

# 沂河4条支流浮游植物多样性季节动态与水质评价

高远<sup>1</sup>, 慈海鑫<sup>2,3</sup>, 亓树财<sup>1</sup>, 苏宇祥<sup>1</sup>

1. 临沂市科学探索实验室, 山东 临沂 276005

2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049

**摘要:** 2006年11月—2007年8月对沂河4条支流水体浮游植物展开调查. 结果表明: 东汶河、蒙河、涑河和柳青河内检测到的浮游植物分别为75, 67, 70和80种, 浮游植物种类组成和细胞密度季节变化明显. 东汶河、蒙河、涑河和柳青河水体浮游植物 Shannon-Wiener 指数分别为 2.97~3.96, 3.05~3.35, 2.86~4.02 和 1.74~2.89; Margalef 指数分别为 2.92~4.42, 2.44~4.03, 3.07~5.38 和 1.23~2.76; Pielou 指数分别为 0.78~0.92, 0.71~0.94, 0.73~0.89 和 0.48~0.90. 4条支流的细胞密度分别为  $1.54 \times 10^7 \sim 5.69 \times 10^7$ ,  $0.28 \times 10^7 \sim 12.64 \times 10^7$ ,  $0.97 \times 10^7 \sim 3.19 \times 10^7$  和  $4.17 \times 10^7 \sim 9.96 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ . 综合水质评价结果: 东汶河和蒙河为 $\beta$ -中污型—寡污型, 涑河为 $\beta$ -中污型—清洁型, 柳青河为 $\alpha$ -中污型— $\beta$ -中污型. 水质从优至劣排序为涑河 > 东汶河 > 蒙河 > 柳青河. 东汶河和涑河为温度制约型, 蒙河和柳青河为温度和营养盐制约型.

**关键词:** 沂河; 浮游植物; Shannon-Wiener 指数; Margalef 指数; Pielou 指数; 水质评价

**中图分类号:** Q145, X171 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6929(2009)02-0176-05

## Seasonal Changes of Phytoplankton Diversity and Assessment of Water Quality in Four Tributaries of Yi River

GAO Yuan<sup>1</sup>, CI Hai-xin<sup>2,3</sup>, QI Shu-cai<sup>1</sup>, SU Yu-xiang<sup>1</sup>

1. Linyi Scientific Exploration Laboratory, Linyi 276005, China

2. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** Water samples were collected using standard methods in the Dongwen, Meng, Su and Liuqing Rivers from November 2006 to August 2007. The results showed that there were 75, 67, 70 and 80 species of phytoplankton in the Dongwen, Meng, Su and Liuqing Rivers, respectively, and that phytoplankton species and cell densities underwent obvious seasonal changes. In the Dongwen, Meng, Su and Liuqing Rivers, the Shannon-Wiener diversity index of phytoplankton was 2.97-3.96, 3.05-3.35, 2.86-4.02 and 1.74-2.89, respectively; the Margalef diversity index was 2.92-4.42, 2.44-4.03, 3.07-5.38 and 1.23-2.76, respectively; the Pielou diversity index was 0.78-0.92, 0.71-0.94, 0.73-0.89 and 0.48-0.90, respectively; and Phytoplankton cell density was  $1.54 \times 10^7 \sim 5.69 \times 10^7$ ,  $0.28 \times 10^7 \sim 12.64 \times 10^7$ ,  $0.97 \times 10^7 \sim 3.19 \times 10^7$  and  $4.17 \times 10^7 \sim 9.96 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ , respectively. The overall evaluation result of water quality was: the Dongwen and Meng Rivers were  $\beta$ -ms-os; the Su River was  $\beta$ -ms-clean; and the Liuqing River was  $\alpha$ -ms- $\beta$ -ms. The order of water quality was: Su River > Dongwen River > Meng River > Liuqing River. Water temperature was an important factor in restricting phytoplankton cell density in the Dongwen and Su Rivers. Water temperature and nutritional salt were important factors in restricting phytoplankton cell density in the Meng and Liuqing Rivers.

