

文章编号: 1674-5566(2018)04-0553-11

DOI:10.12024/jsou.20171002155

## 宁德沿海赤潮灾害风险状况研究

谢宏英<sup>1,2</sup>, 王金辉<sup>3</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 国家海洋局东海预报中心, 上海 200136; 3. 国家海洋局东海分局, 上海 200137)

**摘要:** 以宁德 4 个沿海县市为研究对象, 基于评价指标主导性、可度量性和易获得性等原则建立了赤潮灾害风险评估指标体系, 采用熵权法确定了各评估指标的权重, 建立了赤潮灾害致灾因子危险度、承灾体易损度和赤潮灾害风险模型, 并在 GIS 平台上实现了评估结果的可视化。结果表明, 福鼎沿海和霞浦沿海的赤潮灾害风险为中, 蕉城沿海和福安沿海的赤潮灾害风险较低, 评估结果与宁德沿海赤潮历史数据、实际情况及相关文献研究相一致。研究可为宁德沿海赤潮灾害监控、防灾减灾及海水养殖提供技术支撑。

**关键词:** 赤潮灾害; 危险度; 易损度; 风险; 宁德沿海

**中图分类号:** X 55      **文献标志码:** A

赤潮是海洋中的一些生物在一定的环境条件下爆发性增殖或聚集达到某一水平, 引起海水变色或对海洋中其他生物产生危害的一种生态异常现象。赤潮的发生, 不仅给海洋生态环境带来威胁, 造成海洋食物链局部中断, 破坏了海洋生态平衡, 还给人类的健康和社会的发展造成了损害<sup>[1]</sup>。因此, 研究赤潮发生机制、进行赤潮灾害研究显得尤为必要。

宁德海域自然环境优良, 拥有三都港、沙埕港、三沙湾、福宁湾和晴川湾等众多优良港湾, 海洋资源丰富, 生态类型多样。然而, 近年来宁德海域频频发生赤潮, 严重危害海洋生态平衡和水产资源。2014 年宁德三沙湾赤潮监控区海洋环境监测评价结果显示: 赤潮监控区内水体大部分的磷酸盐、无机氮含量只能满足三类或四类海水水质标准, 个别站位甚至为超四类海水水质标准, 各站位在监控月份大都处于富营养化中较高的水平, 极易引发赤潮, 影响海洋经济的发展。

过去对宁德沿海相关海域的海洋生态环境质量、生物群落、赤潮的特征、成因和预测等方面虽有研究<sup>[2-6]</sup>, 但对其赤潮灾害风险状况研究尚

未见报道。鉴于此, 本文依据宁德沿海具体实际构建了宁德沿海赤潮灾害风险评估指标体系, 运用熵权法确定各指标权重, 并建立了赤潮灾害致灾因子危险度模型、赤潮灾害承灾体易损度模型和赤潮灾害风险模型。最后将上述研究应用于宁德沿海, 得出了宁德各沿海县市的赤潮灾害风险, 为宁德沿海赤潮管理及海产养殖业规划提供依据。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 研究海域

宁德海域位于我国东南南部, 拥有九百多公里长的海岸线, 四万多公顷的滩涂面积, 海洋生物资源十分丰富, 为海水养殖业提供了良好的条件, 是海洋经济项目开发的黄金区域<sup>[7]</sup>。位于宁德沿海的三沙湾海域是福建省六大天然深水良港之一, 是福建乃至全国最大的大黄鱼养殖基地<sup>[8-9]</sup>。

本文研究海域范围为宁德沿海, 为研究方便, 将整个研究范围从北到南分为福鼎沿海、霞浦沿海、福安沿海和蕉城沿海(图 1)。

收稿日期: 2017-10-22      修回日期: 2017-12-27

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目(201305027)

作者简介: 谢宏英(1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为海洋生态灾害的风险评估。E-mail: hyxie113@hotmail.com

通信作者: 王金辉, E-mail: wangjinhui@eastsea.gov.cn

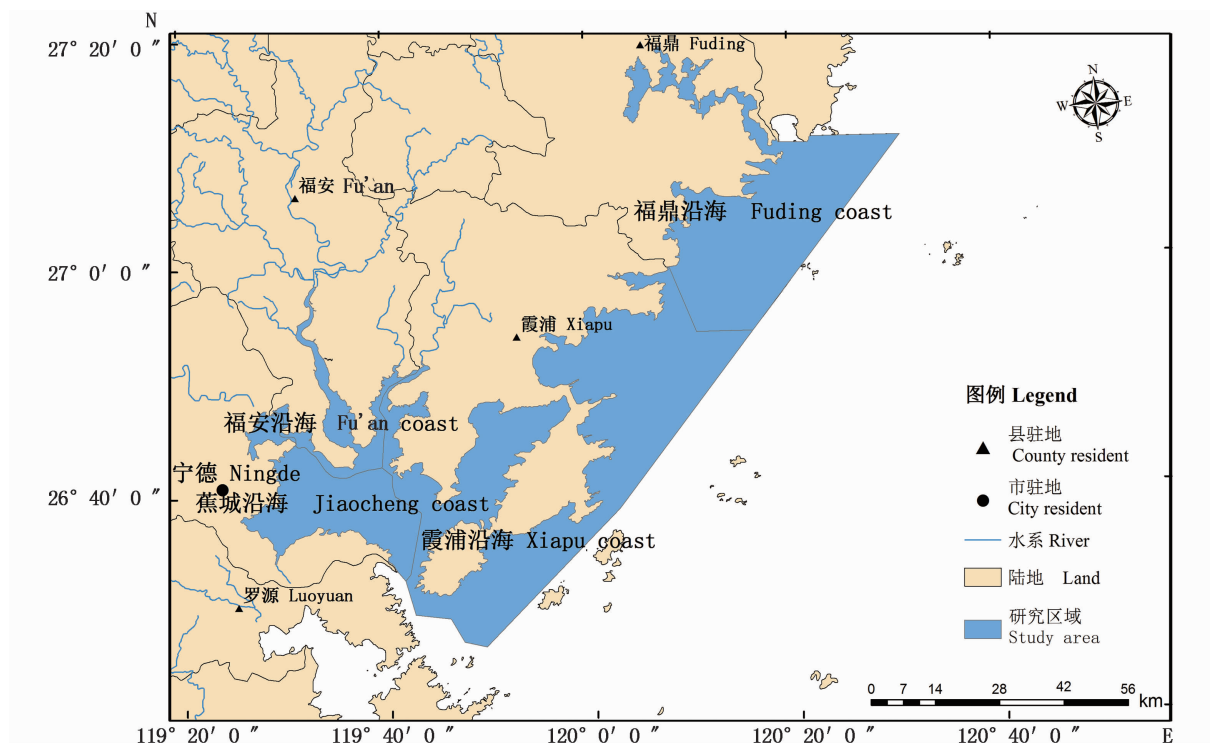


图1 研究区域

Fig. 1 Study area

## 1.2 数据收集

赤潮发生的历史数据资料来源于《中国赤潮灾害调查与评价(1933-2009)》<sup>[10]</sup>,统计了2000—2009年这10年发生于宁德沿海赤潮的发生时间、地点及范围(表1)。由表1可知2000—2009年霞浦沿海赤潮发生次数为20次,福鼎沿海赤潮发生次数为10次,蕉城沿海和福安沿海分别为2次和1次;从总体上看,发生于霞浦沿海和福鼎沿海的赤潮在总持续时间和总范围上显著大于福安沿海和蕉城沿海。

