

文章编号: 1000-0615(2016)07-1099-07

DOI: 10.11964/jfc.20150509899

## 底栖动物增殖放流生态风险评价

祁剑飞, 曾志南\*, 宁岳, 巫旗生

(福建省水产研究所, 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室,  
福建省海洋生物资源开发利用协同创新中心, 福建 厦门 361000)

**摘要:** 为了评价底栖动物增殖放流过程中存在的生态风险, 通过现场调查、已有文献资料分析和专家咨询, 建立了以层次分析法为基础的生态风险评价体系。应用该体系对5种增殖放流的底栖动物进行了生态风险评价。研究表明, 西施舌、紫海胆、韩国文蛤和泥东风螺为“中”风险等级; 波纹巴非蛤为“低”风险等级。本研究可为今后增殖放流过程中的生态风险评价提供参考。

**关键词:** 底栖动物; 增殖放流; 生态风险评价; 层次分析法

**中图分类号:** S 932.8

**文献标志码:** A

增殖放流是通过向天然水域投放人工繁育的水生生物苗种, 以恢复渔业资源, 实现渔业可持续发展的渔业管理手段。根据放流目的不同可以分为3类: ①以修复衰退的渔业资源为目的(restocking); ②以增加某种资源渔获量为目的(stock enhancement); ③海洋牧场(sea ranching)<sup>[1]</sup>。从19世纪末期至今, 世界各国已经开展了大量的增殖放流实践, 但仅有少数能够直接证明资源得到了增加, 或表明其他积极的影响。增殖放流活动的负面影响反而大量存在。例如, 人工培养的苗种野外较低的存活率, 生长率和繁殖率, 导致放流活动没有达到增加资源量的目的, 或对同种的野生群体以及水域生态系统有不利影响等<sup>[2]</sup>。随着人们对这些问题的重视, 负责任渔业资源增殖放流观念开始深入人心, 人们对增殖放流过程中的生态风险也越来越重视。

虽然系统评价增殖放流活动的生态风险、进行有效的生态风险预警和防控已经成为增殖放流领域研究热点<sup>[3]</sup>, 但是国内外对该领域的研究实例并不多见。本研究旨在分析放流生物进入增殖水域后其生命活动过程对不同层次生态

水平的影响, 应用层次分析法构建增殖放流生态风险评价体系, 并以5种增殖放流的底栖动物为例进行了生态风险评价。本研究可为今后增殖放流活动的生态风险评价提供参考。

### 1 方法与数据

#### 1.1 指标筛选与指标体系构建

以放流生物进入增殖水域以后的生命活动过程为基础, 综合考虑放流生物的生态学特征, 分析其对种群、群落、生态、环境4个层次的风险, 设计4个一级指标和9个二级指标。

#### 1.2 层次分析法

层次分析法将人的思维过程层次化、数量化, 并以数学为分析、决策、预报或控制提供定量的依据。它为分析复杂的社会、经济科学管理领域中的问题提供了一种新的、简洁的、可使用的决策方法<sup>[4]</sup>。层次分析法计算权重的过程包括建立递阶层次结构的模型、构造判断矩阵, 判断矩阵的一致性检验, 通过矩阵计算得出各指标权重。本研究在咨询相关专家意见基础上, 利用Yaahp层次分析法软件计算各指标权重。

收稿日期: 2015-05-28 修回日期: 2015-09-12

资助项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项(201205021-1); 国家贝类产业技术体系专项(CARS-48); 国家科技基础条件平台建设运行项目

通信作者: 曾志南, E-mail: xmzsn@sina.com

### 1.3 数据来源

本研究的基础数据来源于项目组对各放流海域的基础环境、生态调查，包括海流、水质、沉积物、浮游植物、底栖生物，以及放流对象资源现状调查。各专家在了解放流资料的基础上，按照层次分析法(analytic hierarchy process)的规则对各指标进行两两比较，以计算各指标权重( $P_i$ )。

各指标除了应用层次分析法确定权重( $P_i$ )，还需要为各指标赋值( $X_i$ )，系统总的风险值：

$$R = \sum P_i \times X_i$$

本体系指标风险赋值划分为5个等级。0分：无风险或风险极低；1分：低风险；2分：中度风险；3分：高风险；4分：极高风险。本研究综合各专家意见按照自设的赋值依据对指标赋值。

