

【水资源·水环境】

海岸带陆源水污染负荷模型研究

毕延凤^{1,2,3}, 温小虎¹, 赵平萍^{1,3}, 王 勇¹, 刁美娜^{1,3}

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东烟台 264003; 2. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东青岛 266061;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 综合采用 GM(1,1) 模型和曲线拟合法, 建立了适合海岸带的陆源水污染负荷预测模型, 并将其应用于烟台市, 对 2009—2013 年的主要污染负荷量进行了预测。结果表明: 在点源污染负荷中, 生活废水所占比例最大, 政府应当加强生活用水管理; 工业废水污染负荷总体呈增大趋势, 但万元产值工业废水排放量逐年下降; 旅游废水污染负荷所占比例最小, 但近年来增长迅速; 生活废水排放的氮磷占点源氮磷污染总负荷的 66%, 是氮磷的主要来源之一, 而农业非点源中的畜禽养殖废水排放氮磷占总氮磷污染负荷的一半以上, 具有最大的氮磷污染潜在隐患。

关 键 词: 水污染; 污染负荷; 点源污染; 非点源污染; 海岸带; 烟台市

中图分类号: X824 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1000-4379.2012.07.022

Land-Based Water Pollution Load Model of Coastal Zone

BI Yan-feng^{1,2,3}, WEN Xiao-hu¹, ZHAO Ping-ping^{1,3}, WANG Yong¹, DIAO Mei-na^{1,3}

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: By the methods of grey prediction model GM(1,1) and curve fitting method, a model applicable to coastal zone was established to estimate the water pollution load of land source. The model was applied to Yantai City to forecast the main pollution load in the following five years (2009–2013) in the current level of development. The conclusions are: domestic wastewater occupies the largest proportion of point source pollution, the management of which should be strengthened by government; industrial wastewater discharge per ten thousand RMB production value reduces yearly, at the same time, its total discharge goes up year by year; tourism wastewater is increasing rapidly although its discharge ratio is the least; nitrogen and phosphorus in domestic wastewater discharge accounts for 66% of the total load of point source nitrogen and phosphorus pollution, and more than half of nitrogen and phosphorus pollution load is discharged by livestock wastewater, which has the largest potential risk of nitrogen and phosphorus pollution.

Key words: water pollution; pollution load; point source pollution; non-point source pollution; coastal zone; Yantai City

在中国, 近岸海域普遍面临生态环境恶化的威胁。渤海是目前中国海洋生态环境破坏最严重的海区^[1], 作为中国唯一的半封闭型内海, 其较弱的水交换能力难以消解巨大的陆源排污压力, 很容易造成局部水质恶化^[2-3]。治海先治陆, 烟台作为环渤海经济圈内的重要城市, 其排放的污染物直接影响到渤海水质。建立陆源水污染负荷评估、预测模型, 预测未来水污染负荷变化趋势, 是目前倡导水污染负荷总量控制的必然要求, 这项研究始于 20 世纪 60 年代, 但是至今仍鲜有专门针对海岸带的污染负荷模型^[4-8]。笔者综合采用 GM(1,1) 模型和曲线拟合法(Curve Fitting), 建立了适合海岸带的陆源水污染负荷预测模型, 并将其应用于烟台市, 对 2009—2013 年的主要污染负荷进行了预测。

1 研究区概况

烟台市地处山东半岛中部, 其北部、西北部临渤海, 东北部、南部临黄海, 是我国首批沿海开放城市之一。2008 年末人

口为 651.69 万, 其中市区人口为 179.39 万。全市土地面积为 13 745.95 km², 其中市区面积为 2 643.60 km²。全市海岸线长 702.5 km, 有大小基岩岛屿 63 个, 近岸海域水质以 I 类、II 类为主。

2 研究方法 with 数据

将陆源水污染划分为点源污染和农业非点源污染, 点源污染在年内分配比较均匀, 非点源污染主要在雨季通过径流进入受纳水体。各陆源水污染项采用的建模方法见表 1。

收稿日期: 2011-07-20

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX2-YW-224-04); 国家自然科学基金资助项目(41001013); “十一五”国家科技支撑计划项目(2010BAC68B01); 海洋公益性行业科研专项(201105020); 国家“973”计划项目(2010CB951200)。

