

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, 郅军锐, 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 CO<sub>2</sub> 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/stxb201202020137

郑丙辉, 周娟, 刘录三, 林焱璇, 朱延忠. 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. 生态学报, 2013, 33(9): 2780-2789.

Zheng B H, Zhou J, Liu L S, Lin K X, Zhu Y Z. The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters—Causal Variables. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2780-2789.

## 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<sup>1,2,\*</sup>, 周娟<sup>1,2</sup>, 刘录三<sup>1,2</sup>, 林焱璇<sup>1,2</sup>, 朱延忠<sup>1,2</sup>

(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:** 河口区参照状态的确定是营养盐基准制定的核心步骤。采用参照点或观测点指标频数分布曲线法, 利用长江口及邻近海域 1992—2010 年的调查数据, 针对长江口外海区及舟山海区富营养化指标的原因变量, 即无机氮和活性磷酸盐, 进行参照状态的确定。经分析, 长江口外海区无机氮各季节参照状态可确定如下: 春季为 0.317 mg/L、夏季为 0.273 mg/L、秋季为 0.211 mg/L, 活性磷酸盐各季节参照状态: 春季为 0.014 mg/L、夏季为 0.009 mg/L、秋季为 0.018 mg/L; 舟山海区无机氮各季节参照状态确定如下: 春季为 0.372 mg/L、夏季为 0.273 mg/L、秋季为 0.441 mg/L, 活性磷酸盐各季节参照状态: 春季为 0.020 mg/L、夏季为 0.018 mg/L、秋季为 0.029 mg/L。

**关键词:** 参照状态; 富营养化指标; 无机氮; 活性磷酸盐; 长江口及邻近海域

## The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters—Causal Variables

ZHENG Binghui<sup>1,2,\*</sup>, ZHOU Juan<sup>1,2</sup>, LIU Lusan<sup>1,2</sup>, LIN Kuixuan<sup>1,2</sup>, ZHU Yanzhong<sup>1,2</sup>

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 determination of coastal and estuarine criteria is the most effective control tool for scientific management of eutrophication. EPA proposed six steps for the nutrient development process, including two core parts that the reference conditions and sub-areas compartmentalization. In the paper, the reference conditions in the Yangtze River estuary and adjacent water was established as a case study, which only refer to the reason variables. Candidate reference locations can be determined from compiled data with the help of regional experts familiar with the waters of the area. Base on One approach can apply a frequency distribution, known as “frequency distribution curve”, the upper 75<sup>th</sup> percentile be used as a starting point, the lower 25<sup>th</sup> percentile is suggested. Establishing the reference condition is but one element of the criteria development process. Reference condition values are appropriately modified on the basis of examination of the historical record, expert judgment, and consideration of downstream effects.

In the present study, based on the domestic research, in which the Yangtze River estuary and adjacent waters were carved up into sub-areas, including four sea sub-areas: transitional zone, coastal zone outside of the estuary, Hangzhou Bay and Zhoushan Archipelago. As a result of the higher sediment concentration and lower transparency, in which plankton is

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: 2012-02-10; 修订日期: 2012-10-26

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



difficult to breed, both in transitional zone and Hangzhou Bay, this two parts would not be considered. In addition, as reason variables were referred in the paper, although a wide variety of indicator variables may be possible, the technical describes development of numerical criteria for the active phosphorus ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) and inorganic nitrogen (DIN) as primary nutrient causal variables of eutrophication.

The established reference conditions method was applied to determine the reference condition of Yangtze River estuary and adjacent water, located in the southeast coastal zone of Shanghai city and Zhejiang Province, which is an important coastal area in China. With SPSS13.0 software, based on the monitoring data during 1992—2010, and relevant research results, as well as consulting expert experiences, the condition values that be refer the nutrient criteria values are listed in the order generally followed: in coastal zone outside area, the DIN reference condition values were 0.317mg/L in spring, 0.273 mg/L in summer, 0.211 mg/L in autumn, the  $\text{PO}_4\text{-P}$  reference condition values were 0.014mg/L in spring, 0.009 mg/L in summer, 0.018 mg/L in autumn; in Zhoushan area, the DIN reference condition values were 0.372mg/L in spring, 0.273 mg/L in summer, 0.441 mg/L in autumn, the  $\text{PO}_4\text{-P}$  reference condition values were 0.020mg/L in spring, 0.018 mg/L in summer, 0.029 mg/L in autumn. Compared to the relevant research about eutrophication in the same study area, the reference condition values, which acquired through “frequency distribution curve”, were closed to the history states.

**Key Words:** eutrophication indicator; reference condition; DIN;  $\text{PO}_4\text{-P}$ ; Yangtze River estuary

富营养化问题是由人类引起的最古老的水质问题<sup>[1]</sup>。近年来,由于沿海工农业、旅游业的迅速发展,人为排入海的工农业及生活污水急剧增加,引起近岸沿海生态系统的相应变化<sup>[2]</sup>。富营养化问题日益突显,不仅与沿海一系列环境问题密切相关,包括有赤潮现象、鱼类等海洋动物死亡、贝类暴发性中毒、生物栖息地丧失、以及如墨西哥湾“死亡带”一样的缺氧与无氧现象等<sup>[3]</sup>,此外,水体富营养化严重威胁到人类健康<sup>[4]</sup>。如今,河口及沿海区域富营养化已然成为一个跨国家、跨区域的问题,美国 NOAA 于 1999 年启动的国家河口超营养评估显示<sup>[5]</sup>:在对美国 138 个调查的河口中,约 60% 的河口存在从适度到严重等不同程度的富营养化状况。为了应对水体富营养化问题,EPA 于 2001 年编写了《河口与近岸海域营养盐基准技术指南》,指出营养盐基准是进行河口及邻近海域富营养化有效控制和科学管理的重要依据,为努力解决富营养化带来的海域环境问题作出了新的尝试。

