

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第9期 Vol.33 No.9 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 9 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 可持续发展研究的学科动向 茶 娜, 邬建国, 于润冰 (2637)
- 代谢异速生长理论及其在微生物生态学领域的应用 贺纪正, 曹 鹏, 郑袁明 (2645)
- 植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展 杨 波, 陈 晏, 李 霞, 等 (2656)
- 中国园林生态学发展综述 于艺婧, 马锦义, 袁韵珏 (2665)

个体与基础生态

- 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响 陈学文, 王 农, 时秀焕, 等 (2676)
- 草原土壤有机碳含量的控制因素 陶 贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等 (2684)
- 外源钙离子与南方菟丝子寄生对喜旱莲子草茎形态结构的影响 车秀霞, 陈惠萍, 严巧娣, 等 (2695)
- 毛竹出笋后快速生长期茎秆色素含量与反射光谱的相关性 刘 琳, 王玉魁, 王星星, 等 (2703)
- 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (2712)
- 外源磷或有机质对板蓝根吸收转运砷的影响 高宁大, 耿丽平, 赵全利, 等 (2719)
- 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响 张昌容, 鄧军锐, 莫利锋 (2728)
- 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 等 (2734)
- 基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究
..... 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等 (2744)
- 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响 常亚青, 李云霞, 罗世滨, 等 (2754)

种群、群落和生态系统

- 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化 陈美球, 赵宝华, 罗志军, 等 (2761)
- 长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定 郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 等 (2768)
- 长江口及邻近海域富营养化指标原因变量参照状态的确定 郑丙辉, 周 娟, 刘录三, 等 (2780)
- 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应 宋 伦, 王年斌, 杨国军, 等 (2790)
- 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系 陆 强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等 (2803)
- 生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响 刘艳梅, 李新荣, 赵 昕, 等 (2816)
- 大棚模拟条件下角倍蚜春季迁飞数量动态及其与气象因子的关系 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等 (2825)
- 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 程 曼, 朱秋莲, 刘 雷, 等 (2835)
- 1958—2008 年太白山太白红杉林碳循环模拟 李 亮, 何晓军, 胡理乐, 等 (2845)
- 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响 陈芙蓉, 程积民, 刘 伟, 等 (2856)
- 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等 (2867)
- 西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响 杞金华, 章永江, 张一平, 等 (2877)
- 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律 井学辉, 曹 磊, 臧润国 (2886)

景观、区域和全球生态

太湖流域生态风险评价 许妍,高俊峰,郭建科 (2896)

基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价 周自翔,李晶,冯雪铭 (2907)

资源与产业生态

淹水条件下控释氮肥对污染红壤中重金属有效性的影响..... 梁佩筠,许超,吴启堂,等 (2919)

研究简报

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用
..... 郑静静,赵会杰,胡巍巍,等 (2930)

不同 CO₂ 浓度变化下干旱对冬小麦叶面积指数的影响差异 李小涵,武建军,吕爱锋,等 (2936)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-05



封面图说: 肥美的当雄草原——高寒草甸是在寒冷的环境条件下,发育在高原和高山的一种草地类型。其植被组成主要是多年生草本植物,冬季往往有冰雪覆盖,土壤主要为高山草甸土。当雄草原位于藏北高原,藏南与藏北的交界地带,海拔高度为 5200—4300m,受海洋性气候影响,呈现高原亚干旱气候,年平均降水量 293—430mm。主要有小嵩草草甸、藏北嵩草草甸和沼泽草甸等,覆盖度为 60%—90%,其中小嵩草草甸分布面积最大,连片分布于广阔的高原面上。高寒草甸草层低,草质良好,是畜牧业优良的夏季牧场。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201202100175

郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 周娟, 林焱璇. 长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定. 生态学报, 2013, 33(9): 2768-2779.

Zheng B H, Zhu Y Z, Liu L S, Zhou J, Lin K X. The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2768-2779.

长江口及邻近海域富营养化指标 响应变量参照状态的确定

郑丙辉^{1,2,*}, 朱延忠^{1,2}, 刘录三^{1,2}, 周娟^{1,2}, 林焱璇^{1,2}

(1. 中国环境科学研究院, 环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012;

2. 中国环境科学研究院, 国家环境保护河口与海岸带环境重点实验室, 北京 100012)

摘要: 对长江口富营养化指标中的响应变量进行了筛选, 并在长江口分区的基础上, 运用参照点或观测点指标频数分布曲线法, 对 1992 年—2010 年的数据进行分析, 确定了长江口外海区 and 舟山海区富营养化指标中响应变量的参照状态。选择叶绿素 a 和底层溶解氧作为响应指标的必选指标, 浮游植物密度和 COD_{Mn} 作为辅助指标。经分析, 长江口外海区叶绿素 a、浮游植物密度、 COD_{Mn} 和底层溶解氧的春夏秋 3 个季节的参照状态分别为 $0.87\text{mg}/\text{m}^3$, 17.44×10^3 个/L, $0.42\text{mg}/\text{L}$, $8.36\text{mg}/\text{L}$; $1.88\text{mg}/\text{m}^3$, 25.96×10^3 个/L, $0.56\text{mg}/\text{L}$, $4.22\text{mg}/\text{L}$; $0.84\text{mg}/\text{m}^3$, 12.10×10^3 个/L, $0.46\text{mg}/\text{L}$, $6.95\text{mg}/\text{L}$; 舟山海区叶绿素 a、浮游植物密度、 COD_{Mn} 和溶解氧的春夏秋 3 个季节的参照状态分别为 $0.73\text{mg}/\text{m}^3$, 6.77×10^3 个/L, $0.51\text{mg}/\text{L}$, $8.75\text{mg}/\text{L}$; $1.00\text{mg}/\text{m}^3$, 9.72×10^3 个/L, $0.37\text{mg}/\text{L}$, $5.94\text{mg}/\text{L}$; $0.78\text{mg}/\text{m}^3$, 4.59×10^3 个/L, $0.55\text{mg}/\text{L}$, $7.40\text{mg}/\text{L}$ 。本研究确定的参照状态值能较为客观的反映该海域的富营养化参照状态, 且不同分区, 不同季节间的指标的参照状态亦存在着显著的差异。

关键词: 富营养化; 参照状态; 响应变量; 长江口

The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables

ZHENG Binghui^{1,2,*}, ZHU Yanzhong^{1,2}, LIU Lusan^{1,2}, ZHOU Juan^{1,2}, LIN Kuixuan^{1,2}

1 State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2 State Environmental Protection Key Laboratory of Estuary and Coastal Environment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Abstract: The selection of eutrophication indicator and determination of its reference condition is a key process for nutrient establishment in coastal and estuarine. In this paper, the response variables of eutrophication indicators in the Yangtze River estuary were primarily selected. And then, the Yangtze River estuary and adjacent waters was divided into four sub-areas as follows: transitional zone, Outside Yangtze River Estuary, Hangzhou Bay and Zhoushan sea based on the natural and geographical characteristics of the Yangtze River estuary. Furthermore, the “frequency distribution curve” method was used to determine the reference conditions of response variables in the coastal zone outside of the Yangtze River estuary and Zhoushan Archipelago based on the analysis of the data collected from the Yangtze River estuary and adjacent waters during 2009 to 2010. The “frequency distribution curve” method was carried out by SPSS 13.0, and the upper 75th percentile was used as a starting point, the lower 25th percentile was also suggested. What to be paid attention was that as the phytoplankton was difficult to breed in transitional zone and Hangzhou Bay because of the lower transparency and higher

基金项目: 环保公益性行业科研专项 (2008467041); 水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07209-008)

收稿日期: 2012-02-11; 修订日期: 2012-10-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhengbh@craes.org.cn

turbidity, the two sub-areas would not be considered to determine the reference condition.

