

# 基于污染损失模型的阅海湿地水体污染的环境功能影响研究

王亚娟, 刘小鹏

(宁夏大学 资源环境学院, 宁夏 银川 750021)

**摘要:** 随着工业化和城市化的推进, 亟待加强湖泊湿地水体污染的环境功能损害治理和防控。基于污染损失模型, 以 1997—2006 年阅海湿地水质监测的原始数据为数据源, 通过计算阅海湿地污染损失率动态变化规律, 详细分析了其环境功能受影响的程度。由于阅海湿地主要水源为农田退水, 总磷、总氮和 BOD<sub>5</sub> 成为最主要的污染物, 而高锰酸盐指数始终是农业灌溉功能损害的主要因素。从综合污染损失率计算结果看, 阅海湿地渔业、居住和农业灌溉功能污染损失率年际变化总体平稳, 而饮用水源和游泳功能污染损失率年际变化总体剧烈。

**关键词:** 污染损失率; 水体污染; 环境功能; 阅海湿地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)03-0174-04

中图分类号: X143

## Influences of Water Pollution on Environment Function of Yuehai Wetland Based on Pollution Loss Model

WANG Ya-juan, LIU Xiao-peng

(School of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

**Abstract:** With the advancement of industrialization and urbanization, it is urgent to reinforce the management and prevention as well as control of damage to water environment function on lake wetlands. The article establishes the monomial and comprehensive loss rates by water pollution based on the calculation model and the original monitoring data from 1997 to 2006, through calculating the dynamic diversification of pollution loss rate of Yuehai wetland and analyzing its degree of environment function damage. Because the main source of Yuehai wetland is the withdrawn agricultural water, the total P, the total N, and BOD<sub>5</sub> become the main pollutant. The index of permanganate is always the main factor of function damage of agricultural irrigation. From calculated result of the comprehensive loss rate, annual pollution loss rate in fishery, habitation, and agricultural irrigation functions on Yuehai wetland are generally steady. However, for drinking water and swimming functions, annual pollution loss rate varies severely on the whole.

**Keywords:** pollution loss rate; water pollution; environmental function; Yuehai wetland

水体污染是当前湿地环境污染及其功能损害的主要原因之一, 其直接后果是导致湿地环境质量下降、资源价值降低, 削弱湿地环境的生态服务功能。目前, 湿地水体污染环境功能影响研究已经得到学术界的关注, 研究方法主要是污染损失率模型<sup>[1-3]</sup>、恢复用法<sup>[4]</sup>、人力资本法和市场价值法<sup>[5]</sup>等。一系列量化研究成果对于制定湿地规划、保护对策与政策起到了重要理论支撑作用。

西北干旱区湿地是整个绿洲生态系统的有机组成部分, 它对调节水量, 局部小气候及绿洲结构、功能

和发展趋向, 保障绿洲的稳定发展和良性循环具有重要的影响和互动效应, 起到了不可替代的重要作用。目前, 针对西北干旱区湿地的研究主要包括湿地生态系统形成与演化<sup>[6]</sup>、湿地生态系统服务功能及价值评估<sup>[7-8]</sup>、湿地景观格局动态变化<sup>[9]</sup>等方面, 但缺乏对微观湿地水污染环境功能影响研究的应有重视。

银川湖泊湿地不论与东部平原湖群或是青藏高原湖群相比, 其演变特点与生态效应均具有自己的独特性质, 除了因干旱蒸发量大造成水质咸化和土壤盐渍化、地面沉降与黄河水沙淤积相互抵消效应等特点

外,其最大特点是依托黄河及其灌溉排水体系而形成和消长,成为全国湖泊湿地中一种十分独特的类型,构成了西北干旱区独具特色的典型湖泊湿地景观群。多年来,随着银川市工业化和城市化进程的加快,湖泊湿地水体污染问题逐渐凸现。但是,对银川市湖泊湿地研究主要是定性评价,还没有把湖泊湿地水体污染与环境功能联系起来的定量研究。本文以银川市最大的湖泊湿地——阅海湿地为例,运用污染损失模型,定量研究湖泊湿地水体污染状况、变化规律及其环境功能影响,以期对银川市湿地保护及恢复重建提供更加准确信息和科学依据。

