

# 绥宁河生物修复中浮游植物的生态特征研究\*

刘冬燕<sup>1,2</sup> 赵建夫<sup>1,2,\*</sup> 张亚雷<sup>1</sup> 马利民<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 同济大学长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092; <sup>2</sup> 重庆三峡研究院, 重庆 404000)

**【摘要】** 通过对上海市苏州河支流绥宁河治理段与非治理段水体浮游植物群落分析, 探讨了生物修复对浮游植物的影响. 生物修复试验实施后治理点的浮游植物种类数比非治理点多; 浮游植物细胞数、叶绿素 a 含量有明显下降, 优势度由极度的高优势变为中度优势; Shannon-Wiener 多样性指数有明显上升; 治理点绿藻和硅藻种类百分比升高, 并出现一些指示  $\beta$  中污和寡污的种类, 水体浮游植物群落结构有所优化, 表明水体质量有一定改善.

**关键词** 生物修复 浮游植物 群落

**文章编号** 1001-9332(2005)04-0703-05 **中图分类号** Q178.1 **文献标识码** A

**Ecological characteristics of phytoplankton in Suining tributary under bio-remediation.** LIU Dongyan<sup>1,2</sup>, ZHAO Jianfu<sup>1,2</sup>, ZHANG Yalei<sup>1</sup>, MA Limin<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Key Laboratory of Yangtze River Water Environment of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China; <sup>2</sup>Chongqing Three Gorges College, Chongqing 404000, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(4):703~707.

Based on the analyses of phytoplankton community in the treated and untreated reaches of Suining tributary of Suzhou River, this paper studied the effects of bio-remediation on phytoplankton. As the result of the remediation, the density and Chl-a content of phytoplankton in treated reach were greatly declined, while the species number and Shannon-Wiener diversity index ascended obviously. The percentage of *Chlorophyta* and *Baeillariophyta* ascended, and some species indicating medium-and oligo-pollution were found. All of these illustrated that bio-remediation engineering might significantly benefit to the improvement of phytoplankton community structure and water quality.

**Key words** Bio-remediation, Phytoplankton, Community.

## 1 引言

生物修复是利用生态系统中的微生物及其他生物将环境中的污染物现场降解成二氧化碳或转化为无害物质的工程技术. 生物修复技术作为 20 世纪 90 年代迅速发展起来的一项污染治理工程技术, 由于费用低, 不会形成二次污染或导致污染物转移, 可最大限度地降低污染物浓度等而成为当今治理污染水体的首选治理措施<sup>[4, 7, 13, 18, 27, 33]</sup>.

在上海市苏州河综合整治一期工程实施以后, 由于截污工程的实施, 许多支流中的污染物因不能排放入苏州河主干河道而日益蓄积, 污染状况日趋严重, 因此苏州河支流治理已成为该河二期治理工程的重点, 由此开展了苏州河支流——绥宁河生态修复试验研究. 目前, 关于恢复手段对浮游生物影响的研究主要汇集在施入光合细菌条件下浮游植物的变化方面<sup>[1, 12, 16, 32~34]</sup>, 利用浮游植物来监测生态工程治理水污染等效果的研究也有报道<sup>[3, 6, 19, 20]</sup>.

浮游植物的种类组成、群落结构、数量分布和多样性等是评价水环境质量的重要标准, 浮游植物作

为生物监测、评价水质污染和营养水平的重要指标, 国内外已广泛采用并卓有成效<sup>[11, 15, 17, 22, 25~27]</sup>. 绥宁河水生维管植物极度贫乏, 浮游植物是该水体最主要的初级生产者, 因此, 浮游植物是水体水质营养状况最直接的反映者, 为了解生物修复试验研究的效果, 本文对绥宁河治理段与非治理段水体浮游植物群落特征进行了研究, 初步探讨了生物修复对水体浮游植物群落特征的影响.