## 2 结果

### 2.1 放流生物生态风险分析

放流生物进入增殖水域后的生命活动是一个复杂的生态学过程，涉及人工繁育苗种在自

然海域中的生长和繁殖。一般而言放流种群的遗传多样性较野生种群低，若二者发生生殖交流会对野生种群的遗传结构及其多样性特征带来显著的负面影响<sup>[5-7]</sup>。人工养殖的个体患病可能性通常会显著增高<sup>[8]</sup>，放流人工养殖个体可能带入增殖水域没有的病原，进而传染野生种群<sup>[9-10]</sup>。其次，它们与同生态位的野生种类(包括野生的同种群体)竞争饵料和栖息地，对低营养级生物产生捕食压力，或为高营养级生物提供饵料，即通过食物网对生物群落造成影响<sup>[11]</sup>。再次，在一个生态系统中任何一个种群的变动都会给整个生态系统带来连锁反应，影响到生态系统的能量流动和物质循环，进而影响到生态系统的稳定性<sup>[12]</sup>。而放流活动也可能带来水质和底质环境的变化<sup>[13]</sup>。因此，放流生物对种群、群落、生态、环境4个层次都有潜在的风险(图1)。

### 2.2 评价指标

在分析放流生物生态风险的基础上，参考文献[14-15]，并咨询专家，采用层次分析法建立了种群、群落、生态、环境4个一级指标和9个二级指标，并计算了各指标的权重，构建了增殖放流生态风险评价体系(表1)。放流生物的生态