**Key words:** Yi River; phytoplankton; Shannon-Wiener index; Margalef index; Pielou index; water quality assessment

当今,大型水利工程对水域生态系统浮游植物

影响与水质评价的研究热度不减,如三峡大坝建设<sup>[1-3]</sup>和调水工程<sup>[4-5]</sup>. 沂河是淮河流域中较大的河流,位于山东省南部与江苏省北部(34°23'N~36°20'N, 117°25'E~118°42'E),源出山东省沂源县,至江苏省邳县吴楼村入新沂河,抵燕尾港入黄海,全长574 km,流域面积 $1.73 \times 10^4 \text{ km}^2$ . 国务院淮河流域水污染防治“十五”计划<sup>[6]</sup>将沂河列为重要控制河流.

目前已有对沂河流域浮游植物物种的研究<sup>[7]</sup>,

收稿日期: 2008-04-02 修订日期: 2008-06-24

基金项目: 国务院淮河流域水污染防治“十五”计划地方配套项目(Q130206); 山东省科学技术协会2007年度学术重点项目(2007A42)

作者简介: 高远(1982-),男,山东临沂人,助理研究员,研究方向为生物多样性, gaoyuan1182@tom.com.

但关于浮游植物多样性季节动态的研究鲜见报道。为全面评价沂河支流浮游植物多样性,笔者于 2006 年 11 月—2007 年 8 月按季节进行了取样调查,并依据该结果对沂河 4 条支流(东汶河、蒙河、涑河和柳青河)目前水质状况做出初步评价。

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究流域概况

沂河流域在地貌上属构造剥蚀堆积平原区,岩性复杂,以灰岩为主,富含岩溶水。流域内年平均降水量 850 mm,年平均水面蒸发量 1 000 ~ 1 150 mm。沂河支流中东汶河全长 132 km,流域面积  $2.43 \times 10^3$  km<sup>2</sup>;蒙河全长 62 km,流域面积 632 km<sup>2</sup>;涑河全长 60 km,流域面积 262 km<sup>2</sup>;柳青河全长 34 km,流域面积 258 km<sup>2</sup>。

#### 1.2 样品采集与鉴定

在沂河支流东汶河(35°26.2'N, 118°23.6'E)、蒙河(35°24.8'N, 118°17.2'E)、涑河(35°09.5'N, 118°11.2'E)和柳青河(35°12.8'N, 118°17.9'E)设置了 4 个采样点,于 2006 年 11 月(代表秋季),2007 年 2 月(代表冬季),5 月(代表春季)和 8 月(代表夏季)在 50 cm 处浅表水层采水 500 mL,鲁哥氏液固定。实验室静置沉淀 24 h,10 倍浓缩后混匀制作装片,0.1 mL 显微计数框下统计细胞数量并换算为细胞密度,普通显微镜和相位显微镜下进行物种鉴定,每片连续观察鉴定约 100 个细胞,分类统计后换算为物种多样性。

#### 1.3 数据分析

选用浮游植物多样性通用计算指标<sup>[8-11]</sup>,Shannon - Wiener 指数 ( $H'$ ), Margalef 指数 ( $d$ ) 和 Pielou 指数 ( $J$ )。Shannon - Wiener 指数对物种的种

类数目和种类中个体分配的均匀性依赖程度较高, Margalef 指数对物种的种类数目依赖程度较强,而 Pielou 指数则能很好地反映物种的均匀度<sup>[11]</sup>。计算公式如下:

$$H' = - \sum P_i \log_2 P_i \quad (P_i = N_i/N)$$

$$d = (S - 1)/\ln N$$

$$J = H'/\log_2 S$$

式中,  $S$  为物种数;  $N$  为同一样品中的个体总数;  $N_i$  为第  $i$  种的个体数。

### 2 结果与分析

#### 2.1 浮游植物种类组成

4 条支流检测到的浮游植物数:东汶河 7 门 75 种、蒙河 6 门 67 种、涑河 6 门 70 种、柳青河 7 门 80 种,其中以硅藻和绿藻种类最多,隐藻和甲藻种类稀少(见图 1)。从浮游植物种类构成上看,东汶河、蒙河和涑河为硅藻 - 绿藻型,而柳青河为绿藻 - 硅藻型。从浮游植物个体所占比例上看,东汶河为硅藻 - 蓝藻型,蒙河为蓝藻 - 硅藻型,涑河为绿藻 - 硅藻型,而柳青河为蓝藻型(见表 1)。