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 研究地区概况

2.1.1 河流状况及生态修复工程措施 见文献<sup>[14]</sup>.

2.1.2 采样点设立 见文献<sup>[14]</sup>.

### 2.2 研究方法

2.2.1 样品采集及采样 时间定性分析水样用 25 号筛绢网在水面下 0.5 m 处做“∞”形反复拖拽约 5 min, 速度 20~30 cm·s<sup>-1</sup>, 然后把网提起抖动滤水, 轻轻打开网头, 将液体倒入

\* 国家自然科学基金项目(50008011)、国家“十五”科技攻关计划重大项目(2003BA808A17)和“863”计划资助项目(2004AA649310).

\*\* 通讯联系人.

2004-08-23 收稿, 2005-01-17 接受.

贴有标签的样品瓶中,加入鲁哥氏液固定后参照有关文献<sup>[8,10,26]</sup>进行浮游植物种类鉴定.定量分析的水样用有机玻璃采水器于水面下0.5 m处取1 000 ml,加入15 ml鲁哥氏液固定,静置48 h后吸去上清液,浓缩至30 ml.显微镜计数时充分摇匀,浮游植物吸取0.1 ml滴入0.1 ml计数框内,在10×40倍下用视野法计数各个种的细胞数和个体数,计数100~300个视野,使所得细胞数在300以上,对量小而个体大的种类在100倍下全片计数,发现新的藻类均增入定性统计.2001年10月25日开始实施生物修复综合措施,实施前进行一次本底采样,实施后采样频度约为1次/2周,于12月5日结束,采样时间分别是10月20日、11月2日、11月14日、11月30日、12月5日.

2.2.2 叶绿素a测定方法 见文献<sup>[14]</sup>.

2.2.3 分析方法 应用如下生物群落结构特征指数<sup>[10,22]</sup>对浮游植物的群落结构进行分析.

1)相对频度( $Fr$ ):反映种的个体在群落中的出现概率.表达式为:

$$Fr = f_i / F \cdot 100\% \quad (1)$$

式中, $f_i$ 为*i*种出现的次数, $F$ 为总的定性采样次数.A级频度为1%~20%;B级频度为21%~40%;C级频度为41%~60%;D级频度为61%~80%;E级频度为81%~100%.

2)相对密度( $Dr$ ):反映种的细胞密度占群落总细胞密度的比例.表达式为:

$$Dr = d_i / D \cdot 100\% \quad (2)$$

式中, $D$ 为群落的总细胞密度; $d_i$ 为*i*种的细胞密度.

3)Shannon-Wiener指数( $H$ ):种类和种类中个体分配上的均匀性的综合指标,反映群落结构复杂程度和稳定性.其表达式为<sup>[9]</sup>:

$$H = - \sum_{i=1}^s (n_i / N) \log_2 (n_i / N) \quad (3)$$

式中, $N$ 为总个体或细胞数; $n_i$ 为*i*种的个体或细胞数; $S$ 为总种数.

### 3 结果与分析

#### 3.1 浮游植物的种类组成

共鉴定浮游植物5门38属77种,其中,蓝藻门6属9种,绿藻门21属35种,硅藻门7属14种,裸藻门3属18种,隐藻门1属1种.其中,试验开始后非治理段未出现而治理段出现的新种有:微小色球藻(*Chroococcus minutus*)、球囊藻(*Sphaerocystis Schroeteri*)、卷曲纤维藻(*Ankistrodesmus convolutus*)、集星藻(*Actinastrum hantzschii*)、双射盘星藻(*Pediastrum biradiatum*)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、螺旋颗粒直链藻(*M. granulata* var. *angustissima* f. *spiralis*)、近小头羽纹藻(*Pinnularia subcapitata*).