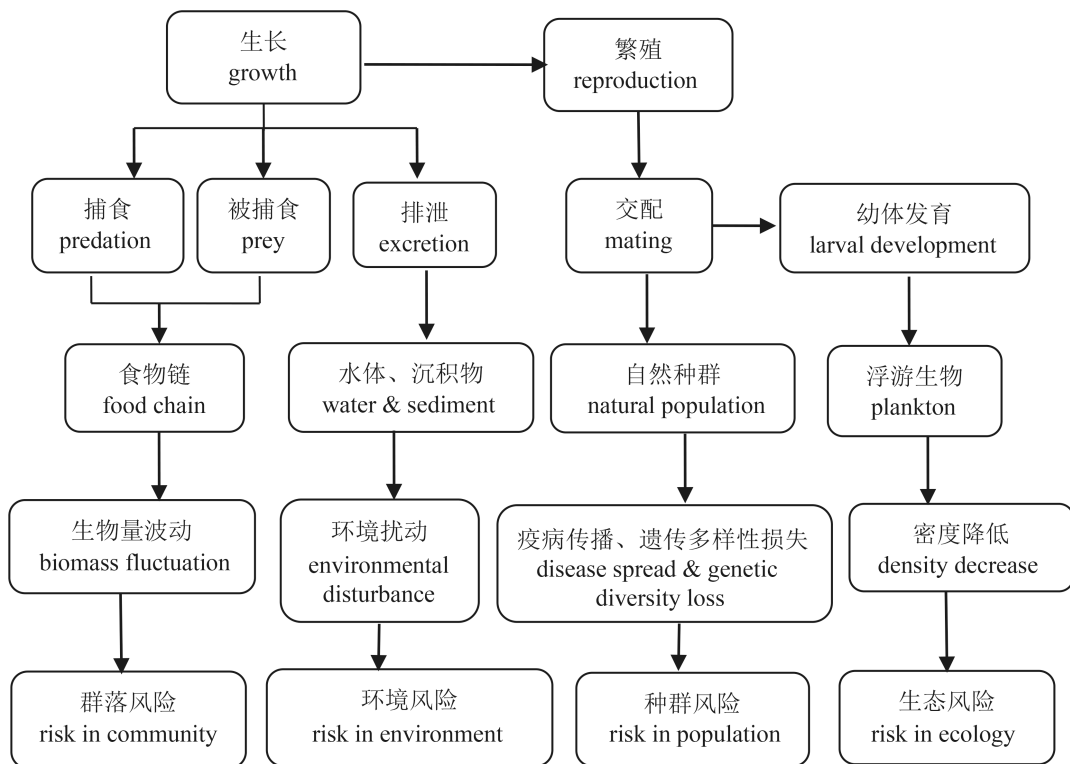


图1 增殖放流生态风险因果链模型图

Fig. 1 The ecological risk identification using the cause-effect chain analysis

表 1 增殖放流生态风险评价体系

Tab. 1 Ecological risk assessment system for stock enhancement

		赋值和依据 valuation and basis
一级指标 primary index	二级指标 secondary index	无风险或极低(0分); 低风险(1分); 中度风险(2分); 高风险(3分); 极高风险(4分) none or very low (0 point); low (1 point); medium (2 points); high (3 points); very high (4 points)
1. 对种群的风险( $p_1$ )	1.1 病害( $p_{11}$ )	养殖过程中不发生病害(0); 很少发生病害(1); 比较少发生病害(2); 较经常发生病害(3); 经常发生病害(4)
1. risk in population ( $p_1$ )	1.1 disease ( $p_{11}$ )	
	1.2 遗传多样性( $p_{12}$ )	怀卵量很少(0); 怀卵量比较少(1); 怀卵量中等(2); 怀卵量很多(3); 怀卵量非常多(4)
	1.2 genetic diversity ( $p_{12}$ )	
2. 对群落的风险( $p_2$ )	2.1 同营养级生物( $p_{21}$ )	放流数量很少(0); 比较少(1); 中等(2); 很多(3); 非常多(4)
2. risk in community ( $p_2$ )	2.1 same trophic level( $p_{21}$ )	
	2.2 上营养级生物( $p_{22}$ )	掠食(0); 草食(1); 滤食(2); 腐食(3); 生产者(4)
	2.2 higher trophic level ( $p_{22}$ )	
	2.3 下营养级生物( $p_{23}$ )	生产者(0); 腐食(1); 滤食(2); 草食(3); 掠食(4);
	2.3 lower trophic level ( $p_{23}$ )	
3. 对生态的风险( $p_3$ )	3.1 浮游生物( $p_{31}$ )	香浓-维纳指数 $H'$ (以 $\log_2$ 为底): $4 \leq H'(0)$ ; $3 \leq H' < 4(1)$ ; $2 \leq H' < 3(2)$ ; $1 \leq H' < 2(3)$ ;
3. risk in ecology ( $p_3$ )	3.1 plankton ( $p_{31}$ )	$0 \leq H' < 1(4)$
	3.2 底栖生物( $p_{32}$ )	香浓-维纳指数 $H'$ (以 $\log_2$ 为底): $4 \leq H'(0)$ ; $3 \leq H' < 4(1)$ ; $2 \leq H' < 3(2)$ ; $1 \leq H' < 2(3)$ ;
	3.2 benthos ( $p_{32}$ )	$0 \leq H' < 1(4)$
4. 对环境的风险( $p_4$ )	4.1 水体( $p_{41}$ )	海水水质标准(GB 3097-1997): 第一类(1); 第二类(2); 第三类(3); 第四类(4)
4. risk in environment ( $p_4$ )	4.1 water body ( $p_{41}$ )	
	4.2 沉积物( $p_{42}$ )	海洋沉积物质量(GB 18668-2002): 第一类(1); 第二类(2); 第三类(3)
	4.2 sediment ( $p_{42}$ )	

风险在该体系不同层次中有不同的风险概率, 而总的生态风险则是这些风险的累加。

对一级指标的说明: ①对种群的风险: 放流生物对放流水域野生种群的风险是最直接的潜在风险。风险主要来自2个方面: 一是通过与野生种群的杂交从而影响其遗传多样性。二是通过病原的传播影响野生种群的健康状况。②对群落的风险: 放流生物通过放流水域进入食物网后对不同营养层次的类群产生影响。可能与同营养级的类群产生竞争, 对低营养级产生捕食压力, 为高营养级提供饵料, 影响各营养层次的生物量, 进而影响到放流水域食物网结构的稳定。③对生态的风险: 放流生物改变原水域生物类群的比例, 调整食物网的结构, 从而影响到水域生态系统的物质循环和能量流动。但是用于表征生态系统的指标很少, 本研究应用浮游植物和底栖动物两个生态类群的多样性指数来表征生态系统的整体状况。面对相同的风险, 生态系统状况越好, 受到外界影响的程度越小。④对环境的风险: 放流生物的生命活动特别是排泄过程可能对水体水质和沉积物质量产生影响。面对同样的风险, 水域环境质量状况越差的水域, 受到的影响越大。

