

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第1期 Vol.33 No.1 **2013**

中国生态学会  
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 1 期      2013 年 1 月    (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 生态整合与文明发展..... 王如松 ( 1 )
- 干旱半干旱区坡面覆被格局的水土流失效应研究进展 ..... 高光耀,傅伯杰,吕一河,等 ( 12 )
- 城市林木树冠覆盖研究进展 ..... 贾宝全,王 成,邱尔发,等 ( 23 )
- 环境质量评价中的生物指示与生物监测 ..... Bernd Markert,王美娥,Simone Wünschmann,等 ( 33 )
- 水溶性有机物电子转移能力及其生态效应 ..... 毕 冉,周顺桂,袁 田,等 ( 45 )

### 个体与基础生态

- 凋落物和增温联合作用对峨眉冷杉幼苗抗氧化特征的影响 ..... 杨 阳,杨 燕,王根绪,等 ( 53 )
- 不同浓度 5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响 .....  
..... 赵艳艳,胡晓辉,邹志荣,等 ( 62 )
- 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 ..... 凌丽俐,彭良志,王男麒,等 ( 71 )
- 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征..... 宋彦涛,周道玮,王 平,等 ( 79 )
- 花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响..... 赵广印,李建军,高 洁 ( 89 )
- 桉树枝瘿姬小蜂连续世代种群生命表..... 朱方丽,邱宝利,任顺祥 ( 97 )

### 种群、群落和生态系统

- 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值 ..... 殷晓洁,周广胜,隋兴华,等 (103)
- 河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用..... 阮海河,白 冰,李 宁,等 (110)
- 2010 秋季东海今生颗石藻的空间分布 ..... 靳少非,孙 军,刘志亮 (120)
- OPRK1 基因 SNP 与梅花鹿日间行为性状的相关性 ..... 吕慎金,杨 燕,魏万红 (132)
- 鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性 ..... 邵明勤,曾宾宾,徐贤柱,等 (140)
- 人工巢箱条件下两种山雀鸟类的同域共存机制 ..... 李 乐,张 雷,殷江霞,等 (150)
- 桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态 ..... 李艳红,杨万勤,罗承德,等 (159)
- 三峡库区生态系统服务功能重要性评价 ..... 李月臣,刘春霞,闵 婕,等 (168)

### 景观、区域和全球生态

- 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征 ..... 李林海,郜二虎,梦 梦,等 (179)
- 海岸带地理特征对沉水植被丰度的影响..... 吴明丽,李叙勇,陈年来 (188)
- 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 ..... 曹国栋,陈接华,夏 军,等 (195)

### 资源与产业生态

- 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力 ..... 王国栋,Beth A Middleton,吕宪国,等 (205)
- 漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响 ..... 安红燕,徐海量,叶 茂,等 (214)
- 黑龙江流域夏玉米产量提升限制因素 ..... 徐丽娜,陶洪斌,黄收兵,等 (222)
- 黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性 ..... 慕东艳,吕国忠,孙晓东,等 (229)

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价 ..... 傅明珠,蒲新明,王宗灵,等 (238)

城乡与社会生态

基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价 ..... 吴海燕,吴耀建,陈克亮,等 (249)

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征 ..... 李 斌,白艳艳,邢红艳,等 (260)

生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标 ..... 方 恺 (267)

中国东西部中小城市景观格局及其驱动力 ..... 齐 杨,邬建国,李建龙,等 (275)

研究简报

南海陆坡沉积物细菌丰度预测 ..... 李 涛,王 鹏 (286)

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局 ..... 刘 振,董 智,李红丽,等 (294)

光 and 不同打破种子休眠方法对紫茎泽兰种子萌发及幼苗状态的影响 ..... 姜 勇,李艳红,王文杰,等 (302)

学术争鸣

关于植物群丛划分的探讨 ..... 邢韶华,于梦凡,杨立娟,等 (310)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 316 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 35 \* 2013-01



封面图说:外来入侵物种紫茎泽兰——紫茎泽兰约于 20 世纪 40 年代由缅甸传入中国云南南部后迅速蔓延,现已在云南、贵州、四川、广西、重庆、湖北、西藏等省区广泛分布和危害,并仍以每年大约 30 km 的速度扩散。紫茎泽兰为多年生草本或亚灌木,号称“植物界杀手”。其对环境的适应性极强,疯长蔓延,能极大耗损土壤肥力。它的植株能释放多种化感物质,排挤其他植物生长而形成单优种群,它破坏生物多样性,威胁到农作物、畜牧草甚至林木,且花粉能引起人类过敏性疾病等,目前尚无有效治理对策。

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



DOI: 10.5846/stxb201111021647

吴海燕, 吴耀建, 陈克亮, 陈朝华, 洪宜斌, 吴吉春, 陈庆辉, 张景飞. 基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价. 生态学报, 2013, 33(1): 0249-0259.

Wu H Y, Wu Y J, Chen K L, Chen Z H, Hong Y B, Wu J C, Chen Q H, Zhang J F. The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on 'OOAO principle'. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 0249-0259.

## 基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价

吴海燕<sup>1,2</sup>, 吴耀建<sup>1,\*</sup>, 陈克亮<sup>1</sup>, 陈朝华<sup>1</sup>, 洪宜斌<sup>3</sup>, 吴吉春<sup>2</sup>, 陈庆辉<sup>1</sup>, 张景飞<sup>2</sup>

(1. 国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005; 2. 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京大学水科学系, 南京 210093;

3. 中国石化管道储运公司, 南京 211100)

**摘要:** 由于福建沿海经济的快速发展以及近岸海域开发利用的不断升级, 位于福建省东北部的罗源湾面临着越来越大的人为环境压力, 包括生境的破坏、港口活动、城镇生活废水、工农业废水排放、人工养殖等。综合评价罗源湾生态质量状况, 为研究区受到的人为扰动和污染强度的分级评价提供依据, 在对退化的生态系统进行有效修复和管理的相关决策中起着重要的作用。以欧盟水框架指令中近岸海域生态质量状况综合评价体系为参照, 结合我国的近岸海域监测项目以及收集到的资料, 对该指标体系进行了调整, 同时建立了罗源湾专属的生态要素和物理化学要素参考基准值, 基于“One-out all-out (OOAO)”原则(即所有要素中的最低等级作为综合评价的等级)对罗源湾的生态质量状况进行了综合评价, 并通过与人为环境压力分布的一致性分析, 对评价结果的合理性和客观性进行验证。建立的参考基准值中, 部分指标的参考基准值与国内外的相关研究或标准有着一定的差异, 说明目前我国采用统一的评价标准并不合适。综合评价结果中, 罗源湾 9 个站位中 1 个站位等级为“良”, 其余 8 个站位及海域平均状况等级都为“中”, 存在明显的污染和人为扰动, 生态系统出现一定程度的退化。对评价结果的验证表明, 除个别站位外, 评价等级基本与人为环境压力一致, 说明调整后的近岸海域生态质量状况综合评价指标体系、建立的罗源湾专属参考基准值以及基于“OOAO 原则”的综合评价方法, 能够较客观地评价研究区域的生态质量状况。

**关键词:** OOA 原则(即所有要素中的最低等级作为综合评价的等级); 近岸海域; 生态质量状况; 综合评价; 罗源湾

## The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on 'OOAO principle'

WU Haiyan<sup>1,2</sup>, WU Yaojian<sup>1,\*</sup>, CHEN Kelian<sup>1</sup>, CHEN Zhao Hua<sup>1</sup>, HONG Yibin<sup>3</sup>, WU Jichun<sup>2</sup>, CHEN Qinghui<sup>1</sup>, ZHANG Jingfei<sup>2</sup>

1 The Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China

2 State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, Department of Hydrosciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