作者简介: 毕延凤(1985—), 女, 山东济南人, 博士研究生, 研究方向为海水入侵和土壤盐渍化。

E-mail: miss580011@163.com

表1 各陆源水污染项采用的建模方法

陆源水污染项		建模方法
农业非点源	农田	GM(1,1) 模型
	畜禽养殖	GM(1,1) 模型
点源	生活	GM(1,1) 模型
	工业	GM(1,1) 模型
	旅游	曲线拟合

2.1 GM(1,1) 模型

GM(1,1) 模型是灰色系统理论中应用最广泛的一种动态预测模型,是一种单变量、一阶微分的序列预测模型,适用于关系复杂、数据量少的系统建模,拟合精度较高^[9-14]。

2.1.1 生活和工业废水排放量

根据2000—2008年山东省统计年鉴中烟台市生活废水排放数据,利用GM(1,1)模型预测生活废水排放量。

工业废水排放量的预测方法:先预测未来某年万元产值工业废水排放量,再根据经济增长率(取20.70%)预测出此年的工业总产值,两者相乘得到工业废水排放总量。万元产值工业废水排放量和经济增长率通过2000—2008年山东省统计年鉴中烟台市工业废水排放数据和工业产值数据计算得到。

2.1.2 农业废水排放量

农业废水包括农田退水和禽畜养殖废水。农田退水污染物主要是化肥和农药,其流入入海的氮、磷是导致近海赤潮的主要原因^[15]。根据山东省统计年鉴,烟台市近年开发力度加大,城市化进程加快,耕地面积有减小的趋势。以2000—2008年山东省统计年鉴中烟台市耕地面积数据为基础,用GM(1,1)模型预测2009—2013年的耕地面积。农田退水年氮(或磷)污染负荷计算公式为

$$Q_{\text{田}_i} = \alpha S_i \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中: $Q_{\text{田}_i}$ 为农田退水第 i 年氮(或磷)污染负荷, t/a ; S_i 为第 i 年的耕地面积, hm^2 ; α 为农田氮(或磷)排出系数,氮、磷排出系数分别为 $2.250, 0.217 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot a)$ ^[15]。

畜禽养殖废水污染物主要来源于禽畜排泄物,根据2000—2008年山东省统计年鉴中烟台市猪、大牲畜和家禽数量,利用GM(1,1)模型预测2009—2013年畜禽数量。根据《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB18596—2001)中集约化畜禽养殖水冲工艺最高允许排水量平均值和最高允许日均排放浓度的规定,计算2009—2013年畜禽养殖废水排放污染负荷,计算公式为

$$Q_{\text{养}_i} = qcd_i \times 365 \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中: $Q_{\text{养}_i}$ 为第 i 年畜禽养殖废水污染物的年排放量, t/a ; d_i 为第 i 年畜禽数量; q 为畜禽养殖废水日排放量, m^3/d ; c 为畜禽养殖废水污染物的排放浓度, mg/L 。

2.2 曲线拟合

曲线拟合法能用连续曲线近似地刻画平面上的离散点组。选择适当的曲线类型来拟合观测数据,并用拟合的曲线方程分析两变量间的关系。在确定变量间的函数关系后,需要计算出函数关系中的未知参数,最后对拟合效果进行显著性检验。

旅游废水排放量与旅游人口居住天数有关,旅游人口总居住天数为

$$N_i = m_i n \quad (3)$$

式中: N_i 为第 i 年旅游人口年居住总天数, d ; m_i 为第 i 年旅游者总人次; n 为平均每人居住天数,取 2.649 d 。

结合人均日生活用水量和生活废水排放系数,即可估算出旅游废水排放量,其计算公式为

$$Q_{\text{旅}_i} = \mu p N_i \quad (4)$$

式中: $Q_{\text{旅}_i}$ 为第 i 年旅游废水排放量, t/a ; p 为烟台市人均日生活用水量,取 0.1123 t/d ; μ 为生活废水排放系数,取 0.8 。