### 2.3 5种底栖动物增殖放流生态风险评价

根据现场调查数据, 参考相关文献[14-15]

及咨询专家意见, 构建判断矩阵, 结合Yaahp软件计算权重, 并为各指标赋值(表2)。参考国外有害生物等级划分体系<sup>[16-17]</sup>, 设定风险等级标准: 低风险 $0 \leq R \leq 1.5$ , 中风险 $1.5 < R \leq 2.5$ , 高风险 $2.5 < R \leq 3.5$ , 极高风险 $3.5 < R \leq 4$ 。

结果表明, 评价的5种底栖动物增殖放流的生态风险值均小于2, 风险等级为“低”或者“中”, 该结果与以往增殖放流工作的实际情况相符。因为, ①放流地点原先均为放流生物的原栖息地, 生态系统中存在放流生物的天敌, 放流生物不会出现如外来入侵生物一样的暴发式增殖, 给生态带来巨大的冲击。②这5种放流生物均为低等无脊椎底栖动物, 生态位较低, 食物来源多为微藻和有机质颗粒, 对食物链的干扰较小。③按照我国增殖放流规范, 放流生物均为野生群体的子一代, 减小了对野生群体遗传多样性的影响。

西施舌(*Macra antiquata*)、波纹巴非蛤(*Paphia undulate*)、韩国文蛤(*Meretrix lamarckii*)均为底栖双壳贝类, 它们的生态位相似, 但是它们的风险值却有差别。波纹巴非蛤风险值最低, 这主要是因为它怀卵量较少, 需要较多的亲体才能实现规模化人工繁育, 这样就增加了放流群体的基因多样性, 从而减少了对野生群体遗传多样性的影响。与之相反, 西施舌和韩

表 2 5种底栖动物增殖放流生态风险评价

Tab. 2 Risk grade judgment of 5 zoobenthos in stock enhancement

指标 index	对总目标 权重 $P_i$ weight	底栖动物 zoobenthos				
		泥东风螺 <i>Babylonia lutosa</i> (福建连江黄岐湾海域)	西施舌 <i>Coelomactra antiquata</i> (福建霞浦下浒海域)	紫海胆 <i>Anthocardaris crassispina</i> (广东大亚湾海域)	波纹巴非蛤 <i>Paphia undulate</i> (福建云霄县烈屿镇 浅海海域)	韩国文蛤 <i>Meretrix lamarckii</i> (浙江苍南县渔寮乡海域)
$p_{11}$	0.10	2	1	2	2	2
$p_{12}$	0.37	1	2	1	1	2
$p_{21}$	0.17	2	2	2	2	2
$p_{22}$	0.03	0	2	0	2	2
$p_{23}$	0.19	4	2	4	2	2
$p_{31}$	0.01	1	2	1	2	2
$p_{32}$	0.08	0	2	3	1	1
$p_{41}$	0.01	1	1	1	1	2
$p_{42}$	0.04	1	1	1	1	1
$p_1$	0.47	0.57	0.84	0.57	0.57	0.94
$p_2$	0.39	1.10	0.78	1.10	0.78	0.78
$p_3$	0.09	0.01	0.18	0.25	0.10	0.10
$p_4$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
$R$		1.73	1.85	1.97	1.50	1.88
风险 等级		中	中	中	低	中

注:  $p$ 对应表1中各指标

Notes:  $p$  corresponds to the indicators in table 1

国文蛤的怀卵量较大,对野生群体遗传多样性影响的可能性较大,所以风险值为“中”。

泥东风螺(*Babylonia lutosa*)的怀卵量也不多,对野生群体遗传多样性的影响较小。但它是肉食性动物,对低营养级的影响较西施舌等双壳贝类大。与泥东风螺相似的是紫海胆(*Anthocardaris crassispina*),这两种生物各指标赋值情况类似,但根据项目组2012年春季底栖生物生态调查,紫海胆放流海域底栖生物多样性状况(平均 $H'$ 为1.855)不及泥东风螺放流海域(平均 $H'$ 为3.909),紫海胆放流地生态系统更脆弱,放流风险上升,另外,紫海胆也较泥东风螺更容易形成种群规模,对食物链各营养级影响较大,所以其生态风险值比泥东风螺高。

