

枣庄市水环境生态安全评价

唐 承 佳

(枣庄学院 旅游与资源环境系, 山东 枣庄 277160)

摘 要: 基于枣庄市水环境现状, 按照“状态-压力-响应”模型要求, 建立了枣庄市水环境生态安全评价指标体系。并采用综合指数法对枣庄市水环境生态安全水平进行了评价, 通过确定评价标准进行综合指数分级处理, 与 5 个水环境生态安全等级进行关联, 分别对应重警、中警、预警、较安全和安全状态。在时间上以 1999-2005 年的数据为依据, 进行枣庄市水环境生态安全的年际演变分析。研究结果表明: 1999-2005 年枣庄市水环境生态安全评价综合值总体趋势下降, 水环境生态安全已经进入预警状态; 状态评价值逐年下降, 表明枣庄市水环境生态系统持续受损, 水环境压力特别是农业面源污染逐年增加是枣庄市水环境生态安全综合评价值下降趋势的重要原因。

关键词: 水环境生态安全; 评价指标体系; 枣庄市

中图分类号: TV213; X52 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2007) 06-0295-03

Ecological Security Assessment of the Water Environment in Zaozhuang City

TANG Cheng-jia

(Department of Tourism, Resources and Environment, Zaozhuang University, Zaozhuang, Shandong 277160, China)

Abstract: The article established the ecological security assessment index system of water environment in Zaozhuang City, which was based on the “state-pressure-response” index system and the situation of water environment in Zaozhuang city. The assessment adopted the standardization for all the index data and used variant coefficient method to get the weight of every index. The final result was divided into five grades, which corresponded to serious alarm, secondary alarm, early alarm, almost safety and safety. The article made temporal analysis to indicate the development trend of the ecological security of water environment in Zaozhuang city by the data from 1999 to 2005. The results show: (1) At present, there are three main problems in water environment in Zaozhuang city, such as the badly polluted rivers, deficient local water resource, great pressure from economy development. (2) From 1999 to 2005, the assessment value declined year after year and the assessment value of state index kept falling. These indicated that the ecosystem of water environment in Zaozhuang city was in early alarm grade and being damaged continuously. (3) The drop was mainly brought out by the pressure of water environment, which was especially caused by the country non-point source pollution in Zaozhuang city.

Key words: Ecological security of water environment; assessment index system; Zaozhuang city

水资源是人类经济发展和社会进步最基本的自然资源, 也是实现可持续发展的重要物质基础。枣庄市位于鲁、苏两省交界处, 是山东省的南大门, 又西濒南四湖。南水北调东线工程调水后, 保证山东省南大门水环境质量以及水环境生态安全是打造南水北调东线工程山东段“清水廊道”的首要任务。有必要对枣庄市水环境生态安全进行评价以确定水环境生态安全水平现状以及今后水环境治理、保护和建设的重点方向。

1 枣庄市水环境安全现状

1.1 水资源总量不足

枣庄市地处淮河流域南四湖东, 属运河水系(图 1)。东西最宽 56 km, 南北最长 96 km, 总面积 4 550 km²。枣庄市多年平均水资源总量为 14.6 亿 m³, 人均水资源占有量为 400.80 m³[1], 按联合国统计划分, 枣庄市属于世界水危机地区。

2005 年枣庄市水资源总量为 11.6 亿 m³, 实际总供水量为 8.03 亿 m³。其中, 地表水供水量 2.7 亿 m³, 地下水开采利用量

5.28 亿 m³, 污水利用量 0.02 亿 m³, 跨流域引、调水量 0.66 亿 m³[2]。由于地表水资源不足, 导致枣庄市地下水超采日益加剧。另外, 枣庄市经济粗放增长、用水效率低导致了枣庄市水资源供需矛盾越来越突出。例如 2005 年枣庄市每万元 GDP 用水 240 m³, 是美国的 4.6 倍, 日本的 9.7 倍。

