

· 调查与评价 ·

刘家峡水库藻类群落特征与水质的关系

巴桑^{1,2}, 秦洁³, 马正学^{1*}

(1. 西北师范大学生命科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 西藏大学理学院高原动物生态研究所, 西藏 拉萨 850000; 3. 玉溪师范学院 玉溪高原湖泊生态环境研究中心, 云南 玉溪 653100)

摘要: 2009年—2010年, 研究了刘家峡水库的藻类群落特征。共鉴定出8门11纲16目33科55属114种藻。丰水期优势类群是金藻门(占27%), 次优势类群是硅藻门(21.5%); 枯水期优势类群是硅藻门, 占总数34%(羽纹纲占33%), 次优势类群是金藻门(18%)。对刘家峡水库水质初步评价结果显示: 水库上游水质较清洁(1[#]—2[#]站点), 中下游为轻度—偏中度污染(3[#]—4[#]站点), 下游为中度—偏重度污染(5[#]—6[#]站点)。对藻类群落特征与6项水环境因子的Pearson相关性分析表明, 枯水期影响藻类群落特征的环境因子依次是 DO > TN > pH 值 > T > Mcb(粪大肠杆菌); 丰水期则是 DO > Mcb > pH 值 > TN。

关键词: 黄河上游; 刘家峡水库; 藻类群落; 水质评价

中图分类号: X835 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2012)06-0029-06

Relationship between Characteristics of Algal Community and Water Quality in Liujiaxia Reservoir

BA Sang^{1,2}, QIN Jie³, MA Zheng-xue^{1*}

(1. College of Life Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Institute of Alpine Animal Ecology, Faculty of Natural Sciences, Tibet University, Lhasa, Tibet 850000, China; 3. Yuxi Research Center for Eco-environment Sciences on Alpine Lakes, Yuxi Normal University, Yuxi, Yunnan 653100, China)

Abstract: Study of algal community characteristics in Liujiaxia Reservoir was carried out from July 2009 to March 2010. A total of 114 species were identified, belonging to 55 genera, 33 families, 16 orders, 11 classes and 8 phyla. Bacillariophyta was dominant (34.0%) in dry season and subdominant (21.5%) groups in wet season. However, Chrysophyta was the dominant (27.0%) in the wet season and subdominant (18%) during the dry season. The water quality in Liujiaxia Reservoir was evaluated based on the information from algal community characteristics and other relevant physiochemical parameters. The results showed that the quality of water from sampling sites 1[#] and 2[#] were undisturbed. There was light to middle degree of water pollution in sampling sites 3[#] and 4[#] and heavier pollution in sites 5[#] and 6[#]. Correlation analysis for binary variables was carried out between the algal community structure and the major physiochemical parameters measured in this research. The result suggested that, in dry season, the major environmental factor that controlling the algal community structure was DO, followed by TN, pH, T and Mcb. Whereas, the primary controlling factor was same as DO, however, followed by Mcb, pH and TN in wet season.

Key words: Upper reaches of the Yellow River; Liujiaxia Reservoir; Algae community characteristics; Water quality assessment

收稿日期: 2012-04-06; 修订日期: 2012-10-27

基金项目: 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室开放基金资助项目; 甘肃省自然科学基金资助项目(096RJZA123)

作者简介: 巴桑(1970—), 男, 藏族, 西藏日喀则人, 硕士研究生, 主要从事水环境生态学方面的研究。

通讯作者: 马正学 E-mail: mzhx53@163.com

藻类用于水环境质量的监测始于1908年 Kolkwitz 和 Marrson^[1], 之后在国内外开展了一系列研究工作^[1-5]。有专门研究水库浮游植物群落

特征和湖泊浮游藻类物种多样性的报道^[6-9],但研究黄河流域水生藻类用于水质监测的报道较少^[10-12]。

藻类是水环境中浮游生物的重要组成部分,在改善和调节水环境生态系统中物质循环和能量流动方面发挥着重要的作用,同时也具有调节大气环境质量的功能。研究水环境中藻类群落特征的动态变化,能较客观反映水质的变化,尤其是人类在生产生活中产生的有机污染物直接排入水体后,可引起水环境中营养元素过剩,从而引起水生浮游藻类群落特征的波动,这是人类利用藻类群落特征指标在特定水域的时空变化规律来判断水质变化的依据^[5,13]。