## 1 研究区基本状况

银川市是宁夏平原湖泊湿地集中分布区。20 世纪 50 年代以来,由于大规模围(填)湖造田,以及城市开发建设,使得银川湖泊湿地急剧减少,部分湖泊逐渐退化,其结构和功能遭到严重破坏。

阅海湿地位于银川市西北,地处银川金凤区,距市区约 5 km,东与贺兰县丰登乡相连,西以包兰铁路为界,南与西夏区接壤,北到第二湿地渠<sup>[10]</sup>。地理位置为东经 106°11′—106°14′,北纬 38°31′—38°37′,海拔 1 100 m。南北长 10 km,东西平均宽 2.7 km,南窄北宽,呈倒梯形,总面积 2 013 hm<sup>2</sup>,核心区面积约 22 km<sup>2</sup>。阅海湖体由第四纪冰川侵蚀地下水溢出汇集,再接受大气降水和地面水的补给而成,湖体呈倒梯形,水源补给主要是以农田退水、黄河注水为主,还包括一部分降水及地下水,其比例分别是 51%,46%,2.7%以及 0.3%<sup>[11]</sup>。

历史上,阅海曾是广阔天然湖泊湿地,但受多种因子胁迫,逐渐形成了今日与城市毗邻的矩形苇塘、鱼塘与农田形态。湿地被人为分隔,湿地植被遭到严重破坏,生物物种单一,植物种类主要有芦苇、狭叶香蒲等水生植物和碱蓬等盐生植物。自 2003 年以来,银川市实施了湿地恢复与保护工程,目前已形成湖泊湿地、沼泽湿地为主的较完整湿地生态系统。该区域目前保留有湖泊面积 800 hm<sup>2</sup>,占总面积的 40%,水深 2.5~3 m;沼泽面积 495 hm<sup>2</sup>,占总面积的 24.6%,水深 0.2~0.8 m。据调查,湖区分布的植物有 3 门 40 科 87 属 114 种,并有 107 种鸟类在此栖息,是宁夏境内西北候鸟迁徙的重要停留地与繁衍地。2006 年,银川湖泊湿地恢复与保护项目获“中国人居环境范例奖”,阅海湿地公园成为我国第三个国家级湿地公园,也是中国西部地区和黄河流域第一个国家级湿地公园。

## 2 计算模型和数据来源

### 2.1 计算模型

在某种浓度  $c$  下,该污染物引起的损失与功能价值  $K$  之比,为该污染物对该功能的损失率<sup>[1-3,12]</sup>,即污染损失率  $R_{ij}$ 。

$$R_{ij} = \frac{1}{1 + a_{ij} \times \exp(-b_{ij} \cdot c_j)}$$

式中  $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$  是仅与污染物自身特性和水体使用功能有关的参数,一般通过毒理实验或损害实验确定。由于污染物的毒性不随时间地点改变,参数一经确定就适用于任一湖泊的计算。

当有  $n$  种影响相互独立的污染物存在时,减去交互影响部分后的综合损失率  $R_i^{(n)}$  为

$$R_i^{(n)} = R_i^{(n-1)} + (1 - R_i^{(n-1)})R_{in}$$

在所有污染物中,总氮和总磷均为引起富营养化的营养物质,不是相互独立的污染物,以其中影响最小的一个为限制性因素。所以计算综合损失率时,以总氮和总磷中单项损失率最小的一个参与计算,其它污染物之间基本满足相互独立性。

### 2.2 数据来源

本研究为动态量化评价,采用宁夏回族自治区环境保护局 1997—2006 年阅海湿地水质监测的原始数据,经过统计整理后作为计算的基础数据资料。

## 3 结果与分析

### 3.1 水体污染的环境功能损失率计算分析

3.1.1 单项指标污染损失率  $R_{ij}$  分析 从计算结果看,1997 年影响渔业功能的主要是总磷和镉,其污染损失率分别为 0.014 7 和 0.008 2;影响饮用水源、游泳、旅游和居住功能的主要是总磷,其污染损失率为 0.971 9,0.937 6,0.697 4 和 0.234 8;影响农业灌溉功能的主要是高锰酸盐指数,其污染损失率为 0.006 9。