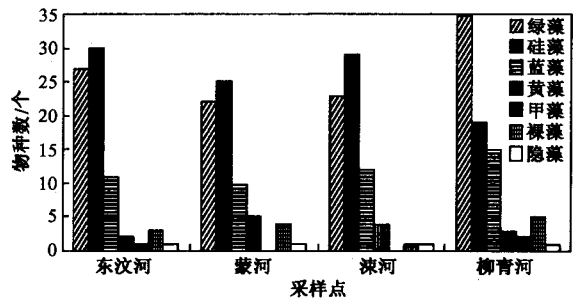


图 1 沂河 4 条支流浮游植物物种组成

Fig.1 Composition of phytoplankton species in four tributaries of Yi River

表 1 沂河 4 条支流浮游植物平均细胞密度

Table 1 Phytoplankton average cell density in four tributaries of Yi River

采样点	绿藻		硅藻		蓝藻		隐藻		裸藻		黄藻		合计/ (10 <sup>6</sup> L <sup>-1</sup> )
	细胞密度/ (10 <sup>6</sup> L <sup>-1</sup> )	所占比 例/%	细胞密度/ (10 <sup>6</sup> L <sup>-1</sup> )	所占比 例/%	细胞密度/ (10 <sup>6</sup> L <sup>-1</sup> )	所占比 例/%	细胞密度/ (10 <sup>6</sup> L <sup>-1</sup> )	所占比 例/%	细胞密度/ (10 <sup>6</sup> L <sup>-1</sup> )	所占比 例/%	细胞密度/ (10 <sup>6</sup> L <sup>-1</sup> )	所占比 例/%	
东汶河	5.97	21.2	11.12	39.4	9.35	33.2	1.29	4.6	0.08	0.3	0.38	1.3	28.19
蒙河	8.50	21.8	8.73	22.4	16.79	43.1	4.04	10.4	0.83	2.1	0.05	0.1	38.96
涑河	7.25	38.0	6.68	35.0	3.26	17.1	1.63	8.5	0	0	0.27	1.4	19.09
柳青河	9.44	15.0	7.18	11.4	41.43	66.0	1.92	3.1	2.64	4.2	0.12	0.2	62.73

东汶河常见种:秋季为钝脆杆藻 (*Fragilaria capucina*)、普通等片藻 (*Diatoma vulgare*)、小颤藻 (*Oscillatoria tenuis*) 和大螺旋藻 (*Spirulina major*), 冬季为小颤藻和隐头舟形藻 (*Navicula cryptocephala*),

春季为小颤藻,夏季为小颤藻和球形念珠藻 (*Nostoc sphaeroides*)。蒙河常见种:秋季为普通等片藻、大螺旋藻、小颤藻和为首螺旋藻 (*Spirulina princeps*), 冬季为肘状针杆藻 (*Synedra ulna*)、隐头舟形藻和谷皮菱

形藻 (*Nitzschia palea*), 春季为啮蚀隐藻 (*Cryptomonas erosa*) 和球形念珠藻, 夏季为舟形藻和球形念珠藻. 涑河常见种: 秋季为窗格平板藻、钝脆杆藻、普通等片藻、绿色黄丝藻 (*Tribonema viride*) 和尾裸藻 (*Euglena caudata*), 冬季为小颤藻和梅尼小环藻 (*Cyclotella meneghiniana*), 春季为窗格平板藻, 夏季为小颤藻和球形念珠藻. 柳青河常见种: 秋季为普

通等片藻、尾裸藻和水网藻 (*Hydrodictyon reticulatum*), 冬季为尾裸藻, 春季为尾裸藻和啮蚀隐藻, 夏季为小颤藻.

2.2 浮游植物物种多样性

应用 Shannon - Wiener 指数, Margalef 指数和 Pielou 指数评价沂河 4 条支流水质状况, 评价标准见表 2<sup>[2,12-13]</sup>.