近年来, 枣庄市河流均发生过季节性断流现象。河流断流使许多湿地失去了供水源头, 湿地生态遭到破坏, 生物多样性减少。自 20 世纪 70 年代末全市地下水累计超采达 0.5 亿 m³, 地下水漏斗区面积不断加大[3]。1979 年全市地下水漏斗区总面积只有 96.3 km², 到 1999 年漏斗区面积达到 110.42 km², 2005 年末全市地下漏斗面积为 121.58 km²。

1.2 水环境污染严重, 难以满足水质功能需求

2005 年全市废水排放量为 1.78 亿 t, 其中工业废水 112 亿 t, 生活及其它污水为 0.66 亿 t, COD 年排放量为 4.68 万 t[4], 是河流环境容量的 8.2 倍。全市河流劣(Ⅴ)类水质占

*收稿日期: 2007-01-07
基金项目: 枣庄学院 2005 科技发展项目(20050206); 枣庄学院重点扶持学科(自然地理学)资助项目
作者简介: 唐承佳(1973-), 男, 湖南新邵人, 讲师, 博士生, 主要从事城市水环境与城市生态研究。

52.66%；全市的湖泊、水库水质均劣于 Ⅳ类标准，且均处于重富营养化状态；此外，由于枣庄市大多数入湖河流水质污染严重，沿湖工业废水和城市生活污水大量排入，加上南四湖养殖业不断发展，导致南四湖水质污染严重，局部水质恶化。目前，枣庄市的各级河流生态系统也都遭受了不同程度的破坏。大部分河流都会出现季节性断流，即使在汛期，河流水质也很难达到 Ⅲ类水质标准。

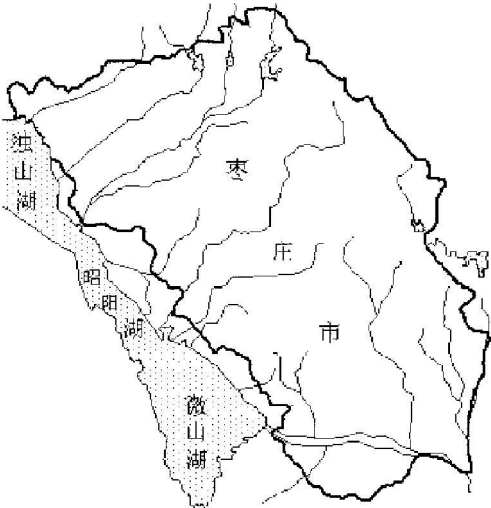


图 1 枣庄市水系

1.3 社会经济发展对水环境的压力增加

2005 年末，枣庄市总人口 359.82 万人。城市生活水平不断提高，经济持续增长，对水资源的需求不断增大，同时水环境的污染也日益严重。尽管枣庄市近年来调整产业结构、控制人口规模，但对水环境的压力仍然很大。近年来工业用水始终占 40% 左右，农业灌溉及生活用水占 60%，供水总量的 70% 来自地下水。目前，枣庄市只是基本满足全市的用水需求，从长远发展考虑，今后只有开发利用地下水资源；但是地下水水质也不乐观，据 2003 年对全市各地下水水源地的取水水质 118 个站点监测资料分析，Ⅲ类水 7 个，Ⅳ类水 51 个，Ⅴ类水 32 个，Ⅵ类水 28 个，可直接用于向城市居民生活和工业生产供水的仅占 49%^[5]。并且一些水质Ⅴ类和超Ⅴ类的河道穿越富水水源地，增加了地下水受污的风险。地下水漏斗面积不断扩大引起的地面沉降和塌陷进一步减少了地下水库的储水量。

