超过分解过程, 造成生态系统的总生物量增多。

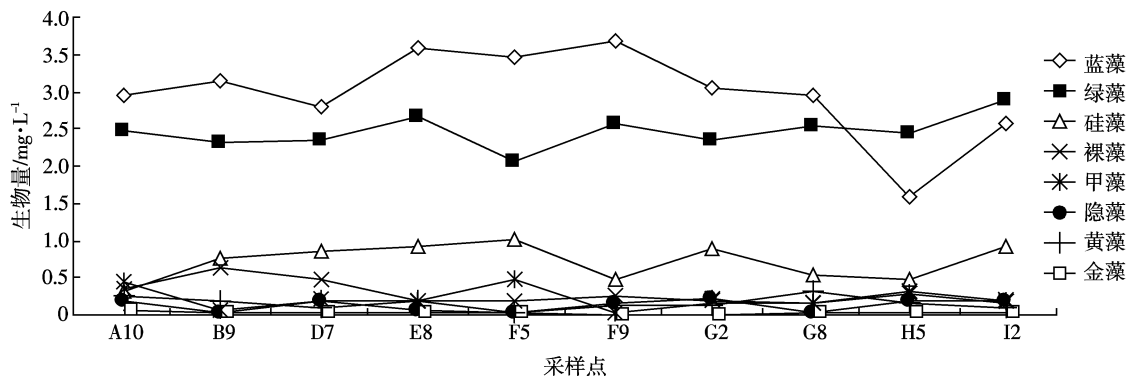


图5 呼伦湖各采样点浮游植物平均生物量百分比

Figure 5 The average biomass of phytoplankton in each sampling point of Hulun Lake

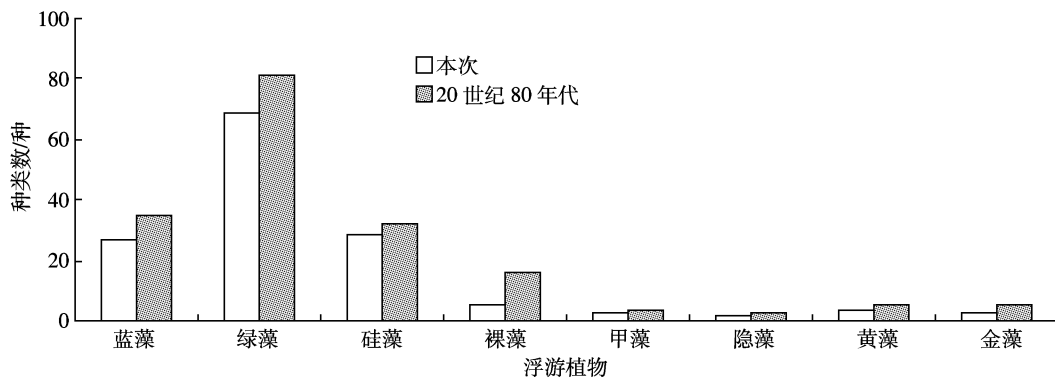


图6 呼伦湖浮游植物种数的变化

Figure 6 Changes of phytoplankton species in Hulun Lake

2.4 呼伦湖水质污染及富营养化的评价

2.4.1 据浮游植物种类生态学指标对呼伦湖水质污染及富营养化的评价

2.4.1.1 种群数量

呼伦湖藻量的平均细胞与个体数如图8所示。由图知其平均细胞与个体数分别达到 4.54×10^7 个 $\cdot L^{-1}$ 及 1.5×10^6 个 $\cdot L^{-1}$, 按国内有关湖泊富营养化标准^[6], 该湖泊已达到富营养化水平。

2.4.1.2 污染指示种

根据有关污染指示藻类及指示污染等级^[7], 结合实际观察情况对呼伦湖浮游植物群落组成种类进行评价。指示重污染(ps)及 α -中等污染(α -ms)的种类如隐藻、镰形纤维藻(*Ankistrodesmus falcatus*)、长绿梭藻(*Chlorogonium elongatum*)等在多个采样点有分布。指示 α -中等污染和 β -中等污染(β -ms)的种类较多, 如铜绿微囊藻、含糊腔球藻、水华束丝藻(*Aphanizomenon flos volvocina*)、梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)、二形栅藻(*Scenedesmus dimorphus*)等。指示 β -中等污染(β -ms)的种类最多, 并且各采样点都有一定的分布, 如颗粒直链藻(*Melosira anulata*)、

菱形藻(*nitzschia*)、尖针杆藻、水华鱼腥藻(*A. flos-aquae*)、林氏藻、空球藻(*Eudorina elegans*)、实球藻(*Pandorina morum*)、栅藻、空星藻、十字藻、软囊藻、盘星藻、弓形藻、微芒藻、多芒藻、扁裸藻、韦斯藻(*Westella botryoides*)等。从各采样点优势种及普见种来看, 均属于 α -ms 或 β -ms 指示种, 说明呼伦湖处于中度污染状态。