黄河发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓海拔4500 m的古宗列盆地,干流全长5464 km^[14]。刘家峡水库是甘肃省乃至西北地区黄河上游的大型水库,其水资源用于下游沿岸数亿人畜饮用和农业灌溉,是重要的饮用水源地。为了深入了解刘家峡水库水环境质量安全性,于2009年—2010年,在刘家峡水库库区选择6处有代表性的区域,定点采集水样,研究浮游藻类的群落特征,结合理化指标评价和预测水质的时空变化,为建立区域水环境质量评价的指标体系提供科学依据。

1 研究方法

1.1 刘家峡水库概况

水库位于甘肃永靖县境内(35°45'N, 103°3'E),海拔1900 m~2300 m。水库以大夏河、洮河及黄河主干道为水源,出口于黄河。水库最大长度为60 km,水面最宽处6 km,水域面积达130 km²,正常水位时水深31.16 m,最大水深78.00 m,蓄水量约 5.7×10^9 m³(多年平均的库容 3.2×10^9 m³)。库区四周群山环抱,沟壑纵横,植被较差,多为黄土覆盖,呈荒山秃岭状。刘家峡水库属于北方区的黄河上游中营养高山峡谷湖泊型水库,高程2100 m,泥沙底质^[14]。

1.2 采样点设置及采样

于2009年7月(10日—15日)至2010年3月(12日—16日),根据刘家峡水库周围的环境和汇入水源的情况,在水库库区共设置了6个采样站点,分别为:1#—黄河入口,2#—库心,3#—祁家渡口,4#—洮河入口,5#—洮河茅笼峡,6#—水库出口,见图1。

— 30 —

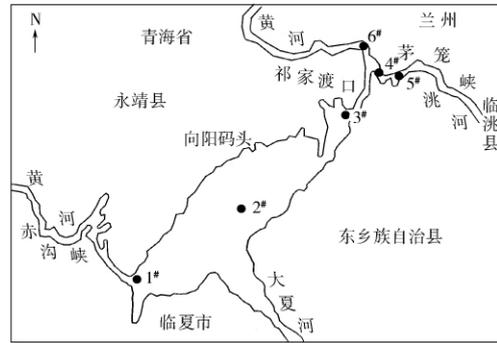


图1 采样站点分布

Fig. 1 Map of sampling sites

用采水器分两层(在表层0.5 m处和距离库底0.5 m处)各取1 L水样^[15-16],混合均匀后分装为两瓶备用,其中一瓶用Lugol's碘液固定,另一瓶用于活体培养观察和测试理化指标。采样时测水温,用精密pH试纸(5.5~9.0)测水体pH值,水样带回实验室用TSS-851酸度计(四平市电子技术研究所生产)测量pH值;取新鲜水样在显微镜下进行种类鉴定^[17-19]。取固定水样1 L,静置48 h,吸取上清液,在定量瓶中定容至50 mL备用^[8]。

1.3 分析方法

1.3.1 物种鉴定和计数

用活体观察、固定酸处理和染色的方法鉴定物种^[18],物种鉴定分类依据文献^[20-26]。定量研究采用直接计数法计数^[5,27],活体计数在采样后的24 h内完成(辅助计数)。

1.3.2 藻类优势类群和偶见类群的划分

对已鉴定到的各级分类单元及物种进行统计,将种类占总种数27%以上、占18%~27%和占4%以下的分类单元定义为优势类群、次优势类群和罕见类群;将个体数占总个体数5%以上和1%~4.9%的物种分别定义为优势种和常见种,1%以下为偶见种^[19]。