In the present study, chlorophyll-a (chl-a) and bottom dissolved oxygen (DO) were chosen as the basic indicators, while, phytoplankton density and permanganate index (COD_{Mn}) were chosen as the auxiliary indicators. The reference condition values which can be referred as the nutrient criteria values were listed in the order generally as follows. In Outside Yangtze River Estuary, the chl-a reference condition values were $0.87\text{mg}/\text{m}^3$ in spring, $1.88\text{mg}/\text{m}^3$ in summer, $0.84\text{mg}/\text{m}^3$ in autumn; the phytoplankton density reference condition values were $17.44\times 10^3\text{cells}/\text{L}$ in spring, $25.96\times 10^3\text{cells}/\text{L}$ in summer, $12.10\times 10^3\text{cells}/\text{L}$ in autumn; the COD_{Mn} reference condition values were $0.42\text{mg}/\text{L}$ in spring, $0.56\text{mg}/\text{L}$ in summer, $0.46\text{mg}/\text{L}$ in autumn, the bottom DO reference condition values were $8.36\text{mg}/\text{L}$ in spring, $4.22\text{mg}/\text{L}$ in summer, $6.95\text{mg}/\text{L}$ in autumn. In Zhoushan sea, the chl-a reference condition values were $0.73\text{mg}/\text{m}^3$ in spring, $1.00\text{mg}/\text{m}^3$ in summer, $0.78\text{mg}/\text{m}^3$ in autumn; the phytoplankton density reference condition values were $6.77\times 10^3\text{cells}/\text{L}$ in spring, $9.72\times 10^3\text{cells}/\text{L}$ in summer, $4.59\times 10^3\text{cells}/\text{L}$ in autumn; the COD_{Mn} reference condition values were $0.51\text{mg}/\text{L}$ in spring, $0.37\text{mg}/\text{L}$ in summer, $0.55\text{mg}/\text{L}$ in autumn; the bottom DO reference condition values were $8.75\text{mg}/\text{L}$ in spring, $5.94\text{mg}/\text{L}$ in summer, $7.40\text{mg}/\text{L}$ in autumn. Compared with the relevant studies about chl-a in the same study area in 1980s, the reference condition values determined in this paper were close to the average chl-a concentration in 1980s. Accordingly, the reference condition values could reflect the nutrient conditions of the Yangtze estuary and adjacent waters.

The results showed that there were distinct differences among different sub-areas, and different seasons. Therefore, it is very necessary to develop suitable management measures for different sub-areas and different seasons in the Yangtze River estuary and adjacent waters. Establishing the reference condition is one necessary element of the criteria development process. Reference condition values were appropriately modified on the basis of the examination of the historical records, expert judgment, as well as consideration of downstream effects.

Key Words: eutrophication; reference condition; response variables; Yangtze River estuary

参照状态是追踪水体自然、初始的一种较好状态,用以衡量区域内该水体类型相对未受干扰的营养状态^[1],是河口营养物基准值确定的基础^[2]。参照状态在理论上应该是无人干扰或污染的水体条件下的代表浓度,但是在社会高速发展的今天,大多水体基本上都受到人类活动的干扰,并受到一定程度的污染,难以找到理想的自然本底值。在建立营养物参照状态方面,美国积累了大量的方法,主要有时间参考状态法、空间参考状态法、频率法、沉积物历时反演法以及预测和外推模型等方法^[3-4]。在我国,许多学者在湖泊营养物参考状态和基准等方面做了大量的工作^[5-9]。然而,对于中国河口区,营养物基准和参照状态的研究相对较少,孟伟等结合国内外经验提出了河口营养物基准的制定方法,对营养物参照状态的选择提出了4种情形^[10],胡莹莹等对辽河口近岸海域营养物基准进行了研究并提出了建议值^[11]。本文借鉴国内外研究经验,从富营养化响应变量的角度出发(导致富营养化的氮、磷等原因变量另著文阐述),通过对历史数据进行分析,结合长江口的实际情况,运用频率统计法建立长江口海域营养物响应变量的参照状态。为我国河口营养物基准、标准的制定提供理论和方法支撑。

1 材料与方法

1.1 研究海域与数据来源

研究区域为 $29^{\circ}30' - 32^{\circ}00' \text{N}$, 123°E 以西水域,面积约 38040 km^2 。本文所采用数据均来源于浙江省舟山海洋生态环境监测站,监测数据时间为 1992—2010 年共计 19a 的数据,每年春、夏、秋各监测一次,监测指标的分析方法严格按照海洋调查规范 (GB/T 12763—2007) 以及相关技术标准进行 (表 1),研究海域共设置调查站位 30 个,站位分布如图 1 所示。

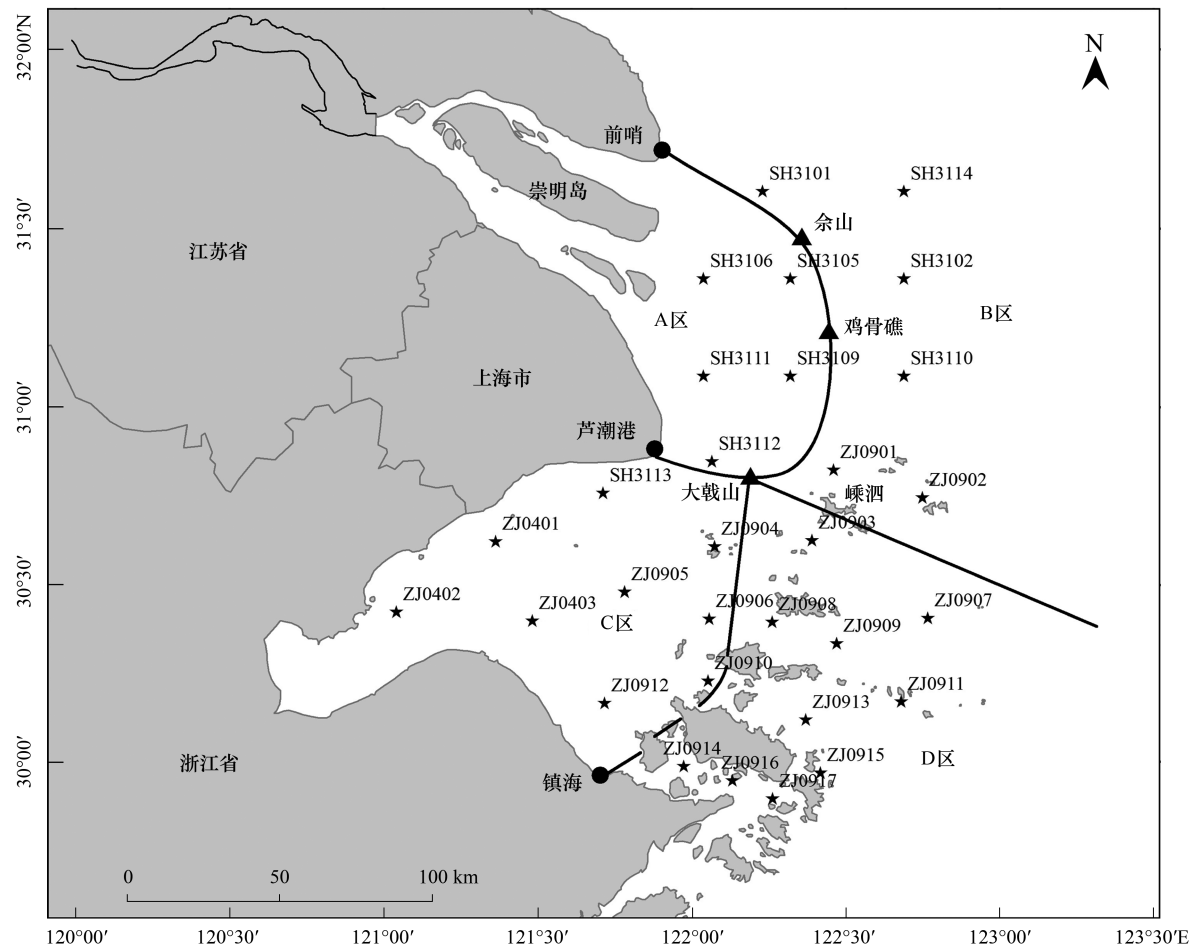


图1 研究区域及站位分布示意图

Fig.1 Study area and stations

A 区:长江口过渡区,B 区:长江口外近海区,C 区:杭州湾海区,D 区:舟山海区

表1 监测指标的分析方法

Table 1 Analysis methods of monitoring indicators

项目 Items	采样仪器与方法 Sampling instruments and methods	分析方法 Analysis methods	分析方法来源 Sources of analysis methods
溶解氧 Dissolved oxygen (DO)	GO-FLOW 采水器现场测定	碘量滴定法	GB/T 12763.4—2007
COD _{Mn}	同上	碱性高锰酸钾法	GB 17378.4—2007
浮游植物 Phytoplankton	GO-FLOW 采水器	显微镜浓缩计数	GB/T 12763.6—2007
叶绿素 a Chlorophyll-a (chl-a)	GO-FLOW 采水器,过滤保存	分光光度法	GB/T 12763.6—2007

