

# 渤海水环境无机氮污染风险研究

兰冬东, 李 冕, 梁 斌, 鲍晨光, 马明辉

(国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 渤海海域污染日趋严重, 无机氮是主要的污染因子, 对无机氮未来趋势的预测及风险空间分布的分析可为减缓和管理渤海海域污染提供依据。本文基于 2000 到 2011 年渤海无机氮的趋势性监测数据, 用 IDW 插值和回归分析方法对其发展趋势进行预测, 并根据其发展趋势预测今后 5 年渤海海域无机氮含量, 划分了渤海无机氮污染的高、中、较低和低风险区, 为渤海无机氮污染控制提供科学依据。

**关键词:** 无机氮; 污染风险; IDW; 回归分析; 渤海

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2013)11-0059-05

渤海地处温带, 是我国的“渔仓”和渔业的“摇篮”, 在我国的社会经济发展中提供了极为重要的支撑作用。随着经济的快速发展, 渤海面临的压力也在持续增大, 环渤海地区是我国快速发展的重要经济集聚区和基础产业分布区之一, 沿海开发活动带来的污染物排海严重, 环渤海地区拥有的黄河水系、辽河水系、海河水系和滦河水系, 将大量的工农业污水和生活污水汇入渤海, 其中海河、辽河和黄河已依次成为我国 7 大河流中污染最为严重的三大河流, 流域污染物排海压力巨大。同时, 环渤海 13 个地市通过大约 200 多个工业直排口、市政排污口和混排口等将大量污水直接排入渤海。渤海是我国唯一的半封闭内海, 封闭性强, 区域水交换能力较弱, 多年的海水水质监测结果显示, 渤海海域污染严重, 1998 年—2011 年, 渤海劣四类海域面积由 650 km<sup>2</sup> 增加至 2011 年的 4210 km<sup>2</sup>, 无机氮是主要的超标因子<sup>[1]</sup>, 目前针对海洋水环境污染因子未来空间分布的研究尚属空白, 本文对渤海水环境无机氮未来趋势的科学合理判断和空间划分能够指导渤海污染风险管理, 减缓渤海海域污染。

## 1 研究方法

### 1.1 数据处理

无机氮监测数据来源于 2000 到 2011 年渤海无机氮的趋势性监测数据, 采用表、中、底三层的平均值, 空间分布采用 IDW 插值方法<sup>[2-3]</sup>, 该方法是按照距离  $n$  次方的倒数进行加权, 然后取平均, 模型为:

$$Z^*(B) = \sum_{i=1}^n Z(x_i) \lambda_i$$

式中,  $Z^*(B)$  为待插值点的值,  $Z(x_i)$  为插值结点的实测值,  $\lambda_i$  为插值结点  $x_i$  所占的权重, 其中  $\lambda_i$  的计算方

法为:

$$\lambda_i = \frac{1}{d_i^k} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k}$$

式中,  $d_i$  为估值点与已知点间的距离,  $k$  为正数。

本文采用凸包选点的 IDW 插值法对渤海 12 年的无机氮的监测数据进行插值, 得到无机氮的整体分布情况, 即无机氮的栅格数据, 栅格单位为 6'。该插值方法的选点方式为待插值点在所选取插值结点形成的凸包区域内, 且所选取的插值结点均为该凸包的顶点。凸包选点的 IDW 为插值结点加入了空间结构的概念, 与常用软件如 SuperMap、ArcGis 等自带的 IDW 插值方法对比, 克服了其只与插值结点距离有关, 而与结点空间结构无关的不足, 避免了某些高值点影响区域过大而带来的插值结果严重失真的现象, 本文在海水无机氮含量评价中, 能够更好地反应无机氮分布趋势。

### 1.2 回归分析

回归分析已广泛应用于水质评价与预测、大气污染物预测、粪便污染等环境预测领域的各个方面, 以及海洋赤潮、海洋悬浮泥沙分布等海洋环境问题的分析中, 有基于最小二乘法原理的一元线性回归<sup>[4-6]</sup>、多元线性回归<sup>[7-13]</sup>和逐步回归<sup>[14-17]</sup>等, 本文拟采用一元线性回归模