3 SINOPEC Pipeline Storage and Transportation Company, Nanjing 211100, China

**Abstract:** The fast development of coastal economy and increasing exploiting stress of coastal areas have greatly increased the pressures imposed on Luoyuan Bay, which located in the northeast of Fujian province. These pressures usually include habitat destruction, port activities, urban sewage, farmland fertilizer loss and aquaculture. Assessing the Ecological quality status (EcoQS) comprehensively offers positive bases for assessing and ranking the severity of disturbance and pollution of coastal waters, and plays an important role in the course of related decision-making regarding effective remediation and management of the deteriorated ecosystem. How to refer to the relative mature assessment methods and standards to establish the integrated EcoQS evaluation methods suited to the characteristics of Chinese coastal water is an

**基金项目:** 国家海洋局青年科学基金项目(2012149); 福建省自然科学基金项目(2011J05110); 国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务专项资助(SOA 2009064)

收稿日期: 2011-11-02; 修订日期: 2012-07-10

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuyaojian@yahoo.com

urgency of the comprehensive management of marine environment. In this study, based on the monitoring items of coastal water in China and the data collected, the EcoQS evaluation index system for coastal waters in the European Water Framework Directive (WFD) was adjusted and applied in Luoyuan Bay. The adjusted evaluation index system was also based on ecological elements (phytoplankton, zooplankton and benthos), chemical elements (priority controlled heavy metals and organic pollutions), physicochemical elements (dissolved oxygen, transparency and nutrients of water and sediment) and hydromorphological elements. According to historical data collected, the reference conditions of physicochemical and biological elements (Shannon-Wiener index of zooplankton, AMBI, richness index, Shannon-Wiener index of benthos) of Luoyuan Bay were established. The EcoQS was assessed based on ‘One-out all-out (OOAO) principle’, *i. e.*, the worst status of the element used in the assessment determines the final status of a water body, and was classified as ‘High, Good, Moderate, Poor and Bad’. The rationality and objectivity of assessment results was validated by anthropogenic disturbances information. According to the established reference conditions, several indexes among the current standards deviate from related researches and standards around the world, indicating that the current united standards used for marine ecology evaluation in China may not be appropriate. The assessment results showed that, among the 9 stations of Luoyuan Bay, 1 station was classified as ‘Good’ and the other 8 stations were ‘Moderate’, the average status of the whole bay was also ‘Moderate’. Luoyuan Bay was obviously polluted and disturbed by anthropogenic activities, and the ecosystem was deteriorated moderately, which meant restoration actions must be taken in light of WFD requirement. The validation of the assessment results indicated that the assessment results of all stations were basically consistent with the anthropogenic pressures information except for the station LY01 with higher anthropogenic pressures. It meant that the adjusted index system, established reference conditions and the evaluation method based on ‘OOAO principle’ were able to objectively assess the EcoQS of Luoyuan Bay.

**Key Words:** OOA (one-out all-out) principle; coastal waters; ecological quality status (EcoQS); integrated assessment; Luoyuan Bay

近岸海域是与人类活动最密切相关的海域。由于填海造地、海洋资源的不合理开发利用、渔业养殖、海上溢油、危险化学品泄漏、陆源污染物排放等人为活动的影响,近岸海域生态环境状况日益恶化,包括物理化学变化、生境衰退、生态多样性变化等<sup>[1]</sup>。近些年,由于欧洲境内的近岸海域面临越来越多的人为环境压力,欧盟出台了一系列水管理法令,包括水框架指令(WFD),海洋发展战略、海洋政策等,这些法令都强调了保护近岸海域生态系统和海洋综合管理的必要性<sup>[2]</sup>。为了执行WFD,欧盟下设的“生态质量状态工作组”于2000年提出了“生态质量状况综合评价方法”,用于指导欧盟所有成员国所辖水域的生态质量状况评价工作。该方法认为水体质量状况主要是指海洋生态系统的结构、功能和过程,同时包括物理、化学、形态学、地理和气候要素,还要综合考虑影响这些要素的相关区域的人为影响和人类活动<sup>[3]</sup>。该方法在欧盟得到了广泛的应用<sup>[4-6]</sup>,但在我国的应用报道还很少。美国近岸海域生态质量状况评价方法<sup>[7]</sup>在国际上也有着较为广泛的应用,但是由于其评价体系中的滨海湿地指标在我国缺乏相应的历史数据,以及基于毒理试验建立的鱼类组织污染指标,在我国几乎为空白,无法构成有效的指标体系,也就无法开展应用。我国近岸海域正面临着日益增大的人为环境压力,但国内关于近岸海域生态质量状况综合评价的研究总体上还很匮乏<sup>[7-10]</sup>,科学、合理、有效的具有普遍意义的综合评价体系和方法尚未建立。借鉴国外相对成熟的评价体系、方法和标准,建立适合我国近岸海域特点的海洋生态质量状况综合评价方法以及相应的监测和管理体系已成为我国海洋生态综合管理的迫切需要。

本文以WFD提出的近岸海域生态质量状况综合评价体系为参照,根据收集到的数据资料对指标体系进行一定的调整后,应用于福建罗源湾。根据罗源湾的多年监测数据,建立罗源湾专属的生态要素和物理化学要素参考基准值,基于“OOAO原则”对罗源湾的生态质量状况进行综合评价,并通过与人为环境压力分布的

一致性分析对评价的结果进行验证,以期为我国近岸海域生态质量综合评价和管理体系的建立提供参考。

## 1 研究区概况

罗源湾位于福建省东北部(图 1),海域总面积 216.44 km<sup>2</sup>,滩涂面积 78.18 km<sup>2</sup>。罗源湾湾口宽仅 950 m,四面环山,是一个典型的口小腹大的半封闭性海湾。虽然罗源湾周边有几条溪流汇入,但年总径流量仅 3.18×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,径流对湾内海水影响较小,湾内水体交换主要靠潮汐来完成。罗源湾周边的临海工业尚处于开发利用初期,陆源污染物的主要来源是城镇生活污水、港口运输、农田污染与工业废水。随着经济开发力度的加大,罗源湾面临的人为环境压力将越来越大。罗源湾的主要特征参数见表 1。用于罗源湾生态质量综合评价的数据来源于 2009 年的生态调查,其中水质监测 4 次(3、5、8 和 11 月),沉积物的监测时间为 8 月,生物调查时间为春季(5 月)和秋季(11 月)。