河口区营养盐基准制定过程分为 6 个步骤,其中富营养化指标参照状态的确定是基准制定的核心步骤<sup>[6]</sup>。所谓参照状态是指“受影响小的状态或认为可达到的最佳状态”<sup>[7]</sup>,而美国 EPA 在制定营养盐基准的过程用便应用了“最低影响参照点”这一思想来确定其参照状态<sup>[8]</sup>,其含义包括存在于自然中受人类干扰较小的环境实测值或是利用历史数据通过模型推到的估算值。郑丙辉<sup>[9]</sup>认为参照状态即是每一水体类型的本底值,它可以作为比较的参照标准。参照状态介于富营养化和初始未开发时的两类营养状态之间,其与后者的数值范围被认为是基准值理论上的合理范围<sup>[8]</sup>。参照状态本身一般不能明确地作为基准来提出,仅是提供基准值一个可参考的上限,建立参照状态后,应根据历史数据分析、模型模拟及专家判断对其进行适当修正。本文在国内外学者研究的基础上,重点关注富营养化指标中的原因变量,而富营养化响应变量则另著文深刻阐述。通过数据分析研究,确定富营养化指标参照状态值,为基准的建立提供科学基础。

## 1 研究区概况

长江口及邻近海域位于 29°50′—31°40′N, 123E 以西海域(图 1),北接古黄河冲积滩,南濒杭州湾,东临东海。杭州湾以东为舟山海区,亦称舟山渔场,是中国目前海洋渔业捕捞量最大的近海渔场,也是东海重要经济鱼类的繁殖育肥场所。

长江口是我国的最大河口,处于长江三角洲经济体核心区,这里是我国工农业最发达的区域,然而,经济高速发展的同时也带来了环境污染问题,影响着长江口及其邻近海域的生态环境,其中因污染排放引起的富营养化问题尤为严重,使得生态系统失去平衡,引起大面积赤潮爆发,因此该区域亦是我国沿海赤潮高发区之一。

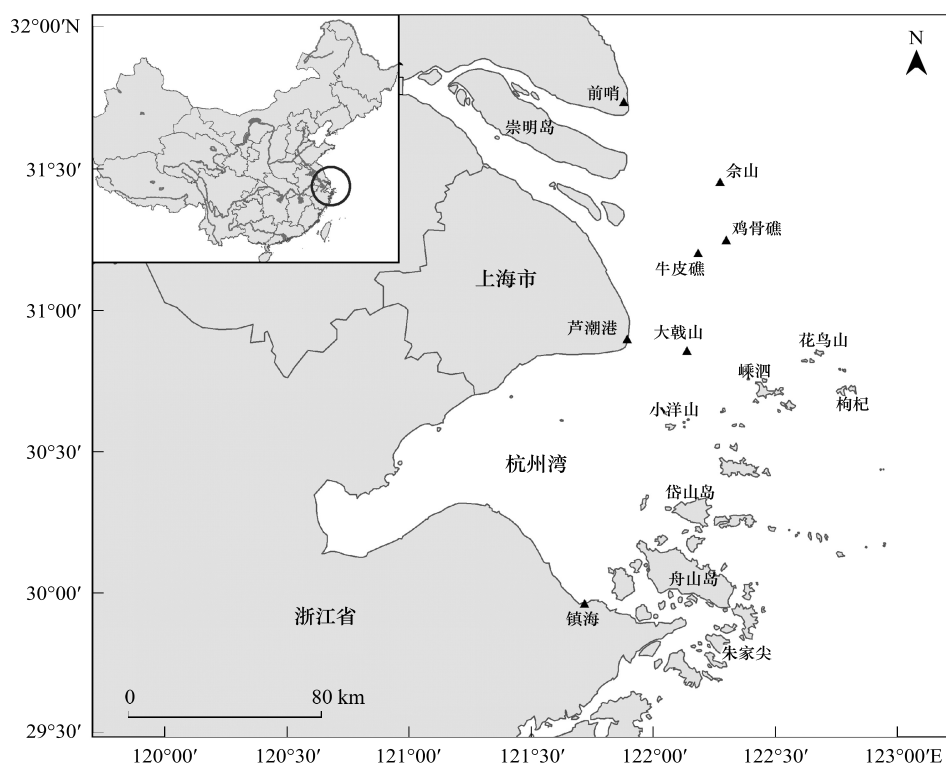


图1 研究区域范围图

Fig. 1 The scope map of the study area

## 2 基础数据及研究方法

### 2.1 数据来源

长江口及邻近海域所分析的现状数据来源依托课题组 2009 年和 2010 年的春、夏、秋 3 个季节各进行的调查,共 6 次 31 个站位(图 2)。历史数据来源于舟山监测站提供的 1992—2008 年常规调查数据。

### 2.2 研究方法

孟伟等<sup>[6]</sup>提出对应于参照点是否可寻、生态系统退化是否严重等情景可采取不同的途径,针对生境部分退化,但参照点可寻的情景,推荐“参照点或观测点指标频率分布曲线法”。鉴于实际条件下难以存在未受人类活动或污染的参照位点,因此受到营养盐影响程度较小的部分区域可被认为具备参照状态的环境质量,作为参照点。根据长江口及其邻近海域实际状况,本文采用“参照点或观测点指标频数分布曲线法”确定参照状态值。具体方法为:利用软件 SPSS13.0,对参照点样本数据进行分类统计,得出数据频率分布曲线,取参照点富营养化指标频率分布曲线的 25% 对应值为参照状态参考值。另外,频率分布曲线取“5% 数值”和“50% 数值”分别作为参照状态的上下波动范围(图 3)。