赤潮灾害承灾体数据来源于福建省宁德市海洋与渔业局2015年的《福建省渔业统计报表制表制度》。宁德优越的自然条件繁衍了大量海洋生物资源,宁德海域鱼、虾、蟹、贝类资源丰富,除传统的蛎、蚶、蛤、蛸四大贝类外,还引进太平洋蛎、鲍鱼、贻贝等养殖品种<sup>[11]</sup>。宁德特殊的经济产业决定了海产养殖业是赤潮发生时最直接且最重要的承灾体。鉴于此,本文选取鱼类、虾类、蟹类、贝类及其他海水养殖品这五类主要的海产品作为承灾体指标收集数据。

表1 2000—2009年宁德各沿海的赤潮发生情况

Tab. 1 The occurrence of harmful algal blooms in the coastal area of Ningde from 2000 to 2009

研究海域 Study area	赤潮发生总次数 Total frequency of the occurrence of harmful algal blooms	总持续时间/d Total duration	总面积/km <sup>2</sup> Total area
霞浦沿海 Xiapu coast	20	95	2143
福鼎沿海 Fuding coast	10	58	1977
蕉城沿海 Jiaocheng coast	2	5	12.5
福安沿海 Fuan coast	1	5	150

## 1.3 方法

### 1.3.1 指标体系的构建

本文从赤潮灾害致灾因子危险度和承灾体

易损度两个方面建立评价指标体系。

赤潮灾害危险度与赤潮发生的次数、持续时间以及范围成正相关关系,因此本文选取赤潮发

生次数、持续时间和范围作为赤潮灾害致灾因子危险度指标。

赤潮对海洋生态环境的不良影响最直观表现在对渔业的危害上,特别是对海产养殖业构成严重的威胁。赤潮发生时可使养殖的鱼、虾、贝

类等大量死亡,在封闭性较强的海湾,甚至可以造成养殖生物的全军覆没<sup>[12]</sup>。

在以上分析的基础上结合评价指标主导性、可度量性和易获取的原则构建了宁德沿海赤潮灾害风险评估指标体系见表2。

表 2 宁德沿海赤潮灾害风险评估指标体系

Tab.2 Risk assessment index system of harmful algal blooms disaster along Ningde coast

准则层 Criteria layer	子准则层 Sub-criteria layer	指标层 Indicator layer
致灾因子危险度(H) Hazard degree of disaster causing factors(H)	灾害(H <sub>1</sub> ) Disaster(H <sub>1</sub> )	赤潮发生次数(H <sub>11</sub> ) Occurrence frequency of harmful algal blooms(H <sub>11</sub> ) 持续时间(H <sub>12</sub> ) Duration(H <sub>12</sub> ) 面积(H <sub>13</sub> ) Area(H <sub>13</sub> )
	鱼类(V <sub>1</sub> ) Fish(V <sub>1</sub> )	大黄鱼(V <sub>11</sub> ) <i>Pseudosciaena crocea</i> (V <sub>11</sub> ) 鲈鱼(V <sub>12</sub> ) <i>Lateolabrax japonicus</i> (V <sub>12</sub> ) 鲷鱼(V <sub>13</sub> ) Bream(V <sub>13</sub> ) 石斑鱼(V <sub>14</sub> ) <i>Epinephelus</i> (V <sub>14</sub> ) 美国红鱼(V <sub>15</sub> ) <i>Sciaenops ocellatus</i> (V <sub>15</sub> ) 其他鱼类(V <sub>16</sub> ) Other fishes(V <sub>16</sub> )
承灾体易损度(V) Vulnerability degree of disaster-bearing body(V)	虾类(V <sub>2</sub> ) Shrimp(V <sub>2</sub> )	南美白对虾(V <sub>21</sub> ) <i>Penaeus vannamei</i> (V <sub>21</sub> ) 中国对虾(V <sub>22</sub> ) <i>Penaeus chinensis</i> (V <sub>22</sub> ) 其他虾类(V <sub>23</sub> ) Other shrimps(V <sub>23</sub> )
	蟹类(V <sub>3</sub> ) Crab(V <sub>3</sub> )	梭子蟹(V <sub>31</sub> ) <i>Portunus</i> (V <sub>31</sub> ) 青蟹(V <sub>32</sub> ) <i>Scylla serata</i> (V <sub>32</sub> ) 其他蟹类(V <sub>33</sub> ) Other crabs(V <sub>33</sub> )
	其他海水养殖品(V <sub>4</sub> ) Other mariculture(V <sub>4</sub> )	
	贝类(V <sub>5</sub> ) Shellfish(V <sub>5</sub> )	牡蛎(V <sub>51</sub> ) Oyster(V <sub>51</sub> ) 鲍鱼(V <sub>52</sub> ) Abalone(V <sub>52</sub> ) 蚶(V <sub>53</sub> ) Clam(V <sub>53</sub> ) 蛸(V <sub>54</sub> ) Razor clam(V <sub>54</sub> ) 其他贝类(V <sub>55</sub> ) Other shellfishes(V <sub>55</sub> )

1.3.2 指标权重的确定

在赤潮灾害风险评估中,指标权重的确定是一项重要的内容,对评价结果有重要影响。目前在赤潮灾害风险评估研究中,绝大多数学者采用层次分析法和德尔菲法确定指标权重,两种方法可以归于一类,都是基于专家群体的知识、经验和价值判断,且不需要具备样本数据,对一些定性的模糊指标仍可做出判断,只是层次分析法对专家的主观判断进一步做了数学处理,使之更科学,但专家经验、知识的局限性并未消除;而熵值法是根据样本数据自身的信息特征做出判断,是一种客观赋权的方法,它通过计算指标的信息熵,根据指标的相对变化程度对系统整体的影响来决定指标的权重,相对变化程度大的指标具有较大的权重。由于深刻地反映了指标信息熵值的效用价值,其给出的指标权值比层次分析法和