### 3 讨论

“生态风险”特指对非人类的生物体、种群和生态系统造成的风险。生态风险评价的一般

程序中主要包括选择终点、定性和定量描述风险源、鉴别和描述环境效应、采用适宜的环境迁移模型、评估暴露的时空模式、定量计算生物暴露水平与效应之间的相关性和综合以上步骤而得的最终风险评价<sup>[18]</sup>,即风险源识别和表征、风险受体选取和评价、暴露和危害评价、生态风险综合评价<sup>[19]</sup>。当前有关生态风险评价的研究内容主要是评价污染物和环境灾害可能给生态系统及其组分带来的概率损失,也以污染物和环境灾害作为主要的风险源<sup>[19-21]</sup>。以生物为风险源的风险评估主要集中在对有害生物<sup>[22]</sup>和入侵生物<sup>[23-24]</sup>的研究中。如吴文广等<sup>[25]</sup>以莱州湾泥螺(*Bullacta exarata*)为对象应用层次分析法评估其生态安全风险,认为泥螺具一定风险,可以引种但要加强监管;马英等<sup>[15]</sup>对7种典型海洋外来种进行了风险评估,结果表明,互花米草(*Spartina alterniflora*)和对虾白斑病毒(white spot baculovirus)为极高风险等级,沙筛贝(*Mytilopsis*

sallei)、米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)和帕金虫(*Perkinsus* sp.)为高风险等级,罗非鱼(*Oreochromis* sp.)为中风险等级,大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)为低风险等级。在国内,随着人们对“负责任增殖放流”理念的接受,许多学者提出要对增殖放流中生态风险加以防控<sup>[26-28]</sup>,但是实例研究仍未见报道。

放流苗种对野生群体在遗传和疫病方面的基础研究数据缺乏,关于增殖放流对增殖水域生态系统结构和功能影响的研究也不完善,而按常规的生态风险评价过程来进行很难解决增殖放流这种多风险源、复杂风险受体的综合风险评价问题<sup>[29]</sup>,所以本研究在分析增殖放流生物在物种、群落、生态系统、环境多个层次上对水域生态系统的胁迫机制上,应用层次分析法这种因子权重法对增殖放流的生态风险作多指标综合评价。本研究各级指标的权重是在咨询专家意见的基础上应用层次分析法获得,遗传(权重37%)、低营养级(权重19%)、同营养级(权重17%)和病害(权重10%)这四项指标占到了总权重的绝大部分,这与目前主流研究趋势相符。因为现在对增殖放流风险的研究主要集中在对野生种群的影响上,增殖放流对野生种群的胁迫大致分为3方面:与野生种群间生态竞争影响其种群规模;与野生种群杂交影响其遗传多样性和生态适合度;通过传播疫病影响野生种群的健康状况。而放流生物,特别是高营养级的生物通过下行控制效应对低营养层次生物产生影响,也同样受到关注<sup>[28]</sup>。

本研究表明,今后增殖放流应该按照《水生生物增殖放流管理规定》的要求进行:亲体采用野生个体,尽量提高亲体的数量,增加遗传多样性;控制养殖过程中病害的发生,发生过病害的苗种不适合放流;结合历史捕捞记录,研究放流海区的容纳量,特别是对高营养级的物种,要控制好放流的规模和数量。

本研究以层次分析法为基础,为增殖放流生态风险评价提供了一种简便的方法。层次分析法是一种模拟人的思维过程的工具,为分析问题的思考过程提供了一种数学表达及数学处理的方法<sup>[4]</sup>,但是它的基础仍然是人的主观判断。同时增殖放流活动是一个复杂的生态学过程,目前对其研究仍然不够,基础资料相对欠缺,因此今后还需进一步深入研究。

