

## 黑龙江呼兰河湿地藻类植物群落结构及分布特点\*

惠洪宽, 马跃, 范亚文\*\*

(哈尔滨师范大学生命科学与技术学院, 哈尔滨 150025)

**摘要:** 2009年5-10月期间对呼兰河湿地8个样点进行了5次藻类植物采样调查,经显微镜观察,共鉴定藻类植物158个分类单位,包括148种10变种,隶属于7门8纲14目23科50属。呼兰河湿地藻类群落组成以硅藻、绿藻为主,藻类植物的细胞密度变化范围在 $469.55 \times 10^5 - 847.35 \times 10^5$  cells/L之间,不同采样点藻类植物种类组成及丰度的变化趋势不同。采样点II藻类植物种类最多;采样点I、V藻类植物丰度较大。呼兰河湿地内出现的藻类多为普生性种类,但出现了一定的富营养化污染指示种类,结合Shannon-Wiener多样性指数 $H'$ 、Pielou均匀度指数 $J$ 评价结果初步推断,呼兰河湿地水域受到一定的污染。

**关键词:** 藻类植物;呼兰河湿地;群落结构

## Algae community structure and distribution in Hulanhe Wetland, Heilongjiang Province

HUI Hongkuan, MA Yue & FAN Yawen

(College of Life Science and Technology, Harbin Normal University, Harbin 150025, P. R. China)

**Abstract:** Monthly algae samples in Hulanhe Wetland, Heilongjiang Province, were collected from May to October, 2009. A total of 158 taxa, belonging to 7 phyla, 8 classes, 14 orders, 23 families, 50 genera, 148 species and 10 varieties, were identified. The abundance of algae ranged from  $469.55 \times 10^5 - 847.35 \times 10^5$  cells/L. They were predominantly Bacillariophyta and Chlorophyta. The composition and biomass of the algae varied with the studying periods. Most of the algae were found in the site II. While the biomass in sites I and V was greater than that of other sites. Results showed that most taxa were common species and several indicator species for eutrophication and pollution were also found. According to the assessments using saprobic indicator, Shannon-Wiener diversity index and Pielou evenness index, the water in Hulanhe Wetland was of different degrees of pollution.

**Keywords:** Algae; Hulanhe Wetland; community structure

藻类植物是湿地生态系统中物理、化学、生物过程的基本实践者,作为湿地食物网中的初级生产者,在水生态系统的研究中具有重要的意义<sup>[1]</sup>。藻类植物的分布与湿地内环境之间有着十分密切的关系。藻类植物通过其生物量、种类组成、生产力与环境因子的关系作为评价水体生态环境的指标,以此反映湿地整体环境的变化,来保持湿地生态系统的可持续性<sup>[2-4]</sup>。利用藻类植物作为生物监测、评价水质污染状况及富营养化水平,在国外已被广泛采用并卓有成效<sup>[5]</sup>。我国许多学者已开始利用藻类植物来监测评价河流污染状况<sup>[6-10]</sup>。随着湿地环境越来越受到人们的关注,很多研究者开始对不同类型湿地的藻类植物进行调查,并利用藻类对其区域内水体进行评价,李秋华等<sup>[11]</sup>、覃雪波<sup>[12]</sup>分别对澳门部分湿地、三江平原安邦河湿地的浮游植物群落结构及分布进行了研究,解释了不同类型湿地的水质变化。

呼兰河湿地(45°09'N-46°10'N, 126°76'E-127°31'E)位于黑龙江省哈尔滨市呼兰区南部,松花江北岸呼兰河口,沿松花江北岸东西方向呈带状延伸,是正在恢复中的湿地。呼兰河湿地作为哈尔滨市重点恢复的湿地之一,相关报道只是在杨永兴<sup>[13]</sup>、刘晓曼等<sup>[14]</sup>对东北地区湿地资源调查中提到,但大多集中于高等植物,对呼兰河湿地藻类的相关研究在国内外未见报道。本研究在2009年5-10月间对呼兰河湿地内藻类植物群

\* 国家自然科学基金项目(30870157,31070183)和黑龙江省科技厅项目(C200828)联合资助。2010-11-02收稿;2011-03-04收修改稿。惠洪宽,男,1985年生,硕士研究生;E-mail: hkh8508@163.com.