德尔菲法有更高的可信度<sup>[13]</sup>,基于此本文采用熵权法确定各指标权重。熵权法确定指标权重的基本步骤如下<sup>[14]</sup>:

(1)原始数据的收集与整理

假设有 m 个评价指标, n 个评价对象得到评价系统的初始数据矩阵为

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad X = \{x_{ij}\}_{m \times n}$$

$$(0 \leq i \leq m, 0 \leq j \leq n) \tag{1}$$

式中: x<sub>ij</sub> 为第 j 个评价对象第 i 个评价指标的数值。

(2)初始数据矩阵标准化处理

由于各指标的量纲、数量级均有差异,为消除因量纲不同对评价结果的影响,需要对各指标

进行标准化处理得到标准化矩阵

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

式中: $r_{ij}$ 为第 $j$ 个评价对象在第 $i$ 个评价指标上的标准值, $r_{ij} \in (0,1)$ ,对于评价指标的值为越大越好的收益性指标则有

$$r_{ij} = \{ [x_{ij} - \min_j(x_{ij})] / [\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})] \} \quad (3)$$

对评价指标的值是越小越好的成本性指标则有

$$r_{ij} = \{ [\max_j(x_{ij}) - x_{ij}] / [\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})] \} \quad (4)$$

式中: $\max_j(x_{ij})$ 为最大值; $\min_j(x_{ij})$ 为最小值。

(3)定义熵 在有 $m$ 个指标, $n$ 个被评价对象的评估中,第 $i$ 个指标的熵定义为

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

式中: $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij}$ ,  $k = 1/\ln n$ , 当 $f_{ij} = 0$ 时,令 $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。

(4)定义熵权 第 $i$ 个指标的熵权为

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (6)$$

式中: $0 \leq w_i \leq 1$ ,  $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ 。

### 1.3.3 赤潮灾害风险评估模型的建立

(1)致灾因子危险度模型

$$H = \sum_{i=1}^m w_i r_i \quad (7)$$

式中: $H$ 为致灾因子危险度; $w_i$ 为熵权法确定的指标权重; $r_i$ 为原始数据标准化数值。

采用目前比较先进的颜色等级表示法来划分致灾因子危险度评估结果(表3)。

表3 致灾因子危险度等级

Tab.3 Hazard degree level of disaster causing factors

分类等级 Classification level	危险度范围 Range of hazard degree	危险度 Hazard degree	颜色 Color
1级 Level 1	0.7 ~ 1.0	极高	红色
2级 Level 2	0.5 ~ 0.7	高	黄色
3级 Level 3	0.3 ~ 0.5	中	绿色
4级 Level 4	0 ~ 0.3	低	蓝色

(2)承灾体易损度模型

$$V = \sum_{i=1}^m W_i R_i \quad (8)$$

式中: $V$ 为承灾体易损度; $W_i$ 为熵权法确定的指

标权重; $R_i$ 为原始数据标准化数值。

同样用颜色等级法划分承灾体易损度等级(表4)。

表4 承灾体易损度等级

Tab.4 Vulnerability level of disaster-bearing body

分类等级 Classification level	易损度范围 Range of vulnerability	易损度 Vulnerability	颜色 Color
1级 Level 1	0.7 ~ 1.0	极高	红色
2级 Level 2	0.5 ~ 0.7	高	黄色
3级 Level 3	0.3 ~ 0.5	中	绿色
4级 Level 4	0 ~ 0.3	低	蓝色

(3)赤潮灾害风险模型

赤潮灾害风险采用1991年联合国人道主义事务部提出的模型进行计算

$$R = H \times V \quad (9)$$

式中: $R$ 为风险度; $H$ 为致灾因子危险度; $V$ 为承灾体易损度。

赤潮灾害风险等级也用颜色等级法进行划分(表5)。

表5 赤潮灾害风险等级

Tab.5 Risk level of harmful algal blooms disaster

分类等级 Classification level	风险度范围 Range of risk	风险度 Risk	颜色 Color
1级 Level 1	0.7 ~ 1.0	极高	红色
2级 Level 2	0.5 ~ 0.7	高	黄色
3级 Level 3	0.3 ~ 0.5	中	绿色
4级 Level 4	0 ~ 0.3	低	蓝色

## 2 结果与分析

### 2.1 原始数据标准化

采用公式(3)对致灾因子危险度与承灾体易损度原始数据进行标准化处理,标准化结果见表6~7。

表6 致灾因子原始数据标准化

Tab.6 Standardization of raw data of disaster causing factors

区域 Study area	赤潮发生次数 Occurrence frequency of harmful algal blooms	持续时间 Duration	面积 Area
蕉城沿海 Jiaocheng coast	0.053	0.000	0.000
福鼎沿海 Fuding coast	0.526	0.689	0.936
霞浦沿海 Xiapu coast	1.000	1.000	1.000
福安沿海 Fu'an coast	0.000	0.000	0.065

### 2.2 指标体系权重计算结果

将表6、7中数据代入公式(5)、(6)中,得到

各指标权重结果如表 8。

表 7 承灾体原始数据标准化

Tab. 7 Standardization of raw data of disaster-bearing body

区域 Study area	鱼类养殖产量 Fish culture production						虾类养殖产量 Shrimp culture production			蟹类养殖产量 Crab culture production			其他海 水养殖 品产量 Other mari- cul- ture pro- duction	贝类养殖面积 Shellfish culture area				
	大黄鱼 <i>Pseu- doscia crocea</i>	鲈鱼 <i>Lateol- abrax japoni- cus</i>	鲷鱼 <i>Brea- m</i>	石斑鱼 <i>Epi- nep- elus</i>	红鱼 <i>Sci- aenops ocel- latus</i>	其他 鱼类 <i>Other fishes</i>	南美 白对虾 <i>Pe- naeus van- namei</i>	中国 对虾 <i>Pe- naeus chine- nsis</i>	其他 虾类 <i>Other shrim- ps</i>	梭子蟹 <i>Por- tunus</i>	青蟹 <i>Scylla serata</i>	其它 蟹类 <i>Other crabs</i>	牡蛎 <i>Oyst- er</i>	鲍鱼 <i>Aba- lone</i>	蚶 <i>Clam</i>	蛭 <i>Razor clam</i>	其他 贝类 <i>Other shell- fishes</i>	
蕉城 沿海 Jiao- cheng coast	1.000	0.000	0.128	0.277	0.241	0.408	0.064	0.081	1.000	0.000	0.040	0.281	0.374	0.088	1.000	1.000	1.000	0.000
福鼎 沿海 Fuding coast	0.312	1.000	0.517	1.000	1.000	0.556	0.566	1.000	0.141	1.000	1.000	1.000	0.000	0.072	0.003	0.632	0.152	0.638
霞浦 沿海 Xiapu coast	0.368	0.047	1.000	0.000	0.815	1.000	1.000	0.018	0.858	0.316	0.028	0.021	1.000	1.000	0.521	0.000	0.000	1.000
福安 沿海 Fu'an coast	0.000	0.133	0.000	0.294	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.033	0.000	0.000	0.121	0.171	0.343