收稿日期: 2012-09-21; 修回日期: 2013-01-31

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(41306098)海洋公益性行业科研专项项目(201005014); 国家海洋局青年海洋科学基金项目(2012714)

作者简介: 兰冬东(1984-), 女, 辽宁大连人, 硕士, 研究实习员, 主要从事海洋环境风险评价与分区研究, 电话: 0411-84782535, E-mail: ddlan@nmemc.gov.cn; 马明辉, 通信作者, 研究员, E-mail: mhma@nmemc.gov.cn

型对渤海连续 12 年的无机氮监测数据进行回归分析。

对渤海 2000 年—2011 年每个栅格数据进行一元线性回归分析, 模型为:

$$Y = aX + b \quad (1)$$

式中,  $X$  值为年限,  $Y$  值为无机氮含量,  $a$  和  $b$  值利用最小二乘法确定。

对于变量  $Y$  的实测值  $\{Y_i\}_i$  和  $X$  的实测值  $\{X_i\}_i$ , 利用公式(1)得  $Y = aX + b$ 。设  $aX + b$  是  $Y$  的无偏估计, 则  $\tilde{Y}_i = aX_i + b$  是  $Y_i$  的期望值, 且  $Y_i$  随着  $\tilde{Y}_i$  上下波动。假设  $Y_i$  的波动满足正态分布, 即:

$$Y \sim N(aX + b, \sigma)$$

其中  $\sigma$  取随机变量  $Y$  方差的无偏估计:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (Y_i - (aX_i + b))^2} \quad (2)$$

根据公式(2), 对任意  $X$ , 与之对应的  $Y$  出现在某一区间  $[\alpha, \beta]$  的概率为

$$\int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-aX-b)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (3)$$

本文根据公式(3)计算了无机氮含量符合第四类或劣于第四类海水水质标准( $Y > 0.4 \text{ mg/L}$ )<sup>[18]</sup>即中度污染和重度污染海域<sup>[19]</sup>的污染风险概率。

## 2 结果与讨论

### 2.1 数据处理结果

对 2000 年—2011 年渤海无机氮的监测数据进行插值, 得到无机氮浓度的整体分布情况(图 1), 由图 1 可见虽然渤海无机氮污染区域分布随机性较大, 但主要围绕着辽东湾、渤海湾和莱州湾三个区域变动, 因此取这三个海湾作为渤海的典型区域进行回归分析。如图 2 所示, 2000 年—2011 年三个海湾无机氮平均浓度均具有线性增长趋势, 三个海湾无机氮平均浓度线性回归分析结果显示, 三个海湾无机氮平均浓度尽管围绕期望值上下波动较大, 但线性增长趋势明显。

### 2.2 无机氮污染概率计算方法

设各年无机氮含量  $Y_X$  服从正态分布:

$$Y_X \sim N(aX + b, \sigma)$$

其中  $\sigma^2$  取无偏估计

$$\sigma^2 = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{12} (Y_{1999+i} - a \times (1999+i) - b)^2$$

无机氮的含量大于等于零, 而常规的正态分布概率计算会包含小于零的那部分概率, 令大于零部分的整体概率为 1, 则有  $Y > a$  的概率为  $P(Y > a)$

$P(Y > 0)$ 。

### 2.3 无机氮污染风险

通过上述的 IDW 插值和回归分析, 计算 2012 年—2016 年渤海无机氮大于 0.4 mg/L 的平均风险概率, 按照风险大小进行初步分区, 概率  $P > 75\%$  的区域列为高风险区, 50%  $P < 75\%$  的区域列为中风险区, 25%  $P < 50\%$  的区域列为较低风险区,  $P < 25\%$  的区域为低风险区(图 3)。