1998 年,影响渔业功能的主要是 BOD<sub>5</sub>、镉和总磷,其污染损失率分别为 0.007 2,0.006 7 和 0.005 6,镉和总磷的污染损失率明显降低;影响饮用水源功能的主要是六价铬,其污染损失率为 0.015 7;BOD<sub>5</sub>对游泳、旅游和居住功能影响最大,其污染损失率分别为 0.013 0,0.003 5 和 0.004 8;而高锰酸盐指数依然是影响农业灌溉功能的主要指标,其污染损失率为 0.006 8。

1999 年,影响渔业功能的主要是总磷和 BOD<sub>5</sub>,其污染损失率分别为 0.006 7 和 0.004 5;影响饮用水源、旅游和居住功能的主要是总磷,其污染损失率

为 0.005 9, 0.002 3 和 0.004 0; 影响游泳和农业灌溉功能的分别为镉和高锰酸盐指数, 其污染损失率分别为 0.009 3 和 0.007 1。

2000 年, 影响渔业、饮用水源、游泳、旅游和居住功能的主要是总磷, 其污染损失率分别为 0.010 7, 0.053 9, 0.412 6, 0.132 4 和 0.052 7; 而高锰酸盐指数依然是影响农业灌溉功能的主要指标, 其污染损失率为 0.007 2。

2001 年, 影响渔业和饮用水源功能的主要是 BOD<sub>5</sub>, 其污染损失率分别为 0.111 5 和 0.821 0; 总氮是影响游泳、旅游和居住功能的主要因素, 其污染损失率分别为 0.674 0, 0.285 9 和 0.092 9; 而高锰酸盐指数依然是影响农业灌溉功能的主要指标, 其污染损失率为 0.007 1。

2002 年, 总磷是影响渔业、饮用水源、游泳、旅游和居住功能最主要的因素, 其污染损失率分别为 0.021 4, 0.999 6, 0.998 5, 0.984 9 和 0.714 9; 而高锰酸盐指数依然是影响农业灌溉功能的主要指标, 其污染损失率为 0.007 2。

2003 年, 总氮是影响渔业、饮用水源、游泳、旅游和居住功能最主要的因素, 其污染损失率分别为 0.012 6, 0.877 3, 0.784 4, 0.398 0 和 0.123 1; 而高锰酸盐指数依然是影响农业灌溉功能的主要指标, 其污染损失率为 0.007 0。

2004 年, 总氮是影响渔业、饮用水源、游泳、旅游和居住功能最主要的因素, 其污染损失率分别为 0.113 3, 0.681 2, 0.551 9, 0.201 8 和 0.071 2; 影响农业灌溉功能的高锰酸盐指数污染损失率为 0.007 0。

2005 年, 总氮依然是影响渔业、饮用水源、游泳、旅游和居住功能最主要的因素, 其污染损失率分别为 0.012 8, 0.888 2, 0.799 9, 0.418 2 和 0.128 9; 影响农业灌溉功能的高锰酸盐指数污染损失率为 0.007 1。

2006 年, 影响渔业功能的主要因素为 BOD<sub>5</sub>, 其污染损失率为 0.011 6; 总氮依然是影响饮用水源、游泳、旅游和居住功能最主要的因素, 其污染损失率分别为 0.329 5, 0.247 8, 0.072 7 和 0.035 4; 影响农业灌溉的功能高锰酸盐指数污染损失率为 0.007 0。

在 1998 年之前, 由于企业偷排、漏排污水或未经处理的废水直接进入阅海湿地使得镉和六价铬等重金属污染加重。1999 年以来, 银川市加强企业环境污染治理和建设污水处理厂, 重金属污染基本消除。在计算年份内, 由于阅海湿地主要水源为农田退水, 总磷、总氮和 BOD<sub>5</sub> 成为最主要的污染物, 而高锰酸盐指数始终是农业灌溉功能损害的主要因素, 这与当地大量施用化肥具有密切关系。