\*\* 通讯作者;E-mail: fanyaw@yahoo.com.cn.

落结构、生态分布进行了调查,并对藻类植物多样性变化进行初步研究,利用藻类植物对湿地内水域环境状况进行初步评价,为呼兰河湿地恢复和治理保护提供基础资料和科学依据。

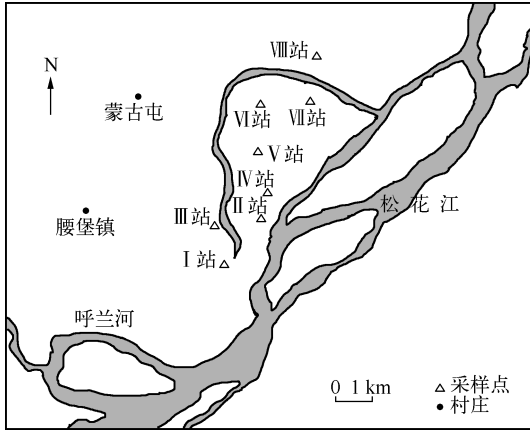


图1 呼兰河湿地采样点示意图

Fig. 1 Sampling sites in Hulanhe Wetland

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点设置

在呼兰河湿地内中选取了八个采集样点(图1),分别为腰堡镇附近的1#水文站(I站)、浮桥码头(II站)、防汛堤南段(III站)、防汛堤北段(IV站)、进水口(V站)、蒙古屯(VI站)、2#水文站(VII站),以及护林房(VIII站),代表了呼兰河湿地生态环境的总体特征,其中I站位于1#水文监测站处下方,为半养殖区。II站位于废弃的浮桥码头附近,III站、IV站为开放水面,均不受污水排放的影响。V站位于村庄的排污坝口,有畜禽养殖,人为活动频繁。VI站与村庄较近,无污水排入,附近大量的河沙被开采。VII站位于2#水文监测站,水体流动较快,水质较好。VIII站处于较为封闭的水域,两边为农田,受农业生产过程中有机肥料施用的影响较大。

### 1.2 样品的采集、处理和分析

2009年5、7、8、9、10月进行样品的采集,定性样品中浮游藻类采用网孔孔径为0.064 mm的25#浮游网在水面下0.5 m处作“∞”字形缓慢捞取,着生藻类用刀、镊子等工具从基质上刮取;所有样品均加入4%的甲醛固定保存,经过一定的处理后进行鉴定<sup>[15-22]</sup>。定量样品用采水器采集水样1 L,加入鲁哥溶液固定,并沉淀、浓缩至30 ml,取0.1 ml定量样品在浮游生物计数框内鉴定、计数、分析<sup>[23-24]</sup>。

采集水样的同时,现场测量采样点水体的水温(WT)、pH、电导率(SpCond),将水样在24小时内带回实验室进行五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)、总有机碳(TOC)和溶解氧(DO)等理化指标的测定。其中BOD<sub>5</sub>利用BOD-System OxDirect(Italy)测定;COD利用COD-Reaktor ET 108测定;TOC、TN和TP利用多离子微电脑测量仪测定;DO采用碘量法测定。

### 1.3 数据处理

根据沈韞芬<sup>[11]</sup>、Kolkwitz<sup>[25]</sup>等国内外学者的研究资料,利用藻类植物污染指示种对水质进行评价,将藻类植物划分为贫营养型(os)、中营养型(β-ms)、中富营养型(α-β-ms)、富营养型(α-ms)和超富营养型(β-ps)等5种类型。