1.2 数据处理与分析

将 1992 年到 2010 年的调查数据,分季节、分区域进行分组归类,然后利用 SPSS v13.0 进行频率统计分析。

1.3 参照状态确定方法

1.3.1 指标筛选

一般来说,水体富营养化的指标包括两部分,一部分是氮、磷等营养物指标,这是导致水体富营养化的原因变量,另一部分是叶绿素 a(Chla)、浮游植物密度、透明度(SD)、化学需氧量(COD_{Mn})、溶解氧(DO)等响应变量指标,他们是对水体富营养化的响应,水体的营养元素增加,将导致浮游植物大量繁殖,从而造成叶绿素

a 浓度升高,浮游植物密度增大,透明度和溶解氧含量的降低, COD_{Mn} 则是反映水体中可被氧化的有机物以及具有还原性的无机物的一个指标,从另一层面上也反映了水体富营养化的程度。按照美国 EPA 的做法^[2],选择 5 个指标作为基准的基本变量,即 TN、TP、Chla、SD 或藻类浊度、DO。为体现初级生产力对富营养化的反映,将 Chla、浮游植物密度纳入响应变量。而对于在湖泊、河流等水体中得到广泛应用的 SD,鉴于长江口水域含沙量大且属于强潮河口,SD 受非藻类影响更为显著,在此不宜选做富营养化的响应变量。另外选择 COD_{Mn} 、底层 DO 作为补充指标,以完善河口营养盐基准体系。

1.3.2 分区

刘录三等人根据长江口水域自然地理特征进行分区,分为长江口过渡区、长江口外海区、杭州湾海区和舟山海区四个海区^[12](图 1),分区方法详见文献^[12]。经对 4 个海区的盐度、温度、悬浮物和溶解氧等指标的一致性检验分析,各个海区差异性显著,分区较为合理^[12]。由于长江口过渡区和杭州湾由于巨量泥沙在此絮凝、沉积与悬浮,水体浑浊度较高,如一般落潮时浑水线距河口口门 50–60km,约在 $122^{\circ}30'E$ 附近(长江口区域 1 个经度间的距离约为 96km),涨潮时浑水线向岸推进,约在 $122^{\circ}E$ 左右,大风期间,由于底部泥沙掀动剧烈,浑水线可远及 123° 左右^[13],海水透明度降低,而浮游生物只有在悬沙含量小、盐度高于 20 的海域中才能大量繁殖,长江口过渡区与杭州湾的生态系统对营养盐不敏感,对这两个区不宜建立参照状态;长江口外近海区(简称 KW)和舟山海区(简称 ZS)泥沙含量较少,水体浑浊度受悬浮泥沙影响较低,又有河口输入的丰富营养盐供给以及适宜的盐度等生态条件,使得该海域的生态系统对营养盐较为敏感,也由此成为赤潮高发区。因此这两个重点区域分别确定各富营养化指标的参照状态。

1.3.3 频率统计

按照调查站位的分布,将各个海区内的 Chla、浮游植物密度、 COD_{Mn} 和底层 DO 浓度等指标进行频率统计。

1.3.4 指标特征值的确定

按照统计分析结果,确定 25%、50% 和 75% 3 个级别的 Chla、浮游植物密度、 COD_{Mn} 和 DO 浓度的特征值。

1.3.5 参照状态值的确定,由研究者结合长江口水域的使用功能和维持生态系统健康发展的需求,确定长江口水域富营养化响应变量指标的参照状态。

2 结果与分析

2.1 频率分析的统计特征值

在对 Chla 和浮游植物密度进行频率统计的时候,发现数据离散度较高,不符合正态分布,因此将这两个变量的数据进行自然对数转换,使其符合正态分布后,在进行频率统计,然后对取得的特征值取 e 的 n 次幂,换算成两个指标的浓度值,如此取得的特征值更能准确反映参照状态的真实值。

对两个海区的 Chla(自然对数转换)、浮游植物密度(自然对数转换)、 COD_{Mn} 、底层 DO 四个指标样本群分别进行频率统计,得到 25%、50% 和 75% 的特征值(表 2—表 5,图 2—图 5)。

表 2 长江口海域表层 Chla 频率分布特征值(mg/m^3)

Table 2 Characteristic value of surface chlorophyll-a in Yangtze River estuary

海域 Sea area	春季 Spring			夏季 Summer			秋季 Autumn		
	全海域 Whole sea area	长江口外 近海区	舟山海区	全海域 Whole sea area	长江口外 近海区	舟山海区	全海域 Whole sea area	长江口外 近海区	舟山海区
样本量 Sample size	452	63	150	335	48	112	493	69	169
平均值 Mean	1.10	1.27	1.04	2.02	3.20	1.89	1.30	1.31	1.08
25%	0.77	0.87	0.73	1.16	1.88	1.00	0.88	0.84	0.78
50%	1.20	1.26	1.20	2.00	3.13	1.79	1.42	1.42	1.11
75%	1.69	2.00	1.59	3.49	4.67	3.29	1.95	1.83	1.65