表 8 指标体系权重

Tab. 8 The weight of indicator system

准则层 Criteria layer	子准则层 Sub-criteria layer	权重 Weight	指标层 Indicator layer	权重 Weight
致灾因子危险度(H) Hazard degree of disaster causing factors(H)	灾害(H <sub>1</sub> ) Disaster(H <sub>1</sub> )	1	赤潮发生次数(H <sub>11</sub> ) Occurrence frequency of harmful algal blooms(H <sub>11</sub> )	0.325
			持续时间(H <sub>12</sub> ) Duration(H <sub>12</sub> )	0.374
			面积(H <sub>13</sub> ) Area(H <sub>13</sub> )	0.302
承灾体易损度(V) Vulnerability degree of disaster-bearing body(V)	鱼类(V <sub>1</sub> ) Fish(V <sub>1</sub> )	0.264	大黄鱼(V <sub>11</sub> ) <i>Pseudosciaena crocea</i> (V <sub>11</sub> )	0.037
			鲈鱼(V <sub>12</sub> ) <i>Lateolabrax japonicus</i> (V <sub>12</sub> )	0.075
			鲷鱼(V <sub>13</sub> ) <i>Bream</i> (V <sub>13</sub> )	0.045
			石斑鱼(V <sub>14</sub> ) <i>Epinephelus</i> (V <sub>14</sub> )	0.041
			美国红鱼(V <sub>15</sub> ) <i>Sciaenops ocellatus</i> (V <sub>15</sub> )	0.036
			其他鱼类(V <sub>16</sub> ) <i>Other fishes</i> (V <sub>16</sub> )	0.031
	虾类(V <sub>2</sub> ) Shrimp(V <sub>2</sub> )	0.182	南美白对虾(V <sub>21</sub> ) <i>Penaeus vannamei</i> (V <sub>21</sub> )	0.051
			中国对虾(V <sub>22</sub> ) <i>Penaeus chinensis</i> (V <sub>22</sub> )	0.089
			其他虾类(V <sub>23</sub> ) <i>Other shrimps</i> (V <sub>23</sub> )	0.042
	蟹类(V <sub>3</sub> ) Crab(V <sub>3</sub> )	0.222	梭子蟹(V <sub>31</sub> ) <i>Portunus</i> (V <sub>31</sub> )	0.060
青蟹(V <sub>32</sub> ) <i>Scylla serata</i> (V <sub>32</sub> )			0.095	
其他蟹类(V <sub>33</sub> ) <i>Other crabs</i> (V <sub>33</sub> )			0.067	
其他海水养殖品(V <sub>4</sub> ) <i>Other mariculture</i> (V <sub>4</sub> )			0.060	
贝类(V <sub>5</sub> ) Shellfish(V <sub>5</sub> )	0.272	牡蛎(V <sub>51</sub> ) <i>Oyster</i> (V <sub>51</sub> )	0.076	
		鲍鱼(V <sub>52</sub> ) <i>Abalone</i> (V <sub>52</sub> )	0.063	
		蚶(V <sub>53</sub> ) <i>Clam</i> (V <sub>53</sub> )	0.044	
		蛭(V <sub>54</sub> ) <i>Razor clam</i> (V <sub>54</sub> )	0.057	
		其他贝类(V <sub>55</sub> ) <i>Other shellfishes</i> (V <sub>55</sub> )	0.032	

权重在一定的程度上反映的是该指标在整体评价中的相对重要程度,即从若干评价指标中分为轻重来。由表 8 可知,对于致灾因子危险度这一准则来说,持续时间所占的权重最大,也最重要,其次是赤潮发生次数,面积的权重最小为 0.302;对于承灾体易损度准则,鱼类和贝类的权重最大,分别为 0.268 和 0.272,说明发生赤潮时,鱼类和贝类的损失程度将最大,其次是蟹类为 0.222,其他海水养殖品的权重最小为 0.060。

## 2.3 赤潮灾害风险评估结果

### 2.3.1 赤潮灾害致灾因子危险度评估结果

将经过标准化处理的致灾因子危险度指标数据及各指标权重代入公式(7),计算得到宁德各沿海县市的赤潮灾害致灾因子危险度值,根据危险度大小划分危险度等级(表 9),利用 Arcmap 10.0 软件制作赤潮灾害致灾因子危险度专题图(图 2)。

表 9 致灾因子危险度评估结果

Tab.9 Hazard degree assessment results of disaster causing factors

区域 Study area	危险度 Hazard degree	分类等级 Classification level	危险度等级 Level of hazard degree	颜色 Color
蕉城沿海 Jiaocheng coast	0.017 1	4 级危险区	低	蓝色
福鼎沿海 Fuding coast	0.710 7	1 级危险区	极高	红色
霞浦沿海 Xiapu coast	1.000 0	1 级危险区	极高	红色
福安沿海 Fu'an coast	0.019 5	4 级危险区	低	蓝色