表 2 Shannon - Wiener 指数, Margalef 指数和 Pielou 指数的评价标准  
Table 2 Evaluation criteria of Shannon-Wiener index, Margalef index and Pielou index

Shannon - Wiener 指数	水质类型	Margalef 指数	水质类型	Pielou 指数	水质类型
> 3	清洁—寡污型	> 5	清洁型	> 0.8 ~ 1.0	清洁型
> 1 ~ 3	β - 中污型	> 4 ~ 5	寡污型	> 0.5 ~ 0.8	清洁—寡污型
0 ~ 1	α - 中污型	> 3 ~ 4	β - 中污型	> 0.3 ~ 0.5	β - 中污型
		0 ~ 3	α - 中污型	0 ~ 0.3	α - 中污型

由图 2 可见, Shannon - Wiener 指数, Margalef 指数和 Pielou 指数, 东汶河分别为 2.97 ~ 3.96, 2.92 ~

4.42 和 0.78 ~ 0.92; 蒙河分别为 3.05 ~ 3.35, 2.44 ~ 4.03 和 0.71 ~ 0.94; 涑河分别为 2.86 ~ 4.02, 3.07 ~ 5.38 和 0.73 ~ 0.89; 柳青河分别为 1.74 ~ 2.89, 1.23 ~ 2.76 和 0.48 ~ 0.90.

综合水质评价结果: 东汶河和蒙河为 β - 中污型—清洁—寡污型, 涑河为 β - 中污型—清洁型, 柳青河为 α - 中污型—β - 中污型. 水质从优至劣排序为涑河 > 东汶河 > 蒙河 > 柳青河. 从季节上看, 东汶河、蒙河、涑河和柳青河各多样性变化不明显, 符合一般河流规律.

2.3 浮游植物细胞密度

利用浮游植物细胞密度评价水质状况, 评价标准参照文献[12]: 细胞密度在  $1 \times 10^6 \sim 9 \times 10^6 L^{-1}$  时水质为寡污型—β - 中污型,  $10 \times 10^6 \sim 40 \times 10^6 L^{-1}$  时水质为 β - 中污型,  $41 \times 10^6 \sim 80 \times 10^6 L^{-1}$  时水质为 α - β - 中污型,  $81 \times 10^6 \sim 99 \times 10^6 L^{-1}$  时水质为 α - 中污型,  $\geq 100 \times 10^6 L^{-1}$  时水质为 ps 型.

由图 3 可见, 东汶河水体浮游植物细胞密度为  $1.54 \times 10^7 \sim 5.69 \times 10^7 L^{-1}$ , 蒙河为  $0.28 \times 10^7 \sim 12.64 \times 10^7 L^{-1}$ , 涑河为  $0.97 \times 10^7 \sim 3.19 \times 10^7 L^{-1}$ , 柳青河为  $4.17 \times 10^7 \sim 9.96 \times 10^7 L^{-1}$ . 浮游植物细胞密度季节变化动态: 东汶河为秋季 > 夏季 > 春季 > 冬季, 蒙河为秋季 > 夏季 > 冬季 > 春季, 涑河为秋季 > 夏季 > 冬季 > 春季, 柳青河为秋季 > 冬季 > 夏季 > 春季 (见图 3).

水质评价结果: 东汶河为 β - 中污型—α - β - 中污型, 蒙河为寡污型—β - 中污型 - ps 型, 涑河为寡污型—β - 中污型—β - 中污型, 柳青河为 α - β - 中污型—α - 中污型.