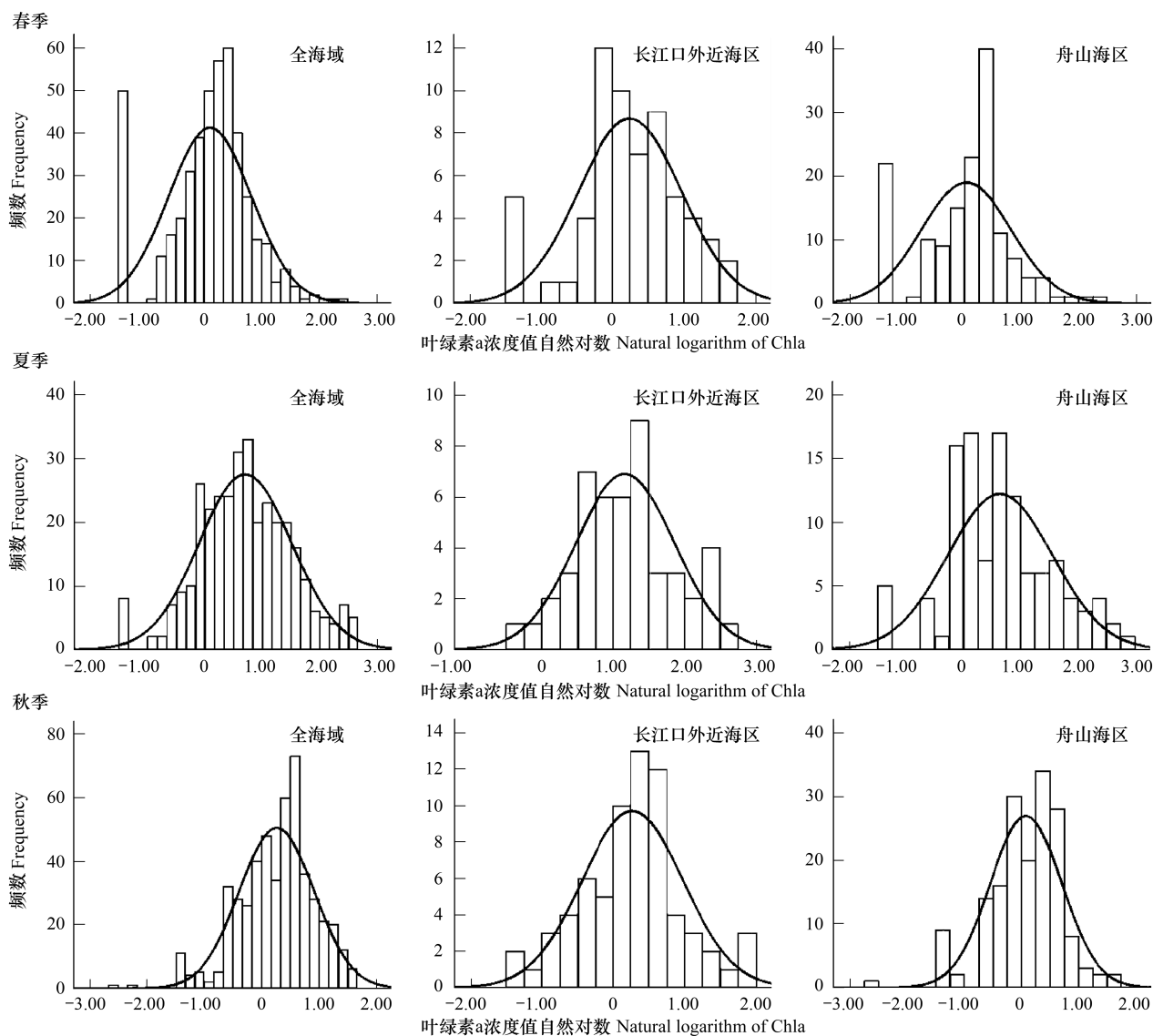


图2 长江口海域 Chla 浓度频数分布图

Fig. 2 Frequency distribution map of Chla in Yangtze River estuary

表2,图2中,长江口外近海区在春、夏、秋3个季节中Chla频率分布曲线下25个百分点所对应的Chla浓度分别为0.87、1.88 mg/m³和0.84 mg/m³,舟山海区的分别为0.73、1.00 mg/m³和0.78 mg/m³,从两个海区来看,长江口外近海区高于舟山海区,从季节分布来看,夏季最高,春秋季相差不大。

表3 长江口海域表层浮游植物密度频率分布特征值(10³ 个/L)

Table 3 Characteristic value of surface density of phytoplankton in Yangtze River estuary

海域	春季			夏季			秋季		
	全海域	长江口外近海区	舟山海区	全海域	长江口外近海区	舟山海区	全海域	长江口外近海区	舟山海区
样本量	405	60	137	306	49	101	482	68	161
平均值	24.21	41.84	20.92	32.28	108.02	33.53	20.68	44.85	12.18
25%	7.78	17.44	6.77	8.80	25.96	9.72	5.58	12.10	4.59
50%	23.12	30.88	16.00	24.59	116.44	24.09	19.19	40.26	13.79
75%	76.96	193.43	43.76	131.79	441.94	105.80	67.70	218.24	32.32

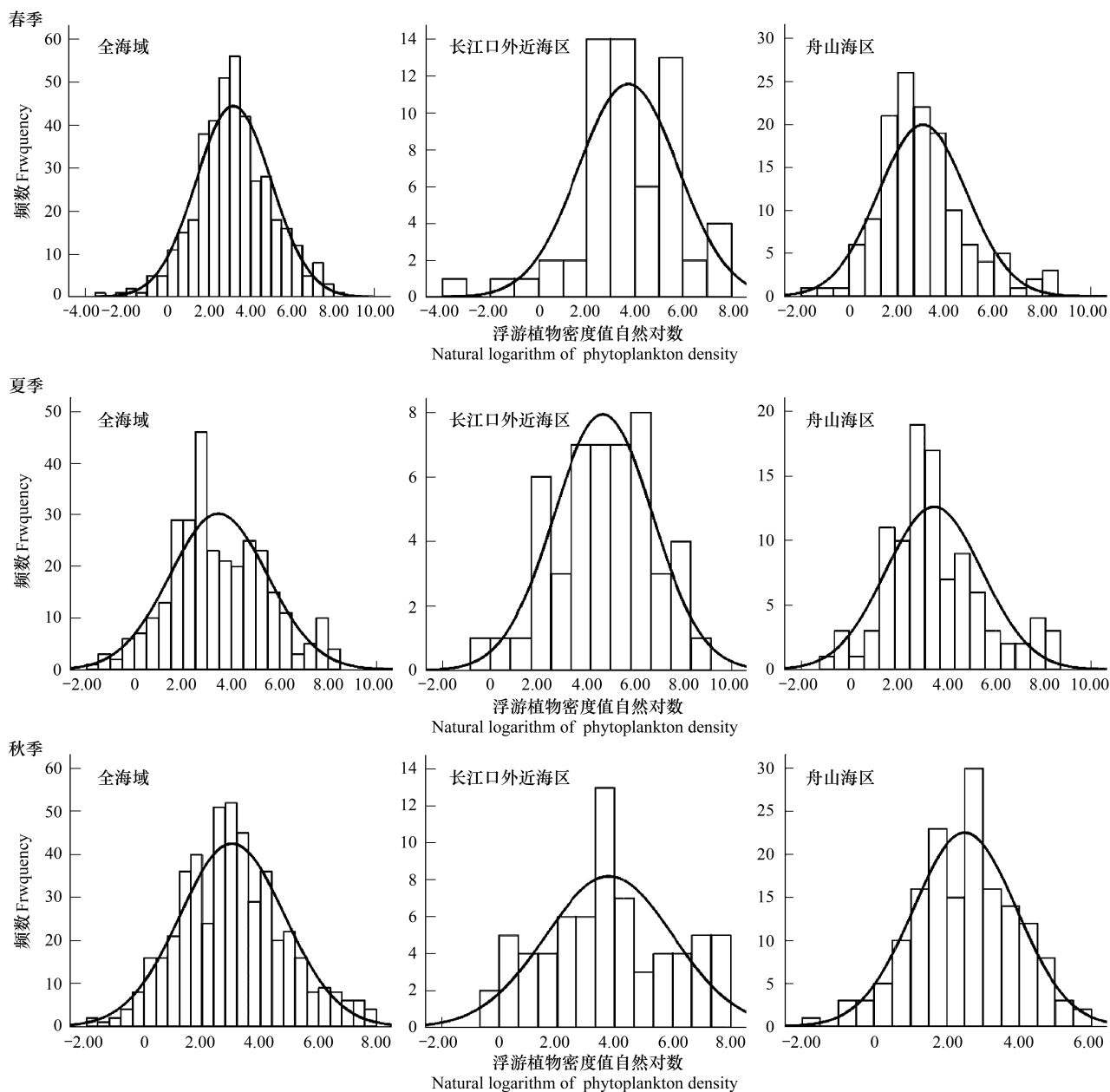


图3 长江口海域浮游植物密度的频数分布图(a、春季,b、夏季,c、秋季)

Fig. 3 Frequency distribution map of phytoplankton density in Yangtze River estuary (a、spring,b、summer,c、autumn)

由表3和图3可以看出,长江口外近海区在春、夏、秋三个季节中浮游植物密度频率分布曲线下25个百分点所对应的浮游植物密度分别为 17.44×10^3 个/L、 25.96×10^3 个/L和 12.10×10^3 个/L,舟山海区的分别为 6.67×10^3 个/L、 9.72×10^3 个/L和 4.59×10^3 个/L,从两个海区来看,长江口外近海区显著高于舟山海区,从季节分布来看,夏季最高,春季次之,秋季最低。