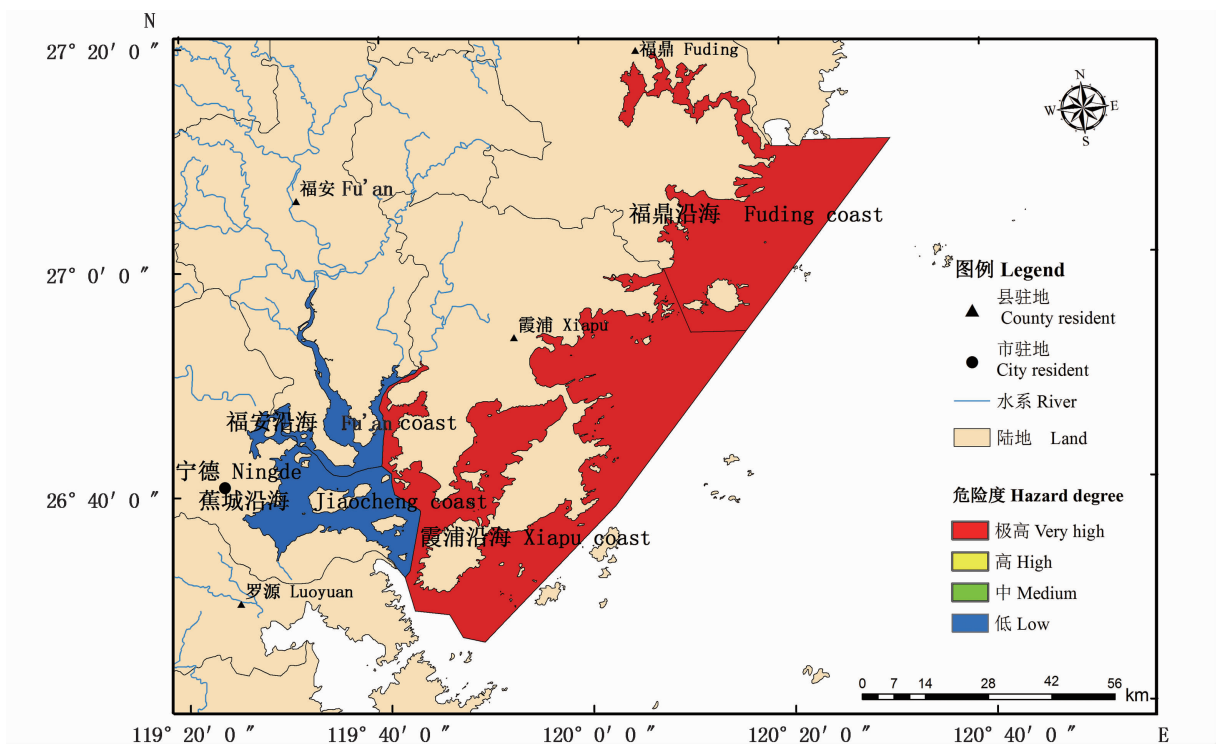


图 2 赤潮灾害致灾因子危险度分布

Fig.2 Hazard degree distribution of harmful algal blooms disaster causing factors

由表 9 和图 2 可得,霞浦沿海和福鼎沿海赤潮灾害危险度极高,福安沿海和蕉城沿海的赤潮致灾因子危险度都很低。福安沿海和蕉城沿海都位于三沙湾内,三沙湾是口小腹大近封闭的海湾,仅在东南方向有一个宽约 3 km 的东冲口与

东海相通,由于当地海水发达的养殖业使得三沙湾海水水质全年整体处于富营养化中、高水平,在这样的环境背景下福安沿海和蕉城沿海的赤潮灾害危险度仍很低的原因在于三沙湾内有淡水径流存在,退潮流大于涨潮流,“外源性”赤潮

生物不易进入湾内,湾内虽氮、磷含量常超三类水质标准,但由于4—5月份赤潮高发期的浮游生物优势种多为体形很小,贝虾蟹幼体可以摄食的硅藻类,生态系统处于良性循环状态,所以也不易发生“内源性”赤潮。为数不多的几次赤潮发生的原因可能是:(1)流域入湾的生活污水等陆源污染严重,使海水呈富营养化;(2)湾内流域已晴热干旱多时,淡水径流量明显减少,氮、磷污染物不易外排,光照又强,水温又高,这些均为上述藻类的大量繁殖创造了条件;(3)贝、虾、蟹等生物种类的浮游、滤食期大多已过,对藻类的摄食量大幅减少,这些均有利于藻类数量级的积累

而发生赤潮<sup>[15]</sup>。霞浦福宁湾和福鼎沿海水温变化、营养盐条件与三沙湾相似,但其海域海水透光性高,在营养盐浓度较高的基础上,为赤潮的发生提供了适宜的物质基础和光照条件<sup>[16]</sup>,加上因受到海洋倾废、船舶污染和沿海工业建设等人为因素的影响,以及不合理用海和过度用海等问题突出,所以霞浦沿海和福鼎沿海经常发生赤潮。

2.3.2 赤潮灾害承灾体易损度评估结果

利用公式(8)计算得赤潮灾害承灾体易损度值,分级结果如表10,承灾体易损度专题图如图3。

表10 承灾体易损度评估结果

Tab.10 Vulnerability degree assessment results of disaster-bearing body

区域 Study area	易损度 Vulnerability degree	分类等级 Classification level	易损度等级 Level vulnerability degree	颜色 Color
蕉城沿海 Jiaocheng coast	0.343 1	3级易损区	中	绿色
福鼎沿海 Fuding coast	0.611 5	2级易损区	高	黄色
霞浦沿海 Xiapu coast	0.434 5	3级易损区	中	绿色
福安沿海 Fu'an coast	0.053 0	4级易损区	低	蓝色