(1) 高风险区主要集中在莱州湾底部海域、黄河口及支流附近海域、渤海湾内天津附近海域、辽东湾营口附近海域、锦州湾海域、大连普兰店湾和旅顺口附近海域, 面积约 5 800 km<sup>2</sup>, 占渤海总面积的 7.5%。这些无机氮高风险区主要位于各大河口附近且交换能力不强的海湾内近岸海域, 这些区域受陆源排污口和入海河流影响较大。莱州湾底部的高风险区受小清河和淄脉河影响较大, 黄河口海域受黄河及其支流的影响, 天津附近海域主要受海河和永定新河的影响, 锦州湾海域主要受污染严重的辽河和大清河影响, 大连的普兰店湾主要受鞍子河的影响, 入海河流携带大量的营养物质入海, 致使无机氮的污染风险持续偏高。

(2) 中风险区主要集中在高风险区的附近海域, 东营附近海域、老黄河口和刁口湾附近海域, 渤海湾海域、河北省和山东省交界处海域、辽河口附近海域以及普兰店湾外部海域和老铁山海域, 面积约 5 578 km<sup>2</sup>, 占渤海总面积的 7.2%。其中老黄河口和刁口湾附近海域主要受黄河支流和陆源排污的影响, 渤海湾海域主要受海河、永定新河以及天津等陆源污染的影响, 辽河口附近海域受辽河污染影响较重, 且均位于海湾湾内, 污染物得不到很好的扩散, 致使无机氮的污染风险相对较高。

(3) 较低风险区主要集中在中风险区的外围海域, 胶莱河口附近海域, 宣惠河口至子牙河口附近海域, 大小凌河口附近海域, 复州湾附近海域和金州湾附近海域, 面积约 6 324 km<sup>2</sup>, 占渤海总面积的 8.2%。这些区域受到陆源污染的程度较中风险区域轻, 且靠近渤海中部海域, 污染物稀释扩散能力相对较强。

(4) 低风险区主要集中在在渤海中部, 面积约 59 299 km<sup>2</sup>, 占渤海总面积的 77%, 这些区域离岸相对较远, 受陆源污染和河流入海污染物的影响相对较小且相对于渤海各海湾来说交换能力较强, 污染物稀释扩散能力强。