## 3 长江口富营养化指标参考状态的初步确定

### 3.1 长江口分区

通过分析 2005—2006 年的调查数据,并结合相关历史研究资料,基于自然生境特征对长江口及邻近海域进行科学分区,分别为:长江口过渡区、长江口外近海区、杭州湾及舟山海区(图 4),详细方法见文献<sup>[10]</sup>。

其中,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—60 km,约在 122°30'E 附近(长江口区域 1 个经度间的距离约为 96 km),涨潮时浑水线向岸推进,约在 122°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<sup>[11]</sup>。由于这两个分区泥沙浓度高,海水透明度便降低,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。因此,长江口过渡区与杭州湾的生态系统营养物敏感性弱。与上述两个分区不同,长江口外近海区和舟山海区泥沙含量

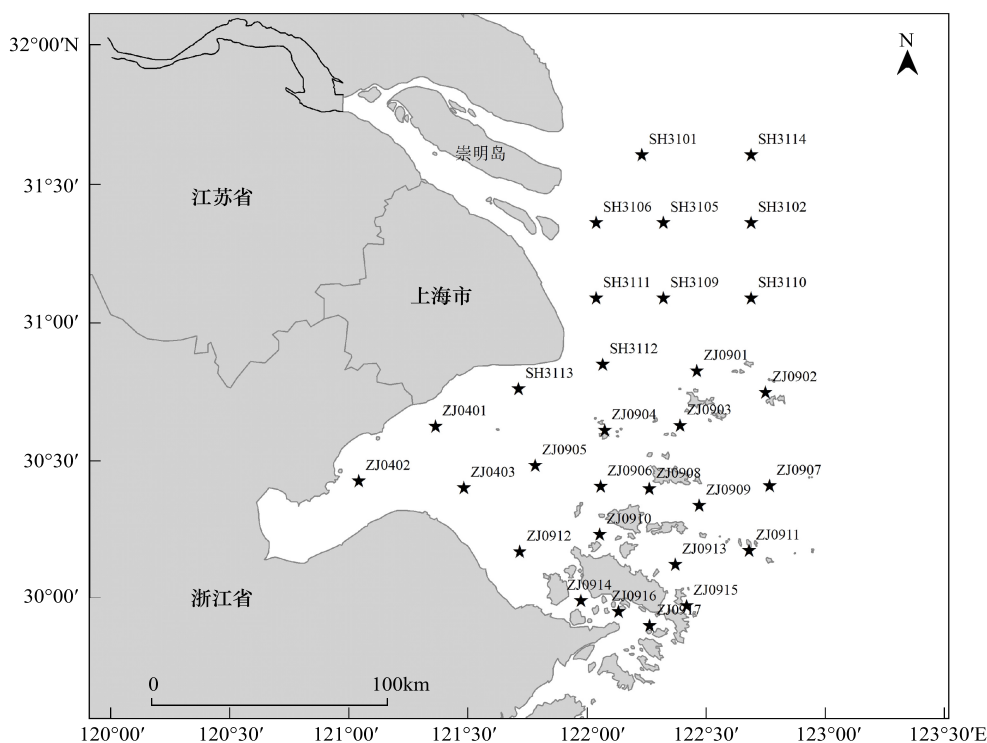


图2 长江口及其邻近海域调查站位图

Fig. 2 The station map of the Yangtze River and its adjacent areas

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具有较高的营养物敏感性,也由此成为赤潮高发区。因此,本研究主要关注长江口外近海和舟山海区,分别确定其富营养化指标的参照状态。

### 3.2 长江口富营养化指标的选择

氮、磷等营养盐对水生生物的毒理作用相对较小,其危害主要在于促进藻类的生长而爆发水华,从而导致水生生物的死亡和水生态系统的破坏。在富营养化指标的选择上,理论上应包括用于解释河口富营养化原因和结果的所有变量(EPA, 2001)。一般来说,5个指标为基准的基本变量,即总氮(TN)、总磷(TP)、叶绿素a(Chla)、透明度(SD)或藻类浊度、溶解氧。其中,TN、TP是营养盐指标,也是主要原因变量;藻类生物量是生物学指标,也是初始响应变量,以体现初级生产力对营养盐质的反应<sup>[6]</sup>。美国EPA于1998年确定了区域性富营养化控制标准的国家战略,之后于2001年发布了河口海岸富营养化基准技术指南,其中推荐的营养盐基准原因变量为TP、TN。从我国目前已经开展的对河口、近岸海域监测指标来看,在常规监测数据中,N、P两营养元素常用无机氮、活性磷酸盐来表示,而很少将总磷、总氮作为监测指标。为实现管理上的有效衔接,针对长江口的历史数据情况,本文选取活性磷酸盐、无机氮作为长江口及邻近海域富营养化的原因变量。

### 3.3 长江口富营养化指标无机氮参照状态的初步确定

采用SPSS13.0软件包的一维频数分析程序,分别对1992—2010年春、夏、秋三季长江口外近海区及舟山海区的无机氮数据进行频率分布分析,分析结果见表1—表3、图5—图7。