感谢各位专家在指标权重和指标赋值环节中提供的意见和支持。

#### 参考文献:

- [1] Bell J D, Leber K M, Blankenship H L, et al. A new era for restocking, stock enhancement and sea ranching of coastal fisheries resources[J]. *Reviews in Fisheries Science*, 2008, 16(1-3): 1-9.
- [2] Araki H, Schmid C. Is hatchery stocking a help or harm?: evidence, limitations and future directions in ecological and genetic surveys[J]. *Aquaculture*, 2010, 308(S1): S2-S11.
- [3] Lorenzen K, Leber K M, Blankenship H L. Responsible approach to marine stock enhancement: An update[J]. *Reviews in Fisheries Science*, 2010, 18(2): 189-210.
- [4] 杜栋, 庞庆华. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.  
Du D, Pang Q H. Modern comprehensive evaluation method and case selection[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005(in Chinese).
- [5] Lynch M, O'Hely M. Captive breeding and the genetic fitness of natural populations[J]. *Conservation Genetics*, 2001, 2(4): 363-378.
- [6] Verspoor E. Reduced genetic variability in first-generation hatchery populations of Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 1988, 45(10): 1686-1690.
- [7] Cross T F, King J. Genetic effects of hatchery rearing in Atlantic salmon[J]. *Aquaculture*, 1983, 33(1-4): 33-40.
- [8] 赵法箴. 中国水产健康养殖的关键技术研究[J]. *海洋水产研究*, 2004, 25(4): 1-5.  
Zhao F Z. Researches on key technology of healthy aquaculture in China[J]. *Marine Fisheries Research*, 2004, 25(4): 1-5 (in Chinese).
- [9] Olivier G. Disease interactions between wild and cultured fish-perspectives from the American Northeast (Atlantic Provinces)[J]. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 2002, 22(2): 103-109.
- [10] Bartley D M, Bondad-Reantaso M G, Subasinghe R P. A risk analysis framework for aquatic animal health management in marine stock enhancement programmes[J]. *Fisheries Research*, 2006, 80(1): 28-36.
- [11] Cudmore-Vokey B, Crossman E J. Checklists of the Fish Fauna of the Laurentian Great Lakes and Their Connecting Channels[M]. Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2550, Burlington,