用SPSS 11.0、Excel软件对呼兰河湿地藻类植物群落Shannon-Wiener多样性指数 $H'$ 、Pielou均匀度指数 $J$ 进行计算<sup>[26]</sup>。Shannon-Wiener多样性指数 $H'$ 的表达式为:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中, $H'$ 为物种多样性指数; $S$ 为藻类植物属数; $P_i$ 为第 $i$ 属的个体数( $N_i$ )与总个体数( $N$ )之比。评价标准是: $H' > 3$ (轻或无污染), $H' = 1 - 3$ (中污染), $H' = 0 - 1$ (重污染)。Pielou均匀度指数 $J$ 的表达式为:

$$J = H' / \ln S$$

主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)是将分散在一组变量上的信息,集中到某几个综合指标上的一种统计分析方法。本文计算、绘图采用Canoco for Windows 4.5分析软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 呼兰河湿地环境变化参数

呼兰河湿地水温季节性变化明显,7月份最高,10月份最低。pH值在6.087-6.553之间变化,5月份

pH值最高,8月份最低.溶解氧5月份最高为15.850 mg/L,10月份次之,7月份最低. COD和BOD<sub>5</sub>均在7月份出现最高值,分别为20.700和2.651 mg/L.总磷浓度在0.057-0.154 mg/L之间变化,总氮浓度在1.413-5.676 mg/L之间变化. TOC在7月份达到最大值,为4.808 mg/L,其余采样月份差别不大(表1).

表1 呼兰河湿地水体环境因子季节变化

Tab.1 Seasonal variations of the water environmental factors in Hulanhe Wetland

月份	WT(°C)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	TOC (mg/L)	SpCond (μS/cm)
5	18.53	6.553	15.850	19.787	1.713	0.058	2.843	4.541	240
7	22.08	6.251	4.151	20.700	2.651	0.154	4.838	4.808	243
8	21.44	6.087	5.300	20.050	2.587	0.107	5.676	4.518	192
9	18.00	6.178	5.831	18.288	2.275	0.057	2.987	4.407	204
10	6.46	6.100	15.513	19.237	1.637	0.086	1.413	4.383	200

呼兰河湿地各采样点与环境变量之间的主成分分析结果表明(图2),第一、二轴特征值分别为0.312和0.272,共解释环境变量的累计方差为79.3%.分析采样点与环境相关性可知:总磷将第二轴分为中营养区和贫营养区,下侧的总磷和总氮以及BOD<sub>5</sub>都较高,主要集中在I站(1-5)和V站(21-25),其所在位置靠近村庄,受到生活污水的影响,水质较差;Ⅷ站(36-40)处溶解氧最低,电导率最大,这是由于其处于封闭的水域,反映了较差的生态环境;第一轴左侧总磷浓度和五日生化需氧量普遍偏低,而溶解氧却较高,表明Ⅲ站(11-15)水体较开放,并处在贫营养区域,具有良好的水质.其余四个研究站点(Ⅱ站,Ⅳ站,Ⅵ站,Ⅶ)环境状况差异不大,与总氮和总磷浓度的相关性较小,表明以上四个站点附近水体受氮、磷营养盐污染程度较小,水体质量介于Ⅲ站和V站之间;其中,Ⅶ站(31-35)溶解氧较高,水质状况相对较好.

2.2 呼兰河湿地藻类植物种类组成

通过鉴定,研究区域共发现藻类植物158个分类单位(148种10变种),隶属于7门8纲14目23科50属,其中硅藻门23属67种6变种,占藻类总数的46.3%;绿藻门15属38种4变种,占藻类总数的26.5%;裸藻门5属28种,占藻类总数的17.7%;蓝藻门5属11种,占藻类总数的7%;甲藻门1属2种,占藻类总数的1.3%;黄藻门1属1种;占藻类总数的0.6%.

从各采样点藻类植物种类组成上看(图3),以硅藻最多,其次是绿藻,再次是裸藻,其它种类较少.采样点之间藻类植物种类组成有一定的差异性,硅藻门植物在各采样点种类数分布依次为:Ⅳ站>Ⅱ站>Ⅴ站>Ⅰ站>Ⅲ站>Ⅶ站>Ⅷ站,其中Ⅳ站的硅藻所占总数比例大于50%;Ⅱ站和Ⅲ站的绿藻种类较多,其它站点差异不显著(P=0.126);各采样点的均匀度指数P变幅为0.501-0.620,Ⅶ站最高,Ⅷ站最低,与藻类植物种属个体间分布基本一致.