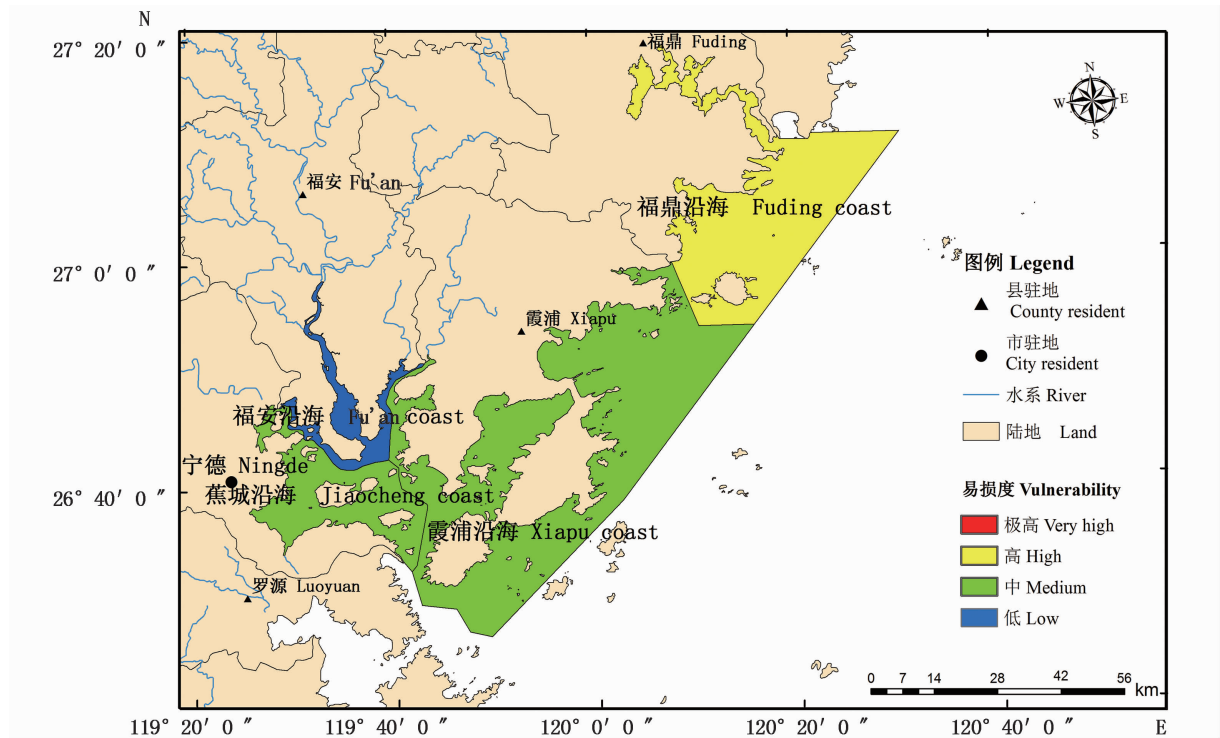


图3 赤潮灾害承灾体易损度分布

Fig.3 Vulnerability distribution of harmful algal blooms disaster-bearing body

由表10和图3可知,福鼎沿海为赤潮灾害高易损区,蕉城沿海、霞浦沿海赤潮灾害易损度都

为中,福安沿海为低易损度区。福鼎沿海易损度高是由于福鼎是海洋大市,同时也是渔业大市,

养殖用海面积占全市用海面积的 80% 以上,其 2015 年鱼、虾、蟹、贝类等海产品产量是宁德四沿海县中最高的,因此赤潮的发生会给福鼎的养殖业带来较大影响;2015 年霞浦沿海和蕉城沿海的鱼、虾、蟹、贝类等海产品产量相当,蕉城沿海略大于霞浦沿海;福安沿海面积对宁德沿海四县市来说最小,其海水养殖面积及产量都相对小,因

此赤潮灾害对福安沿海造成的损失也相对最小。

### 2.3.3 赤潮灾害风险评估结果

在赤潮灾害致灾因子危险度和承灾体易损度分析的基础上,根据赤潮灾害风险模型(公式 9),计算得宁德沿海四县市的赤潮灾害风险及风险等级(表 11),并用 Arcmap10.0 软件绘制出赤潮灾害风险专题图(图 4)。

表 11 赤潮灾害风险评估结果

Tab. 11 Risk assessment results of harmful algal blooms disaster

区域 Study area	风险度 Risk	分类等级 Classification level	风险等级 Level of risk	颜色 Color
蕉城沿海 Jiaocheng coast	0.005 9	4 级风险区	低	蓝色
福鼎沿海 Fuding coast	0.434 6	3 级风险区	中	绿色
霞浦沿海 Xiapu coast	0.434 5	3 级风险区	中	绿色
福安沿海 Fuan coast	0.001 0	4 级风险区	低	蓝色

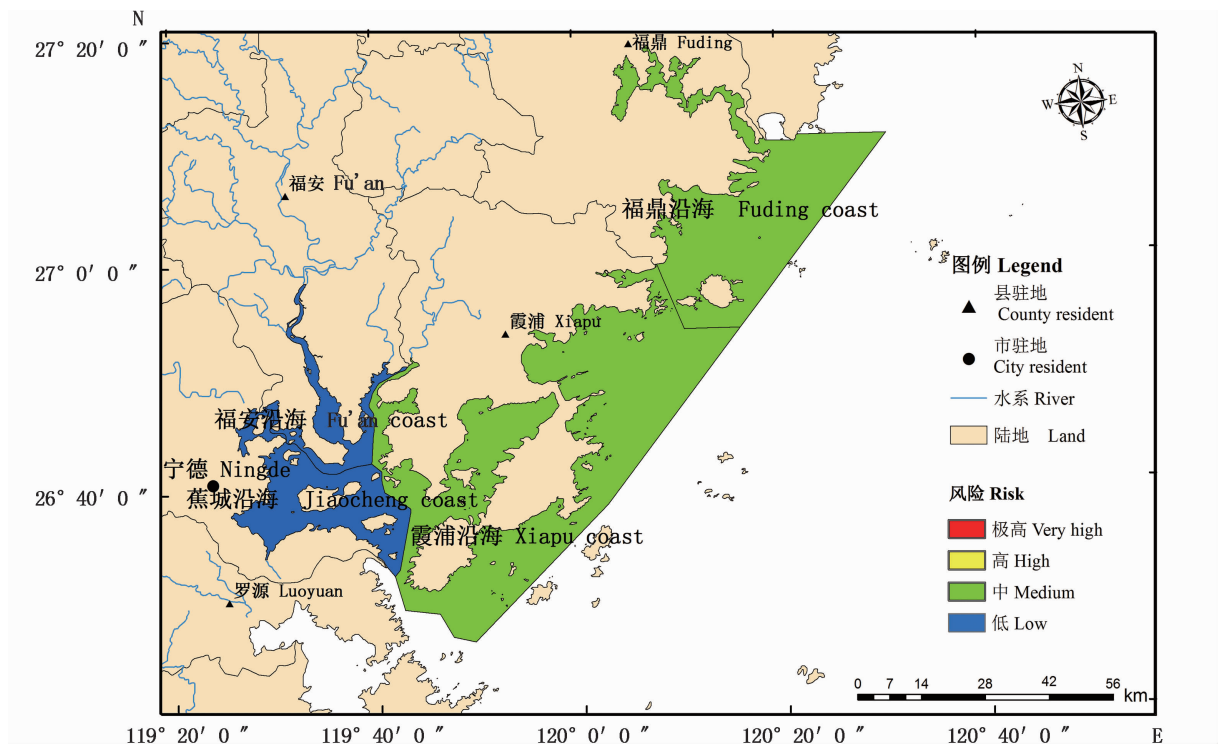


图 4 赤潮灾害风险分布

Fig. 4 Risk distribution of harmful algal blooms disaster

由表 11 和图 4 可知福鼎沿海和霞浦沿海的赤潮灾害风险等级都为中风险,蕉城沿海和福安沿海的赤潮灾害风险等级都为低风险。福鼎沿海和霞浦沿海虽然致灾因子危险都为极高,但是承灾体易损度值为高,两者相乘的结果将使风险程度降低,故风险为中,而蕉城沿海的致灾因子危险度为低,承灾体易损度为中,最终风险为低;

福安沿海的致灾因子危险度和承灾体易损度都为低,最终风险为低。

### 2.3.4 赤潮灾害风险分析结果验证

将 2000—2009 年发生于宁德沿海的赤潮事件以点的形式添加到地图中,并假设点的密度越大的区域赤潮发生的频率也越大,用核密度分析制图得到赤潮发生的频率。



根据核密度分析图 5,福鼎沿海和霞浦沿海的赤潮发生频率最高,蕉城沿海和福安沿海的赤潮发生频率较低,评价结果与核密度图具有一致性;且由表 1 近 10 年赤潮灾害数据可知,在持续时间和范围上,中赤潮风险海域的值均大于低赤