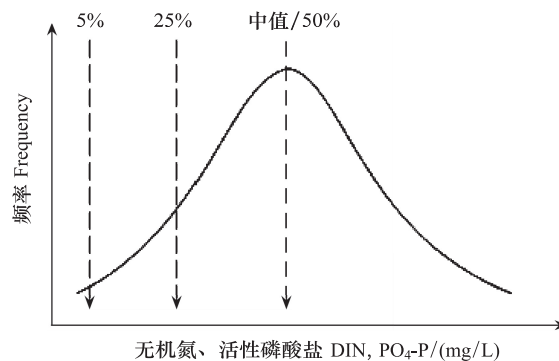


图3 频率分布曲线法确定参照状态示意图

Fig. 3 The schematic diagram of reference condition base on frequency distribution curve method

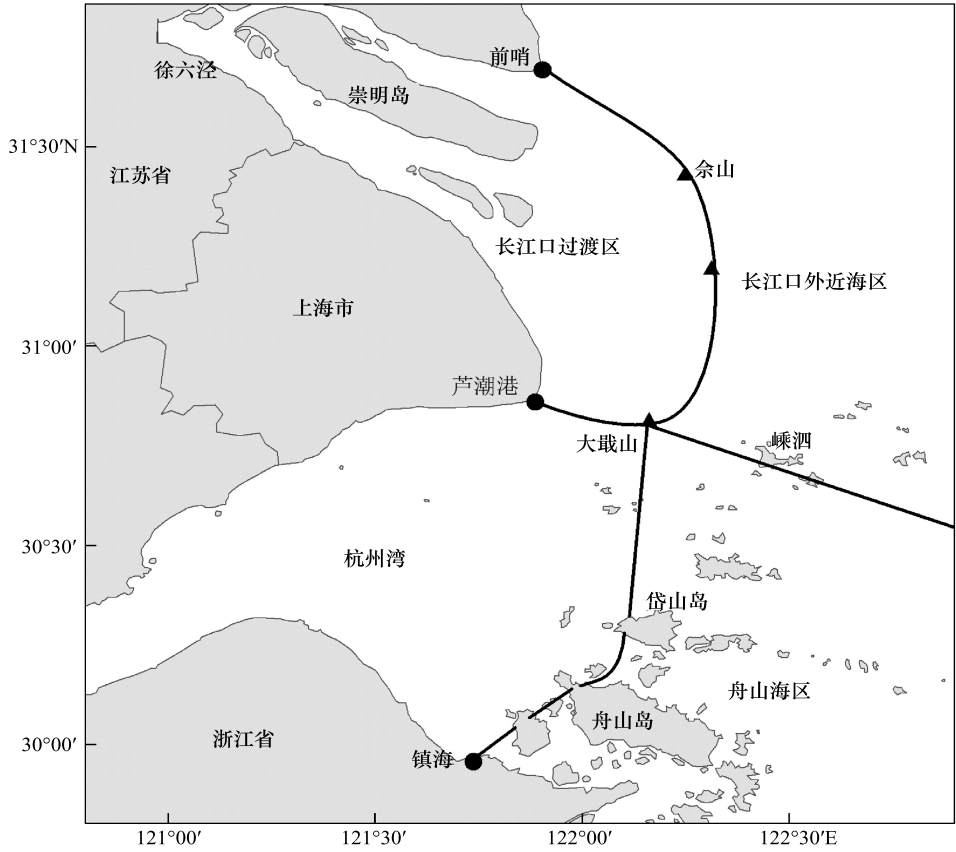


图 4 长江口及邻近海域分区图

Fig.4 Sub-areas of Yangtze River estuary and adjacent waters

表 1 长江口海域春季无机氮频率分布分析结果 (mg/L)

Table 1 Characteristic value of DIN in spring in Yangtze River estuary

	全海域 Whole sea area	长江口外近海区 Outside Yangtze River Estuary	舟山海区 Zhoushan sea
样本量 Sample size	495	68	170
平均值 Mean	0.906	0.520	0.514
频率百分比 Frequency percentage/%			
5	0.268	0.201	0.177
25	0.483	0.317	0.372
50	0.783	0.412	0.504

表 2 长江口海域夏季无机氮频率分布分析结果 (mg/L)

Table 2 Characteristic value of DIN in summer in Yangtze River estuary

	全海域 Whole sea area	长江口外近海区 Outside Yangtze River Estuary	舟山海区 Zhoushan sea
样本量	419	64	141
平均值	0.786	0.566	0.446
频率百分比/%			
5	0.147	0.103	0.068
25	0.447	0.273	0.273
50	0.711	0.599	0.455

表 3 长江口海域秋季表层无机氮频率分布分析结果 (mg/L)

Table 3 Characteristic value of DIN in autumn in Yangtze River estuary

	全海域 Whole sea area	长江口外近海区 Outside Yangtze River Estuary	舟山海区 Zhoushan sea
样本量	522	72	178
平均值	0.795	0.449	0.548
频率百分比/%			
5	0.213	0.091	0.222
25	0.502	0.211	0.441
50	0.737	0.361	0.529