生物修复试验开始前,治理点2#的蓝藻和绿藻

种类所占百分比均与非治理点1#和3#非常一致(图1),试验后第1、2周治理点2#的蓝藻比例低于非治理点.对于绿藻种类所占百分比,生物修复试验前后无明显变化.而从硅藻种类所占百分比来看,试验后治理点2#明显高于非治理点1#和3#.裸藻种类所占比例试验前治理点2#比非治理点3#高,试验后2#一直低于3#.

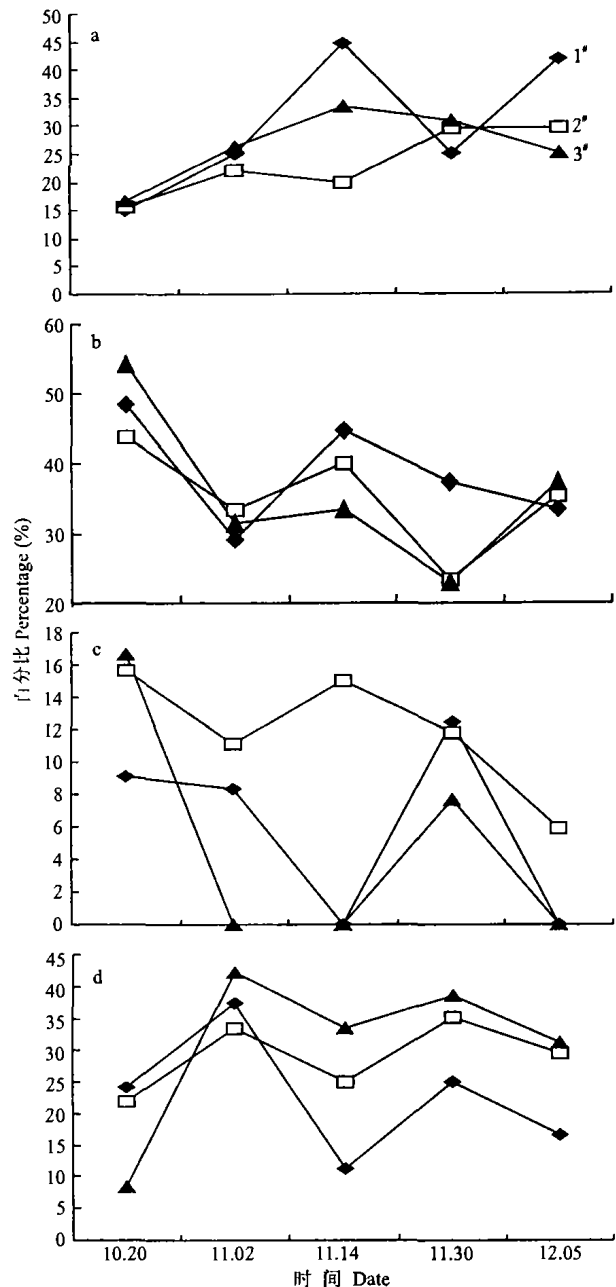


图1 绥宁河浮游植物的种类组成

Fig. 1 Composition of phytoplankton varieties in Suining Tributary. a) 蓝藻 Cyanophyta; b) 绿藻 Chlorophyta; c) 硅藻 Baeillariophyta; d) 裸藻 Euglenophyta.

#### 3.2 浮游植物群落结构特征

生物修复试验后第1周至结束,浮游植物种类数呈减少的趋势,治理点2#的种类数多于对照1#和3#,在11月14日这种差异尤为明显(图2).浮游植物细胞数自生物修复试验开始前到结束呈减少的