2 枣庄市水环境安全评价指标体系

水环境生态安全问题涉及面非常广阔，既有自然性指标也有社会性指标，既有动态指标也有静态指标，既有定性指标也有定量指标，并且各指标体系均应该具有一定的层次结构。在研究和制定枣庄市水环境生态安全评价指标体系及其评价方法时，遵循了科学性、整体性、可操作性、引导性、层次性、动态性与稳定性等指标选取原则^[6]。制定出来的指标体系具有资料收集的可行性和可操作性、时间和空间上的敏感性、综合性和主要成分性、预测性和科学性、针对性和应用性等属性。

水环境生态安全研究不仅要对存在的生态环境状态进行评价，更重要的是要掌握对生态安全有潜在影响的重要因素的变化情况和人类社会的能动性水平。据此，针对枣庄市的实际情况和数据的获取情况，根据“状态—压力—响应”模式的指标体系的要求，选取了如表 1 所示的指标，对枣庄市水环境生态安

全进行评价和年际时间尺度上的纵向变化分析^[7]。

表 1 枣庄市水环境生态安全评价指标体系

状态系统指标	压力系统指标	响应系统指标
地表水源供水量；地下水可开采量；年降水量；河流断流率；中心城区地面沉降量；水灾造成的经济损失；劣（Ⅵ）类以下河段比例	年末人口；国内总产值；工业总产值；农业总产值；耕地面积；化肥施用量；农药施用量；自来水量；自来水供水总量；总用水量；地下水开采量；废水排放总量；工业废水排放量；生活污水排放量；废水中化学需氧量；万元 GDP 用水量；实灌面积	环境保护投资；环保投资占国内生产总值比例；农田水利工程量；城市排水管道长度；水厂生产能力；污水处理厂处理率；废水（工业）排放达标率

3 枣庄市水环境生态安全评价的方法

关于水环境生态安全评价，除了评价指标的选取尚无定论外，目前定量评价生态系统安全的方法也还处于探索之中，各种方法均具有一定的局限性，并没有一套公认的标准方法。我国学者在生态系统安全评价研究中，提出了多种评价方法，如主成分分析法、层次分析法、综合指数评价法、指数叠加法、模糊综合评价法等^[8]。本文采用综合指数评价法进行评价。该方法首先通过层次分析法对各指标在可持续发展中的相对重要性进行判断，确定其权重，然后通过数学计算得到综合指数（分数）。此评价方法还需要采用等级划分法，通过确定评价标准（或基准值）进行综合指数分级处理。

首先，利用极差标准化方法对参评指标进行量化统一。用于衡量水环境生态安全状况的指标分为两种情况：越大越安全的指标（如当地水资源量）和越小越安全的指标（如废水排放量）。为了综合评价，在对不同量纲指标的初始数据进行标准化处理时，将所有的指标数值转换成统一的含义，使所有指标的数值越大反映水环境生态越安全。具体处理的公式如下：

针对越大越安全的指标：

$$X'_{ij} = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin}) \times 10 \tag{1}$$

针对越小越安全的指标：

$$X'_{ij} = (X_{jmax} - X_{ij}) / (X_{jmax} - X_{jmin}) \times 10 \tag{2}$$

式中： X_{ij} 、 X'_{ij} ——第 i 年和第 j 指标的原值和标准化后的数值； X_{jmax} 和 X_{jmin} ——第 j 指标的最大值和最小值。

其次，在水环境生态安全评价中对各指标权重的确定采用客观赋值的变异系数法，公式如下：

$$\delta_j = D_j / X_j \tag{3}$$

$$A_j = \delta_j / \sum_{j=1}^n \delta_j \tag{4}$$

式中： δ_j 、 D_j 、 X_j 、 A_j ——第 j 指标的变异系数、均方差和权重值。

最后，在上述基础上，得到生态安全的综合评价值，公式为

$$W_i = \sum_{j=1}^n A_j \cdot X'_{ij} \tag{5}$$

式中： W_i ——第 i 年的综合评价值。

4 枣庄市水环境生态安全评价标准和等级

水环境生态安全评价等级的划分是为了确定评价工作的深度和广度，体现生态建设与环境开发项目的生态、环境

安全的影响程度和保护的要求程度。评价指标确定后, 由于各系数的量纲不统一, 缺少可比性, 所以直接对它们进行评价是困难的。可利用公式(1)和(2)对参评因子的进行标准化量化, 通过公式(3),(4)和(5)计算出为水环境生态安全评价的综合评价指数值。然后采用极差标准化的方法, 将指标