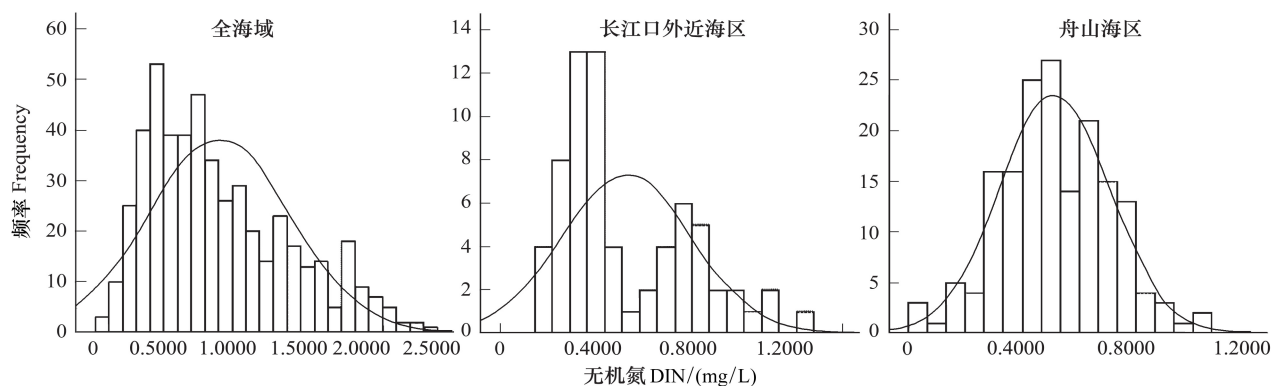


图5 长江口海域春季无机氮频数分布图

Fig. 5 Frequency distribution map of DIN in spring in Yangtze River estuary

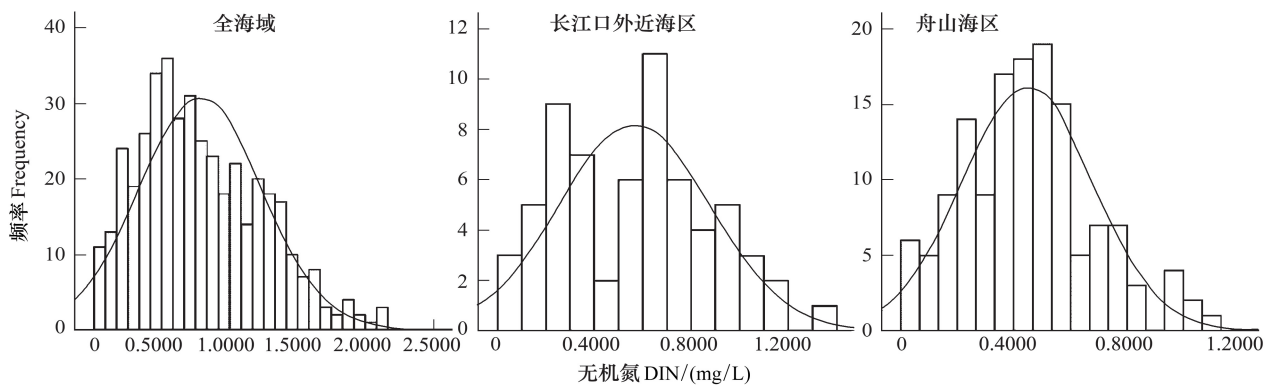


图6 长江口海域夏季表层无机氮频数分布图

Fig. 6 Frequency distribution map of DIN in summer in Yangtze River estuary

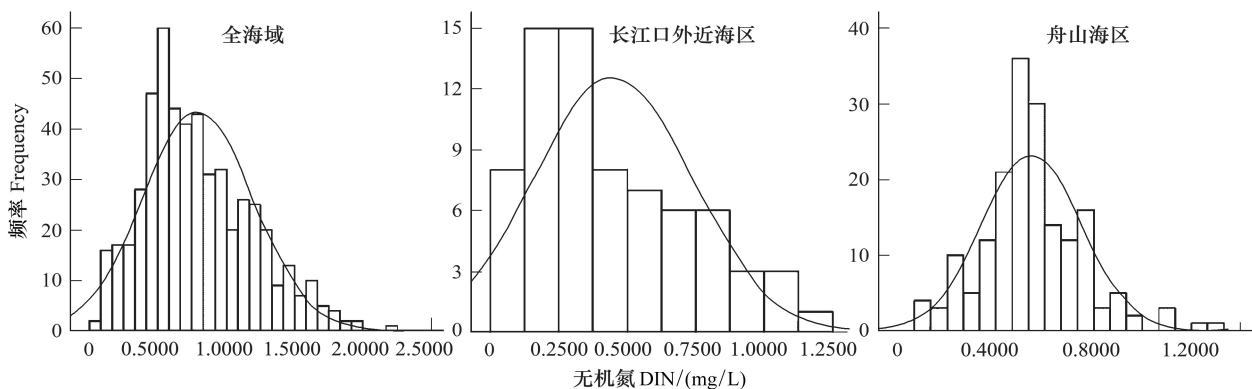


图7 长江口海域秋季表层无机氮频数分布图

Fig. 7 Frequency distribution map of DIN in autumn in Yangtze River estuary

由表1,图5可以看出:春季长江口外近海区无机氮频率分布曲线位于25%的值为0.317 mg/L,作为参照状态推荐值,其波动范围为0.201—0.412 mg/L。舟山海区的无机氮频率分布曲线位于25%的值为0.372 mg/L,为参照状态推荐值,其波动范围为0.177—0.504 mg/L。

由表2,图6可以看出:夏季长江口外近海区无机氮频率分布曲线位于25%的值为0.273 mg/L,作为参照状态推荐值,其波动范围为0.103—0.599 mg/L;舟山海区无机氮频率分布曲线位于25%的值为0.273 mg/L,

为参照状态推荐值,其波动范围为 0.068—0.455 mg/L。

由表 3,图 7 可以看出:秋季长江口外近海区无机氮频率分布曲线位于 25% 的值为 0.211 mg/L,为参照状态推荐值,其波动范围为 0.091—0.361 mg/L;舟山海区的表层无机氮频率分布曲线位于 25% 的值为 0.441 mg/L,为参照状态推荐值,其波动范围为 0.222—0.529 mg/L。