1.3.3 数据处理

采用Palmer(1969)藻类污染指数(P)、Pang-tle and Buck(1955)污生指数(SI)、Gleason-Margalef(1969)多样性指数(d)^[5,28]。数据分析采用统计学软件SPSS 18.0^[29]。

2 结果与分析

2.1 刘家峡水库水环境理化因子

刘家峡水库各样点的水质检测结果见表1。

表 1 刘家峡水库各样点的水质检测情况^①

Table 1 Water-environmental parameters of all sampling sites in Liujiaxia Reservoir^①

采样点	粪大肠杆菌/L ⁻¹		T/°C		ρ(DO)/(mg·L ⁻¹)		pH 值		h(SD)/m		ρ(TN)/(mg·L ⁻¹) ^②	
	丰	枯	丰	枯	丰	枯	丰	枯	丰	枯	丰	枯
1#	700	260	7.5	1.5	7.84	8.84	7.1	7.7	0.86	1.82	1.687	1.146
2#	4 200	2 200	11.0	2.5	8.13	8.53	7.0	7.5	2.78	3.48	1.547	1.247
3#	4 900	3 900	12.0	3.0	7.63	7.86	7.2	7.2	1.15	2.15	1.748	1.548
4#	6 200	4 200	8.5	3.5	7.35	7.45	7.1	7.1	1.87	2.05	1.647	1.847
5#	11 000	7 400	10.0	3.0	7.15	7.65	7.3	7.4	1.12	1.52	1.848	1.648
6#	13 300	9 300	12.5	3.5	6.90	7.25	7.4	7.0	1.25	1.35	1.987	2.187
2#(库心) ^③	—	—	15.3		—	6.7	8.34		—	—	1.647	
3#(库坝边) ^③	—	—	15.7		—	6.8	8.33		—	—	1.801	
国标 II 类 ^④	≤2 000		—		≥6		6~9		—		≤0.19	
《卫生标准》 ^⑤	总大肠杆菌 3 L ⁻¹		—		—		6.5~8.5		—		—	

①丰—丰水期 指 2009 年 7 月; 枯—枯水期 指 2010 年 3 月。②以库区的 N 计。③为 2009 年 7 月 23—25 日兰州市环境监测站提供的据; ④为《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002); ⑤《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)。

2.2 藻类物种组成及丰度

共鉴定出藻类 114 种(包含 25 个未定名种), 其中枯水期有 105 种, 丰水期有 112 种。藻类物种数与水期变化的关系见图 2, 藻类丰度与水期变化的关系见图 3。

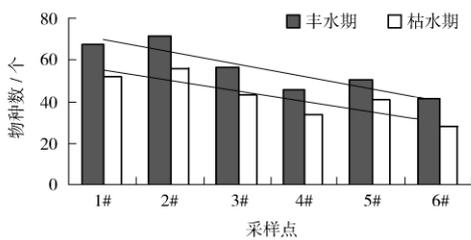


图 2 藻类物种数与水期变化的关系

Fig. 2 Seasonal variation of algae species number in Liujiaxia Reservoir

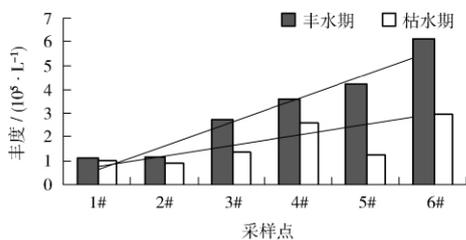


图 3 藻类丰度与水期变化的关系

Fig. 3 Seasonal variation of algae abundance in Liujiaxia Reservoir

由图 2、图 3 可见, 自上游到下游(1#—6# 站点)藻类数依次减少(丰水期分布范围在 41 种~71 种; 枯水期分布范围在 28 种~56 种); 优势种类