潮风险的海域,说明评估结果与近 10 年宁德沿海赤潮灾害资料数据一致,评估结果与实际情况相吻合;此外,本文评估结果与房月英的研究结论相吻合<sup>[16]</sup>。

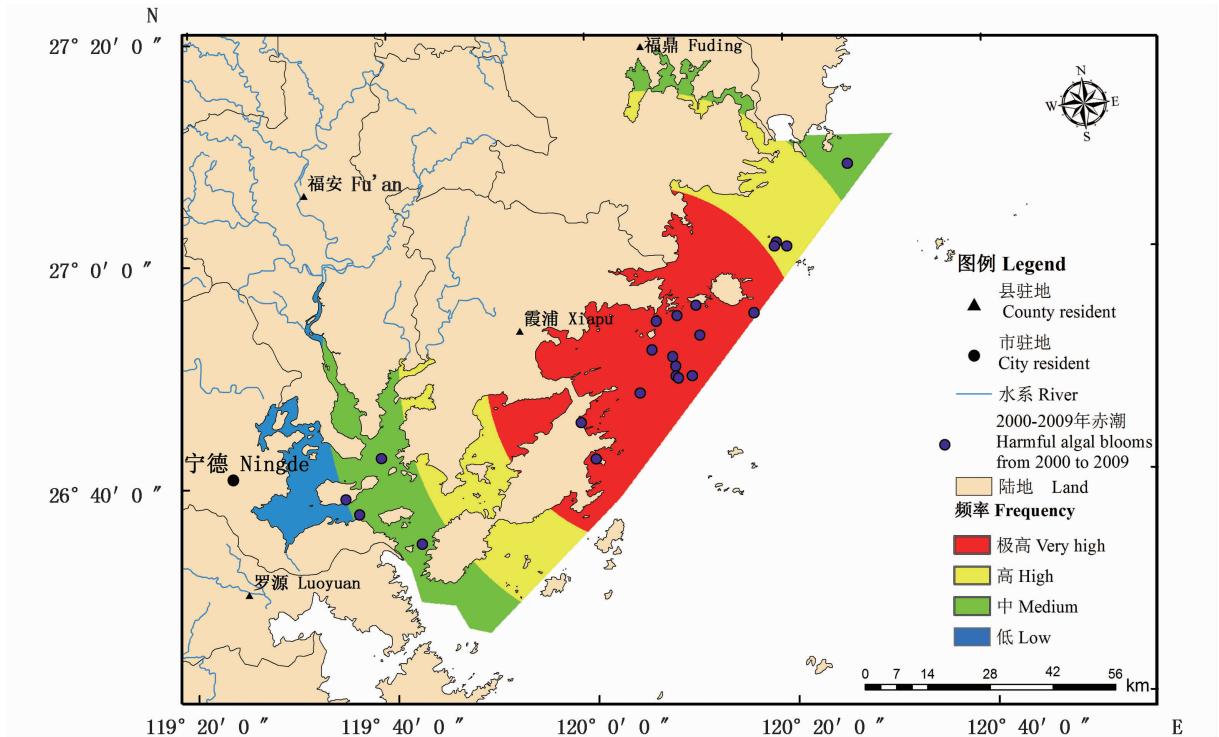


图 5 核密度分析

Fig. 5 Kernel density analysis

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

本文对宁德 4 沿海县市的赤潮灾害风险评估结果虽与历史赤潮发生趋势相一致,但在评估方法上还存在许多要在今后的研究中进一步深入完善的地方。

##### 3.1.1 指标选取方面的不足

在选取赤潮致灾因子危险度指标时,主观地考虑赤潮发生次数、持续时间及范围,有偏离赤潮灾害风险评估的目的,因为风险评估是为了规避风险,防范灾害,而赤潮发生情况是结果,进行赤潮灾害风险评估要溯因。鉴于本文在选取致灾因子危险度指标时存在局限性,未来的研究中,应客观地从赤潮生物、营养盐、光照、气象要素、水动力及外来赤潮生物等因素中构建赤潮致

灾因子危险度指标;在建立承灾体易损度评估指标时,也仅考虑了海水养殖业这单一方面,今后的研究中还应考虑到所研究海域的工矿用海、旅游娱乐用海、特殊用海和海洋生态系统等方面。

##### 3.1.2 用熵权法确定指标权重的不足

熵权法由于深刻地反映了指标信息熵值的效用价值,其给出的指标权值比德尔菲法和层次分析法有更高的可信度,但它缺乏各指标之间的横向比较。且当所有熵值都趋近于 1 时,即使微小的差距都会引起熵权成倍数地变化,导致部分指标被赋予了与其重要性不符合的权重,影响了最终结果的判断<sup>[17]</sup>。鉴于指标权重确定方法各有优缺点,在今后的研究中可采用组合赋权法,使各种赋权方法的优点融为一体,综合运用和发挥最佳效应。

### 3.1.3 模型建立方面的不足

本文用简单的线性函数形式对评估的效果影响较大,一方面依赖于人为的线性假定,另一方面在构建模型前选择函数的形式使得模型的构建更多依赖于人为假定,会造成较大误差。今后的研究中可以根据海域具体情况将两种或多种方法模型相结合,单一模型的评估会导致结果的不可比性,将多个模型的评估结果与实际赤潮发生情况进行比对,选择最符合实际的评估模型。

### 3.2 结论

以宁德4个沿海县市为研究对象,根据各县市具体实际建立了赤潮灾害评估指标体系和评估模型进行赤潮灾害风险评估,取得了如下结果:(1)从灾害学角度对宁德沿海的赤潮灾害进行风险评估,将海产品作为赤潮灾害承灾体,具有一定的新意;采用相对科学的熵值法确定各指标权重。(2)首次对宁德沿海进行赤潮灾害风险评估,得出宁德4个沿海县市的赤潮灾害风险。在赤潮灾害危险度上,霞浦沿海和福鼎沿海为极高,福安沿海和蕉城沿海为低;在承灾体易损度上,福鼎沿海为高易损区,蕉城沿海、霞浦沿海都为中易损区,福安沿海为低易损度区;在赤潮灾害风险水平上,福鼎沿海和霞浦沿海都为中度风险,福安沿海和蕉城沿海为低风险,评估结果与赤潮历史资料及实际情况相一致。(3)在GIS平台上实现了宁德沿海赤潮灾害致灾因子危险度、承灾体易损度和赤潮灾害风险的可视化。