由表4和图4可以看出,长江口外近海区在春、夏、秋三个季节中 COD_{Mn} 频率分布曲线下25个百分点所对应的 COD_{Mn} 浓度分别为0.42、0.56 mg/L和0.46 mg/L,舟山海区的分别为0.51、0.37 mg/L和0.55 mg/L,从季节分布来看,长江口外近海区夏季最高,春秋季节较低;舟山海区则相反,夏季最低,春秋季节较高。从海区分布来看,夏季,长江口外近海区高于舟山海区,春秋季节则相反。

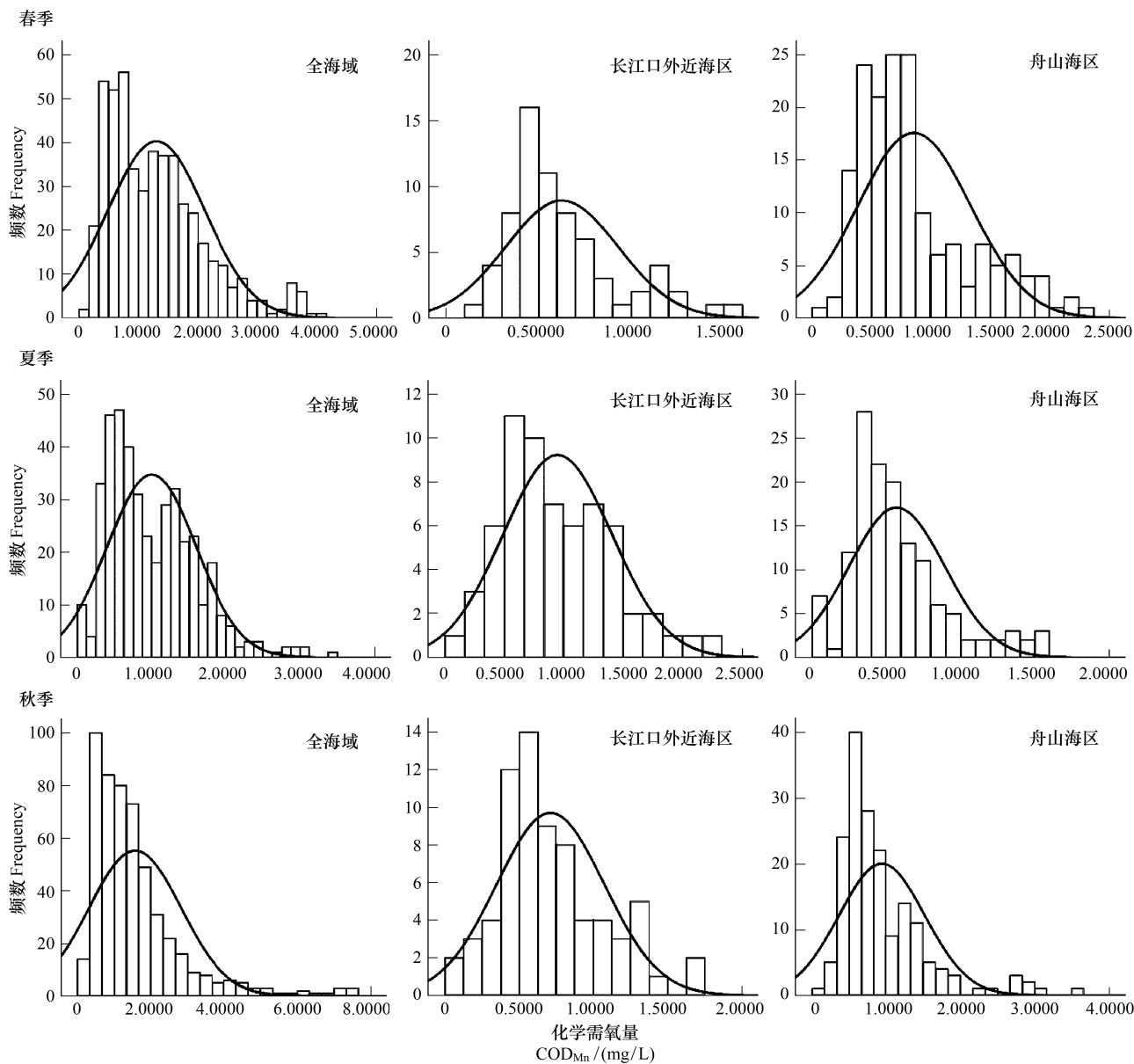


图4 长江口海域浮 COD_{Mn} 的频数分布图

Fig.4 Frequency distribution map of permanganate Index in Yangtze River estuary

表4 长江口海域表层 COD_{Mn} 频率分布特征值 (mg/L)

海域	春季			夏季			秋季		
	全海域	长江口外近海区	舟山海区	全海域	长江口外近海区	舟山海区	全海域	长江口外近海区	舟山海区
样本量	495	68	168	416	64	139	520	71	175
平均值	1.30	0.63	0.86	1.00	0.95	0.57	1.57	0.71	0.94
25%	0.64	0.42	0.51	0.51	0.56	0.37	0.72	0.46	0.55
50%	1.16	0.53	0.74	0.86	0.84	0.49	1.27	0.65	0.78
75%	1.73	0.74	1.11	1.37	1.27	0.72	1.92	0.90	1.20

由表5和图5可以看出,长江口外近海区在春、夏、秋3个季节中底层溶解氧频率分布曲线上25个百分点所对应的溶解氧浓度分别为8.36、4.22 mg/L和6.95 mg/L,舟山海区的分别为8.75、5.94 mg/L和7.40

mg/L,从季节分布来看,春季最高,秋季次之,夏季最低;从海区分布来看,舟山海区高于长江口外近海区。

表 5 长江口海域底层溶解氧频率分布特征值(mg/L)

海域	春季			夏季			秋季		
	全海域	长江口外近海区	舟山海区	全海域	长江口外近海区	舟山海区	全海域	长江口外近海区	舟山海区
样本量	319	55	148	234	50	117	324	62	154
平均值	8.16	7.56	8.00	5.14	3.77	5.12	6.98	5.88	6.87
25%	7.58	6.79	7.56	4.09	3.03	4.33	6.39	5.05	6.41
50%	8.18	7.74	8.13	5.52	3.71	5.42	7.06	6.19	6.90
75%	8.98	8.36	8.75	6.07	4.22	5.94	7.70	6.95	7.40