主要分布在 4#—6# 站点, 丰水期有小球藻、球衣藻、气球室胞藻、啮蚀隐藻、素隐藻; 枯水期有棒形裸藻、尖针杆藻、外穴室胞藻。从上游到下游藻类丰度: 丰水期 1#—6# 站点依次为 $1.12 \times 10^5 L^{-1}$ 、 $1.16 \times 10^5 L^{-1}$ 、 $2.72 \times 10^5 L^{-1}$ 、 $3.60 \times 10^5 L^{-1}$ 、 $4.19 \times 10^5 L^{-1}$ 、 $6.08 \times 10^5 L^{-1}$, 均值为 $3.15 \times 10^5 L^{-1}$; 枯水期依次为 $9.7 \times 10^4 L^{-1}$ 、 $9.2 \times 10^4 L^{-1}$ 、 $1.35 \times 10^5 L^{-1}$ 、 $2.59 \times 10^5 L^{-1}$ 、 $1.31 \times 10^5 L^{-1}$ 、 $2.98 \times 10^5 L^{-1}$, 均值为 $1.69 \times 10^5 L^{-1}$, 丰水期丰度明显高于枯水期。

2.3 群落结构特征

114 种藻类隶属 8 门 11 纲 16 目 33 科 55 属。占优势的有硅藻门(占 40.4%), 绿藻门(占 21.0%), 蓝藻门(占 11.4%), 3 门的优势度为 72.8%; 隐藻门占 2.6%, 但其数量在丰水期和枯水期分别占总个体总数的 16% 和 14%。

从个体数量分析, 藻类各类群的分布和结构在时空分布上有明显差异。丰水期金藻门占总数的 27%, 为优势类群; 硅藻门占 21.5%, 为次优势类群; 隐藻门和绿藻门各占 15%。枯水期: 硅藻门占总数 34%, 为优势类群; 金藻门占 18%, 为次优势类群; 甲藻门、黄藻门为罕见类群; 其余的为常见类群。

2.4 群落结构特征对水环境质量的生态效应

(1) 分析藻类污染指数显示, 从 1#—6# 站点 P 值逐渐升高, 见图 4。

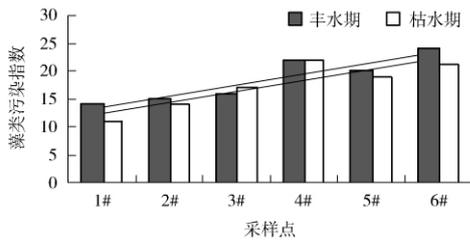


图4 藻类污染指数与水期变化的关系

Fig.4 Seasonal variation of algae pollution index in Liujiaxia Reservoir

(2) 分析 Pangle-Buck 污生指数 (Saprobic Index, SI) 显示,自 1[#]—6[#]站点的 SI 值逐渐升高(丰水期平均 2.32,波动范围为 1.61~2.92;枯水期平均 2.14,波动范围为 1.46~2.75),指示水库上游为轻污染(1[#]、2[#]站点),中游为中污染(3[#]站点),下游为中—重污染(4[#]、5[#]、6[#]站点)。丰水期水体污染程度重于(SI = 2.32) 枯水期(SI = 2.14)。

(3) 分析 Gleason-Margalef 藻类多样性指数显示,自 1[#]—6[#]站点的 *d* 值逐渐下降。1[#]—6[#]站点的丰水期 *d* 值(7.01) 高于枯水期(5.97),见图 5。