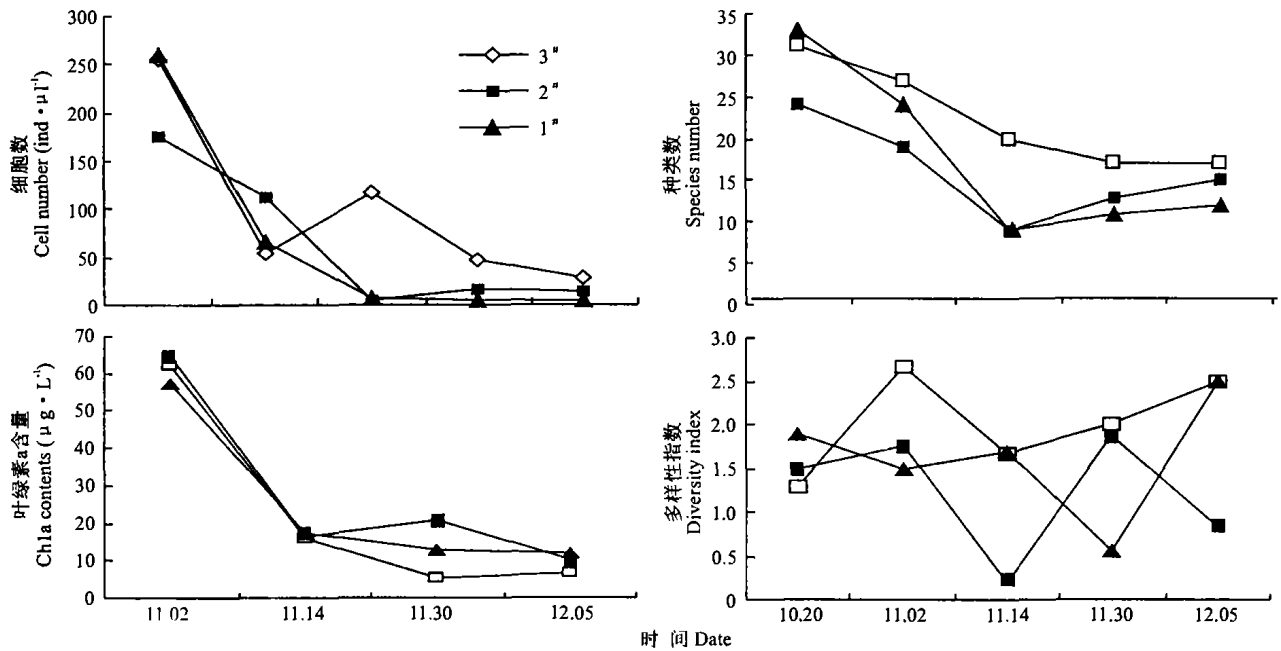


图2 绥宁河浮游植物群落动态

Fig.2 Variations in phytoplankton communities in Suining Tributary.

趋势,3#样点的细胞数基本多于1#和2#,在11月14日较明显.治理2#样点的叶绿素a含量低于对照1#和3#.

### 3.3 浮游植物物种多样性

生物多样性指数是评价水质状况的重要指标之一,试验前,治理2#的 Shannon-Wiener 多样性指数值在1.5以下,且略低于非治理点1#和3#.试验开始到结束,2#样点的 Shannon-Wiener 多样性指数一直高于1#和3#(图2),工程开始第1周2#样点的多样性指数上升明显,多样性指数均值在2.0~3.0之间.

### 3.4 浮游植物的优势种群

对绥宁河所有浮游植物定性分析进行频度统计,E级频度种分别是蓝藻门的小颤藻(*Oscillatoria tenuis*)、钝顶螺旋藻(*Spirulina platensis*, Sp)、绿藻门的小球藻(*Chlorella vulgaris*)、蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*, Cp);裸藻门的梭形裸藻(*Euglena acus*)、绿色裸藻(*Euglena viridis*),这些种出现频率达80%以上,属于常见种.由表1可见,生态修复试验前,治理2#样点的优势度比非治理点1#和3#高,第一优势种为绿藻门的蛋白核小球藻.生物修复试验后第1周至结束,治理2#样点的优势度一直小于1#和3#,在11月2日和12月5日这种差异尤为明显,第一优势种有绿藻门的蛋白核小球藻、小球衣藻(*Chlamydomonas microsphaera*, Cm)和球衣藻(*Chlamydomonas globosa*, Cg).