由此计算出2001—2008年旅游废水排放量,利用曲线拟合法即可得到最佳拟合曲线。

3 结果与讨论

3.1 GM(1,1) 模型预测结果

结合山东省统计年鉴相关数据,利用GM(1,1)模型模拟2000—2008年生活废水排放量、万元产值工业废水排放量、耕地面积和畜禽数量,模拟结果相对误差为 $1.60\% \sim 8.95\%$,精度较高。利用模型预测2009—2013年生活废水排放量、万元产值工业废水排放量、耕地面积和畜禽数量,结果见表2。

表2 GM(1,1) 模型预测结果

年份	生活废水排放量/亿 m^3	万元产值工业废水排放量/ m^3	耕地面积/万 hm^2	猪/万头	大牲畜/万头	家禽/万只
2009	1.502	0.95	41.00	226.15	34.91	4 900.90
2010	1.565	0.79	40.49	226.15	34.91	4 900.90
2011	1.630	0.67	39.97	226.15	34.91	4 900.90
2012	1.699	0.56	39.47	226.15	34.91	4 900.90
2013	1.759	0.47	38.97	226.15	34.91	4 900.90

3.2 曲线拟合结果

对2001—2008年旅游废水排放量进行曲线拟合,结果见图1。

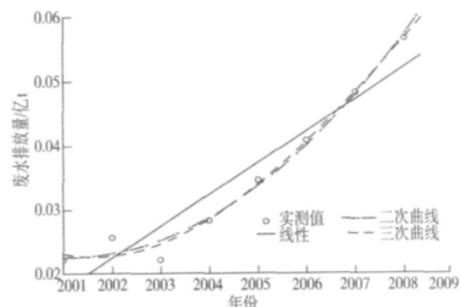


图1 2001—2008年旅游废水排放量曲线拟合

线性、二次和三次曲线的复相关系数对比见表3,通过对比可以看出,二次曲线是3条曲线中最恰当的拟合曲线。

表3 线性、二次和三次曲线精度对比

系数	线性曲线	二次曲线	三次曲线
常数项	125.566** (3.830)	234.506*** (8.955)	261.289** (5.323)
一次方系数	49.582*** (7.637)	-15.782 (-1.182)	-43.646 (-0.983)
二次方系数		7.263** (5.015)	14.567 (1.307)
三次方系数			-0.541 (-0.662)
复相关系数	0.907	0.986	0.986

注:①自变量为年份(2001—2008年),因变量为旅游废水的排放量;②括号内数据是 t 检验结果;③*表示 0.05 显著性水平,**表示 0.01 显著性水平,***表示 0.001 显著性水平。

2003年旅游废水排放量偏低,这与非典有关,非典时期旅游者人数明显降低。2004年后二次曲线变陡,旅游规模不断扩大,旅游废水排放量迅速增大。用二次曲线预测2009—2013年旅游废水排放量,结果见表4。

表4 2009—2013年旅游废水排放量预测值

年份	旅游废水排放量/亿 m ³
2009	0.065
2010	0.074
2011	0.082
2012	0.090
2013	0.096

3.3 2009—2013年陆源废水污染负荷

按照《污水排放综合标准》(GB8978—1996)的规定,烟台近海属Ⅰ类、Ⅱ类海域,按Ⅰ类标准,BOD、COD、NH₄⁺-N、TP最高允许排放质量浓度依次为150、400、80、8 mg/L,根据生活、工业和旅游废水排放量预测结果,计算2009—2013年生活、工业和旅游废水平均污染负荷,农田退水、畜禽养殖废水污染负荷根据式(1)、式(2)计算,结果见表5。

表5 2009—2013年烟台市陆源废水平均污染负荷 万 t/a

污染源	COD	BOD	TN	NH ₄ ⁺ -N	TP
生活	8.155	2.447		1.223	0.049
工业	3.874	1.162		0.581	0.023
旅游	0.407	0.122		0.061	0.002
农田			0.450		0.043
畜禽养殖	16.254	6.095		3.251	0.325