3.3 长江口富营养化指标活性磷酸盐参照状态的初步确定

采用相同的方法,利用 SPSS13.0 软件包的一维频数分析程序,分别对 1992—2010 年春、夏、秋三季长江口外近海区及舟山海区的活性磷酸盐数据进行频率分布分析,分析结果见表 4—表 6、图 8—图 10。

表 4 长江口海域春季表层活性磷酸盐频率分布分析结果 (mg/L)  
Table 4 Characteristic value of PO<sub>4</sub>-P in spring in Yangtze River estuary

		全海域	长江口外近海区	舟山海区
样本量		490	67	166
平均值		0.029	0.020	0.024
频率百分比/%	5	0.010	0.002	0.007
	25	0.023	0.014	0.020
	50	0.029	0.020	0.025

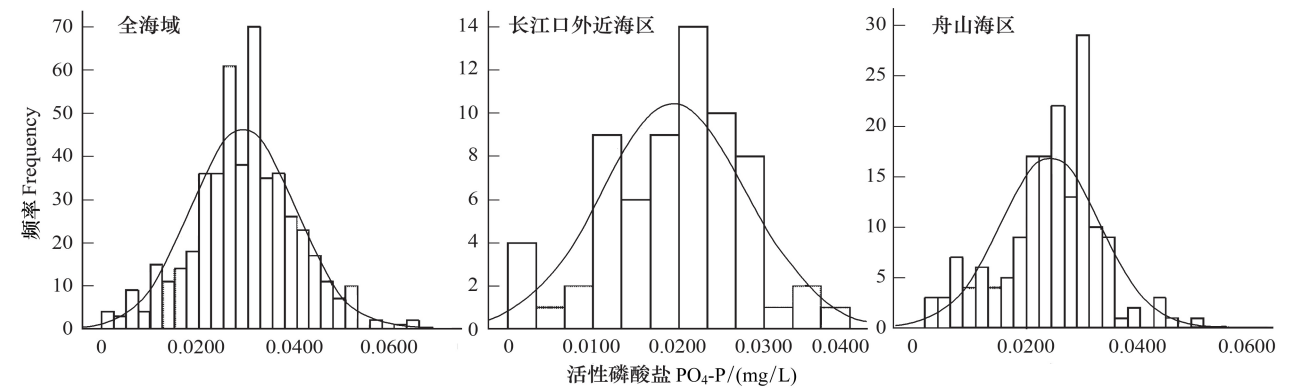


图 8 长江口海域春季表层活性磷酸盐频数分布图  
Fig.8 Frequency distribution map of PO<sub>4</sub>-P in spring in Yangtze River estuary

表 5 长江口海域夏季表层活性磷酸盐频率分布分析结果 (mg/L)  
Table 5 Characteristic value of PO<sub>4</sub>-P in summer in Yangtze River estuary

		全海域	长江口外近海区	舟山海区
样本量		413	61	136
平均值		0.032	0.020	0.025
频率百分比/%	5	0.003	0.001	0.001
	25	0.023	0.009	0.018
	50	0.032	0.022	0.026

表 6 长江口海域秋季表层活性磷酸盐频率分布分析结果 (mg/L)  
Table 6 Characteristic value of PO<sub>4</sub>-P in autumn in Yangtze River estuary

		全海域	长江口外近海区	舟山海区
样本量		517	72	175
平均值		0.038	0.023	0.035
频率百分比	5	0.018	0.001	0.020
	25	0.030	0.018	0.029
	50	0.039	0.025	0.034