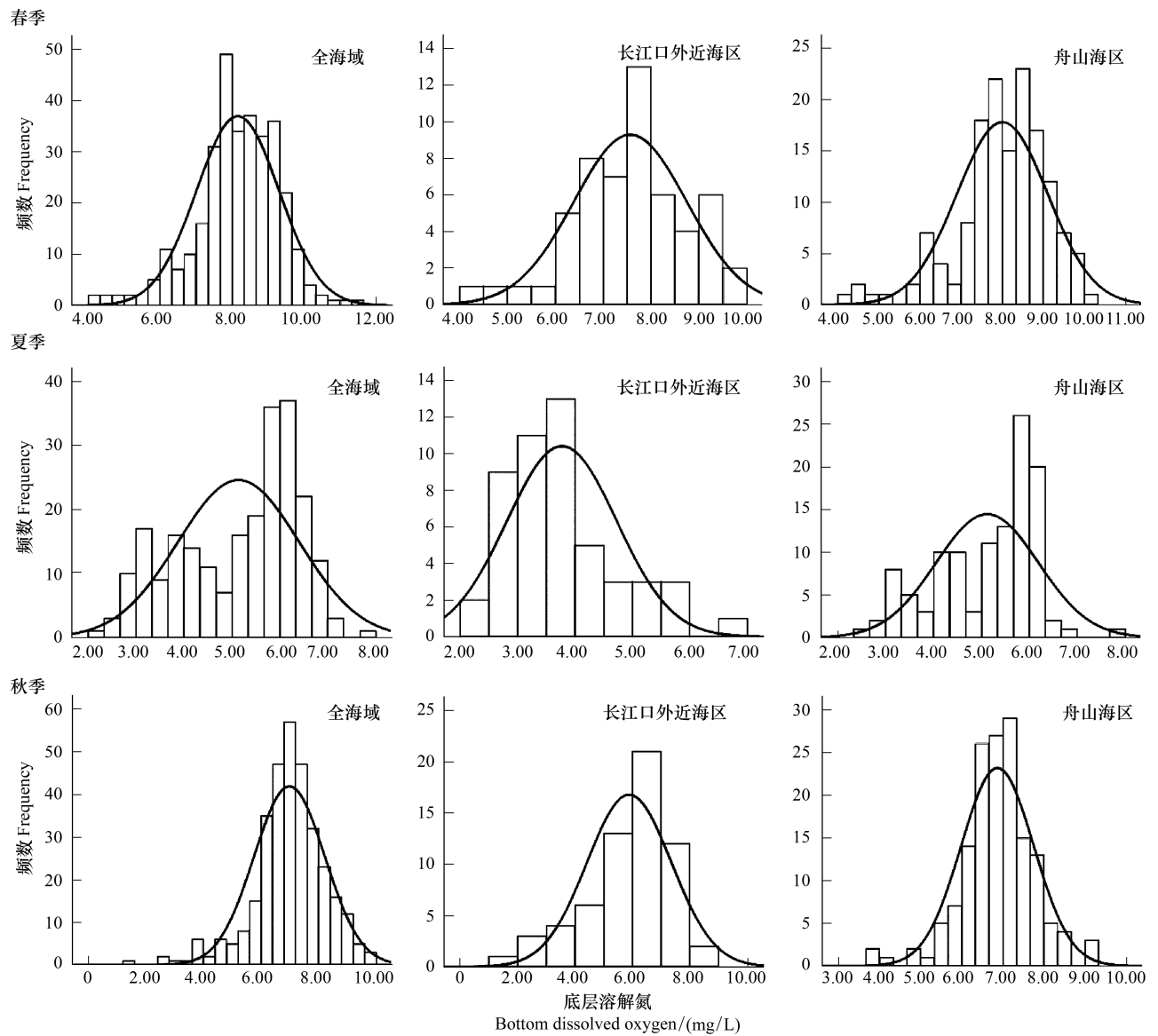


图 5 长江口海域底层溶解氧的频数分布图
Fig.5 Frequency distribution map of dissolved oxygen in Yangtze River estuary

2.2 参照状态的确定

根据长江流域的社会经济发展以及污染状况来看,长江口以及沿岸海域未受人类活动或污染的参照位点

难以找到,按照美国 EPA 研究^[2,14],因此受营养物影响程度较小的部分地域被认为具备“参照状态的环境质量”,可作为参照点。采用参照点或观测点指标频数分布曲线法确定推荐基准值,在数据充足的情况下,可以取参照位点的指标频率分布曲线上 25% 点(即累计频数为 75% 的特征值,下同)作为参照状态值,对于 SD 或 DO 则取下 25% 点(即累计频数为 25%,下同)的特征值作为参照状态值,若参照位点不易确定,可以采用全部调查位点的数据频率分布曲线上的下 25% 点特征值作为参照状态值,相应的,SD 或 DO 则取上 25% 的特征值作为参照状态值。由于长江口以及近岸海域均或多或少的受到人类活动的影响,参照位点难以确定,本文拟采用各海区中所有监测位点的全部数据进行频率统计,取下 25% 的特征值作为研究海域富营养化指标响应变量的参照状态。5%—50% 作为参照状态的变化范围,结果如表 6。

3 讨论

3.1 指标的选择

在长江口海域富营养化响应变量的选择上,应遵守以下原则:(1)所选指标相对稳定,受外界因素影响很小,(2)要因地制宜,考虑到长江口地理、气候和人为因素的影响;(3)浮游植物的生长是对水体富营养化最直接的一个响应,与水体营养物的多寡具有较好的响应关系,可作为水体富营养化的理想响应变量,如 Chla 等;(4)所选指标应有标准的监测方法,利于全国推广^[15]。因此,所选指标并不是越多越好,而是综合考虑指标对营养物变化的敏感性和便于对长江口海域富营养化管理两个方面来确定,浮游植物作为营养物的直接响应变量,在美国执行的数字化营养物基准的计划中,向 EPA 提交评审的 46 个州中,有 42 个州选用了 Chla 作为一个指标^[2,14],占到了 90% 以上,可见 Chla 作为营养物的指标在国际上是通用的,且检测方法相对简便固定,为此,在湖泊、水库以及河口海岸带等区域制定营养物基准的过程中,都选用了 Chla 这一指标,因此,在本海域,Chla 将作为富营养化响应变量的必须指标,由于溶解氧水平受水体营养状况的影响,营养过剩加速藻类生长,继而导致溶解氧(DO)浓度降低,因此溶解氧可作为一个响应变量^[16]。由于在长江口及其临近水域夏季底层存在着明显的低氧区,低氧中心位于 122°40' E, 32° N 附近^[17],且溶解氧与氮、磷有着高度的相关性^[20],此外,DO 是反应生态健康的一个综合指标变量,底层 DO 可以衡量底栖生物的栖息地环境质量,EPA 亦选取海水 DO 来反应海水质量。底层水体缺氧会引起沉积物释放氨、有毒硫化物等溶解性的营养盐^[2]。而且 DO 与浮游植物光合作用、浮游生物呼吸作用以及水体中有机颗粒物的分解关系密切,因此,本文将底层溶解氧作为水体富营养化响应变量的另一个必选指标。

表 6 长江口海域富营养化指标响应变量参照状态

Table 6 Reference condition of eutrophication response indicator in Changjiang estuary

基准变量 Criteria variables	季节 Seasons	长江口外近海区 Outside Yangtze River Estuary		舟山海区 Zhoushan sea	
		参照状态 Reference condition	变动范围 Variation range	参照状态 Reference condition	变动范围 Variation range
叶绿素 a Chla/(mg/m ³)	春季	0.87	0.25—1.26	0.73	0.25—1.20
	夏季	1.88	0.99—3.13	1.00	0.39—1.79
	秋季	0.84	0.37—1.42	0.78	0.26—1.11
浮游植物密度 Phytoplankton density	春季	17.44	0.84—30.88	6.77	1.58—16.00
	夏季	25.96	1.95—116.44	9.72	1.29—24.09
	秋季	12.10	1.20—40.26	4.59	1.02—13.79
化学需氧量 COD _{Mn} /(mg/L)	春季	0.42	0.30—0.53	0.51	0.31—0.74
	夏季	0.56	0.32—0.84	0.37	0.08—0.49
	秋季	0.46	0.16—0.65	0.55	0.36—0.78
底层 DO/(mg/L) Bottom dissolved oxygen	春季	8.36	7.74—9.46	8.75	8.13—9.52
	夏季	4.22	3.71—5.54	5.94	5.42—6.30
	秋季	6.95	6.19—7.84	7.40	6.90—8.32

浮游植物密度由于其数量变化太剧烈,而且不同的采样方式得出的结果相差很大,监测结果亦费时费力,建议其作为初级生产力的一个辅助指标,对完善我国河口营养盐基准是一个很好的补充。 COD_{Mn} 为水体可被氧化的有机物以及具有还原性的无机物的综合指标,从一定程度上也反映了水体污染物的一个指标,也是我国水质监测里面的一个常规量化指标^[18-19],可以作为河口营养盐基准体系里的一个辅助指标。