的标准化值及其综合指数值转换为等级值, 即将标准化值和综合指数值分别和状况评判联系起来。根据生态安全指标值与生态安全预警标准之间的关系以及左伟等人提出的二者之间的关联方法^[9], 将综合指数评价值与评判集及预警的等级关系做出如下的概念关联。

表 2 水环境生态安全综合指数评价值与评判集的等级关系的概念关联

等级	综合指数评价值	表征预警状态	特 征
iv	$0.0 \leq W_i < 2.0$	重警、巨警状态 (恶劣状态)	水环境遭受严重污染, 水环境生态服务功能几近崩溃, 生态恢复与重建很困难, 并经常演变成水生态灾害
㉔	$2.0 \leq W_i < 4.0$	中警状态 (较差状态)	水环境生态系统服务功能严重退化。水生态环境受到较大破坏, 受外界连续干扰时生态恢复困难, 生态灾害较多
㉕	$4.0 \leq W_i < 7.0$	预警状态 (一般状态)	水环境生态系统服务功能已有退化。水环境受干扰后易恶化, 生态问题显现, 生态灾害时有发生
㉖	$7.0 \leq W_i < 9.0$	较安全状态 (良好状态)	水环境生态系统服务功能较为完善。一般干扰下可恢复, 生态问题不显著, 生态灾害不太多
㉗	$9.0 \leq W_i < 10.0$	安全状态 (理想状态)	水环境生态系统服务功能基本完整。系统恢复再生能力强, 生态问题不显著, 生态灾害很少

5 枣庄市水环境生态安全评价结果及分析

5.1 枣庄市水环境生态安全评价结果

本次枣庄市水环境生态安全评价的年际范围为 1999–2005 年, 各指标的原始数据主要来自《山东省统计年鉴》(2000–2006 年)、《枣庄市统计年鉴》(2000–2006 年) 和枣庄市环境质量公报(2000–2005 年)。根据上述处理方法得到枣庄市水环境生态安全综合评价图 2。

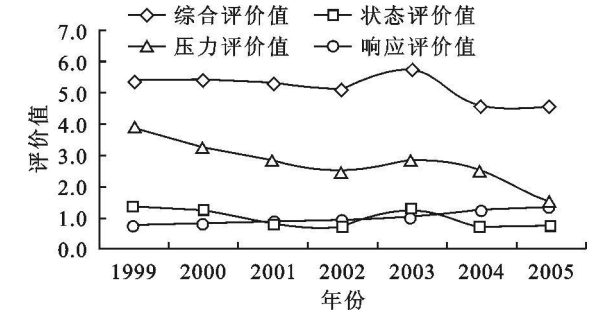


图 2 枣庄市水环境生态安全年际变化评价值

5.2 枣庄市水环境生态安全的主要影响因素

评价结果表明, 枣庄市水环境生态安全综合评价价值在 0.60~0.45 之间, 因此水环境生态安全已经进入预警状态, 并且生态安全水平持续下降。在状态、压力和响应 3 个指标层中, 权重列于前几位的分别是: 年降水量、地下水可开采量、城区地面沉降量、劣(Ⅴ)类水质河段占总监测河段比例; 农药和化肥施用量、自来水用水量、生活污水排放量、耕地面积、工业废水排放量; 农田水利工程投资、环保投资占国内生产总值比例、城市污水处理率。这说明这些指标对枣庄市水环境生态安全的影响较大, 也是今后枣庄市水环境生态安全建设过程中最需要引起重视、合理建设的方面。