呼兰河湿地常见种类有硅藻门的梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、直菱形藻(*Nitzschia recta*)、隐头舟形藻(*Navicula cryptocephala*)、尖布纹藻(*Gyrosigma acuminatum*)、粗壮双菱藻(*Surirella robusta*);绿藻门的实球藻(*Pandorina morum*)、四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*)、二角

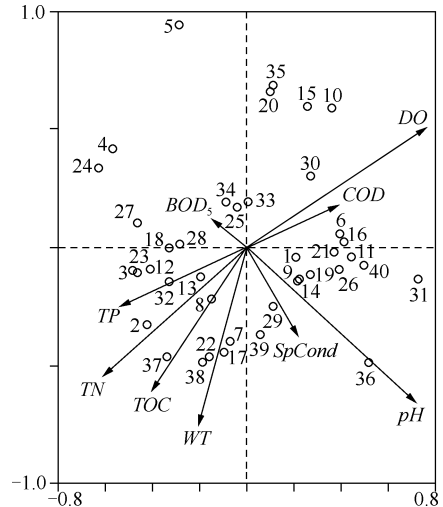


图2 样点和环境因子的主成分分析(1-40表示样点及对应的生态信息,其中1-5代表站点I的5、7、8、9、10月份的生态信息,以此类推,36-40代表站点Ⅷ的5、7、8、9、10月份的生态信息)

Fig.2 Results of principal component analysis (sites and the water environmental factors)

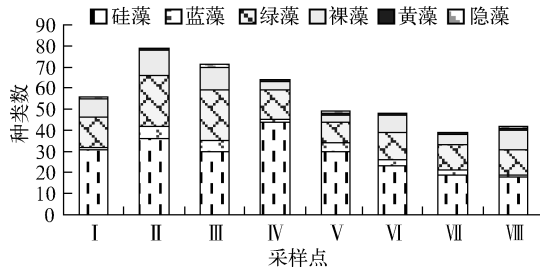


图3 呼兰河湿地各样点藻类植物种类数比较  
Fig. 3 Species number of algae in sampling sites of Hulanhe Wetland

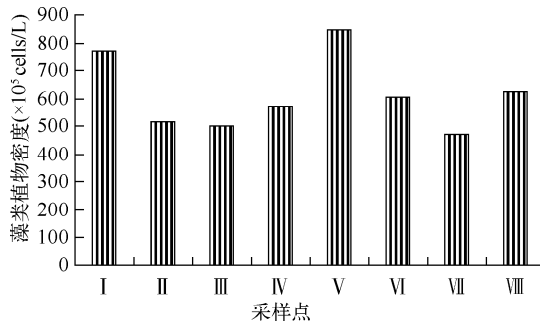


图4 呼兰河湿地不同采样点藻类植物密度比较  
Fig. 4 Comparison of algae density in different sampling sites of Hulanhe Wetland

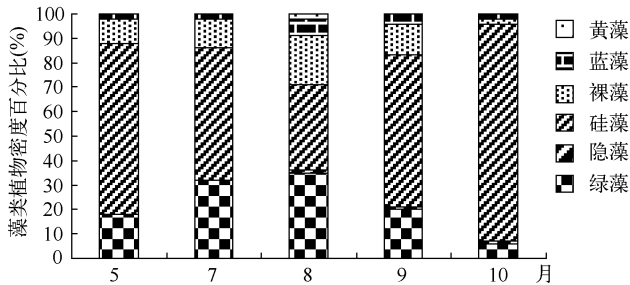


图5 呼兰河湿地藻类植物密度季节变化  
Fig. 5 Seasonal changes of algae density in different sampling sites of Hulanhe Wetland

盘星藻 (*Pediastrum duplex*) 及变种、锐新月藻 (*Closterium acerodum*)、颗粒鼓藻 (*Cosmarium granatum*); 裸藻门的梭形裸藻 (*Euglena acus*)、尖尾裸藻 (*Euglena oxyuris*); 蓝藻门的小颤藻 (*Oscillatoria tenuis*)、鱼腥藻属种类 (*Anabaena* sp.)。