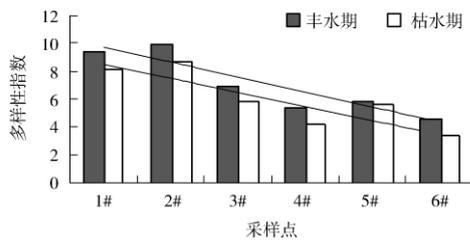


图5 藻类多样性指数与水期变化的关系

Fig.5 Seasonal variation of algae diversity index in Liujiaxia Reservoir

(4) Jaccard 相似性系数,在丰、枯水期 1[#]、2[#]与 6[#]样点的 J 值最小(0.33~0.39, 0.31~0.36),为中等不相似;1[#]与 2[#]站点的 J 值最高(0.82, 0.79),为极相似;其余各采样站点在丰水期的 J 值是 0.38~0.65,枯水期 J 值在 0.36~0.59,为中等相似到中等不相似。

2.5 藻类群落特征指标和环境因子与水环境关系

对生物指标(*N_s*—物种数、*A*—丰度、*d*—多样性指数、SI—污生指数、*P*—藻类指数、*Mcb*)与 6 项理化指标(*Mcb*—粪大肠杆菌、*T*、*DO*、*SD*、*TN*、*pH*值)进行二元变量 Pearson 双侧相关性分析,结果显示藻类群落特征与水环境理化因子(除 *SD* 外)

均有显著相关性($0.01 < p < 0.05$),相关性大小是 $DO < TN < pH < T$ 。

依据水环境理化指标与藻类群落特征对水环境质量进行综合评价分析。各项参评项目的综合评价结果均表明,库区水环境质量受到了一定程度的有机污染。从上游至下游(1[#]—6[#]采样站点)水环境受污染的程度由轻到重的顺序为:2[#] < 1[#](清洁—轻) < 3[#](轻) < 5[#](中) < 4[#] < 6[#](中—重度污染)。

3 讨论

(1) 从刘家峡水库上游至下游(1[#]—6[#]样点)藻类群落的物种数依次下降,丰度逐渐升高,优势种类逐渐显现。水中耐污染种类繁盛,敏感物种消失,群落结构趋于简单化值。1[#]—6[#]样点水质也有相应的变化(*pH*值和 *TN* 在上升,*DO* 在下降,*SD* 先升后降),二者之间有显著相关性($0.01 < p < 0.05$)。这一现象正好反映了水库从上游到下游接纳了人为排放的污染物(生活型污染物和鱼塘排水等),水质污染有逐渐加重的趋势。该结果与文献[4, 7, 30-35]报道的结果有相似变化趋势。

有报道表明,浮游植物丰度的季节变化与水体的温度、透明度、光照、营养元素、*pH*值和捕食者等因素有密切关系,其丰度常呈现为马鞍形的双峰结构(春—秋季出现高峰,夏季出现低谷型)^[5];但是,结果显示刘家峡水库浮游藻类的丰度呈现单峰型。这是由于该水库位于西北高原深处,海拔为 1 900 m~2 300 m,夏季(6 月至 8 月下旬)气温为 18 ℃~25 ℃,水温为 12 ℃~23 ℃,早晚温差大;水体的透明度较好(2 m~3 m),光照强度适中,风力不大,适宜藻类生长繁殖,浮游藻类会出现明显丰度高峰;春季和秋季水温低(2 ℃~10 ℃),一般不会出现明显的丰度高峰。

(2) 藻类群落特征参数在丰水期和枯水期有明显差异,其变化趋势有显著相关性($0.01 < p < 0.05$)。结果一致表明刘家峡水库水环境质量的时空变化引起藻类群落特征的水期动态变化,即藻类群落特征对水环境质量有明显的生态效应,这一结果与文献[30-32]报道的结论基本一致。即用生物指标与理化指标相结合来评价水质是客观有效的。