## 4 讨 论

浮游植物对外界环境反映敏感,浮游植物群落

表1 绥宁河优势种及其占总细胞数的百分比

Table 1 Dominant species and percentage(%) of phytoplankton density in Suining Tributary

| 日期<br>Date | 3#                      |    | 2#                      |    | 1#                      |    |
|------------|-------------------------|----|-------------------------|----|-------------------------|----|
|            | 优势种<br>Dominant species | %  | 优势种<br>Dominant species | %  | 优势种<br>Dominant species | %  |
| 10.20      | 蛋白核小球藻 Cp               | 75 | 蛋白核小球藻 Cp               | 78 | 蛋白核小球藻 Cp               | 44 |
| 11.2       | 蛋白核小球藻 Cp               | 69 | 蛋白核小球藻 Cp               | 39 | 蛋白核小球藻 Cp               | 72 |
| 11.14      | 球衣藻 Cg                  | 97 | 小球衣藻 Cm                 | 62 | 小球衣藻 Cm                 | 62 |
| 11.30      | 钝顶螺旋藻 Sp                | 59 | 球衣藻 Cg                  | 52 | 钝顶螺旋藻 Sp                | 89 |
| 12.5       | 球衣藻 Cg                  | 84 | 球衣藻 Cg                  | 39 | 钝顶螺旋藻 Sp                | 50 |

的性质和数量随水的化学组成而改变.在水体质量监测中,通常根据以下特征来评价水体质量,划分污染等级:蓝藻门在70%以上,耐污种大量出现为多污带;蓝藻门在60%左右,为 $\alpha$ 中污带;硅藻及绿藻为优势种,各占30%左右为 $\beta$ 中污带;硅藻门为优势种,占60%以上为 $\alpha\beta$ 寡污带.因此,可以应用以上原则来评价生物修复前后的水体质量,并对绥宁河生物修复的效果作出初步判断.

生物修复试验前的调查中,3个样点的蓝藻种类所占比例均较低,仅16%左右,绿藻种类百分比最高,达44%~54%,硅藻种类百分比最低,在9%~17%之间,裸藻种类百分比值在8%~24%之间,属于第二位.由浮游植物群落的组成特征分析可知,生物修复前,绥宁河水体浮游植物属于绿藻型群落,而且根据其优势度以及优势种的指示性,可以判断该水体在生物修复前的水体污染程度属于 $\beta$ - $\alpha$ 中污型.

生物修复试验后的4次调查结果表明,相比治理2#点,非治理点1#和3#的蓝藻种类百分比有升

高趋势,最高达44%,硅藻种类百分比却急剧下降,最低为0%,治理2#的蓝藻种类百分比明显低于两个对照组,硅藻种类百分比则明显高于两个对照组,尤其是生物修复后第1、2周,绿藻和硅藻种类百分比达50%左右,而蓝藻种类百分比仅占20%左右。另外,试验开始后非治理段未出现而治理段出现的新种中微小色球藻、集星藻、双射盘星藻的指示意义为 $\beta_m$ 、os;颗粒直链藻、螺旋颗粒直链藻的指示意义为 $\beta_m$ ;近小头羽纹藻、球囊藻的指示意义为os<sup>[24,28]</sup>。可见,通过生物修复治理,水体质量有所好转,绿藻、硅藻等其他藻类得到一定发展,水体污染程度已由 $\beta$ - $\alpha$ 中污型转变为 $\beta$ 中污型,出现了一些指示 $\beta$ 中污和寡污的种类。

用生物优势种及优势度可以反映水质变化,水质监测结果表明,治理2#样点的优势度明显降低,优势度由极度的高优势变为中度优势。而未治理1#和3#点的优势度却一直属于高优势,表明生物修复试验对该水体水华的控制还是有一定作用。