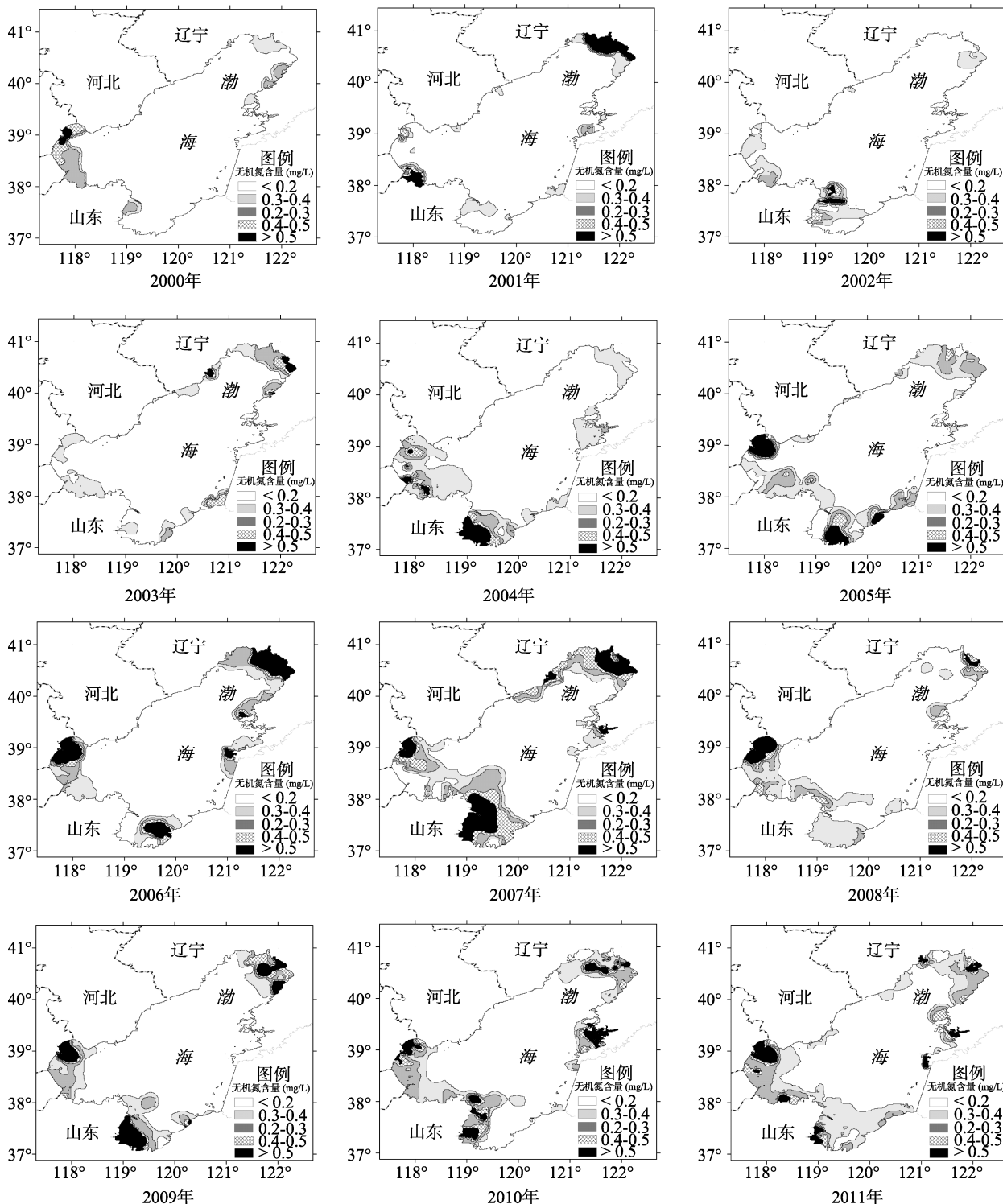


图 1 2000~2011 年渤海无机氮浓度分布图(单位: mg/L)

Fig. 1 Concentration distribution of inorganic nitrogen in Bohai Sea from year 2000 to 2011

### 3 结论

基于 2000 年—2011 年渤海无机氮连续 12 年的监测数据,用 IDW 插值方法和回归分析方法对其发展趋势进行预测,并根据其发展趋势预测今后 5 年

渤海各海域无机氮含量符合第四类及劣四类海水水质标准的概率,将渤海无机氮风险区划分为高风险区、中风险区、较低风险区和低风险区。高风险区主要集中在莱州湾底部海域、黄河口及支流附近海域、渤海湾内天津附近海域、辽东湾营口附近海域、

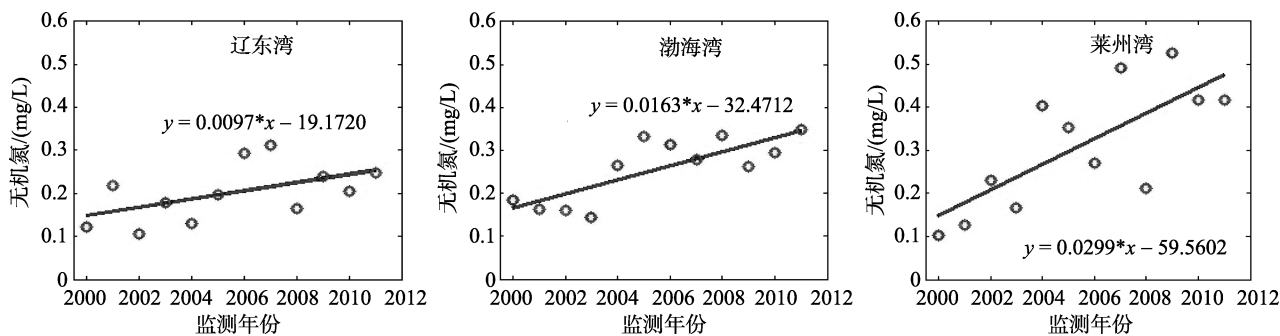


图2 渤海典型区域无机氮平均浓度回归分析

Fig. 2 Regression analysis for the average concentration of inorganic nitrogen in the typical areas of Bohai Sea