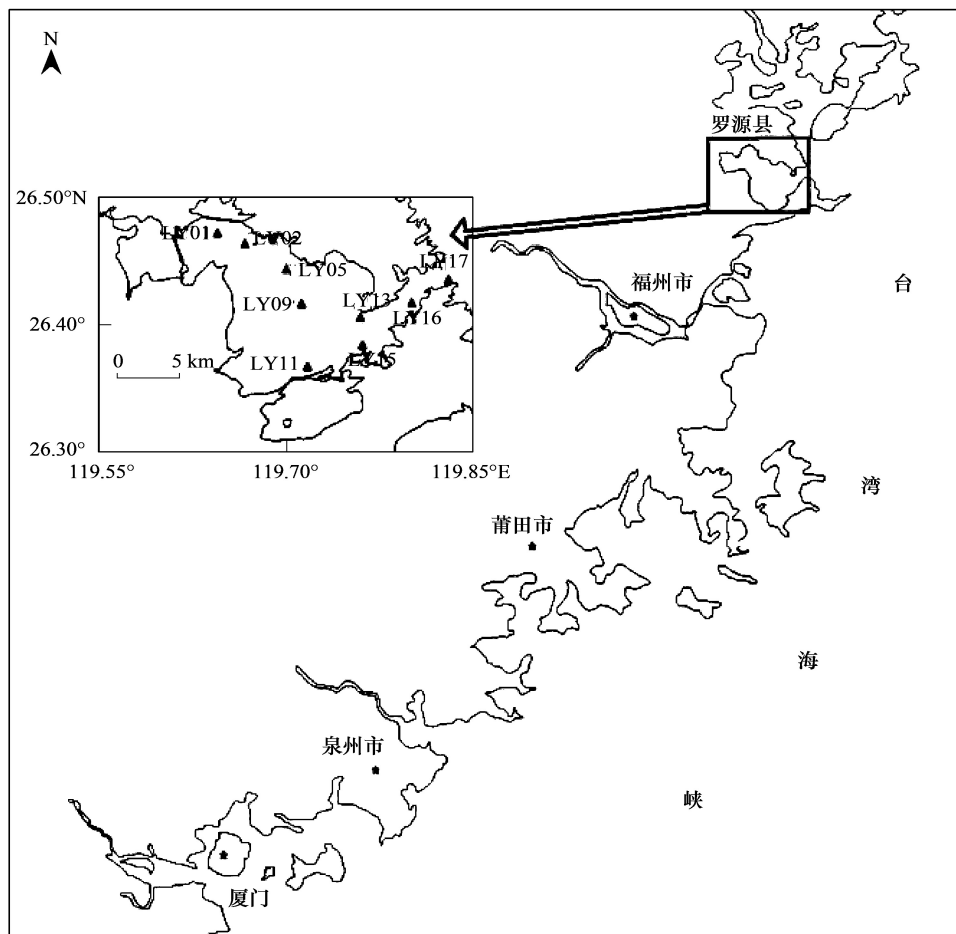


图 1 罗源湾的地理位置以及采样点分布

Fig.1 Location and sampling sites of Luoyuan Bay

表 1 罗源湾的主要特征参数

Table 1 The main characteristic of Luoyuan Bay

特征参数 Characteristics		特征参数 Characteristics	
地理位置 Geographical coordinates	26°19′—26°31′N, 119°34′—119°50′E	海岸线类型 Coastline definition	半封闭、基岩岸线
底层盐度变化 Bottom salinity range/PSU	25—30	潮差 Tidal range/m	2—8
深度 Depth range/m	10—30	潮流 Current velocity/(cm/s)	40—140
主要沉积物类型 Main sediment type	粉砂	潮间带面积 Intertidal area/%	<50

2 罗源湾生态质量状况综合评价方法

2.1 指标体系

参考欧盟近岸海域生态质量状况综合评价体系,根据收集到的数据,调整后的罗源湾 EcoQS 综合评价指标体系包括生物学质量要素、化学要素、物理化学质量要素和水文形态学质量要素(表 2),与 WFD 的综合评价指标体系的主要区别在于:(1)采用浮游动物指标代替大型藻类指标。大型藻类是固着生活的底栖植物,生态环境的破坏会给它们带来明显的负面影响,因此,大型藻类也是海洋生态环境的指示物种之一。但由于大型藻类的分布有一定的区域性,并不是我国的常规监测指标。罗源湾大型藻类分布较少,没有相应的监测,所以采用常规监测指标浮游动物代替。(2)WFD 评价体系中,沉积物的总有机碳(TOC)和硫化物包含在化学要素中,本研究出于分类的考虑,将这两个指标放在物理化学指标中。(3)化学要素只包括水质和沉积物中的优先控制污染物(有机污染物和重金属),数量偏少。我国监测的重金属一般只有 5—7 种,由于费用较高,有机污染物的监测更少。对于生物体内的污染物监测,仅对全湾采集一组样品进行分析,并没有对各站位区分监测。当然,指标越多意味着监测代价越大,并不是越多越好,WFD 允许欧盟各成员国根据各国具体情况进行相应调整。

表 2 基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价指标体系

Table 2 The integrative EcoQS assessment index system for Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’		
要素 Element	欧盟水框架指令 The European Water Framework Directive (WFD) [4]	罗源湾 Luoyuan Bay
生态 Biological	浮游植物的组成、丰度和生物量(叶绿素 a) 藻类的组成和盖度 底栖无脊椎动物的密度、丰度、生物量和多样性	浮游植物:叶绿素 a 和赤潮频率 浮游动物:香农威纳多样性指数 底栖无脊椎动物: M-AMBI( AMBI, 香农多样性指数和物种丰度)
物理化学 Physicochemical	水质:透明度、盐度、温度、溶解氧、营养盐(氨、氮、磷)、 悬浮物和总有机碳等 沉积物:一般要素——有机物、氧化还原电位、碳氮比。	水质:透明度、溶解氧、营养盐(无机氮、活性磷酸盐) 沉积物:总有机碳和硫化物
化学 Chemical	水质:11 种优先控制重金属;有机化合物——多环芳 烃、多氯联苯、滴滴涕、六六六、六氯苯等; 沉积物:10 种重金属;有机化合物——多环芳烃、多氯 联苯、滴滴涕、六六六、六氯苯等; 生物体:微生物;十种重金属;有机化合物——多环芳 烃、多氯联苯、滴滴涕、六六六、六氯苯等	水质、沉积物:优先控制重金属——Cu、Pb、Cd、总 Hg 和 As;有机化合物——多氯联苯和总滴滴涕
水文形态学 Hydromorphology	水深变化、潮汐状况、海底结构等	

AMBI: AZTI 海洋生物指数(AZTI marine biotic index, AMBI);M-AMBI: 多因子 AZTI 海洋生物指数(Multi-AMBI, M-AMBI)

2.2 综合评价方法

基于“OOAO 原则”进行综合评价,评价框架如图 2 所示。生态质量状况的评价结果共划分为五个级别,依次为优、良、中、差和劣。等级优代表站点没有受到污染,或者生态系统没有表现出退化或者表现出极小退化迹象。等级良代表比等级优略差,站点受到轻微的污染或者由于人为活动生态系统表现出较小的退化。等级中代表受到的人为扰动明显比等级良要明显,站点受到中等程度的污染或者由于人为活动的影响生态系统表现出中等程度的退化。等级差代表站点受到严重的污染,或者与等级优有本质的差别。等级劣代表站点受到特别严重的污染或者表现出严重的退化<sup>[11]</sup>。