3.1.2 综合污染损失率  $R_i^{(n)}$  计算分析 各项功能综合污染损失率  $R_i^{(n)}$  年际变化差异显著(图 1)。渔业功能除在 2001 年较大( $R_i^{(n)} = 0.138 9$ )、居住功能在 1997 年( $R_i^{(n)} = 0.973 9$ ) 和 2002 年( $R_i^{(n)} = 0.099 7$ ) 较大外, 其余年份的综合污染损失率基本一致, 且值较小。农业灌溉功能污染损失率年际变化平稳, 且值较小。旅游功能呈递减波动变化态势, 但在 1997—2003 年之间, 变化较剧烈。饮用水源功能污染损失率年际变化呈剧烈波动趋势(1997, 2005 和 2001 年的污染损失率分别为 0.973 9, 0.968 7 和 0.832 9, 其余年份的污染损失率均在 0.600 以下); 游泳功能污染损失率年际变化呈剧烈波动减小趋势(1997 年最大, 其值为 0.939 4; 2004 年最小, 其值为 0.045 3)。

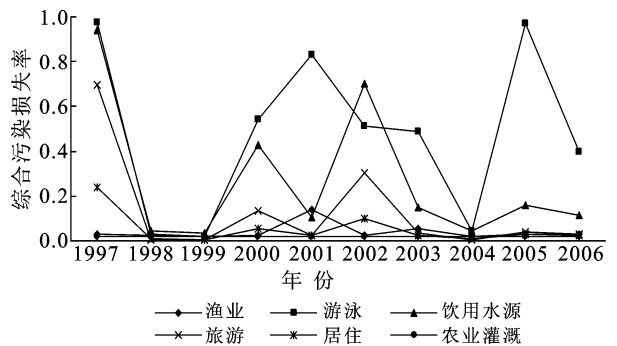


图 1 综合污染损失率  $R_i^{(n)}$  年际变化

### 3.2 水体污染的环境功能影响程度分析

依据水质评价惯例, 可以根据综合损失率的大小, 将湖泊损害或水质划分成若干级, 得到更加直观、形象的结果(表 1)。计算得到 1997—2006 年阅海湿地各使用功能的污染与损害程度。

阅海湿地水已不适宜再作为饮用水源, 在评价的 10 a 间, 有 2 a 是严重污染, 功能完全丧失(损失率分别是 97.39%, 96.87%), 有两年是重污染, 重损害(损失率分别是 83.29%, 51.19%), 从时间跨度上看, 饮用水源这一功能的损失率经历了功能完全丧失—微损害—轻损害—重损害—中损害—功能完全丧失—中损害—这一过程, 反映出水质从坏到好, 再到坏, 又逐渐恢复的趋势。造成饮用水源这一功能丧失的主要污染物来自营养物质总磷、总氮和六价铬, 而其它污染物均不具备明显损害。除个别年份的个别污染物外, 单项污染损失率均没有超过 1%。游泳用水功能在 1997 年完全丧失(损失率是 93.94%), 2002 年重损害(损失率是 70.09%), 其余年份以中损害为主, 说明作为游泳用水这一功能已受到严重威胁, 其主要污染物质还是营养物质, 以及六价铬、镉和 BOD<sub>5</sub>, 其中总氮和总磷占有很大份量。但作为游泳

用水的污染损失率在 2000 年之后都小于 0.2, 说明这一功能有逐渐好转的趋势。旅游用水功能除 1997 年严重损害外(损失率是 69.78%), 有 2 a 是不损害, 4 a 是微损害, 有逐渐好转趋势。居住环境功能除 1997 年是中损害外(损失率是 23.69%), 有 3 a 是不

损害, 4 a 是微损害; 渔业养殖和农业生产灌溉用水尚好, 渔业功能损失除了 2001, 2003 年年达到轻损害, 其余从 1997—2006 年都是微损害, 农业生产灌溉功能的损失率都没有超过 2.1%, 这 10 a 全是微损害, 完全可以满足农业灌溉用水需求。