随着水体污染程度的下降,水生生物一般会显示出种类增多,数量减少的特征,尽管3个组的浮游植物种类数在生物修复试验实施后均有下降,但相比未治理1#和3#组,治理2#的下降幅度最小,一直高于未治理组。而对于细胞数和叶绿素含量,治理2#的则有明显的下降,表明浮游植物在治理段的生长已受到抑制,水质得到改善。另外,生物修复试验实施后,Shannon-Wiener多样性指数也较实施前有明显上升,多样性可以反映群落结构的内涵,许多研究利用多样性来反映环境变化对生物的影响和水环境质量的高低<sup>[2,5,21,29-31]</sup>,一般来说,多样性指数越大,则水质越好,对于Shannon-Wiener指数,0~1为重污染,1~3为中污染,大于3为轻污染或无污染。从本研究结果看,治理2#点的密度多样性指数指示的污染程度均为中污染,而未治理点的多样性指数指示的污染程度则为中污染或重污染。

## 5 结 语

绥宁河的生态修复试验采用光合细菌、硝化细菌和玉垒菌等微生物和凤眼莲为主,配合少量菖蒲、香蒲、水生鸢尾等水生植物的联合修复方法来改善水体水质,经一个半月的治理,水体COD、BOD去除50%以上,氮磷营养盐有明显减少<sup>[14]</sup>,浮游植物群落结构亦得以优化,表明生物修复后水体质量有所改善。但由于治理期间属于冬季,而且治理时间太短,浮游植物群落结构等特征并未达到最佳优化状

态,治理段的水体质量仍处于中污水平,由此可见,生物修复组合技术的应用要考虑到季节问题,在冬季气温较低、生物活性较弱的情况下,需要补充低温微生物和耐寒水生植物,也可对修复区域采用大棚保温的方法来维持生物活性和净化效果,或使用絮凝沉淀的辅助办法来净化水体。另外,黑臭河道的治理是一项长期的工作,底泥疏浚势在必行,清淤以后加以以配套的生物修复组合技术,才能大大缩短生态系统恢复所需的时间,发挥生物修复的最佳效用。

## 参考文献

- Andresson GH, Croberg GC, Gelin. 1978. Effects of planktivorous and benthivorous fish on organisms and water chemistry in eutrophic lakes. *Hydrobiologia*, 59(1):9~15
- Cairns J Jr. 1981. Biological monitoring. Part VI-future needs. *Water Res*, 15:941~952
- Comin FA, Menendez M, Lucena JK. 1990. Proposal form acropolyte restoration in eutrophic coastal lagoons. *Hydrobiologia*, 200/201:427~436
- Chen H-S(陈荷生). 2001. Restoration project of the ecosystem in Tai Lake. *Resour Environ Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 10(2):173~178(in Chinese)
- Fan X-P(范晓鹏), Shen Y-F(沈蕴芬). 2001. Effects of environment factors on the characteristics of protozoan community. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 7(6):554~557(in Chinese)
- Fang D(方东), Xu J-H(许建华), Xu S(徐实). 2001. Monitoring and assessment of effectiveness of water pollution control of the Xuanwu Lake by ecological project. *Environ Monit Man* (环境监测管理和技术), 13(6):36~38(in Chinese)
- Gu Z-L(顾宗濂). 2002. Bioremediation of eutrophic lakes in China. *Rural Eco-Environ* (农村生态环境), 18(1):42~45(in Chinese)
- Hu H-J(胡鸿钧), Li Y-Y(李尧英), Wei Y-X(魏印心), et al. 1979. *Freshwater Algae in China*. Shanghai: Shanghai Science Technology Press. (in Chinese)
- Huang Y-Y(黄玉瑀). 2001. *Pollution Ecology of Inland Waters*. Beijing: Science Press. 155(in Chinese)
- Jin X-C(金相灿), Tu Q-Y(屠清英), et al. 1990. The standard methods in lake eutrophication investigation. Beijing: China Environmental Science Press. 286~302(in Chinese)
- Jolly VH, Chapman MA. 1966. A preliminary biological study of the effects of pollution of Farmer's Creek and Cox's River, New South Wales. *Hydrobiologia*, 27:160~192
- Li X-M(李雪梅), Yang Z-Y(杨中艺), Jian S-G(简曙光), et al. 2000. Control of algae bloom eutrophic water by effective microorganisms. *Acta Sci Nat Univ Sunyatseni* (中山大学学报), 39(1):80~85(in Chinese)
- Liu D-Z(刘德滔), Zheng Q(郑强). 2001. Study on environmental biological technology and its application to water pollution control. *Chongqing EnvironSci* (重庆环境科学), 23(1):56~58(in Chinese)
- Liu D-Y(刘冬燕), Da L-J(达良俊), You W-H(由文辉), et al. 2003. Effect of Suming Tributary ecoremediation to all size-fractionated chlorophyll-a contents. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 14(6):963~968(in Chinese)
- Liu D-Y(刘东艳), Sun J(孙军), Zhang Y-L(张利永). 2003. Structural characteristics of phytoplankton community during harmful algae bloom in Jiaozhou Bay. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 14(11):1963~1966(in Chinese)
- Liu F-J(刘福军), Hu W-Y(胡文英). 2002. Effects of PSB to plankton in saline-alkali wetland ponds. *J Lake Sci* (湖泊科学), 14(1):83~86(in Chinese)
- Liu W-Q(刘蔚秋), Wang Y-F(王永繁), Xu Y-L(徐润林), et al. 2001. Ecological characteristics of phytoplankton in waters of biological controlling and ordinary rice fields. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 12(1):59~62(in Chinese)