2.3 呼兰河湿地藻类植物细胞密度

呼兰河湿地藻类植物的平均细胞密度为  $613.71 \times 10^5$  cells/L, 其中V站的最高, 为  $847.35 \times 10^5$  cells/L; VII站最低, 为  $469.55 \times 10^5$  cells/L, 其余站点之间差异不明显 ( $P = 0.156$ ) (图4)。呼兰河湿地藻类植物密度季节性变化(图5)以5月最高, 主要是由于梭形裸藻、梅尼小环藻等种类大量繁殖; 10月藻密度最低, 其原因可能是研究区域水温降低, 仅有一些适合在冷水环境下生长的藻类出现。

2.4 藻类植物对水质的指示评价

2009年在呼兰河湿地藻类植物调查期间共鉴定出污染指示种类38种, 其中贫营养型4种、中营养型22种、中富营养型9种、富营养型2种、超富营养型1种。通过各站点不同营养型指示种类数及所占比例可以看出, 呼兰河湿地各采样点的水体环境均受到不同程度的污染(表2)。VIII站、V站和I站的指示种类较多, 中营养型、中富营养型指示种类所占的比例较高, 并且富营养型指示种类绿色裸藻 (*Euglena viridis*) 和超富营养指示种类鱼形裸藻 (*Euglena pisciformis*) 在VIII站点均有发现。

呼兰河湿地各采样点的 Shannon-Wiener 多样性指数  $H'$  在 1.49 - 3.73 之间波动, 均值为 2.44, 评价结果为中度污染。比较各采样点之间的数据可见, V站、VIII站、I站的多样性指数明显低于其它站点, 表明其附近水体环境污染程度较大; 而VIII站的多样性指数数值大于3, 水质较好; 其它站点的数值差异不明显。在一定程度上说明, 其结果与水体理化指标的测定数值基本一致。

在某种程度上说明, 其结果与水体理化指标的测定数值基本一致。

3 讨论

水生生物具有不同的生物学特征, 它们在湿地水生态系统中具有不同的结构和功能, 对环境变化的反应也不同, 因此环境因素的变化会造成藻类植物的种类与密度发生变化, 通过2009年对呼兰河湿地藻类的调查采集, 共发现藻类植物158个分类单位, 包括148种10变种, 分别隶属于7门8纲14目23科50属, 平均细胞密度为  $772.13 \times 10^5$  cells/L。

表2 各采样点污染指示藻类的种数及其所占比例,多样性指数和水质评价

Tab.2 Species composition and indicator algae, Shannon-Wiener biodiversity index and bioassessment of water quality in Hulanhe Wetland

样站	os		$\alpha$ -ms		$\alpha$ - $\beta$ -ms		$\beta$ -ms		$\beta$ -ps		多样性指数	水质状况
	种数	比例 (%)	种数	比例 (%)	种数	比例 (%)	种数	比例 (%)	种数	比例 (%)		
I					3	12.1	5	12.4			1.56	中污染
II					2	1.2	1	4.5			2.74	中污染
III	1	12.0					1	2.1			2.89	中污染
IV							3	4.3			2.68	中污染
V					5	20.4	4	20.0	1	3.6	1.49	中污染
VI							5	20.2			2.76	中污染
VII	2	31.1					3	3.2			3.73	轻污染
VIII					6	15.7	7	21.1	1	4.7	1.69	中污染