(3) 用藻类群落特征指标与水环境主要理化指标综合评价水库水环境质量,结果初步显示水体

受到一定程度的污染。从上游至下游(由轻到重)的顺序依次是 2[#] < 1[#] (清洁—轻污染) < 3[#] (轻污染) < 5[#] (中度污染) < 4[#] < 6[#] (中—重度污染), 下游水库坝区(4[#]—6[#]) 水环境受污染较重, 且有进一步加重的趋势。水库中上游广阔水域环境质量良好(1[#]—4[#]区域), 但是在旅游旺季(6月—9月)也有轻度污染。根据王士正^[10]、马正学^[11]、刘志峰和禹娟红等^[30-31]的报道与该研究结果相比较, 在以下方面有变化: ①在上游 2[#] 样点 pH 值的变化趋势为 8.3、8.5、7.6、7.3、7.0 (1981年、1994年、2007年、2009年), 中下游 4[#]—6[#] 样点 pH 值的变化趋势为: 8.0 < 7.6 < 7.4 < 7.1 (1981年、2007年、2009年); ②大肠杆菌在 2[#] 样点的变化趋势为 13 < 4 200 (1994年、2009年), 下游 5[#]—6[#] 样点的变化趋势为 11 030 < 13 300 (1994年、2009年); ③从 1[#]—6[#] 样点检出的 TN 为 1.69 mg/L ~ 1.99 mg/L (地表水标准 II 类 ≤ 0.19 mg/L, 湖泊水库为 0.025 mg/L), 明显超标; ④相同分类阶元藻类种类数有增加, 如 2[#] 样点分布的裸藻和隐藻由 6 种 < 12 种 (1994年、2009年); ⑤藻类的丰度值变化趋势是丰水期 1[#]—3[#] 样点为 112 mL⁻¹、116 mL⁻¹、272 mL⁻¹; 4[#]—6[#] 样点为 360 mL⁻¹、419 mL⁻¹、608 mL⁻¹; 枯水期 1[#]—6[#] 样点为 97 mL⁻¹ ~ 298 mL⁻¹ (划分富营养水体的藻类丰度参照值为: 贫营养型在 200 mL⁻¹ 以下; 富营养型在 300 mL⁻¹ 以上)^[5]。结果表明, 水库水环境受污染程度有加重的趋势, 水环境正在从贫营养型朝着富营养型发展。尽管有可能存在不同作者测试同一指标的过程有一定差异, 但是这依然是值得关注的发展趋势, 有待进一步研究验证。

(4) 研究表明, 藻类群落特征动态变化与水环境理化因子相关性大小是 DO < TN < pH 值 < T, 与 SD 相关性均不显著, 这主要是库区水环境的透明度相对较好。据王云中等^[36]在人工微宇宙模拟装置中研究藻类的演替过程中发现, 在泥循环动力系统中浊度是影响藻类生长繁殖的重要因素。作者在研究黄河兰州段藻类多样性过程中发现透明度 (黄河水平均含沙量为 37.7 kg/m³ 以上) 对藻类生长繁殖有明显影响^[12]。由此可见, 任何因素都是相对而言, 当其超出一定限度就会转化为限制性因素。

(5) 刘家峡水库藻类群落特征与武汉东湖、二龙山水库的藻类群落特征进行比较结果显示^[8, 37],

在不同地区水域环境中藻类群落特征有一定的差异, 如物种多样性不同 (刘家峡有 8 门 11 纲 16 目 33 科 55 属 114 种, 东湖有 7 门 99 属 206 个分类单元) 群落结构特征有差异 (刘家峡水库硅藻门占总种数的 40.4%, 以无壳缝目占 26.3%; 东湖硅藻门占 40.8%, 以羽纹藻纲的双壳缝藻目和管壳缝藻目占 80.5%); 优势种群不同 (刘家峡水库为小球藻、球衣藻、气球室胞藻、啮蚀隐藻、素隐藻、棒形裸藻、尖针杆藻和室胞藻, 丰度在丰水期均值为 3.15×10^5 /L; 枯水期均值为 1.69×10^5 L⁻¹; 东湖是汉氏冠盘藻、梅氏小环藻、湖泊颤藻、水生集胞藻、反曲席藻和隐藻, 小平裂藻和小席藻; 二龙山水库是纤维藻、小环藻, 生物量平均丰度为 2.43×10^4 L⁻¹, 丰水期 5.7×10^4 L⁻¹、平水期 1.32×10^4 L⁻¹、枯水期 2.16×10^4 L⁻¹)。但是也有明显的共性: 即硅藻门、绿藻门和蓝藻门为 3 大优势门类, 优势度分别是刘家峡水库为 72.8%, 东湖是 84.6%, 二龙山水库是 100%。这种差异是地区和水环境的差异所致, 共性体现了水生浮游生物对环境的适应性, 可以利用浮游生物的差异变化监测和评价环境质量。人们在不断研究探索生物与环境的这种作用规律, 在积累大量的基础资料的基础上, 将来有望形成一套具有可操作性的监测、评价和预报水环境质量的指标体系。