- 18 Liu S-Y(刘淑媛), Ren J-C(任久长), You W-H(由文辉). 1999. A study on purification of the eutrophic water body with economical plants sollessly cultivated on artificial substratum. *Acta Sci Nat Univ Pekinensis* (北京大学学报), 35(4): 1~5(in Chinese)
- 19 Lu K-H(陆开宏), Yao L-Y(姚礼一), Zhou S-Q(周少勤), et al. 1992. Population variation of phytoplankton in West Lake of Hangzhou before and after dilution sewages with emptying into river water and effect of controlling eutrophication. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 3(3): 266~272(in Chinese)
- 20 Ozimeck T, Gulati RD, Ponk E. 1990. Can macrophytes be useful in biomaniplulation of lakes? *Hydrobiologia*, 200/201: 399~407
- 21 Shen Y-F(沈韞芬), Feng W-S(冯伟松), Gu M-R(顾曼如). 1994. Monitoring of River Pollution. Beijing: China Architecture & Building Press. (in Chinese)
- 22 Shen Y-F(沈韞芬), Zhang Z-S(章宗涉), Gong X-J(龚循矩). 1990. The New Detection Technique on Minibiology. Beijing: China Architecture Industry Press. (in Chinese)
- 23 Sparks R. 1992. The Upper Mississippi River: Restoration of Aquatic Ecosystems. Washington D. C: National Academy Press.
- 24 The Special Committee about Environmental Problem on Ecological Academy in Japan. 1987. Environment and Denotative Biology. Beijing: China Environmental Science Press.
- 25 Villegas I, Giner JD. 1973. Phytoplankton as a biological indicator of water quality. *Wat Res*, 7(3): 479~487
- 26 Wang J(王 俊), Jiang Z-W(姜祖辉), Dong S-L(董双林). 2001. Role of filter feeding bivalves in proliferation of phytoplankton community. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 12(5): 765~768(in Chinese)
- 27 Wang Q-R(王庆仁), Liu X-M(刘秀梅), Cui Y-S(崔岩山), et al. 2001. Concept and advances of applied bioremediation for organic pollutants in soil and water. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 21(1): 159~163(in Chinese)
- 28 Wei Y-X(魏印心). 1985. The *Chlorophyta*, *Pyrrophyta* and *Cryptophyta* in Donghu lake, Wuhan. *Wuhan Res Bot* (武汉植物学学报), 3(3): 243~254(in Chinese)
- 29 Xu M-Q(许木启). 1991. A study on applying PFU protozoan community to monitor the self purification effectiveness of the Beijing wastewater canal. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 11(1): 80~85(in Chinese)
- 30 Xu M-Q(许木启). 1996. Evaluation of self purification efficiency of Fuhe Stream—Baiyangdian Lake through zooplankton. *Acta Hydrobiol Sin* (水生生物学报), 20(3): 212~219(in Chinese)
- 31 Yang H-J(杨红军), Zuo B-R(左本荣), Yuan J-F(袁峻峰), et al. 2000. Assessment of water quality of Huangpu River by comprehensive index of microbial communities. *J Shanghai Normal Univ* (Nat Sci)(上海师范大学学报·自然科学版), 29(4): 78~85(in Chinese)
- 32 Yu M(于 明), Zhou Y-L(周云龙). 2001. The effects of photosynthetic bacteria on controlling eutrophic water through the changes of phytoplankton. *J Beijing Normal Univ* (Nat Sci)(北京师范大学学报·自然科学版), 37(5): 680~685(in Chinese)
- 33 Zhang Z-S(章宗涉), Mo Z-C(莫珠成), Jie K-R(戎克文). 1983. The detection and evaluation of water pollution in Tumen river with algae. *Acta Hydrobiol Sin* (水生生物学集刊), 8(1): 97~104(in Chinese)
- 34 Zhuang H-R(庄惠如), Zeng H-T(曾焕泰), Chen H-L(陈惠年), et al. 1997. Variation of phytoplankton feeded with photosynthetic bacteria in fish ponds. *J Fujian Normal Univ* (Nat Sci)(福建师范大学学报·自然科学版), 13(1): 86~93(in Chinese)