综上,对于长江口富营养化响应变量上建议将 Chla 和底层 DO 作为必选指标,浮游植物密度和 COD_{Mn} 作为辅助指标,以完善长江口富营养化基准体系。

3.2 参照状态的确定

本文通过频率统计结果与研究海域的历史资料进行对比,根据赵祚美^[21]1988 年对舟山港的叶绿素 a 监测,浓度范围为 $0.20\text{--}2.80\text{mg}/\text{m}^3$,平均值为 $0.92\text{ mg}/\text{m}^3$,而舟山海区的参照状态 3 个季节的平均值为 $0.84\text{ mg}/\text{m}^3$,两者相差不大,宁修仁^[21]在 1984 年 8 月对长江口及浙江沿岸海域的叶绿素 a 浓度进行监测,长江口近海区表层叶绿素的浓度范围为 $1.0\text{--}3.0\text{mg}/\text{m}^3$ 之间,取其平均值作为整个海域的叶绿素 a 浓度为 $2.0\text{ mg}/\text{m}^3$,而本文确定的长江口外近海区的叶绿素 a 的参照状态为 $1.88\text{ mg}/\text{m}^3$,两者也比较接近,在 20 世纪 80 年代,舟山海域受到污染水平相对较低,选取 25% 频率特征值作为叶绿素 a 参照状态是比较合适的。胡莹莹^[11]在辽河口近岸海域进行营养物基准确定方法研究结果中,叶绿素 a 的基准推荐值为 $0.9\text{mg}/\text{m}^3$,由于其未进行分区分季节研究,本文将长江口叶绿素 a 参照状态的平准值为 $1.02\text{ mg}/\text{m}^3$,两者结果较为近似,长江口海域比辽河口海域稍高,这可能与长江口海域初级生产力较高有关。

作为响应变量的辅助指标,浮游植物密度和 COD_{Mn} 在其他学者的研究中也有涉及,本文选其进入河口营养物基准体系中,有助于完善河口基准体系和标准的制定。且这几个指标监测方法成熟,是我国海水和地表水监测的常规指标,因此可作为河口富营养化响应变量的辅助指标。

河口富营养化指标参照状态的确定是个复杂、长期的过程,参照状态应该是通过频率统计、历史数据比对以及模型推导等多手段相结合,加以验证和修订后才能确定的。运用“参照点或观测点指标频数分布曲线法”确定参照状态只是常用的方法之一,它对调查数据的代表性和充足性有着要求,只有在数据量充足,调查位点布置合理等情况下,才能比较客观的确定河口的参照状态。本文,运用搜集到的数据进行频率统计,对河口富营养化指标参照状态确定进行了初步研究,随着监测数据的补充和完善,参照状态值也会越来越真实客观。确定的参照状态值有待于其他方法进行验证、修订,以更好的为我国河口科学管理提供技术支撑。

对于营养物质和浮游植物而言,他们的分布和背景值具有明显的地域特征和时间变化,因此在考虑制定变量的参照状态时,应适当考虑当地的社会经济发展以及自然地理特征等方面的区域性。美国 EPA 在制定营养盐基准的过程时,也是先进行了生态分区,在此基础上及定了海水营养物质标准^[22],通过本文结果也可以看出,仅对长江口近岸海域而言,不同分区,不同季节间隔指标的参照状态值易存在着显著的差异,这也体现了河口本身自然条件变化剧烈的特性,也说明也说明对河口进行分区、分期制定适宜的管理措施非常必要。

4 结论

本文借鉴国内外经验,结合长江口实际情况,进行了富营养化指标响应变量的筛选,并基于现场观测数据和对长江口自然地理分区,通过频率统计方法并结合历史资料确定了长江口富营养化指标中响应变量的筛选和确定,并提出了不同区不同季节的各指标的参照状态:长江口口外海区叶绿素 a 、浮游植物密度、 COD_{Mn} 和溶解氧的春夏秋 3 个季节的参照状态分别为 $0.87\text{mg}/\text{m}^3$, 17.44×10^3 个/L, $0.42\text{mg}/\text{L}$, $8.36\text{mg}/\text{L}$; $1.88\text{mg}/\text{m}^3$, 25.96×10^3 个/L, $0.56\text{mg}/\text{L}$, $4.22\text{mg}/\text{L}$; $0.84\text{mg}/\text{m}^3$, 12.10×10^3 个/L, $0.46\text{mg}/\text{L}$, $6.95\text{mg}/\text{L}$; 舟山海区叶绿素 a 、浮游植物密度、 COD_{Mn} 和溶解氧的春夏秋 3 个季节的参照状态分别为 $0.73\text{mg}/\text{m}^3$, 6.77×10^3 个/L, $0.513\text{mg}/\text{L}$, $8.75\text{mg}/\text{L}$; $1.00\text{mg}/\text{m}^3$, 9.72×10^3 个/L, $0.37\text{mg}/\text{L}$, $5.94\text{mg}/\text{L}$; $0.78\text{mg}/\text{m}^3$, 4.59×10^3 个/L, $0.55\text{mg}/\text{L}$, $7.40\text{mg}/\text{L}$ 。

致谢:本研究所需 COD_{Mn} 、 DO 等数据由浙江省舟山海洋生态环境监测站王益鸣高工提供,浮游植物密度及 Chla 数据由胡颖琰高工提供,特此致谢。

References:

- [1] Painting S J, Devlin M J, Rogers S I, Mills D K, Parker E R, Rees H L. Assessing the suitability of OSPAR EcoQOs for eutrophication vs ICES criteria for England and Wales. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, 50(12): 1569-1584.
- [2] US EPA. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Estuarine and Coastal Marine Waters. Washington DC: Office of Water, Office of Science and Technology, 2001.
- [3] Dixit S S, Smol J P, Kingsron J C, Charles D F. Diatoms: powerful indicators of environmental Change. *Environmental Science and Technology*, 1992, 26(1): 22-33.
- [4] Jongman R H G, ter Braak C J F, van Tongeren O F R. Data Analysis in Community and Landscape Ecology. Wageningen: Pudoc, 1987: 299-299.
- [5] Zhang L B, Huo S L, Zhou Y L, Tong Z H, Liu L. Establishing lake reference conditions for nutrient criteria based on system dynamics. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(6): 1254-1262.
- [6] Huo S L, Chen Q, Xi B D, Guo X J, Chen Y Q, Liu H L. A literature review for lake nutrient criteria development. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 18(2): 743-748.
- [7] Zheng B H, Xu Q J, Zhou B H, Zhang L J. Building nutrient and its response indications reference state for criteria enaction: on the case of Lake Taihu, a typical shallow lake in eastern China. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(1): 21-26.
- [8] Zheng B H, Xu Q J, Zhu Y Z. Primary study on enacting the lake nutrient control standard. *Environmental Science*, 2009, 30(9): 2497-2501.
- [9] Chen Q, Huo S L, Xi B D, Zan F Y, Li X J. Study on establishing lake reference condition for nutrient. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(3): 544-549.
- [10] Meng W, Wang L J, Zheng B H, Lei K. Methods for developing nutrient criteria in estuarine waters. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 5133-5140.
- [11] Hu Y Y, Wang J Y, Zhang Z F, Zong H M, Chen H M. Approach of nutrient criteria establishment and application in coastal area of Liaohe estuary. *China Environmental Science*, 2011, 31(6): 996-1000.
- [12] Liu L S, Zheng B H, Meng W, Tang J L, Cai W Q. Sub-areas compartmentalization of Changjiang Estuary based on the natural geographical characteristics. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(17): 5042-5054.
- [13] Chen J Y. Study and Practice on Estuary and Coast in China. Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [14] US EPA. National Strategy for the Development of Regional Nutrient Criteria. Washington DC: USEPA, 1998.
- [15] Huo S L, Chen Q, Xi B D, Zan F Y, Chen Y Q. Candidate variables and indicator for lake nutrient criteria. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(6): 1445-1451.
- [16] US EPA. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs. Washington DC: United States Environment Protection Agency, 2000.
- [17] Zhang Y Y, Zhang J, Wu Y, Zhu Z Y. Characteristics of dissolved oxygen and its affecting factors in the Yangtze Estuary. *Environmental Science*, 2007, 28(8): 1649-1654.
- [18] Ministry of Environmental Protection (MEP). GB 3097—1997, Sea water quality standard. Beijing: China Environmental Science Press, 1997.
- [19] Ministry of Environmental Protection (MEP), General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 3838—2002, Environmental quality standards for surface water. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [20] Wang J L, Hai R T, Zheng B H, Qi F X, Lei K, Qin Y W, Wan J. Relationship between dissolved oxygen and nutrient salt in water area at Liaohe River estuary. *Water Resources Protection*, 2004, 20(4): 5-7.
- [21] Zhao Z M. Distribution of Chl-a and influence factors in Zhoushan port. *Marine Environmental Science*, 1991, 10(2): 32-41.
- [22] Ning X R, Shi J X, Liu Z L, Chen Z Y, Liu Z S. Distribution factors of ATP and Chla of Changjiang Estuary and adjacent waters in Summer. *Acta Oceanologica Sinica*, 1986, 8(5): 603-610.
- [23] Engle V D, Kurtz J C, Smith L M, Chancy C, Bourgeois P. A classification of U. S. estuaries based on physical and hydrologic attributes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, 129(1/3): 397-412.