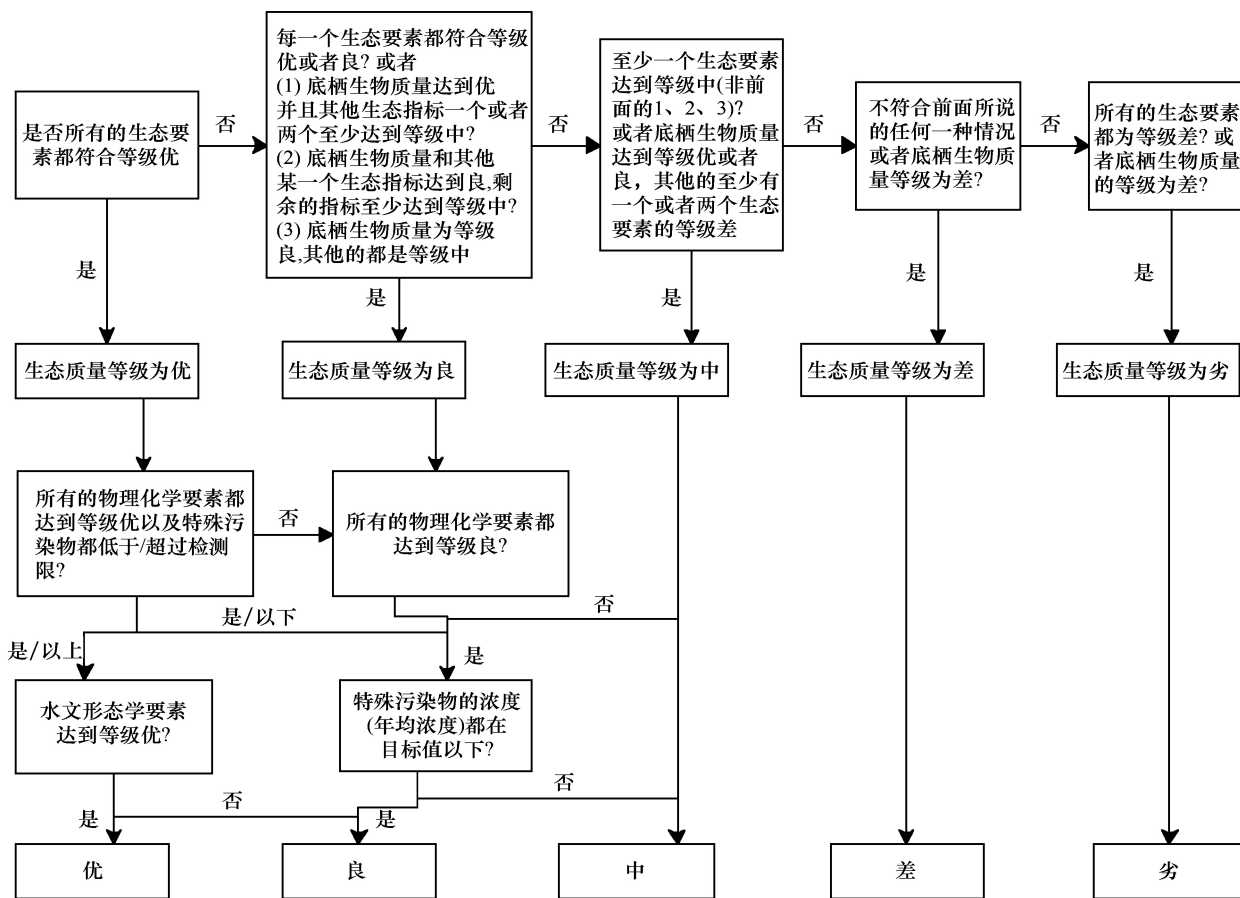
2.3 各要素评价方法

2.3.1 生态要素评价方法

由图 2 可知,生态要素质量是评价体系的核心,因而生态要素质量等级的评价方法在整个生态质量综合评价中起着至关重要的作用。生态要素包括浮游植物、浮游动物和底栖生物,评价方法如下:

(1)底栖生物质量评价



图2 生态质量状况等级综合评价流程图<sup>[5]</sup>

**Fig. 2 Framework used in the integrative EcoQS assessment**

底栖生物具有较小的流动性,生活史较短,能很快通过种群和群落反映环境的变化,最能代表生态要素的质量,成为研究的热点。M-AMBI<sup>[12]</sup>是底栖无脊椎动物 AMBI 指数、香农多样性指数( $H'$ )以及物种丰度的复合指数,该指数已经在不同的区域得到了应用,被证明能够识别污染和人为环境压力<sup>[13]</sup>。M-AMBI 指数的应用首先要确定 AMBI、多样性指数以及物种丰度的参考基准值。M-AMBI 指数的计算采用 WFD 提供的免费软件(<http://www.azti.es> v.4)。最后根据 M-AMBI 的参考基准值进行等级划分。

## (2) 浮游植物质量评价

浮游植物主要反映研究海域水质的营养状况以及赤潮状况。本文采用 Revilla<sup>[14]</sup> 提出的评价方法。该方法中采用两个指标——叶绿素 a 和赤潮概率来进行评价,评价等级分为优、良和中 3 个等级。叶绿素 a 评价采用全年平均值,等级优和良的阈值为 3.5 μg/L,良和中的阈值为 7.0 μg/L。赤潮概率评价是将每个站位每个浮游植物物种的数量与赤潮阈值(750 000 个/L)进行比较,如果该站位超过这个阈值的浮游植物物种数小于 20%,则赤潮概率评价等级为优,在 20% 到 40% 之间,等级为良,大于 40% 则等级为中。对这两个指标的优、良、中 3 个等级分别赋值 1.0、0.8、0.6,计算两个指标的平均值。平均值=1,则浮游植物质量状况等级为优;0.8≤平均值<1,等级为良;0.6≤平均值<0.8,等级为中。

### (3) 浮游动物质量评价

浮游动物是我国海洋生态监测的常规指标。浮游动物有一定的随机性,但是对环境的变化较为敏感,一定程度上能够反映周边的环境质量状况。该指标采用常规评价指标香农多样性指数来进行评价。

### 2.3.2 物理化学、化学要素评价

物理化学要素的评价参照参考基准值,以年均值进行等级评价。化学要素(水质和沉积物中的优先控制



重金属和有机污染物)的综合评价,按照文献<sup>[5,15]</sup>的评价方法进行。水质优先控制污染物的评价参考基准值采用美国环境保护署发布的水质基准<sup>[16]</sup>,沉积物优先控制污染物评价参考基准值则参考文献<sup>[17]</sup>。

### 2.3.3 水文动力学条件评价

这项评价主要是指水文状况、生境状况与未受干扰状况的偏离程度,目前没有定量评价的方法,主要采用专家判断法进行评判。水文形态学要素相对历史状况的变化评价分为5个等级:未变化(等级优)、轻度变化(等级良)、中等变化(等级中)、重要的变化(等级差)、严重的变化(等级劣)。该项要素是针对海域总体状况的评价,对于各个站位则不包括该项评价。根据图2,如果所有的物理化学要素都达到等级优并且优先控制污染物都低于相应的标准,就需要进行水文形态学状况评价。

### 2.3.4 参考基准值

参考基准值的确定是WFD中最重要的部分<sup>[18]</sup>。参考基准值的获得通常有以下4种方法<sup>[4]</sup>:以未受到或者受到人为扰动较小的站点作为参考基准值站位;历史信息或者资料;模型;专家判断。WFD要求使用类型专属的区域背景值作为评价标准,可以比较准确地区分人为影响和自然变化。由于历史资料以及未受人类活动影响的区域几乎不存在,参考基准值的确定常常根据已有的数据进行序列分析。底栖无脊椎动物 AMBI、 $H'$  和物种丰度以及浮游动物  $H'$  的参考基准值确定方法参见文献<sup>[13]</sup>;根据已有的数据,建立数据序列,采用 SPSS16.0 进行分析,去除数据序列的异常值, $H'$  和物种丰度取数据序列的第90%位值为参考基准值,AMBI 取数据序列的第10%位值为参考基准值。M-AMBI 和物理化学要素评价标准边界值确定方法<sup>[13]</sup>:收集研究区多年的监测数据,计算序列数据的平均值和标准偏差。对于值越大生态质量状况越好(差)的指标,等级优和良(差和劣)的边界值为平均值和标准偏差的和,再以此边界值除以4依次确定其他等级之间的边界值。

## 2.4 评价结果验证

评价结果的校验是综合评价非常重要的一部分。WFD要求近岸海域生态质量状况综合评价方法评价的结果应该反映人为扰动对生态质量状况的影响,而不是自然变化<sup>[15]</sup>。本研究通过对人为环境压力的定量分析对评价结果进行验证。根据文献<sup>[19]</sup>,对各站点的人为环境压力类型(非点源、点源、生境损失、工业废水、港口航运以及养殖)进行识别,并对各压力程度进行量化赋值(1-压力低;2-压力中等;3-压力高),求得压力总值并分级(0—2,低;2—4,较低;4—6,中;6—8,高;>8,很高)。EcoQS 评价等级与压力等级一致或上下浮动一个等级,则认为评价结果合理。