作者简介 刘冬燕,女,1969年12月生,同济大学环境科学与工程学院博士后.主要从事水域生态学研究. E-mail: ardisia@sina.com

## ·新书通报·

### 欢迎订购《应用生态学》

应用生态学是研究协调人类与生物圈之间关系和协调此种复杂关系以达到和谐发展目的的科学,应用生态学是一个极其宽广的研究领域,是生态学的一大研究门类,所有与研究人类活动有关的生态学分支如农业生态学、渔业生态学、林业生态学、草地牧业生态学、污染生态学、城市生态学、资源生态学以及野生动植物管理保护、生态预测乃至景观生态学、区域生态学及全球生态学中的部分或大部分领域都可归属在应用生态学这一门类之下,应用生态学的根本任务在于认识和改造环境,保护和改善人类的生存环境和促进经济、社会发展同资源、环境相协调。

为纪念中国科学院沈阳应用生态研究所建所 50 周年,系统总结过去 50 年的研究成果,组织有关科技人员,在多年研究积累的基础上,参阅了国内外近年来在应用生态学方面的创新性研究成果,开拓性地撰写了这本学术性专著《应用生态学》,全书共 12 章,主要内容包括:应用生态学概论,农业生态与农业生态工程,森林生态与林业生态工程,草地生态与草地生态系统管理,水域生态与流域管理,湿地生态与湿地恢复,旅游生态与生态旅游规划和管理,污染生态与环境生态工程,城市生态与城市生态建设,景观生态与区域生态建设,保护生物学与生物多样性,全球重大生态问题与对策。

本书可供生态学、农学、林学、地学和环境科学等领域的科技人员参考,也可供有关研究部门管理者和高等院校师生参考。

本书由科学出版社出版,计 146 万字,定价为 163 元,另加邮费 10 元,有需要者请与《应用生态学报》编辑部联系.电话:024-83970393