从种类数、种类组成和细胞密度来看,呼兰河湿地的藻类植物群落结构表现出明显的空间差异. 研究结果表明,呼兰河湿地藻类植物群落结构以硅藻-绿藻型为主,裸藻、蓝藻次之,间有黄藻-隐藻型群落. 硅藻在各站点较为丰富,绿藻以浮桥码头(II站)和防汛堤南段(III站)处种类较多,裸藻和蓝藻在各站点出现的种类较少,但密度较大;蒙古屯(VI站)的裸藻数量相对较多,这些特点与各站点的地理特征和水体受污染状况相吻合. 呼兰河湿地属于正在恢复中的城区湿地,受人为活动影响较大,V站点地势低洼,水流较缓,营养物容易堆积,营养化程度较高,且居民区生活垃圾大量排入水体中,加上有持续的风向,导致一些营养化指示种大量繁殖,由于藻类植物是水生生态系统的初级生产者,它对水体营养状态的变化能迅速做出反应,如尖尾裸藻的种类优势度在此处为全年最高;而在护林房(VIII站)附近,周围大多是农田,农业生产过程中一些有机污染物排入水体,TP和TN含量增加,尤其在5、10月最为明显,大量耐污染的种类出现,如四尾栅藻、华丽星杆藻(*Asterionella formosa*)等. 湿地周边土壤含沙量和流速也可引起水域内藻类群落结构的产生差异,呼兰河湿地内河道采沙现象较为严重(如IV站和VI站),致使岸堤垮塌,水体搅动随之增强,且含沙量增高,不利于藻类植物的生存,仅有一些能够在波动频繁水体中生长的种类出现,如变异直链藻(*Melosira varians*)、*Eunotia bilunaris*等均频繁在IV站和VI站的水样中出现,而这两个站点的藻类植物种类数和细胞密度均较低. 由此可见,呼兰河湿地藻类植物组成变化的主要原因是受人为活动影响水体中的营养盐含量发生变化,使藻类植物个体分布产生差异,破坏了群落结构的多样性.

许多学者对国内外水库、湖泊藻类植物调查研究发现,流域的水文季节性变化会明显影响藻类植物群落和密度的季节性变化,一般水温与藻类植物生物量呈正相关,藻类植物大量增加后,光合作用过程中消耗的CO<sub>2</sub>会增多,水体酸碱度随之发生变化,从而影响藻类植物生理过程,导致种群结构改变<sup>[27-28]</sup>. 呼兰河湿地处于寒温带季风气候区,水温季节变化明显,呈春季低,夏季最高,秋季降低,冬季最低的特点. 且受季风的影响,春季和秋季降水量少,径流量减少,水位降低,营养物容易堆积,适合藻类植物生长;而在夏季降水增多,水体搅动较大,水流的冲刷和稀释作用均可使藻类植物细胞密度降低.

群落物种多样性是群落组织独特的生物学特征,它反映了群落特有的物种组成和个体密度特征. 通常情况下,可以结合多样性指数、细胞密度及污染指示种类对湿地内水体进行评价,多样性指数越大,则表示水体水质越好<sup>[29-30]</sup>. 评价结果显示呼兰河湿地水质处于 $\beta$ -中营养型和贫营养型之间,这与监测的水质理化评价结果基本一致. 生物学方法虽然不能精确地反映出水体中污染物的含量和性质,但是可以对生长环境的营养化状态迅速做出反应<sup>[31]</sup>,从一定程度上说明利用藻类植物的生态学特征变化,并结合水化学监测结果来反应湿地内水体质量是可行的<sup>[32]</sup>.

呼兰河湿地正处于恢复初期,湿地面积正在扩大,湿地功能及生态体系逐渐完善. 本研究中,通过藻类植物的生物监测及湿地水体理化指标的测定结果表明,呼兰河湿地除受气候变化的影响以外,还较大程度

受到人为活动的影响,水质仍然处于污染的状态,但随着对湿地进一步的合理规划与保护,湿地内水体有进一步净化的可能.