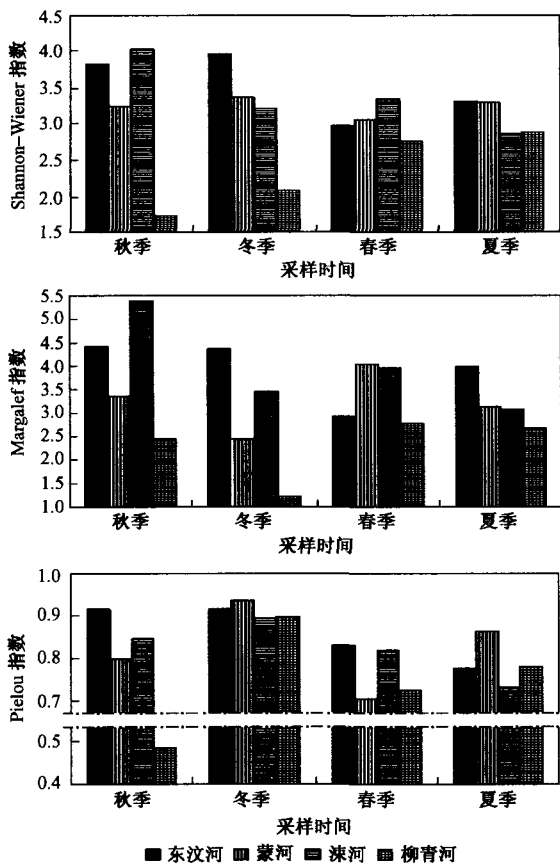


图 2 沂河 4 条支流浮游植物 Shannon - Wiener 指数, Margalef 指数和 Pielou 指数的季节变化

Fig. 2 Seasonal changes of phytoplankton Shannon-Wiener index, Margalef index and Pielou index in four tributaries of Yi River

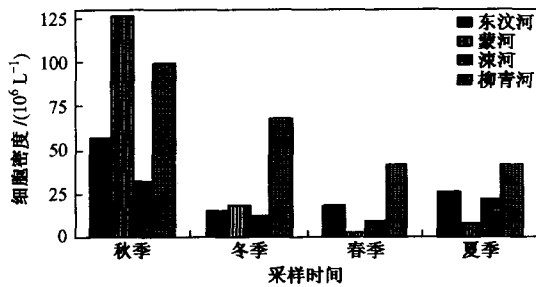


图3 沂河4条支流浮游植物细胞密度季节变化

Fig.3 Seasonal changes of phytoplankton cell density in four tributaries of Yi River

### 3 结论与讨论

沂河4条支流浮游植物种类组成和细胞密度季节变化明显,秋冬季以硅藻为主,春夏季则以绿藻占优,整体表现为硅藻-绿藻型,而 Shannon-Wiener 指数, Margalef 指数和 Pielou 指数季节间变化不明显,这与河流型水体<sup>[14-15]</sup>一致,而与水库型水体<sup>[16-17]</sup>相左,表明其水体为河流型。而其 Shannon-Wiener 指数在河流间季节动态差异较大,其中涑河水体浮游植物 Shannon-Wiener 指数为秋季 > 春季 > 冬季 > 夏季,与葡萄牙 Santo André Lagoon<sup>[18]</sup>, 美国 Crystal Bog<sup>[19]</sup>和法国 Intertidal Estuarine-bay<sup>[20]</sup>水体较为相似,与英国 Esthwaite Water 水体<sup>[21]</sup>差异较大。

沂河4条支流浮游植物细胞密度季节动态基本呈现出秋夏季高、冬春季低的特点,这与已报道的怀沙河<sup>[15]</sup>、乌拉圭 Salto Grande<sup>[22]</sup>和肯尼亚水库<sup>[23]</sup>相类似,与葡萄牙 Vela<sup>[24]</sup>不同。研究证实<sup>[17]</sup>,水温和营养盐是影响浮游植物细胞密度变化的主要因素。东汶河和涑河浮游植物细胞密度秋夏季高、冬春季低,水体营养盐含量较低,为典型的温度制约型。蒙河和柳青河浮游植物细胞密度则为秋冬季高、夏春季低,水体营养盐含量较高,为营养盐和温度双重制约型。

综合水质评价结果:东汶河和蒙河为  $\beta$ -中污型—清洁—寡污型,涑河为  $\beta$ -中污型—清洁型,柳青河为  $\alpha$ -中污型— $\beta$ -中污型。水质从优至劣排序为涑河 > 东汶河 > 蒙河 > 柳青河。东汶河和涑河流域内未见大型工厂,工业污染物排放量少,水质相对较好,建议继续对东汶河和涑河流域内新增工业设施保持严格环境审批准入,防止引入新的污染源。蒙河中游接纳了化工厂污水,导致水质变动较大,应尽快建立实时监测水质机制,大力提高化工厂污水处理能力,降低污染物排放量。柳青河为中度污染水体,河流源头附近有一家大型肉制品加工厂,常年

排入大量有机污水。鉴于柳青河河道内现已沉积了 20~50 cm 污染淤泥,除应加强对流域内肉制品加工厂污水处理外,还应尽快开展河道疏浚和底泥清淤工作,以杜绝二次污染。

致谢:中国海洋大学唐学玺教授和董树刚教授审阅初稿并提出修改建议!