- Ontario: Fisheries and Oceans Canada, 2000.
- [12] Huryn A D. Ecosystem-level evidence for top-down and bottom-up control of production in a grassland stream system[J]. *Oecologia*, 1998, 115(1-2): 173-183.
- [13] Findlay D L, Vanni M J, Paterson M, *et al.* Dynamics of a boreal lake ecosystem during a long-term manipulation of top predators[J]. *Ecosystems*, 2005, 8(6): 603-618.
- [14] 欧健, 卢昌义. 厦门市外来植物入侵风险评价指标体系的研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2006, 45(6): 883-888.
- Ou J, Lu C Y. The research of alien plants risk assessment system in Xiamen municipality[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2006, 45(6): 883-888 (in Chinese).
- [15] 马英, 熊何健, 林源洪, 等. 外来海洋物种入侵风险评估体系的构建[J]. 水产学报, 2009, 33(4): 617-623.
- Ma Y, Xiong H J, Lin Y H, *et al.* Construction of invasive risk assessment system for alien marine species[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2009, 33(4): 617-623 (in Chinese).
- [16] Daehler C C, Denslow J S, Ansari S, *et al.* A risk - assessment system for screening out invasive pest plants from Hawaii and other Pacific islands[J]. *Conservation Biology*, 2004, 18(2): 360-368.
- [17] Weber E, Gut D. Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe[J]. *Journal of Nature Conservation*, 2004, 12(3): 171-179.
- [18] Barnthouse L W, Suter G W. User's manual for ecological risk assessment[R]. ORNL 6251, 1986.
- [19] 常青, 邱瑶, 谢苗苗, 等. 基于土地破坏的矿区生态风险评价: 理论与方法[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5164-5174.
- Chang Q, Qiu Y, Xie M M, *et al.* Theory and method of ecological risk assessment for mining areas based on the land destruction[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 5164-5174 (in Chinese).
- [20] 朱琳, 佟玉洁. 中国生态风险评价应用探讨[J]. 安全与环境学报, 2003, 3(3): 22-24.
- Zhu L, Tong Y J. Case research and issue discussion of ecological risk assessment[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2003, 3(3): 22-24 (in Chinese).
- [21] 潘雅婧, 王仰麟, 彭建, 等. 矿区生态风险评价研究述评[J]. 生态学报, 2012, 32(20): 6566-6574.
- Pan Y J, Wang Y L, Peng J, *et al.* Research progress in ecological risk assessment of mining area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(20): 6566-6574 (in Chinese).
- [22] 郭晓华, 齐淑艳, 周兴文, 等. 外来有害生物风险评估方法研究进展[J]. 生态学杂志, 2007, 26(9): 1486-1490.
- Gou X H, Qi S Y, Zhou X W, *et al.* Research progress on alien pest risk assessment methods[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(9): 1486-1490 (in Chinese).
- [23] 向言词, 彭少麟, 任海, 等. 植物外来种的生态风险评估和管理[J]. 生态学杂志, 2002, 21(5): 40-48.
- Xiang Y C, Peng S L, Ren H, *et al.* Management and ecological risk assessment of exotic plants[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(5): 40-48 (in Chinese).
- [24] 马晔, 沈珍瑶. 外来植物的入侵机制及其生态风险评估[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 983-988.
- Ma Y, Shen Z Y. Exotic plant invasion and its ecological risk assessment[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(8): 983-988 (in Chinese).
- [25] 吴文广, 张继红, 魏龔伟, 等. 莱州湾泥螺生态安全风险评估—基于AHP的YAAHP软件实现[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1601-1610.
- Wu W G, Zhang J H, Wei Y W, *et al.* The ecological risk assessment of *Bullacta exarata* in Laizhou Bay: The YAAHP software implementation based on AHP[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1601-1610 (in Chinese).
- [26] 李继龙, 王国伟, 杨文波, 等. 国外渔业资源增殖放流状况及其对我国的启示[J]. 中国渔业经济, 2009, 27(3): 111-123.
- Li J L, Wang G W, Yang W B, *et al.* Fish resource enhancement abroad[J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2009, 27(3): 111-123 (in Chinese).
- [27] 程家骅, 姜亚洲. 海洋生物资源增殖放流回顾与展望[J]. 中国水产科学, 2010, 17(3): 610-616.
- Cheng J H, Jiang Y Z. Marine stock enhancement: Review and prospect[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(3): 610-616 (in Chinese).
- [28] 姜亚洲, 林楠, 杨林林, 等. 渔业资源增殖放流的生态风险及其防控措施[J]. 中国水产科学, 2014, 21(2): 413-422.
- Jiang Y Z, Lin N, Yang L L, *et al.* The ecological risk of stock enhancement and the measures for prevention and control[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(2): 413-422 (in Chinese).
- [29] 陈辉, 刘劲松, 曹宇, 等. 生态风险评价研究进展[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1558-1566.
- Chen H, Liu J S, Cao Y, *et al.* Progresses of ecological risk assessment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1558-1566 (in Chinese).

## Construction of ecological risk assessment system for stock enhancement in zoobenthos

QI Jianfei, ZENG Zhinan\*, NING Yue, WU Qisheng

(Key Laboratory of Cultivation and High-Value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province,  
Fujian Collaborative Innovation Center for Exploitation and Utilization of Marine Biological Resources,  
Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361000, China)

**Abstract:** To assess the ecological risk of stock enhancement, an ecological risk assessment (ERA) system was constructed based on the analysis of the past literatures, field survey and expert consultancy. The system constructed using analytic hierarchy process (AHP) method was applied to 5 zoobenthos. The results showed that: the risk grade of *Coelomactra Antiquata*, *Anthocardaris crassispina*, *Meretrix lamarckii*, *Babylonia lutosa* was medium, and that of *Paphia undulate* was low. The construction of this risk assessment system will provide beneficial suggestions in the future stock enhancement.

**Key words:** zoobenthos; stock enhancement; ecological risk assessment; analytic hierarchy process

**Corresponding author:** ZENG Zhinan. E-mail: xmzsn@sina.com

**Funding projects:** Public Science and Technology Research Funds Projects of Ocean (201205021-1); China Agriculture Research System (CARS-48); National Science & Technology Infrastructure Project