## 3 结果

### 3.1 参考基准值的确定

罗源湾生态要素参考基准值的确定采用2005—2010年的共79组数据的序列,物理化学要素采用1985—2010年的共305组数据的序列(图3为以活性磷酸盐和无机氮的累积百分位分布图)。根据数据序列累积百分位分布分析的结果,罗源湾底栖生物 AMBI、 $H'$  和物种丰度的参考基准值分别为0.64、4.5和46,生态要素

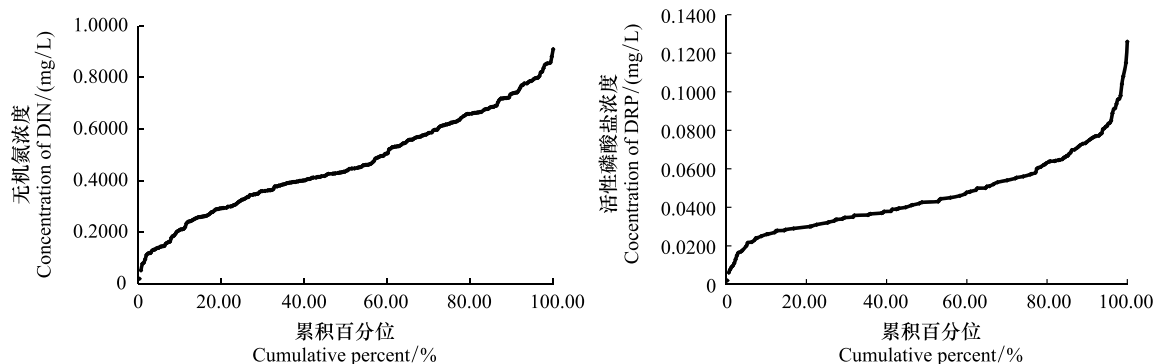


图3 无机氮和活性磷酸盐的累积百分位分布图

Fig. 3 The cumulative percent distribution of DIN and DRP

和物理化学要素的评价基准见表 3。

参考基准值是 WFD 提出的生态质量状况综合评价方法最核心的科学理念和基本原则,决定着评价结果是否客观合理。将本研究建立的罗源湾物理化学要素的参考基准值与我国相应的海水水质、沉积物的评价标准进行比较,活性磷酸盐和无机氮等级优和良的边界值与我国海水水质标准中的 I 类和 II 类的边界值接近,溶解氧以及沉积物 TOC 和硫化物等级优和良的边界值标准则要高于相应的水质标准和沉积物标准。由此可见,目前我国使用统一的评价标准,可能会忽略各水域自然条件的差异而导致评价结果误差较大。

由于底栖生物在该综合评价方法中的核心地位,对底栖底栖无脊椎动物的评价研究非常多,由于复合指数比单因子指数更能反映海域实际的质量状况<sup>[19]</sup>,因此本研究中采用  $H'$ 、AMBI 和物种丰度的复合指数 M-AMBI 作为评价指标。将得到的参考基准值与文献<sup>[13]</sup>中列举的已经建立 M-AMBI 参考基准值的区域进行比较,本研究与地中海区域的亚得里亚海相同,要高于其他的区域。但该指数是基于地中海海域建立的,本研究中的部分底栖无脊椎动物物种并不包含在软件提供的物种数据库中,2009 年 5 月和 11 月各站位的平均不包含率分别为 7.91% 和 12.84%,其中 11 月份 LY09 和 LY15 的不包含率分别为 27% 和 25%,超出了警戒值(20%),存在一定的误差。

表 3 罗源湾综合评价指标体系各指标的评价基准

Table 3 Evaluation criterion for each index of Luoyuan Bay EcoQS integrated assessment system

指标 Index	年限 Years	均值 Mean	SD	优 High	良 Good	中 Moderate	差 Bad	劣 Poor
溶解氧/(mg/L) Dissolved oxygen	2003—2010	7.27	1.56	>8.81	6.61—8.81	4.41—6.61	2.20—4.41	<2.20
透光度/m Transparency	2003—2010	0.96	0.38	>1.33	1.0—1.33	0.66—1.0	0.33—0.66	<0.33
无机磷/(mg/L) Inorganic phosphate	1985—2010	0.0465	0.02	<0.017	0.017—0.033	0.033—0.050	0.050—0.066	>0.066
无机氮/(mg/L) Inorganic nitrogen	1985—2010	0.48	0.25	<0.18	0.18—0.37	0.37—0.55	0.55—0.73	>0.73
沉积物/% TOC Sediment TOC	2003—2010	0.84	0.18	<1.02	1.02—1.27	1.27—1.53	1.53—1.78	>1.78
沉积物硫化物 Sediment sulfide ( $\times 10^{-6}$ )	2003—2010	49.3	38.1	<87	87—109	109—131	131—153	>153
浮游动物多样性 $H'$ of zooplankter	2005—2010	2.32	0.73	>3.05	2.29—3.05	1.53—2.29	0.76—1.53	<0.76
M-AMBI	2005—2010	0.73	0.15	>0.88	0.66—0.88	0.44—0.88	0.22—0.44	<0.22

### 3.2 生态质量现状

罗源湾 2009 年生态要素、物理化学和化学要素的监测数据见表 4。根据美国 EPA 水质基准<sup>[16]</sup>,除个别站位外,罗源湾水质中的总 DDT 都在基准连续浓度值(Criteria Continuous Concentration, CCC)和基准最大浓度值(Criteria Maximum Concentration, CMC)之间,存在一定的生态风险。对照美国 EPA 的近岸海域质量报告 III<sup>[17]</sup>中的沉积物标准,罗源湾大部分站位沉积物中的总 DDT 都超过了 ERL 值(Effects Range-Low),部分站位的 As 也超过了 ERL 值,也存在一定的生态风险。物理化学要素中,绝大部分站位无机氮和无机磷浓度较高,在中级左右;溶解氧状况良好,都处于等级良的状况;透光度状况都介于等级良和差之间。沉积物 TOC 和硫化物状况良好,都在等级良以上。

浮游植物指标中,罗源湾的叶绿素 a 含量很低,都达到优级标准(<3.5  $\mu\text{g/L}$ ),赤潮概率都为零。根据福建省海洋环境质量公报([http://www.fjof.gov.cn/\\_xxgk/sjgg/index.html](http://www.fjof.gov.cn/_xxgk/sjgg/index.html)),罗源湾在监测年没有发生赤潮,说明赤潮概率指标能够客观反映现状。浮游动物的质量等级都处于等级良或中。罗源湾的底栖无脊椎动物多样性较高、物种丰富并且耐物种较少,生态质量状况较好。从罗源湾 2009 年 5 月份和 11 月份的 M-AMBI 分