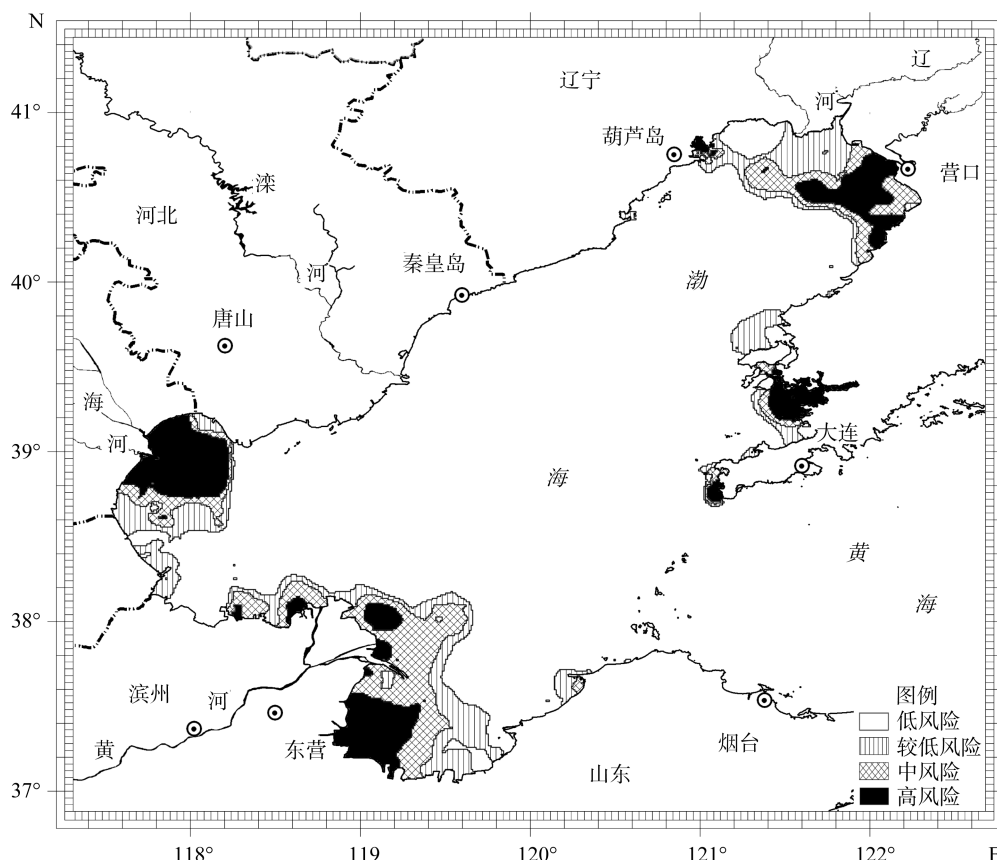


图3 渤海无机氮污染风险分布图

Fig. 3 Distribution of inorganic nitrogen pollution risk in Bohai Sea

葫芦岛局部海域、大连普兰店湾和旅顺口附近海域。中风险区主要集中在高风险区的附近海域，东营附近海域、老黄河口和刁口湾附近海域，渤海湾海域、河北省和山东省交界处海域、辽河口附近海域以及复州湾、老铁山等大连海域。较低风险区主要集中在中风险区的外围海域，胶莱河口附近海域，宣惠河口至子牙河口附近海域，大小凌河口附近海域，复州湾附近海域和金州湾附近海域。低风险区主要集中在渤海中部海域。分区结果基本符合渤海无机氮污染风险现状，能够反映渤海无机氮风险的差异

性和相似性，可为渤海无机氮监测站位布设及污染风险管理提供决策依据。

参考文献:

- [1] 国家海洋局. 1998~2011年中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 国家海洋局.
- [2] Donald Shepard. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data[C]. ACM Nat. Conf., 1968:517-524.
- [3] Pal L, Olah-Gal R, Mako Z. Shepard interpolation with