#### 4 参考文献

- [ 1 ] 沈韞芬,章宗涉,龚循矩等. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [ 2 ] Reynolds CS. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? *Hydrobiologia*, 1998, **11**(26): 369-370.
- [ 3 ] 熊丽,谢丽强,生秀梅等. 湿地中的藻类生态学研究进展. *应用生态学报*, 2003, **14**(6): 1007-1011.
- [ 4 ] 赵怡冰,许武德,郭宇欣. 生物的指示作用与水环境. *水资源保护*, 2002, **2**(11): 11-16.
- [ 5 ] Jolly VH, Chapman MA. A preliminary biological study of the effects of pollution of Farmers' Creek and Coxs' River, New South Wales. *Hydrobiologia*, 1966, **27**: 160-191.
- [ 6 ] 章宗涉,莫珠成. 利用藻类监测和评价图们江的水污染. *水生生物学集刊*, 1983, **8**(1): 97-104.
- [ 7 ] 张子安,齐雨藻. 应用系统聚类分析的方法评价珠江流域北江水系的水质状况. *生态学报*, 1987, **7**(1): 1-10.
- [ 8 ] 董旭辉,羊向东,王荣等. 长江中下游地区湖泊硅藻-总磷转换函数. *湖泊科学*, 2006, **18**(1): 1-12.
- [ 9 ] 李运贤,张乃群,李玉英等. 南水北调中线水源地浮游植物. *湖泊科学*, 2005, **17**(3): 219-225.
- [ 10 ] 石晓丹,阮晓红. 苏州平原河网浅水湖泊冬夏及浮游植物群落与环境因子的典范对应分析. *环境科学*, 2008, **29**(11): 2999-3008.
- [ 11 ] 李秋华,何伟添,陈橡等. 澳门湿地浮游植物群落结构. *植物生态学报*, 2009, **33**(4): 689-697.
- [ 12 ] 覃雪波. 安邦湿地夏季浮游植物对水质的生物监测. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2009, **27**(2): 184-189.
- [ 13 ] 杨永兴. 国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望. *地球科学进展*, 2002, **17**(4): 510-514.
- [ 14 ] 刘晓曼,蒋卫国,王文杰等. 东北地区湿地资源动态分析. *资源科学*, 2004, **26**(5): 105-109.
- [ 15 ] 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.
- [ 16 ] 黎尚豪,毕列爵. 中国淡水藻志第五卷(绿藻门). 北京: 科学出版社, 1998.
- [ 17 ] 金相灿,屠清瑛,章宗涉等. 湖泊富营养化调查规范(第二版). 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [ 18 ] 范亚文. 黑龙江省管壳缝目植物研究. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2004.
- [ 19 ] Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 1. Teil: 1 Naviculaceae. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 1997.
- [ 20 ] Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 1. Teil: 2 Surirellaceae. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 1997.
- [ 21 ] Hustedt F. Die Süßwasser Flora Mitteleuropas, Bacillariophyta(Diatomeae). Jena: Verlag von Gustav Fischer, 1930.
- [ 22 ] Hustedt F. The pennate diatoms (in English). USA: Koeltz Scientific Books Koenigstein, 1985.
- [ 23 ] 何志辉. 淡水生态学. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [ 24 ] 侯建军,黄邦钦,戴相辉. 赤潮藻细胞计数方法比较研究. *中国公共卫生*, 2004, **20**(8): 907-908.
- [ 25 ] Kolkwitz R, Marsson M. Ökologie der Pflanzlichen Saprobien. Berlin: Borntraeger, 1908.
- [ 26 ] 刘雨菲. EXCEL在群落生物多样性参数计算中的应用. *湘潭师范学院学报(自然科学版)*, 2003, **25**(2): 80-82.
- [ 27 ] 盛海燕,虞左明,韩轶才等. 亚热带大型河流型水库——富春江水库浮游植物群落及其与环境因子的关系. *湖泊科学*, 2010, **22**(2): 235-243.
- [ 28 ] 胡韧,雷腊梅,韩博平. 南亚热带大型贫营养水库浮游植物群落结构与季节变化——以新丰江水库为例. *生态学报*, 2008, **28**(10): 4652-4664.
- [ 29 ] Katharine P, Andrew PR, Peter IM *et al.* The influence of water body characteristics on phytoplankton diversity and production in the Celtic Sea. *Continental Shelf Research*, 2004, **24**: 2011-2028.
- [ 30 ] Steward KK, Ornes WH. Assessing a marsh environment for wastewater renovation. *Water Pollution Control Federation*, 1975, **47**: 1880-1891.
- [ 31 ] Rubao J, Changsheng C, Peter JS. Spring phytoplankton bloom and associated lower trophic level foodweb dynamics on Georges Bank: 1-D and 2-D model studies. *Deep-Sea Research II*, 2006, **53**: 2656-2668.
- [ 32 ] 况琪军,胡征宇,周广杰等. 香溪河流域浮游植物调查与水质评价. *武汉植物学研究*, 2004, **22**(6): 507-513.