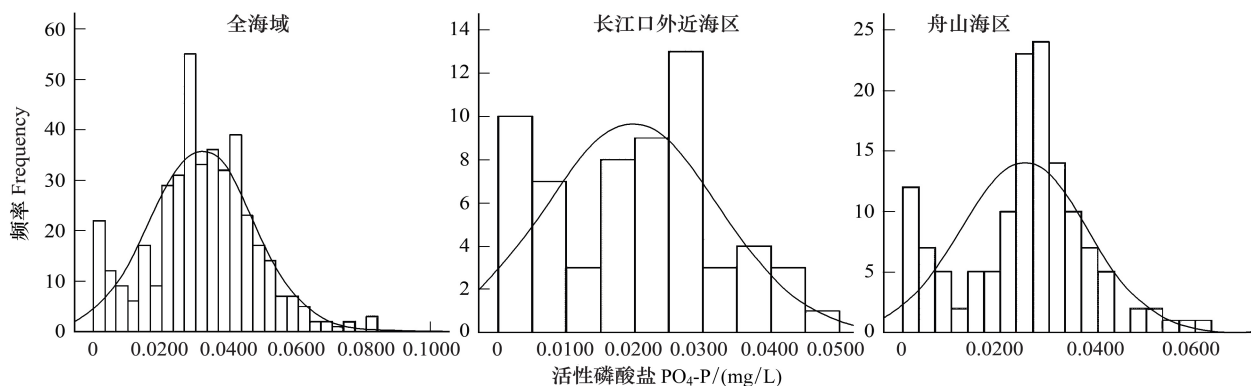


图9 长江口海域夏季表层活性磷酸盐频数分布图

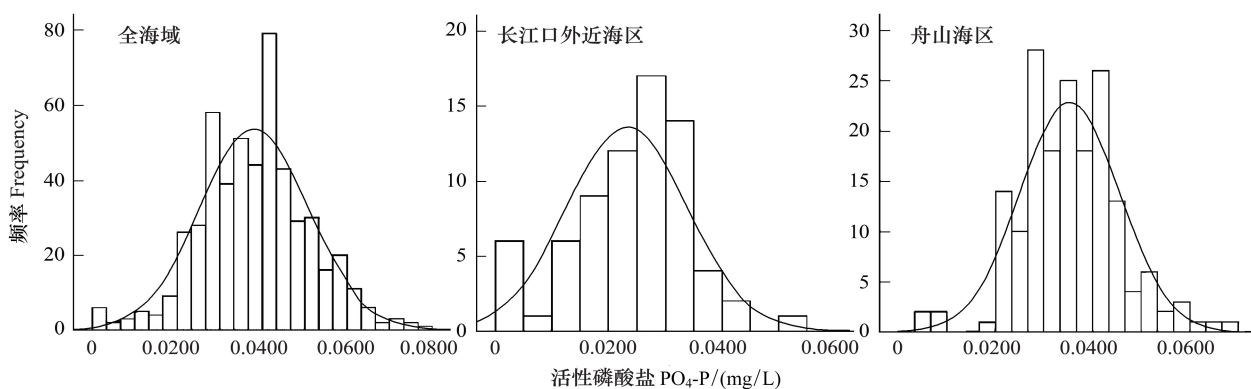
Fig. 9 Frequency distribution map of  $\text{PO}_4\text{-P}$  in summer in Yangtze River estuary

图10 长江口海域秋季表层活性磷酸盐频数分布图

Fig. 10 Frequency distribution map of  $\text{PO}_4\text{-P}$  in autumn in Yangtze River estuary

由表4,图8可以看出:春季长江口外近海区活性磷酸盐频率分布曲线位于25%的值为0.014mg/L,为参照状态推荐值,其波动范围为0.002—0.020 mg/L;舟山海区活性磷酸盐频率分布曲线位于25%的值为0.020 mg/L,为参照状态推荐值,其波动范围为0.007—0.025 mg/L。

由表5,图9可以看出:夏季长江口外近海区活性磷酸盐频率分布曲线位于25%的值为0.009mg/L,为参照状态推荐值,其波动范围为0.001—0.022 mg/L;舟山海区活性磷酸盐频率分布曲线位于25%的值为0.018 mg/L,为参照状态推荐值,其波动范围为0.001—0.026 mg/L。

由表6,图10可以看出:秋季长江口外近海区活性磷酸盐频率分布曲线位于25%的值为0.018 mg/L,为参照状态推荐值,其波动范围为0.001—0.025 mg/L;舟山海区活性磷酸盐频率分布曲线位于25%的值为0.029 mg/L,为参照状态推荐值,其波动范围为0.020—0.034 mg/L。

### 3.4 长江口富营养化指标确定结果

采用频数分布分析十几年长江口及邻近海域无机氮和活性磷酸盐分布特征,初步推断了长江口外近海区与舟山海区富营养化指标原因变量的参照状态值(表7)。可以看出,不同分区、不同季节间各指标的参照状态值存在一定的差异,这体现了河口本身自然条件变化剧烈的特性,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 讨论

参照状态的确定是营养盐基准制定的关键,本文在国内外学者研究的基础上<sup>[12-18]</sup>,基于长江口及邻近海域营养盐基准制定工作,对该研究区域参照状态值得确定做了一定的探索研究。

(1) 无机氮和活性磷酸盐作为主要的原因变量被绝大多数国家或组织认可<sup>[4-6,8]</sup>,然而他们所起的作用还

要取决于单个河口及环境状态<sup>[8]</sup>。因此,在其他地区河口富营养化指标选取时,除了共性指标外,还应根据不同河口所特有的环境特征进行适当调整,从而针对性的制定河口营养盐基准,更好的控制管理河口富营养化现象。

表 7 长江口海域富营养化指标原因变量参照状态值

Table 7 Reference condition of eutrophication reason indicator in Yangtze River estuary

原因变量 Causal variable	季节 Season	全海区 Whole sea area		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	变动范围	参照状态	变动范围
无机氮 DIN (mg/L)	春季	0.483	0.268—0.783	0.317	0.201—0.412	0.372	0.177—0.504
	夏季	0.447	0.147—0.711	0.273	0.103—0.599	0.273	0.068—0.455
	秋季	0.502	0.213—0.737	0.211	0.091—0.361	0.441	0.222—0.529
活性磷酸盐 PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	春季	0.023	0.010—0.029	0.014	0.002—0.020	0.020	0.007—0.025
	夏季	0.023	0.003—0.032	0.009	0.001—0.022	0.018	0.001—0.026
	秋季	0.030	0.018—0.039	0.018	0.001—0.025	0.029	0.020—0.034

(2) 本文通过分析 1992—2010 年数据,进行频率分析,提出了长江口不同区不同季节富营养化指标原因变量的参照状态。收集长江口及邻近海域早期资料,为该海域参照状态值做一个依据与验证。根据国内研究发现:1958 年长江口及邻近海域活性磷酸盐浓度为 0.0114 mg/L<sup>[19]</sup>,与上文给出的参照状态相接近,舟山海区 1981 年活性磷酸盐浓度为 0.031 mg/L<sup>[20]</sup>,与给出的参照状态较为相近;对于无机氮,1963 年长江口海域为 0.224 mg/L<sup>[21]</sup>,与给出全海域的参照状态相比较低,而与各分区参照状态值相接近。综上表明,采用“参照点或观测点指标频数分布曲线法”确定参考状态值,基本可以科学推断出长江口及邻近海域的营养盐最初状态。

(3) 在利用“参照点或观测点指标频数分布曲线法”确定参考状态值的过程中,发现,只有在调查数据充足的情况下(至少有连续 10a 的数据<sup>[8]</sup>),准确度较高,而当调查数据不充足时,应根据河口分类结果,建立类比河口数据库,得到相似河口生态系统的营养盐频率分布曲线,通过类比河口参考状态值从而获得研究河口区的参考状态值。