布(图4)可以看出,除少数站位外,罗源湾的底栖生物质量状况都达到等级良,受到的人为扰动较小。

表4 罗源湾物理化学要素和生态要素的平均值、最大值和最小值

Table 4 Mean, maximum and minimum values of physicochemical and biological elements of Luoyuan Bay			
化学要素 Chemical data	平均(最小,最大)	化学要素 Chemical data	平均(最小,最大)
水质 Water	Mean (min, max)	沉积物 Sediment	Mean (min, max)
铜 Cu/( $\mu\text{g/L}$ )	0.81 (0.52, 1.26)	铜 Cu/( $\mu\text{g/L}$ )	21.17 (14.6, 24.1)
铅 Pb/( $\mu\text{g/L}$ )	0.94 (0.49, 2.74)	铅 Pb/( $\mu\text{g/L}$ )	29.71 (23.7, 33.6)
镉 Cd/( $\mu\text{g/L}$ )	0.014 (0.010, 0.012)	镉 Cd/( $\mu\text{g/L}$ )	0.075 (0.070, 0.083)
总汞 Total Hg/( $\mu\text{g/L}$ )	0.062 (0.026, 0.20)	总汞 Total Hg/( $\mu\text{g/L}$ )	0.041 (0.019, 0.066)
砷 As/( $\mu\text{g/L}$ )	0.67 (0.38, 1.02)	砷 As/( $\mu\text{g/L}$ )	9.17 (6.93, 12.5)
总滴滴涕 Total DDTs/(ng/L)	2.77 (1.00, 7.56)	总滴滴涕 Total DDTs/(ng/L)	0.21 (0.12, 0.29)
总多氯联苯 Total PCBs/(ng/L)	NA	总多氯联苯 Total PCBs/(ng/L)	0.62 (0.11, 1.19)
物理化学要素 Physicochemical data		生态要素 Biological data	
平均(最小,最大) Mean (min, max)		平均(最小,最大) Mean (min, max)	
溶解氧/(mg/L)	7.44 (7.18, 7.76)	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content/( $\mu\text{g/L}$ )	0.49 (0.33, 0.70)
透明度/m	1.13 (0.8, 1.35)	赤潮概率 Red tide probability/%	0
无机磷/(mg/L)	0.043 (0.034, 0.057)	浮游动物多样性 $H'$ of zooplankter	2.21 (1.54, 2.82)
无机氮/(mg/L)	0.50 (0.34, 0.80)	底栖生物物种丰度	32 (11, 62)
沉积物有机碳/%	0.92 (0.72, 1.26)	Richness of invertebrate taxa/(bit/ $\text{m}^2$ )	3.69 (2.26, 4.54)
沉积物硫化物( $\times 10^{-6}$ )	74.6 (52.9, 126)	底栖生物多样性 $H'$ of invertebrate taxa	1.37 (0.99, 1.94)
		AMBI	1.37 (0.99, 1.94)
		M-AMBI	0.77 (0.54, 0.95)

NA: 没有获取数据

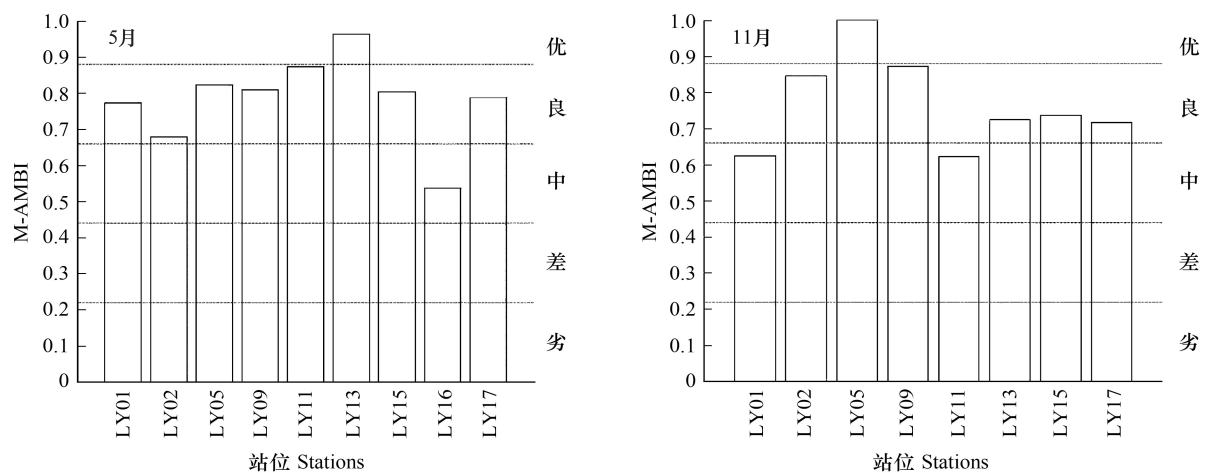


图4 2009年5月和11月罗源湾各站位的M-AMBI分布图

Fig.4 The M-AMBI values distribution of each station within Luoyuan Bay in May and November, 2009

根据专家评判,罗源湾水文形态学要素的变化程度为轻度变化(等级良)。

3.3 生态质量状况综合评价

根据表5 基于“OOAO 原则”的综合评价结果,罗源湾除 LY17 站位 EcoQS 为等级“良”外,其他站位以及平均生态质量状况都为“中”级,受到明显的人为扰动和中等程度的污染,生态系统表现出一定程度的退化。从生态要素质量来看,罗源湾的生态要素状况较好,除 LY16 站位外,等级都为良。由于物理化学要素中活性磷酸盐和无机氮指标普遍不达标,并且化学要素中水质和沉积物中的绝大部分站位滴滴涕超标,使得最终的生态质量状况等级较低。LY17 处于湾口外部的的位置,污染较小,因此生态状况和物理状况指标都达到了等级良,化学要素监测值未超标,最终的生态质量状况为等级良。

表 5 2009 年罗源湾生态质量状况综合评价结果

Table 5 EcoQS integrated assessment results of Luoyuan Bay in 2009				
站位 Station	生态等级 Ecological status	物理化学状况( 不达标因子) Physicochemical status ( not meet factor)	化学状况 Chemical status	生态质量状况 EcoQS
LY01	良	不达标( 活性磷酸盐和无机氮)		中
LY02	良	不达标( 活性磷酸盐和无机氮)		中
LY05	良	不达标( 活性磷酸盐、无机氮和透光度)		中
LY09	良	不达标( 活性磷酸盐、无机氮和透光度)		中
LY11	良	不达标( 活性磷酸盐、无机氮和透光度)		中
LY13	良	不达标( 活性磷酸盐)		中
LY15	良	不达标( 活性磷酸盐、无机氮和透光度)		中
LY16	中			中
LY17	良	达标	达标	良
平均 Average	良	不达标		中

3.4 评价结果验证

由表 6 所列的人为环境压力分析可以看出,站位 LY01、LY02 的人为环境压力比较高,LY09 和 LY17 压力较低,其他站位的压力都是中级。除了 LY01,其余站位的生态质量状况评价等级与人为环境压力基本一致,一致性比例为 88.9%。LY01 站位位于罗源湾顶,人为环境压力类型较多,压力很高,水动力条件较差。一般来说,人为环境压力类型较多的站位其生态质量状况受到的影响要大于单个压力类型的站位<sup>[19]</sup>。但该站位的生态质量状况等级为良,评价结果明显偏高,可能是由于砂质底质、水动力交换小的站位底栖生物质量相对更稳定<sup>[20-21]</sup>,导致生态质量状况评价出现正偏差。

表 6 罗源湾主要人为环境压力来源以及与生态质量状况等级的一致性分析

Table 6 The anthropogenic pressure source of each station and the consistency analysis with EcoQS classifications															
压力类型 Type of Pressures	非点源污染 Non-point pollution sources		点源污染 Point pollution sources			工业 Industry		生境损失 Habitat loss	港口 Ports		养殖 aquacu- lture	总压力 Total Pressures	压力等级 Pressure Grade	生态质量 状况等级 EcoQS Grade	一致性 Consistency
压力 Pressures	农业面 源污染 Agricultural diffuse inputs	地表径流 Freshwater input	城镇生 活废水 Domestic discharges	工业废水 Industrial discharges	混合排放 Domestic, industrial, agricultural discharges	工业区 Industrial area	工业取水 Water abstraction	围填海 Landclaim	港口活动 Port activity	航行 Navigation					
LY01	2	1	2	2	1	2		2		1		13	很高	中	不一致
LY02	1	1						1	3	2		8	高	中	一致
LY05	1				1					3		5	中等	中	一致
LY09											3	3	较低	中	一致
LY11								3			3	6	中等	中	一致
LY13	1	1								2	2	6	中等	中	一致
LY15					1		1		3			5	中等	中	一致
LY16	2	1								3		6	中等	中	一致
LY17										3		3	较低	良	一致