### 参考文献:

- [1] 赵冬至,文世勇,宋俐俐. 赤潮灾害风险评估理论与区划方法[M]. 北京:海洋出版社,2013.  
ZHAO D Z, WEN S Y, SONG L L. Risk assessment and regionalization of red tide disaster [M]. Beijing: Ocean Press, 2013.
- [2] 王颢,魏姗姗,阳藻,等. 福建三沙湾夏季海水溶解氧分布及低氧现象初探[J]. 海洋湖沼通报,2014(3): 167-174.  
WANG H, WEI S S, YANG Z, et al. Preliminary studies on DO distributions and hypoxia of Sansha bay of Fujian in summer[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2014(3): 167-174.
- [3] 朱峰,石志洲,凌信文,等. 宁德三沙湾网箱养殖与环境质量的关系[J]. 海洋通报,2013,32(2): 171-177.  
ZHU F, SHI Z Z, LING X W, et al. Relationship between cage aquaculture and environmental quality in Sansha bay of Ningde[J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(2): 171-177.
- [4] 徐佳奕,徐兆礼. 三沙湾浮游动物生态类群演替特征[J]. 生态学报,2013,33(5): 1413-1424.  
XU J Y, XU Z L. Seasonal succession of zooplankton in Sansha bay, Fujian [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1413-1424.
- [5] 林永添. 三沙湾赤潮种类与理化要素关系的初步探讨[J]. 现代渔业信息,2010,25(6): 11-15.  
LIN Y T. Preliminary study on relationship between red tide species and physical and chemical factors in Sansha bay[J]. Modern Fisheries Information, 2010, 25(6): 11-15.
- [6] 苏新红,金丰军,杨奇志,等. 基于BP神经网络模型的福建海域赤潮预报方法研究[J]. 水产学报,2017,41(11): 1744-1755.  
SU X H, JIN F J, YANG Q Z, et al. Red tide forecasting model based on BP neural network in Fujian sea area [J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(11): 1744-1755.
- [7] 丰卫华,王志富,张荣保,等. 宁德海域表层沉积物氧化还原环境特征及其影响因素[J]. 海洋环境科学,2016,35(6): 882-887, 907.  
FENG W H, WANG Z F, ZHANG R B, et al. The environment characteristics of redox in the surface sediments of Ningde coastal sea area in relation to influence factors[J]. Marine Environmental Science, 2016, 35(6): 882-887, 907.
- [8] 周进,纪炜炜. 三都澳大型底栖动物次级生产力[J]. 海洋渔业,2012,34(1): 32-38.  
ZHOU J, JI W W. Secondary productivity of macrobenthos in Sandu Bay [J]. Marine Fisheries, 2012, 34(1): 32-38.
- [9] 黄伟卿,张艺,韩坤煌. 三都澳大黄鱼种质资源保护海域营养盐、DO和COD的含量分析与评价[J]. 宁德师范学院学报(自然科学版),2012,24(2): 142-146, 152.  
HUANG W Q, ZHAHNG Y, HAN K H. The analysis and evaluation of the amount of nutrient salts, DO and COD in the genetic resources sea area of large yellow croaker of Sanduao [J]. Journal of Ningde Normal University (Natural Science), 2012, 24(2): 142-146, 152.
- [10] 梁玉波. 中国赤潮灾害调查与评价(1933-2009) [M]. 北京:海洋出版社,2012.  
LIANG Y B. Investigation and evaluation of red tide disasters in China (1933-2009) [M]. Beijing: Ocean Press, 2012.
- [11] 沈德福,张光英. 闽东滩涂养殖对三都澳环境与资源的影响浅析[J]. 安徽农业科学,2015,43(6): 247-249.  
SHEN D F, ZHANG G Y. Effects of mudflat aquaculture on environment and resource of Sandu bay [J]. Journal of Anhui Agriculture Sciences, 2015, 43(6): 247-249.
- [12] 李绪兴. 赤潮及其对渔业的影响[J]. 水产科学,2006,25(1): 45-47.  
LI X X. Influences of red tide on fisheries [J]. Fisheries Science, 2006, 25(1): 45-47.
- [13] 王靖,张金锁. 综合评价中确定权重向量的几种方法比

- 较[J]. 河北工业大学学报, 2001, 30(2): 52-57.
- WANG J, ZHANG J S. Comparing several methods of assuring weight vector in synthetical evaluation[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2001, 30(2): 52-57.
- [14] 邹志红, 孙靖南, 任广平. 模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2005, 25(4): 552-556.
- ZHOU Z H, SUN J N, REN G P. Study and application on the entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(4): 552-556.
- [15] 宁德市海洋与渔业环境监测站. 三都湾局部海域旋链角毛藻等硅藻类大量繁殖引起海水颜色异常[EB/OL]. (2007-08-12) [2016-03-01]. <http://www.gjyfish.com/Item/747.aspx>.
- Ning Marine and Fishery Environmental Monitoring Station. Abnormal seawater color in local area of Sandu bay caused by mass propagation of *Chaetoceros curvisetus* diatoms[EB/OL]. (2007-08-12) [2016-03-01]. <http://www.gjyfish.com/Item/747.aspx>.
- [16] 房月英. 三都湾赤潮监控区海水富营养化与赤潮发生的关系研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2008.
- FANG Y Y. Relationships between eutrophication and the occurrences of red tide in red tide-monitoring area of Sandu bay[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2008.
- [17] 欧阳森, 石怡理. 改进熵权法及其在电能质量评估中的应用[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(21): 156-159, 164.
- OUYANG S, SHI Y L. A new improved entropy method and its application in power quality evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(21): 156-159, 164.

## Study on the risk of harmful algal blooms hazard along Ningde Coast

XIE Hongying<sup>1,2</sup>, WANG Jinhui<sup>3</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. East China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administration, Shanghai 200136, China; 3. East China Sea Branch of State Oceanic Administration, Shanghai 200137, China)

**Abstract:** This study took four coastal counties in Ningde as examples to carry out risk assessment of harmful algal blooms (HABs) disaster. The index systems of risk assessment of HABs disaster were established based on leading, measurable and available principles. The weights of evaluation indexes were determined by entropy method. In addition, hazard assessment model, vulnerability assessment of hazard-bearing body model and risk assessment model were set up, respectively. Finally, this study utilized GIS platform to realize visualization of the assessment results. The research revealed that the HABs with the medium risk were detected along Fuding coast and Xiapu coast. Along Jiaocheng coast and Fuan coast, HABs caused low risk. The evaluation results are consistent with the historical data, actual situation and related literature of HABs in the east coast of Fujian. This paper provides technical support for HABs monitoring, disaster prevention and mitigation and aquaculture.

**Key words:** HABs disaster; hazard; vulnerability; risk; Ningde coast