2.4.1.3 群落优势种

呼伦湖以蓝藻门的铜绿微囊藻、鱼腥藻、束丝藻(*Aphanizomenon Morr.*), 绿藻门的单生软囊藻、椭圆软囊藻、湖生软囊藻、四角十字藻、十字藻等为优势种。从本次采样所得的数据来看, 呼伦湖浮游植物的总种类较1988年的调查有所降低, 但其中构成水华的绿藻门所占百分比大幅上升; 生物量增多也比较明显。出现这种以微囊藻、鱼腥藻、束丝藻为主的蓝藻优势, 标志着呼伦湖处于富营养化状态。

2.4.2 基于浮游植物混合商的呼伦湖营养状况评价

由于在不同的水质环境中所滋长的藻种不同, 可利用水中出现的藻种为指标来评价水体的营养状况。Nygaard^[8]于1949年提出用浮游植物混合商 PCQ

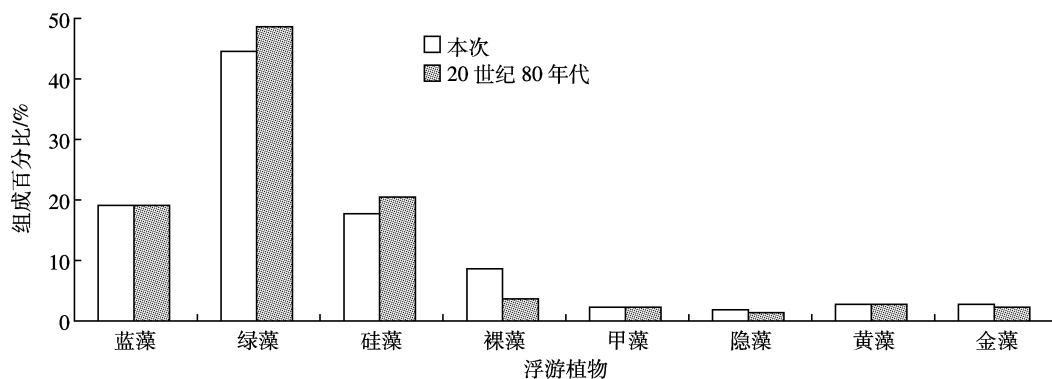


图7 呼伦湖浮游植物组成结构的变化

Figure 7 Changes of phytoplankton composition in Hulun Lake

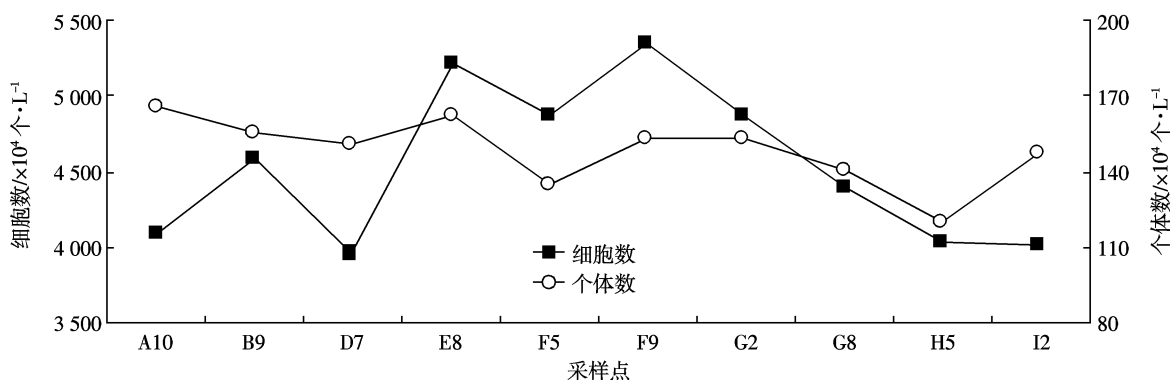


图8 呼伦湖浮游植物细胞及个体数

Figure 8 The number of cells and individual of phytoplankton in Hulun Lake

(Phytoplankton compound quotient)来反映湖泊的生态状况,取得了良好的效果。Ott & Laugaste^[9]对模型作了进一步的修正并用于爱沙尼亚湖泊的评价,使评价的精确性得到了进一步的提高。其模型表示如下(*表示不同种类数):

$$PCQ = \frac{\text{蓝藻门} * + \text{绿球藻目} * + \text{圆心硅藻目} * + \text{裸藻纲} * + \text{隐形门} * + 1}{\text{鼓藻目} * + \text{金藻纲} * + 1}$$