参考文献:

- [5] 张礼兵, 霍守亮, 周玉良, 童中华, 刘丽. 基于系统动力学的湖泊营养物基准参照状态研究. *环境科学学报*, 2011, 31(6): 1254-1262.

- [6] 霍守亮, 陈奇, 席北斗, 郭旭晶, 陈艳卿, 刘鸿亮. 湖泊营养物基准的制定方法研究进展. 生态环境学报, 2009, 18(2): 743-748.
- [7] 郑丙辉, 许秋瑾, 周保华, 张龙江. 水体营养物及其响应指标基准制定过程中建立参照状态的方法——以典型浅水湖泊太湖为例. 湖泊科学, 2009, 21(1): 21-26.
- [8] 郑丙辉, 许秋瑾, 朱延忠. 湖泊营养盐控制标准制订方法的初步研究. 环境科学, 2009, 30(9): 2497-2501.
- [9] 陈奇, 霍守亮, 席北斗, 咎逢宇, 李秀金. 湖泊营养物参照状态建立方法研究. 生态环境学报, 2010, 19(3): 544-549.
- [10] 孟伟, 王丽婧, 郑丙辉, 雷坤. 河口区营养物基准制定方法. 生态学报, 2008, 28(10): 5133-5140.
- [11] 胡莹莹, 王菊英, 张志峰, 宗虎民, 陈淑梅. 辽河口近岸海域水体营养物推荐基准值的制定方法. 中国环境科学, 2011, 31(6): 996-1000.
- [12] 刘录三, 郑丙辉, 孟伟, 唐静亮, 蔡文倩. 基于自然地理特征的长江口水域分区. 生态学报, 2011, 31(17): 5042-5054.
- [13] 陈吉余. 中国河口海岸研究与实践. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [15] 霍守亮, 陈奇, 席北斗, 咎逢宇, 陈艳卿. 湖泊营养物基准的候选变量和指标. 生态环境学报, 2010, 19(6): 1445-1451.
- [17] 张莹莹, 张经, 吴莹, 朱卓毅. 长江口溶解氧的分布特征及影响因素研究. 环境科学, 2007, 28(8): 1649-1654.
- [18] 国家环境保护部. GB 3097—1997 海水水质标准. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [19] 国家环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. GB 3838—2002 地表水环境质量标准. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [20] 王继龙, 海热提, 郑丙辉, 齐凤霞, 雷坤, 秦延文, 万俊. 辽河口水域溶解氧与营养盐关系. 水资源保护, 2004, 20(4): 5-7.
- [21] 赵祚美. 舟山港域叶绿素 a 含量分布及其影响因素. 海洋环境科学, 1991, 10(2): 32-41.
- [22] 宁修仁, 史君贤, 刘子琳, 陈忠元, 刘镇盛. 长江口及浙江近海夏季叶绿素 a 和 ATP 的分布特征. 海洋学报, 1986, 8(5): 603-610.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 9 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Analysis of subject trends in research on sustainable development CHA Na, WU Jianguo, YU Runbing (2637)
- Metabolic scaling theory and its application in microbial ecology HE Jizheng, CAO Peng, ZHENG Yuanming (2645)
- Research progress on endophyte-promoted plant nitrogen assimilation and metabolism
..... YANG Bo, CHEN Yan, LI Xia, et al (2656)
- Review on the development of landscape architecture ecology in China YU Yijing, MA Jinyi, YUAN Yunjue (2665)

Autecology & Fundamentals

- Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range
..... CHEN Xuewen, WANG Nong, SHI Xiuhuan, et al (2676)
- Controls over soil organic carbon content in grasslands TAO Zhen, CI Dan Langjie, ZHANG Shenghua, et al (2684)
- Antagonistic interactive effects of exogenous calcium ions and parasitic *Cuscuta australis* on the morphology and structure of
Alternanthera philoxeroides stems CHE Xiuxia, CHEN Huiping, YAN Qiaodi, et al (2695)
- Correlation between pigment content and reflectance spectrum of *Phyllostachys pubescens* stems during its rapid growth stage
..... LIU Lin, WANG Yukui, WANG Xingxing, et al (2703)
- Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain
..... FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (2712)
- Effects of phosphate and organic matter applications on arsenic uptake by and translocation in *Isatis indigotica*
..... GAO Ningda, GENG Liping, ZHAO Quanli, et al (2719)
- Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis* ... ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (2728)
- Effects of predation risk on the patterns of functional responses in reed vole foraging
..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, YAO Xiaoyan, et al (2734)
- Phylogenetic analysis of Veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene fragment ...
..... CHENG Hanliang, PENG Yongxing, DONG Zhiguo, et al (2744)
- Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*
..... CHANG Yaqing, LI Yunxia, LUO Shibin, et al (2754)

Population, Community and Ecosystem

- The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS
..... CHEN Meiqiu, ZHAO Baoping, LUO Zhijun, et al (2761)
- The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables
..... ZHENG Binghui, ZHU Yanzhong, LIU Lusan, et al (2768)
- The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — Causal Variables
..... ZHENG Binghui, ZHOU Juan, LIU Lusan, et al (2780)
- The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters
..... SONG Lun, WANG Nianbin, YANG Guojun, et al (2790)
- Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland
..... LU Qiang, CHEN Huili, SHAO Xiaoyang, et al (2803)
- Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities LIU Yanmei, LI Xinrong, ZHAO Xin, et al (2816)
- Associations between weather factors and the spring migration of the horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (2825)
- Effects of vegetation on soil aggregate stability and organic carbon sequestration in the Ningxia Loess Hilly Region of northwest
China CHENG Man, ZHU Qiulian, LIU Lei, et al (2835)

- Simulation of the carbon cycle of *Larix chinensis* forest during 1958 and 2008 at Taibai Mountain, China LI Liang, HE Xiaojun, HU Lile, et al (2845)
- Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region CHEN Furong, CHENG Jimin, LIU Wei, et al (2856)
- Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia HU Ercha, WANG Xiaojiang, ZHANG Wenjun, et al (2867)
- The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain ... QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (2877)
- Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China JING Xuehui, CAO Lei, ZANG Runguo (2886)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed XU Yan, GAO Junfeng, GUO Jianke (2896)
- The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS ZHOU Zixiang, LI Jing, FENG Xueming (2907)
- Resource and Industrial Ecology**
- Effect of different controlled-release nitrogen fertilizers on availability of heavy metals in contaminated red soils under waterlogged conditions LIANG Peijun, XU Chao, WU Qitang, et al (2919)
- Research Notes**
- Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie, HU Weiwei, et al (2930)
- The difference of drought impacts on winter wheat leaf area index under different CO₂ concentration LI Xiaohan, WU Jianjun, LÜ Aifeng, et al (2936)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 欧阳志云

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 9 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 9 (May, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元