#### References:

- [1] Vollenweider R A, Marchetti R, Viviani R. The Response of Marine Transitional Systems to Human Impacts: Problems and Perspectives for Restoration. The Science of the Total Environment (Suppl.), 1992, 1: 1310.
- [2] Chen Y M, Yu Z M, Song X X, Cao X H. Evaluation of Fuzzy Synthesis to Assess the Sea Water Eutrophication in the Yangtze River Estuary. Marine Science, 2007, 31 (11): 47-54.
- [3] National Research Council (NRC). Clean Coastal Waters: Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution. National Academy Press, Washington. 2000.
- [4] Colwell R. Global Climate and Infectious Disease: the Cholera Paradigm. Science, 1996, 274:2025-2032.
- [5] Brick S B, Ferreira J G, Pirhalla D E, Orlando S P, Farrow D R G. National Estuarine Eutrophication Assessment: Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), National Ocean Service, Special Projects Office and the National Centers for Coastal Ocean Science. Silver Spring, MD, 1999: 71.
- [6] 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.
- [7] Painting S J, Devlin M J, Rogers S I. Assessing the Suitability of OSPAR EcoQOs for Eutrophication vs ICES Criteria for England and Wales. Marine Pollution Bulletin, 2005, 50: 1569-1584.
- [8] EPA. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual-estuarine and Coastal Marine Waters. 2001.
- [9] Zheng B H, Xu Q J, Zhou B H. Building Nutrient and its Response Indications Reference State for Criteria Enaction: on the Ease of Lake Taihu, a



- Typical Shallow Lake in Eastern China. *Journal Lake Sciences*, 2009, 21 (1): 21-26.
- [10] 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.
- [11] Chen J Y. Study and Practice on Estuary and Coast in China. Beijing: Higher Education Press. 2007.
- [12] Liu X C, Shen H T, Huang Q H. Concentration Variation and Flux Estimation of Dissolved Inorganic Nutrient From the Changjiang River into its Estuary. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33 (5): 332-340.
- [13] Liu H, He Q, Wang Y Y, Meng Y. Temporal and Spatial Characteristics of Surface Sediment Grain-size Distribution in Changjiang Estuary. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25 (3): 445-455.
- [14] Zhou N Q, Wang Y, Xia M L. Estuarine Evolvement of the Yangtze River and Its Developing Trend. *Bulletin of Soil and Water Conservation. Soil and Water Conservation Bulletin*, 2007, 27 (3): 132-137.
- [15] Zou J Z, Dong L P, Qin B P. Primary Inquire into the Problems of Eutrophication and Red Tide in Bohai Bay. *Marine Environmental Science*, 1983, 2 (2): 41-54.
- [16] Qian J L, Wang S M, Xue B, Chen R S, Ke S Z. A method of Estimating Terrestrial Organic Carbon in the Research of Lake Sedimentary. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42 (15): 1655-1657.
- [17] Lu X X, Zhai S K, Niu L F. Study of the C/N Ratios of Organic Matters in the Core Sediments of the Yangtze River Estuary. *Environment Chemistry*, 2005, 24 (3): 255-259.
- [18] Chen J Y, Shen H T, Hun C X. Geomorphology evolution and Dynamical Process in Changjiang estuary. Shanghai: Shanghai Scientific and technical Publishers, 1988.
- [19] State Oceanic Administration(SOA). *China Marine Disaster Bulletin*, 1986.
- [20] Jiang G C, Wang Y H, Dong H L, Tang R Y. A Preliminary Study of the Eutrophic Extent in Zhejiang Coastal Area. *Marine Science Bulletin*, 1987, 6 (4): 38-46.
- [21] Edmond J M, Spivack A, Grant B C, Hu M H, Chen Z X, Chen S, Zeng X S. Chemical Dynamics of the Changjiang Estuary. 1985. Vol. 4 Nos. 1/2, pp. 1736.

#### 参考文献:

- [2] 陈鸣渊,俞志明,宋秀贤,曹西华. 利用模糊综合方法评价长江口海水富营养化水平. *海洋科学*, 2007, 31 (11): 47-54.
- [6] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 陈吉余. *中国河口海岸研究与实践*. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [12] 刘新成,沈焕庭,黄清辉. 长江入河口区生源要素的浓度变化及通量估算. *海洋与湖沼*, 2002, 33 (3): 332-340.
- [13] 刘红,何青,王元叶,孟翔. 长江口表层沉积物粒度时空分布特征. *沉积学报*, 2007, 25 (3): 445-455.
- [14] 周念清,王燕,夏明亮. 长江口的演化与发展趋势. *水土保持通报*, 2007, 27 (3): 132-137.
- [15] 邹景忠,董丽萍,秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨. *海洋环境科学*, 1983, 2 (2): 41-54.
- [16] 钱君龙,王苏民,薛滨,陈如松,柯善哲. 湖泊沉积研究中一种定量估算陆源有机碳的方法. *科学通报*, 1997, 42 (15): 1655-1658.
- [17] 吕晓霞,翟世奎,牛丽凤. 长江口柱状沉积物中有机质 C/N 比的研究. *环境化学*, 2005, 24 (3): 255-259.
- [18] 陈吉余,沈焕庭,恽才兴. *长江河口动力过程和地貌演变*. 上海:上海科学技术出版社, 1988.
- [19] 国家海洋局. *中国海洋灾害公报*. 1986.
- [20] 蒋国昌,王玉衡,董恒霖,唐仁友. 浙江沿海富营养化程度的初步探讨. *海洋通报*, 1987, 6 (4): 38-46.

# 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 CO<sub>2</sub> 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