在状态指标层中, 地表水资源供水量、中心城区地面沉降量和水灾经济损失等指标由于标准化后数值的年际变化幅度小, 所占的权重相对较小, 但这并不意味着这些方面对水环境生态安全的作用小, 而是表明在用变异系数法求权重时, 这些变化幅度小的指标相对比较稳定, 以目前的发展趋势还不会危及水环境生态安全, 但前提是这些指标必须被控

制在适当的、微小波动范围内; 那些变化幅度较大的指标则容易对评价时间段内水环境生态安全产生震荡影响, 在今后的建设和保护过程中必须加强控制。

在压力指标层中, 农药和化肥施用量、自来水用水量、生活污水排放量、耕地面积、工业废水排放量等指标权重较大, 表明这些压力指标对水资源和水质的压力是比较大的, 在今后的城市发展中, 这些指标对水环境生态安全存在着潜在的、重要的影响。

在响应指标层中, 农田水利工程投资、环保投资占国内生产总值比例、城市污水处理率等指标权重也较大, 这既反映了这些措施对水环境生态安全的改善作用, 也表明在今后城市建设发展过程中, 这些指标是加强城市竞争力和可持续发展力的重要指标, 需要不断更新完善和提高效率。

5.3 枣庄市水环境生态安全年际变化特征

从状态层各项指标的发展趋势来看, 除了年降水量、水灾经济损失这些受气候等偶然因素影响的指标升降幅度没有规律外, 其他指标基本上呈下降趋势。水环境生态安全状态评价值的下降趋势表明枣庄市水环境生态系统持续受损, 因此, 近期枣庄市水环境生态安全状态不容乐观。

总体而言, 枣庄市水环境生态安全压力评价价值持续下降, 即枣庄市水环境承受的压力有所增加, 这主要是由于枣庄市粗放型经济的继续发展, 工业废水和各种废污水的排放总量虽然在不断减少, 但是农业生产过程中化肥、农药用量持续增长造成农村面源污染不断加剧; 这些压力只有通过各种节灌措施和提高农业生产用水效率、继续减少污水排放量等响应措施才能得到缓解。

图 2 综合反映了 1999–2005 年枣庄市水环境生态安全的演变情况。水环境生态安全综合指数总体趋势下降, 但是出现了 2003 年水环境生态安全状况最好的波动, 其主要原因是 2003 年年降水量大, 地表径流稀释并带走了境内的一些污染水体。从这几年的水环境演变情况来看, 由于环保技术和环保措施的薄弱, 尤其是农业生产的面源污染引起水环境压力逐年增加, 社会及政府各部门对水环境保护所做出的

(下转第 301 页)

4 结 语

三江平原是我国湿地的集中分布区, 已经被列入国际湿地重要名录和中国重点保护湿地名录, 应采取必要的措施控制和改善三江平原地区湿地生态环境恶化。在加强保护现有湿地自然保护区的基础上, 加强湿地科学考察和科学的研究, 制定合理退耕还湿计划安排和措施, 增设退耕还湿建设重点区域, 设立环境监测网络系统, 建立湿地资源信息管理数据库, 加强湿地保护宣传教育和规划, 优化水资源配置, 逐步改善沼泽湿地边界水文条件, 恢复地表径流、湿地植被和湿地的生态功能, 促进区域资源可持续利用。

参考文献:

[1] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands[M]. New York: Van Nost rand Reinhold Company Inc. , 1986: 286– 307.

[2] 王毅勇, 宋长春. 三江平原典型沼泽湿地水循环特征[J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(3): 3– 7.

[3] 陈刚起. 三江平原沼泽研究[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 52– 56.

[4] 沈大军, 刘昌明. 水文、水资源系统对气候变化的影响[J]. 地理研究, 1998, 17(4): 435– 441.

[5] 刘兴土. 松嫩– 三江平原湿地资源及其可持续利用[J], 地理科学, 1997, 17(增刊): 451– 460.