4 结论与建议

研究结果显示, 虽然目前水库水质整体良好, 但是来自人为的污染导致水库下游区域(4[#]和 6[#]样区)水质在夏季污染明显, 藻类群落特征指标显示水库水质正在朝着富营养化方向发展。调查表明, 污染源主要来自旅游业和农业(鱼塘退水、农业生产过程等)^[31]。目前, 只有管理部门加大宣传教育力度, 提高民众的环境保护意识, 采取合理有效的保护措施, 严格要求有关行业有序规范地控制排放污染物的浓度或数量, 集中处理污染物使其无害化或资源化, 才能有效减轻环境污染加剧的趋势。在以上措施的综合作用下, 保护水环境生态系统的自净能力, 以达到环境生态系统的平衡、稳定和持续健康发展。使优良的环境资源为人类安全服务, 实现人类与环境和谐发展的目标, 从而也体现了环境管理和保护部门的社会服务价值。

[参考文献]

[1] 中国大百科全书《环境科学》编辑委员会. 中国大百科全书

- 《环境科学》[M]. 上海: 中国大百科全书出版社, 1983: 413-415.
- [2] 日本生态学会环境问题专门委员会. 环境指示生物(水域分册) [M]. 卢全章, 译. 北京: 中国环境科学出版社, 1987: 60-95.
- [3] PRATT J R, CAIRNS J JR. Functional groups in the protozoa: roles in differing ecosystems [J]. *Journal of Protozoology*, 1985 (32): 415-423.
- [4] 章宗涉. 用藻类监测和评价图门江的水污染[J]. *水生生物学集刊*, 1983 8(1): 97-104.
- [5] 沈韫芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990: 119-348.
- [6] 杜桂森, 王建厅, 武殿伟, 等. 密云水库的浮游植物群落结构与密度[J]. *植物生态学报*, 2001 25(8): 501-504.
- [7] 胡韧, 林秋奇, 王朝晖. 广东省典型水库浮游植物组成与分布特征[J]. *生态学报*, 2002 22(11): 1939-1944.
- [8] 雷安平, 施之新, 魏印心, 等. 武汉东湖浮游藻类物种多样性的研究[J]. *水生生物学学报*, 2003 27(2): 179-184.
- [9] 朱英, 沈根祥, 钱晓雍, 等. 上海大莲湖水域植物群落结构特征及水质评价[J]. *生态与农村环境学报*, 2010 26(6): 544-549.
- [10] 王士正. 刘家峡水库冬季原生物构成[R]//中国原生物学会第一次学术讨论会论文摘要汇编. 上海: 华东师大出版社, 1981: 1-8.
- [11] 马正学, 宋玉珍, 刘红岩. 用原生物评价黄河兰州段的水质[J]. *中国环境科学*, 1994 14(6): 401-405.
- [12] 马正学, 宋玉珍, 胡春香, 等. 黄河兰州段的藻类调查[J]. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 1995 31(3): 67-71.
- [13] 马正学, 康瑞琴, 宁应之. 大夏河临夏段肉鞭虫群落结构特征及其与水质的相互关系[J]. *生态学杂志*, 2008 27(3): 374-382.
- [14] 刘阳光. 甘肃渔业资源与区划[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2000: 117-140.
- [15] 饶钦止. 湖泊调查基本知识[M]. 北京: 科学出版社, 1956: 257-276.
- [16] 国家环保局《水生生物监测手册》编委会. 水生生物监测手册[M]. 南京: 东南大学出版社, 1993: 18-427.
- [17] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [18] 宁应之, 马正学, 胡春香, 等. 麦积山风景名胜区微型生物多样性[J]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2008: 35-75.
- [19] 胡春香, 刘永定, 孙立荣, 等. Species composition and distribution of algae in semi-desert algal crusts [J]. *应用生态学报*, 2000 11(1): 61-65.