#### 参考文献 (References):

- [1] 张远,郑丙辉,刘鸿亮.三峡水库蓄水后的浮游植物特征变化及影响因素[J].长江流域资源与环境,2006,15(2):254-258.
- [2] 周广杰,况琪军,胡征宇,等.三峡库区4条支流藻类多样性评价及“水华”防治[J].中国环境科学,2006,26(3):337-341.
- [3] 况琪军,毕永红,周广杰,等.三峡水库蓄水前后浮游植物调查及水环境初步分析[J].水生生物学报,2005,29(4):353-357.
- [4] 王新华,纪炳纯,李明德,等.引滦工程上游浮游植物及其水质评价[J].环境科学研究,2004,17(4):18-24.
- [5] 张乃群,杜敏华,庞振凌,等.南水北调中线水源区浮游植物与水质评价[J].植物生态学报,2006,30(4):650-654.
- [6] 中华人民共和国国务院.淮河流域水污染防治“十五”计划[R].北京:中华人民共和国国务院,2003.
- [7] 高远,苏宇祥,亓树财.沂河流域浮游植物与水质评价[J].湖泊科学,2008,20(4):544-548.
- [8] MAGURRAN A E. Ecological diversity and its measurement[M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988.
- [9] WHITTAKER R H. Evolution of measurement of species diversity[J]. Taxon, 1972, 21: 213-251.
- [10] PIELOU E C. Ecological diversity[M]. New York: John Wiley, 2006.
- [11] 孙军,刘东艳.多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J].海洋学报,2004,26(1):62-75.
- [12] 况琪军,马沛明,胡征宇,等.湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J].安全与环境学报,2005,5(2):87-91.
- [13] 舒俭民,杨荣金,孟伟,等.空难对湿地浮游植物的影响[J].环境科学研究,2006,19(2):100-103.
- [14] 刘明典,杨青瑞,李志华,等.沅水浮游植物群落结构特征[J].淡水渔业,2007,37(3):70-75.
- [15] 张茹春,牛玉璐,赵建成,等.北京怀沙河、怀九河自然保护区藻类组成及时空分布动态研究[J].西北植物学报,2006,26(8):1663-1670.
- [16] 李秋华,韩博平.基于CCA的典型调水水库浮游植物群落动态特征分析[J].生态学报,2007,27(6):2355-2364.
- [17] 刘震,杜桂森,张会,等.密云水库的浮游植物及水体营养程度[J].环境科学研究,2003,16(1):27-29.
- [18] DUARTE P, MACEDO M F, DAFONSECA L C. The relationship between phytoplankton diversity and community function in a coastal lagoon[J]. Hydrobiologia, 2006, 555: 3-18.
- [19] GRAHAM J M, KENT A D, LAUSTER G H, et al. Seasonal dynamics of phytoplankton and planktonic protozoan communities in a Northern Temperate Humic Lake: diversity in a dinoflagellate dominated system[J]. Microbial Ecology, 2004, 48: 528-540.
- [20] JOUENNE F, LEFEBVRE S, VÉRON B, et al. Phytoplankton

- community structure and primary production in small intertidal estuarine-bay ecosystem (eastern English Channel, France) [J]. *Mar Biol*, 2007, 151: 805-825.
- [21] MADGWICK G, JONES I D, THACKERAY S J, *et al.* Phytoplankton communities and antecedent conditions: high resolution sampling in Esthwaite Water [J]. *Freshwater Biology*, 2006, 51: 1798-1810.
- [22] CHALAR G. The use of phytoplankton patterns of diversity for algal bloom management [EB/OL]. [2008-06-21]. <http://limno.fcien.edu.uy/pdf/Gchalar-PhytoDiversity.pdf>.
- [23] FRANCIS M, KENNETH M M, WELLINGTON N W. Biodiversity characteristics of small high-altitude tropical man-made reservoirs in the Eastern Rift Valley, Kenya [J]. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 2002(7): 1-12.
- [24] ABRANTES N, ANTUNES S C, PEREIR M J, *et al.* Seasonal succession of cladocerans and phytoplankton and their interactions in a shallow eutrophic lake (Lake Vela, Portugal) [J]. *Acta Oecologica*, 2006, 29: 54-64.

(责任编辑:孔欣)