表 1 水质评价分级标准的划分

综合损失率 $R_i^{(n)}$	$R \leq 0.01$	$0.01 < R \leq 0.05$	$0.05 < R \leq 0.2$	$0.2 < R \leq 0.5$	$0.5 < R \leq 0.9$	$R > 0.9$
污染程度	优良	尚清洁	轻污染	中污染	重污染	严重污染
损害程度	不损害	微损害	轻损害	中损害	重损害	功能丧失

## 4 结论

湖泊湿地环境质量是与环境功能影响程度直接相联的。通过污染损失率的计算, 将阅海湿地环境功能损害程度与水质评价统一起来, 并与其使用状况相联系, 使评价结果具有明确的物理意义。利用阅海湿地各功能区水域监测的水质数据, 分别计算各功能区水域的综合损失率, 可以确定不同功能区水体的污染状况, 为鱼类保护、水源保护、游泳、居住和农业灌溉等的保护提供科学有效依据。

阅海湿地水已不适宜作为饮用水源和游泳用水, 且水污染造成的环境功能降低也集中在这两项; 对于渔业、居住、旅游、农业灌溉等功能呈波动状态, 但总体稳定。总体来看, 影响阅海湿地环境功能的主要因素是农业面源污染等。今后, 要加强阅海湿地环境功能分区管理, 强化动态监测; 加强周边地区农村面源污染控制, 最大限度地减少化肥的施用量, 降低农药使用量, 加强畜禽粪便的处理; 加强对水产养殖污水排放的管理, 推广应用绿色安全、高效的水产饲料, 提高磷的消化利用率, 添加合成氨基酸减少水产动物氮的排泄量等。采用污染损失率模型计算污染损失, 结果能很好地反映出湖泊湿地水体污染与环境功能之间的关系。该模型简洁明确, 容易理解, 不仅可对单一要素的受损情况进行估算, 还能对多种环境要素进行综合评价。污染损失率模型中参数较少, 所以该模型受主观影响小, 计算结果客观性强, 能够较真实地反映污染对环境所造成的影响。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 郝伟罡. 乌梁素海自然保护区经济价值及水污染损失分析研究与定量计算[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [2] 陈妙红, 邹欣庆, 韩凯, 等. 基于污染损失率的连云港水环境污染功能价值损失研究[J]. 经济地理, 2005, 25(2): 223-227.
- [3] 黄进勇, 王兆骞. 水体污染经济损失估算模型及其应用[J]. 生物数学学报, 2003, 18(1): 37-42.
- [4] 王艳, 王倩, 赵旭丽, 等. 山东省水环境污染的经济损失研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(2): 83-87.
- [5] 李莲芳, 曾希柏, 李国学, 等. 北京市水体污染的经济损失评估[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 247-253.
- [6] 王效科, 欧阳志云, 苗鸿. 中国西北干旱地区湿地生态系统的形成、演变和保护对策[J]. 国土与自然资源研究, 2003(4): 52-54.
- [7] 段晓男, 王效科, 欧阳志云. 乌梁素海湿地生态系统服务功能及价值评估[J]. 资源科学, 2005, 27(2): 110-115.
- [8] 陈强, 陈正江, 张兴国. 基于 RS/GIS 的艾比湖沿岸绿洲生态系统服务功能价值及其演变[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 79-82.
- [9] 赵锐锋, 周华荣, 肖笃宁. 塔里木河中下游地区湿地景观格局变化[J]. 生态学报, 2006, 26(10): 3470-3478.
- [10] 王亚男, 冯长春. 银川城市湿地的保护与合理开发利用探讨[J]. 地域研究与开发, 2007, 26(1): 99-103.
- [11] 刘小鹏. 西北干旱区湖泊湿地生态系统特征与综合评价[D]. 宁夏银川: 宁夏大学, 2008.
- [12] 张江山, 孔健健. 环境污染经济损失估算模型的构建及其应用[J]. 环境科学研究, 2006, 32(1): 15-17.