- [20] 施之新, 王全喜, 谢树莲, 等. 中国淡水藻类志. 第六卷, 裸藻门[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1-414.
- [21] 施之新. 中国淡水藻类志. 第十二卷, 硅藻门, 异极藻科[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-147.
- [22] 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 等. 中国淡水藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980: 9-57.
- [23] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 1-959.
- [24] 朱浩然. 中国淡水藻志. 第二卷, 色球藻纲[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 1-147.
- [25] 饶钦止. 中国淡水藻志. 第一卷, 双星藻科[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 1-179.
- [26] 齐雨藻, 李家英. 中国淡水藻志. 第十卷, 硅藻门, 羽纹藻科[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-161.
- [27] 许木齐. 原生物群落结构和功能特征参数与水质关系研究[D]. 北京: 中国科学院动物研究所, 1996.
- [28] JACCARD P. Nouvelles recherches sur la distribution florale[J]. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 1908, 44: 223-270.
- [29] 刘大梅, 李宁, 晁阳, 等. SPSS15.0 统计分析从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 151-173.
- [30] 刘智峰, 宁应之, 马正学, 等. 刘家峡水库网箱养鱼场春季纤毛虫群落结构[J]. *西北师范大学学报*, 2007 27(2): 77-81.
- [31] 禹娟红, 宁应之, 刘智峰, 等. 刘家峡水库网箱养鱼场纤毛虫群落特征[J]. *生态学报*, 2009 29(1): 119-207.
- [32] 魏鹏, 林秋奇, 胡韧, 等. 高州水库水质与浮游生物动态分析[J]. *应用与环境生物学报*, 2002 8(2): 165-170.
- [33] 朱文昌, 陆敏, 石浚哲. 梅梁湖水体浮游植物与环境因子的关系[J]. *环境监测管理与技术*, 2010 22(3): 27-30.
- [34] 王云中, 杨成建, 陈兴都. 西安市景观水体营养状态调查及浮游藻类多样性研究[J]. *环境监测管理与技术*, 2010 22(3): 22-26.
- [35] 张智, 宋丽娟, 郭蔚华. 重庆长江嘉陵江交汇段浮游藻类组成及变化[J]. *中国环境科学*, 2005 25(6): 695-699.
- [36] 王云中, 杨成建, 陈兴都, 等. 不同水动力条件对景观水体富营养化模拟过程中藻类演替的影响[J]. *环境监测管理与技术*, 2011 23(2): 23-27.
- [37] 许桂芬, 白羽军. 二龙山水库浮游藻类群落的初步研究[J]. *黑龙江环境通报*, 2004 28(3): 69-70.

· 简讯 ·

海平面上升速度远超联合国预测

人民网消息 专家们日前警告称 在过去的 20 年里 海平面的上升速度远远超过了联合国科学机构的预测 因此 人们对海平面上升速度的预测上可能过于保守。

据美国 NBC 新闻报道, 一项同行评审的研究发现, 卫星数据显示海平面在 1993 年至 2011 年间平均每年上升 3.2 mm, 比联合国政府间气候变化委员会(IPCC) 预测的每年 2 mm 的升幅高出 60%。

摘自 www.jshb.gov.cn 2012-12-06