PCQ 模型营养状况等级分类见表 2。本文利用该模型对呼伦湖营养状况进行评价,计算出该湖泊的 PCQ 值为 5.8,属于富营养型湖泊,这与以浮游植物种类生态学指标对呼伦湖水质污染及富营养化的评价的结果以及岳彩英等^[4]的研究结论一致,说明这一模型用于呼伦湖水质评价是可行的。

表 2 浮游植物混合商评价湖泊营养状况等级分类
Table 2 Nutrition status of the lake according to the phytoplankton compound quotient (PCQ)

PCQ	营养状况
<2	贫营养型
2~5	中营养型
5~7	富营养型
>7	超富营养型

3 结论

(1)从研究结果来看,呼伦湖浮游植物种类组成出现的频次由高到低依次为绿藻>硅藻>蓝藻>裸藻>黄藻>甲藻=金藻>隐藻。生物量由高到低依次为蓝藻>绿藻>硅藻>裸藻>甲藻>黄藻>隐藻>金藻。以蓝藻、绿藻及硅藻为优势种属。

(2)将本次调查结果与 1988 年检测进行对比可知:蓝绿藻门仍为优势种类;所有各门的种类数均有减少;从组成结构来看,构成富营养化的主要藻类所占百分比上升;总生物量亦有升高。表明呼伦湖水质状况及生态环境有恶化趋势。

(3)分别以浮游植物种类生态学指标和 PCQ 模型对呼伦湖水质进行评价,二者结果具有一致性,表明目前呼伦湖处于富营养状态。基于呼伦湖的功能及

其在区域环境保护和经济社会发展中的特殊地位,其综合治理和保护已势在必行。

参考文献:

[1] 孙 标. 基于空间信息技术的呼伦湖水量动态演化研究[D]. 内蒙古农业大学, 2010.
SUN Biao. The dynamic change of water based on spatial information technology for Hulun Lake in Inner Mongolia[D]. Inner Mongolia Agricultural University, 2010.

[2] 白福春, 金业雄, 乌力吉. 内蒙古达赉湖国家级自然保护区的湿地监测与保护管理[J]. 湿地科学与管理, 2005, 1(1): 44-46.
BAI Fu-chun, JIN Ye-xiong, WU Li-ji. Monitoring and protection of wetland in Dalai Lake national nature reserve, Inner Mongolia[J]. *Wetland Science & Management*, 2005, 1(1): 44-46.

[3] 韩向红, 杨 持. 呼伦湖自净功能及其在区域环境保护中的作用分析[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 684-690.
HAN Xiang-hong, YANG Chi. An analysis of the self-purification function of Hulun Lake and its effect on regional environmental conservation [J]. *Journal of Natural Resource*, 2002, 17(6): 684-690.

[4] 岳彩英, 赵卫东, 李明娜, 等. 达赉湖水质状况及影响因素分析[J]. 内蒙古环境科学, 2008, 2(2): 7-9.
YUE Cai-ying, ZHAO Wei-dong, LI Ming-na, et al. The situation of Dalai Lake water quality and in fluencing factors analysis[J]. *Inner Mongolia Environmental Science*, 2008, 2(2): 7-9.

[5] 王玉亭, 李宝林, 张路增. 高寒地区半咸水湖的浮游植物 [J]. 水产科学, 1993, 12(3): 13-16.
WANG Yu-ting, LI Bao-lin, ZHANG Lu-zeng. Phytoplankton in Semi-saline lake of alpine region[J]. *Fisheries Science*, 1993, 12(3): 13-16.

[6] 顾丁锡. 湖泊富营养化评价方法[J]. 环境污染与防治, 1983(3): 14-17.
GU Ding-xi. Evaluation of lake eutrophication[J]. *Environmental Pollution & Control*, 1983(3): 14-17.

[7] 蒙仁宪, 刘贞秋. 以浮游植物评价巢湖水质污染及富营养化[J]. 水生生物学报, 1988, 12(1): 13-26.
MENG Ren-xian, LIU Zhen-qiu. An evaluation of water pollution and eutrophication of the Chaohu Lake by means of phytoplankton[J]. *Acta Hydrobiological Scinica*, 1988, 12(1): 13-26.

[8] Kersti K, Reet L, Peeter N, et al. Long-term changes and seasonal development of phytoplankton in a strongly stratified hypertrophic lake[J]. *Hydro-Biologia*, 2005, 547: 91-103.

[9] Ott I, Laugaste R. Füttoplanktoni koondindeks (FKI), üldistus Eesti järvede kohta[J]. *Eesti Keskkonnaministee-riumi infoleht*. 1996, 3: 7-8.