[6] 刘兴土, 马学慧. 三江平原自然环境变化与生态保育[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 59– 173.

[7] 张芸, 吕宪国, 倪健. 三江平原典型湿地冷湿效应的初步研究[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 37– 39.

[8] 张树清, 张柏, 汪爱华. 三江平原湿地消长与区域气候变化关系研究[J]. 地球科学进展, 2001, 16(6): 836– 837.

[9] 陈刚起, 张文芬. 三江平原沼泽对河川径流影响的初步分[J]. 地理科学, 1982, 2(3): 254– 263.

[10] 陈刚起. 三江平原沼泽径流的实验研究[M]// 黄锡畴. 中国沼泽研究. 北京: 科学出版社, 1988: 120– 125.

[11] 刘振乾, 王建武, 骆世明, 等. 基于水生生态因子的沼泽安全阈值研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1610– 1614.

[12] 刘红玉, 李兆富. 三江平原典型湿地流域水文情势变化过程及其影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4): 493– 500.

[13] 王宗明, 张树清, 张柏. 土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(1): 125– 128.

[14] 侯伟, 匡文慧, 张树文, 等. 近 50 年来三江平原北部土地利用/ 土地覆被变化及生态效应分析[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 752– 756.

[15] 罗先香, 何岩, 邓伟. 三江平原沼泽湿地水系统研究浅析[J]. 生态学杂志, 2003, 22(1): 40– 42.

[16] 邓伟, 潘响亮, 栾兆擎. 湿地水文学研究进展[J]. 水科学进展, 2003, 14(4): 521– 525.

(上接第 297 页)

响应不足以平衡水环境所受的资源量减少和水体受污染的双重压力, 从而最终导致 1999– 2005 年水环境生态安全综合评价价值总体趋势下降。另外, 从各年的指标评价价值可见, 压力评价值所占的比重越来越大, 水环境状态评价值的比重则在不断下降, 而水环境生态安全响应评价值的比重上下波动, 这一方面说明人类采取积极有效的措施能够有效地减缓水环境的恶化趋势, 但另一方面也向人们敲响警钟: 水资源短缺和水体污染仍在进一步加重, 水环境条件仍在不断恶化中, 需要继续采取各种节水措施, 缓解对水环境的压力, 改进节水和净水技术, 加强对水库和河流的综合治理和生态建设以维护枣庄市水环境生态安全。

6 结 论

枣庄市水环境生态安全评价综合值总体趋势下降, 水环境生态安全已经进入预警状态, 并且生态安全水平持续下降, 为了建设南水北调东线工程山东段的清水廊道。必须加强枣庄市蓄水调水工程建设以提高水资源调蓄能力, 同时要加快建设节水型社会, 进一步严格控制排放总量, 继续削减污染, 特别是要采取措施进行农村面源污染的控制和治理。

参考文献:

[1] 枣庄市统计局. 枣庄市统计年鉴[Z]. 北京: 中华书局出版, 2005: 41– 67.

[2] 山东省统计局. 山东省统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2003: 32– 37.

[3] 枣庄市统计局. 枣庄市统计年鉴[Z]. 北京: 中华书局出版, 2006: 128– 132.

[4] 山东省统计局. 山东省统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2006: 219– 223

[5] 刘汝节, 等. 枣庄市水环境现状调查及污染防治措施[J]. 山东水利, 2003, 10: 18.

[6] 陈国阶, 何锦峰. 生态环境预警的理论和方法探讨[J]. 重庆环境科学, 1999, 21(4): 8– 11.

[7] 贾绍风, 等. 区域水资源压力指数与水资源安全评价指标体系[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 538– 545.

[8] 韩字平, 阮本清. 区域水安全评价指标体系初步研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(2): 267– 272.

[9] 左伟, 等. 区域生态安全评价指标与标准研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 67– 71.