1: 压力较低;2: 压力中等;3: 压力高

4 讨论和结论

指标体系的建立是近岸海域生态质量综合评价的第一步。指标的选择应该遵循 4 个原则<sup>[22]</sup>: (1) 代表性——能够代表生态系统的整体状况; (2) 可取性——指标较为容易获取并且成本不高; (3) 敏感性——能够快速响应人为活动; (4) 可比性——能够适用于大部分区域。Borja 等<sup>[2]</sup>强调评价指标应该是生态系统功能



水平上选取,应包括生物要素和非生物要素。本研究参照 WFD 近岸海域生态质量状况综合评价方法体系建立的罗源湾生态质量状况综合评价指标体系以生态学要素(底栖生物、浮游植物和浮游动物)为主,物理化学要素(溶解氧、营养盐、透光度、沉积物 TOC 和硫化物)、化学要素(优先控制污染物)和水文形态学要素为辅。该指标体系中的指标大多为我国的常规监测指标,并可以根据实际状况进行了一定的调整(化学要素和物理化学要素指标的数量),对于我国近岸海域具有广泛的适用性,特别是浙江、福建、海南等省的近岸海域。

WFD 要求使用地区特定的类型专属基准值进行评价,但类型专属区域背景值的确定是一个非常复杂的过程<sup>[7]</sup>,缺少未受人类干扰的区域是参考基准值难以获得的主要原因。我国的海洋研究起步相对较晚,缺少历史监测数据和未受人为活动干扰的区域,难以建立类型专属参考基准值。本文中罗源湾底栖无脊柱动物 AMBI、H' 和物种丰度的参考基准值分别为 0.64、4.5 和 46,物理化学要素的参考基准值则与我国目前的评价标准有一定的差别,说明目前统一的评价标准可能忽略了不同研究区域自然条件的差异。但是,罗源湾生态要素的参考基准值的数据始于 2005 年,此时罗源湾已经受到了明显的人为活动的影响,建立的参考基准值的准确性还有待进一步检验。如何在缺乏详细的历史数据的情况下,探索我国近岸海域类型专属参考基准值的建立方法也是海洋生态质量综合评价和管理的重要内容。

目前对各要素评价的研究非常多,但是将这些要素综合起来对水体进行评价的方法却很少<sup>[2]</sup>。WFD 提出的近岸海域生态质量状况综合评价方法是基于“OOAO”原则建立的,该原则以最低的生态要素等级为最终的水体生态状况等级。这一原则的应用已经受到了一些研究者的质疑<sup>[23-24]</sup>,认为该原则具有不客观的降低生态状况的倾向,结果使得评价等级偏低,造成后期不必要的生态修复投入的后果。尽管如此,该方法的优势在于广泛的适用性<sup>[23]</sup>。从本文应用的情况来看,所有站位都不存在评价结果偏低的情况(站位 LY01 过高评价了生态质量状况),可见,该方法对罗源湾基本是适用的,当然也存在对受到人为扰动较大的站位敏感性较低的可能。

基于综合评价结果中的不确定性和评价可能存在的误差,对评价结果的验证就显得尤为重要。通常通过人为环境压力识别对评价结果进行验证。本文中评价结果与人为环境压力分布基本一致,一致性比例达 88.9%。说明调整后的指标体系、建立的参考基准值以及基于“OOAO 原则”的评价体系,能够较客观地评价罗源湾的生态质量状况。但是人为环境压力的识别对于多重压力的环境、大尺度的环境压力以及没有受到人为环境压力的区域存在较大的困难<sup>[18]</sup>,因此,建立海洋生态保护区作为人为环境压力识别的参照,以及建立准确而详细的压力类型定量方法也是进一步研究的主要内容。

近岸海域生态质量状况综合评价方法正在不断的研究和发展中。虽然国外的相关研究很多,但真正意义上的综合评价几乎没有<sup>[2]</sup>。主要问题在于评价指标过分关注结构指标,没有体现新的环境压力(如气候变化、外来物种等)对生态质量状况的影响等。这是目前相关研究的主要内容之一,也是我国相关研究中值得关注的问题。同时,建立统一的海洋监测体系,也是我国海洋生态综合管理的迫切需要。

## References:

- [1] Albayrak S, Balkis H, Zenetos A, Kurun A, Kubanç C. Ecological quality status of coastal benthic ecosystems in the Sea of Marmara. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, 52(7): 790-799.
- [2] Borja A, Bricker S B, Dauer D M, Demetriades N T, Ferreira J G, Forbes A T, Hutchings P, Jia X P, Kenchington R, Carlos Marques J, Zhu C B. Overview of integrative tools and methods in assessing ecological integrity in estuarine and coastal systems worldwide. *Marine Pollution Bulletin*, 2008, 56(9): 1519-1537.
- [3] European Community. Establishing a framework for Community action in the field of water policy. 2000/60/EC.
- [4] Borja Á, Franco J, Valencia V, Bald J, Muxika I, Belzunce M J, Solaun O. Implementation of the European water framework directive from the Basque country (northern Spain): a methodological approach. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 48(3/4): 209-218.
- [5] Borja A, Bald J, Franco J, Larreta J, Muxika I, Revilla M, Rodríguez J G, Solaun O, Uriarte A, Valencia V. Using multiple ecosystem components, in assessing ecological status in Spanish (Basque Country) Atlantic marine waters. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 59(1/3): 54-64.