- stationary points[J]. *Acta Univ Sapientiae, Informatica*, 2009,1(1): 5-13.
- [4] Eley H K, Porter D E, Scott G, et al. Using geographic information systems and regression analysis to evaluate relationships between land use and fecal coliform bacterial pollution [J].*Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, 298:197-209.
- [5] 赖廷和, 邱绍芳. 北海近岸水域浮游植物群落结构及数量周年变化特征[J]. *海洋通报*, 2005, 24(5): 27-32.
- [6] 郑建华, 王世梅, 王卓娟. 长江水质的综合评价及其预测[J]. *贵州水力发电*, 2006, 20(6): 7-12.
- [7] Punam Tyagi, Dwayne R Edwards, Mark S Coyne. Use of selected chemical markers in combination with a multiple regression model to assess the contribution of domesticated animal sources of fecal pollution in the environment[J]. *Chemosphere*, 2007, 69: 1617-1624.
- [8] Julia P. Mcmanus, Davia Prandle. Development of a model to reproduce observed suspended sediment distributions in the southern North Sea using Principal Component Analysis and Multiple Linear Regression [J]. *Continental shelf research*, 1997, 17(7):761-778.
- [9] 向速林. 地下水水质评价的多元线性回归分析模型研究[J]. *新疆环境保护*, 2005, 27(4): 21-23.
- [10] 向速林, 杨柳春. 回归分析法在地下水水质动态预测中的应用[J]. *长江大学学报*, 2006, 3(1): 40-42.
- [11] 赵明桥, 李攻科, 张展霞. 应用多元回归法研究赤潮特征有机物与赤潮关系[J]. *中山大学学报*, 2003, 42(1): 35-38.
- [12] 索南仁欠. 多元回归分析在水污染评价中的应用[J]. *青海师范大学学报*, 2000, 4: 20-24.
- [13] 余光辉, 李玲玲, 李振国, 等. 太原市主要大气污染物分析与预测[J]. *环境科学与管理*, 2010, 35(4): 171-174.
- [14] Intan Martina Md Ghani, Sabri Ahmad. Stepwise multiple regression method to forecast fish landing [J]. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2010, 549-554.
- [15] 李传哲, 于福亮, 刘佳, 等. 基于多元统计分析的水质综合评价[J]. *水资源与水工程学报*, 2006, 17(4): 36-40.
- [16] 陈宇炜, 秦伯强, 高锡云. 太湖梅梁湾藻类及相关环境因子逐步回归统计和蓝藻水华的初步预测[J]. *湖泊科学*, 2001, 13(1): 63-71.
- [17] 张菁, 马民涛, 王江萍. 回归分析方法在环境领域中的应用评述[J]. *环境科技*, 2008, 21(2): 40-43.
- [18] GB3097-1997. 海水水质标准[S].
- [19] 国家海洋局. 1999 年中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 国家海洋局.

## Study on the pollution risk of inorganic nitrogen in water environment of Bohai Sea

LAN Dong-dong, LI Mian, LIANG Bin, BAO Chen-guang, MA Ming-hui

(National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

**Received:** Sep., 21, 2012

**Key words:** inorganic nitrogen; pollution risk; IDW; regression analysis; Bohai Sea

**Abstract:** The pollution in Bohai Sea has become more and more serious in recent years with inorganic nitrogen as a key pollution factor. Accurate prediction of future trends and risk spatial distribution of inorganic nitrogen could provide important evidence for reducing and managing the marine pollution. In this paper, a IDW interpolation method and a regression analysis method were used to predict the development trend of inorganic nitrogen in Bohai Sea, based on the monitoring data of inorganic nitrogen from year 2000 to 2011. The content of inorganic nitrogen during the future five years was predicted accordingly. Furthermore, the whole Bohai Sea was divided to zones with high, medium, lower and lowest inorganic nitrogen pollution risk, which could provide a scientific evidence for control of inorganic nitrogen pollution in Bohai sea.

(本文编辑: 康亦兼)