生活、工业、旅游点源污染负荷在2009—2013年占点源水污染总负荷比例依次为66%、31%、3%。在对工业和生活废水排放量进行预测时,由于具体情况比较复杂,因此把废水排放都看做达标排放,污染负荷预测值可能比实际值小,相信随着科技进步和数据统计机制的完善,预测值将与实际值更加接近。畜禽养殖各项污染指标在总污染负荷中均居首位,应加强畜禽养殖污染防治。氮磷负荷由高到低依次为农业、生活、工业、旅游。

4 结 语

(1)烟台市2009—2013年陆源点源污染负荷估算结果表明,生活、工业和旅游废水污染负荷占点源水污染总负荷的比例依次为66%、31%、3%。生活废水所占比例最大,政府应当加强生活用水管理;工业废水污染负荷总体呈增大趋势,但万

元产值工业废水排放量逐年下降,这与工业技术进步和废水处理率提高是分不开的;旅游废水污染负荷所占比例最小,但近年来增长迅速。农业非点源污染负荷估算结果表明,畜禽养殖污染负荷在污染总负荷中所占的比例最大。

(2)在各项污染负荷指标中,氮磷是造成海洋赤潮的主要原因^[15]。生活废水排放的氮磷占点源氮磷污染总负荷的66%,是氮磷的主要来源之一;农业非点源中的畜禽养殖废水排放的氮磷占氮磷总污染负荷的一半以上,具有最大的氮磷污染潜在隐患。

参考文献:

- [1] 冯现青,牛佳.中国海岸带环境问题的研究综述[J].海洋地质动态,2004,20(10):1-5.
- [2] 王书明,周艳,李岩.渤海污染及其治理研究回顾[J].中国海洋大学学报:社会科学版,2009(4):27-31.
- [3] Varkey M J. Pollution of Coastal Seas[J]. Resonance,2008,4(1):36-44.
- [4] Dolan D M. Point Source Loadings of Phosphorus to Lake Erie: 1986-1990[J]. Journal of Great Lakes Research,1993,19(2):212-223.
- [5] Myers C F, Meek J, Tuller S, et al. Nonpoint Sources of Water Pollution[J]. Journal of Soil and Water Conservation,1985,40(1):14-18.
- [6] Niemirydz E. The Pollution Load From the River Odra in Comparison to That in Other Polish Rivers in 1988-1997[J]. Acta Hydrochimica et Hydrobiologica, 1999,27(5):286-291.
- [7] Chiew F H S, McMahon T A. Modelling Runoff and Diffuse Pollution Loads in Urban Areas[J]. Water science & Technology,1999,39(12):241-248.
- [8] Marsalek J, Ng H Y F. Evaluation of Pollution Loadings From Urban Nonpoint Sources: Methodology and Applications[J]. Journal of Great Lakes Research, 1989,15(3):444-451.
- [9] 魏巍,龙祖根,李希健.基于GM(1,1)模型的瓦斯涌出量预测及其计算机实现[J].科技信息,2008(1):245.
- [10] 刘思峰,邓聚龙. GM(1,1)模型的适用范围[J].系统工程理论与实践,2000(5):121-124.
- [11] 尚修虎,何秉宇. GM(1,1)模型在水磨河水体污染预测中的应用[J].新疆环境保护,2006,28(4):14-18.
- [12] 刘光萍. GM(1,1)模型与矿床深部评价[J].华东地质学院学报,1998,21(2):128-131.
- [13] 张雅波.灰色预测的GM(1,1)模型[J].吉林建筑工程学院学报,1999(4):56-60.
- [14] 敖登高娃,赵明,苏根成,等.基于时间序列GM模型的内蒙古水利设施用地预测[J].干旱区资源与环境,2008,39(5):622-636.
- [15] 欧维新,高建华,杨桂山.苏北盐城海岸带陆源氮磷污染负荷估算初探[J].生态环境,2006,15(3):495-498.

【责任编辑 刘 祺】