- [ 6 ] Borja Á, Rodríguez J G. Problems associated with the ‘one-out, all-out’ principle, when using multiple ecosystem components in assessing the ecological status of marine waters. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(8): 1143-1146.
- [ 7 ] Han B, Wang B D. Comments on two methods for comprehensive assessment of ecological environment quality in estuarine and coastal waters. *Advances in Marine Science*, 2006, 24(2): 254-258.
- [ 8 ] Chen Z H, Wu H Y, Chen K L, Chen Q H, Wu J C, Zhang J F. An integrated assessment method of ecological quality status in coastal waters: taking Tong'an Bay as a case. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(7): 1841-1848.
- [ 9 ] Hu J. Research on Ecological Environment Comprehensive Assessment Methods for Coast Marine Area [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007.
- [ 10 ] Wang B D, Han B. Method for integrated assessment of near-shore ecological environment quality and its application to Jiaozhou Bay. *Advances in Marine Science*, 2009, 27(3): 400-404.
- [ 11 ] Dauvin J C, Ruellet T. Polychaete/amphipod ratio revisited. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, 55(1/6): 215-224.
- [ 12 ] Muxika I, Borja Á, Bald J. Using historical data, expert judgment and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, 55(1/6): 16-29.
- [ 13 ] Paganelli D, Forni G, Marchini A, Mazziotti C, Occhipinti-Ambrogi A. Critical appraisal on the identification of Reference Conditions for the evaluation of ecological quality status along the Emilia-Romagna coast (Italy) using M-AMBI. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, 62(8): 1725-1735.
- [ 14 ] Revilla M, Franco J, Bald J, Borja Á, Laza A, Seoane S, Valencia V. Assessment of the phytoplankton ecological status in the Basque coast (northern Spain) according to the European Water Framework Directive. *Journal of Sea Research*, 2009, 61(1/2): 60-67.
- [ 15 ] Tueros I, Borja Á, Larreta J, Rodríguez J G, Valencia V, Millán E. Integrating long-term water and sediment pollution data, in assessing chemical status within the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58(9): 1389-1400.
- [ 16 ] USEPA. National Recommended Water Quality Criteria. Washington DC: U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water/Office of Science and Technology, 2009.
- [ 17 ] USEPA. National Coastal Condition Report III. Washington DC: U. S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development/Office of Water, 2008.
- [ 18 ] van Hoey G, Borja A, Birchenough S, Buhl-Mortensen L, Degraer S, Fleischer D, Kerckhof F, Magni P, Muxika I, Reiss H, Schröder A, Zettler M L. The use of benthic indicators in Europe: from the Water Framework Directive to the Marine Strategy Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(12): 2187-2196.
- [ 19 ] Borja A, Barbone E, Basset A, Borgersen G, Brkljacic M, Elliott M, Garmendia J M, Marques J C, Mazik K, Muxika I, Netod J M, Norling K, Rodríguez J G, Rosati I, Rygg B, Teixeira H, Trayanova A. Response of single benthic metrics and multi-metric methods to anthropogenic pressure gradients, in five distinct European coastal and transitional ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, 62(3): 499-513.
- [ 20 ] Simboura N, Reizopoulou S. A comparative approach of assessing ecological status in two coastal areas of Eastern Mediterranean. *Ecological Indicators*, 2007, 7(2): 455-468.
- [ 21 ] Forchino A, Borja A, Brambilla F, Rodríguez J G, Muxika I, Terova G, Saroglia M. Evaluating the influence of off-shore cage aquaculture on the benthic ecosystem in Alghero Bay (Sardinia, Italy) using AMBI and M-AMBI. *Ecological Indicators*, 2011, 11(5): 1112-1122.
- [ 22 ] Wu H Y, Chen K L, Chen Z H, Chen Q H, Qiu Y P, Wu J C, Zhang J F. Evaluation for the ecological quality status of coastal waters in East China Sea using fuzzy integrated assessment method. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64(3): 546-555.
- [ 23 ] Hering D, Borja A, Carstensen J, Carvalho L, Elliott M, Feld C K, Heiskanen A S, Johnson R K, Moe J, Pont D, Solheim A L, van de Bund W. The European Water Framework Directive at the age of 10: a critical review of the achievements with recommendations for the future. *Science of the Total Environment*, 2010, 408(19): 4007-4019.
- [ 24 ] Moss B. The Water Framework Directive: total environment or political compromise? *Science of the Total Environment*, 2008, 400(1/3): 32-41.

#### 参考文献:

- [ 7 ] 韩彬, 王保栋. 河口和沿岸海域生态环境质量综合评价方法评介. *海洋科学进展*, 2006, 24(2): 254-258.
- [ 8 ] 陈朝华, 吴海燕, 陈克亮, 陈庆辉, 吴吉春, 张景飞. 近岸海域生态质量状况综合评价方法——以同安湾为例. *应用生态学报*, 2011, 22(7): 1841-1848.
- [ 9 ] 胡婕. 沿岸海域生态环境质量综合评价方法研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- [ 10 ] 王保栋, 韩彬. 近岸生态环境质量综合评价方法及其应用. *海洋科学进展*, 2009, 27(3): 400-404.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.1 January, 2013 (Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Integrating ecological civilization into social-economic development ..... WANG Rusong ( 1 )
- The effect of land cover pattern on hillslope soil and water loss in the arid and semi-arid region: a review .....  
..... GAO Guangyao, FU Bojie, LÜ Yihe, et al ( 12 )
- The status and trend on the urban tree canopy research ..... JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa, et al ( 23 )
- Bioindicators and Biomonitoring in Environmental Quality Assessment .....  
..... Bernd Markert, WANG Mei'e, Simone Wünschmann, et al ( 33 )
- Electron transfer capacities of dissolved organic matter and its ecological effects ... BI Ran, ZHOU Shungui, YUAN Tian, et al ( 45 )

### Autecology & Fundamentals

- Antioxidative responses of *Abies fabri* seedlings to litter addition and temperature elevation .....  
..... YANG Yang, YANG Yan, WANG Genxu, et al ( 53 )
- Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*)  
seeds under NaCl stress ..... ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong, et al ( 62 )
- Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange .....  
..... LING Lili, PENG Liangzhi, WANG Nanqi, et al ( 71 )
- Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China .....  
..... SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al ( 79 )
- Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community .....  
..... ZHAO Guangyin, LI Jianjun, GAO Jie ( 89 )
- The continuous life-table of *Leptocybe invasa* ..... ZHU Fangli, QIU Baoli, REN Shunxiang ( 97 )

### Population, Community and Ecosystem

- Dominant climatic factors of *Quercus mongolica* geographical distribution and their thresholds .....  
..... YIN Xiaojie, ZHOU Guangsheng, SUI Xinghua, et al ( 103 )
- Fruit diet, Selectivity and Seed dispersal of Hatinh langur (*Trachypithecus francoisi hatinhensis*) .....  
..... Nguyen Haiha, BAI Bing, LI Ning, et al ( 110 )
- The distribution of living coccolithophore in East China Sea in autumn, 2010 ..... JIN Shaofei, SUN Jun, LIU Zhiliang ( 120 )
- The association of OPRK1 gene SNP with sika deer (*Cervus nippon*) diurnal behavior traits .....  
..... LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong ( 132 )
- Preliminary study on bird composition and diversity in Poyang Lake watershed during non-breeding period .....  
..... SHAO Mingqin, ZENG Binbin, XU Xianzhu, et al ( 140 )
- Coexistence mechanism of two species passerines in man-made nest boxes ..... LI Le, ZHANG Lei, YIN Jiangxia, et al ( 150 )
- Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters .....  
..... LI Yanhong, YANG Wanqin, LUO Chengde, et al ( 159 )
- RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area (Chongqing section) .....  
..... LI Yuechen, LIU Chunxia, MIN Jie, et al ( 168 )

### Landscape, Regional and Global Ecology

- The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau .....  
..... LI Linhai, GAO Erhu, MENG Meng, et al ( 179 )
- Effects of coastal geographical characteristics on the abundance of submerged aquatic vegetation .....  
..... WU Mingli, LI Xuyong, CHEN Nianlai ( 188 )
- Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed .....  
..... CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, et al ( 195 )

### Resource and Industrial Ecology

- Effects of farming on wetland soil seed banks in the Sanjing Plain and wetland restoration potential .....  
..... WANG Guodong, Beth A Middleton, LÜ Xianguo, et al ( 205 )

Effects of the microhabitats on the seedling emergence during the flooding disturbance .....	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (214)
Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley .....	XU Lina, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al (222)
Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province .....	MU Dongyan, LÜ Guozhong, SUN Xiaodong, et al (229)
Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay .....	FU Mingzhu, PU Xinming, WANG Zongling, et al (238)
<b>Urban, Rural and Social Ecology</b>	
The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’ .....	WU Haiyan, WU Yaojian, CHEN Keliang, et al (249)
Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay .....	LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, et al (260)
Ecological footprint depth and size: new indicators for a 3D model .....	FANG Kai (267)
Landscape dynamics of medium- and small-sized cities in eastern and western China: a comparative study of pattern and driving forces .....	QI Yang, WU Jianguo, LI Jianlong, et al (275)
<b>Research Notes</b>	
Prediction of bacterial species richness in the South China Sea slope sediments .....	LI Tao, WANG Peng (286)
Spatial pattern of seedling regeneration of <i>Ulmus pumila</i> woodland in the Otindag Sandland .....	LIU Zhen, DONG Zhi, LI Hongli, et al (294)
Impacts on seed germination features of <i>Eupatorium adenophorum</i> from variable light stimulation and traditional dormancy-broken methods .....	JIANG Yong, LI Yanhong, WANG Wenjie, et al (302)
<b>Opinions</b>	
Discus for classification of plant association .....	XING Shaohua, YU Mengfan, YANG Lijuan, et al (310)



# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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

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 1 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 1 (January, 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