

# 天津市生态脆弱性评价

史振华<sup>1</sup>, 程 婕<sup>2</sup>, 王百田<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 北京市门头沟区水土保持试验站, 北京 102300)

**摘 要:** 为了解天津市的生态安全状况和城市发展的潜力。本文结合野外调查和统计数据, 建立了天津市生态脆弱性评价指标体系。并应用层次分析法, 对指标体系进行了量化处理, 继而全面评价了天津市的生态脆弱性。得出了天津市由于水资源的过度消耗, 造成了由东部沿海地区向内陆生态环境脆弱性逐渐变化的格局。其结果对天津市的水资源的合理利用与保护具有指导意义。

**关键词:** 天津市; 生态脆弱性; 层次分析; 水资源

中图分类号: X82 文献标识码: A 文章编号: 1001-7461(2008)06-0074-05

## Ecological Fragility Evaluation of Tianjin

SHI Zhen-hua<sup>1</sup>, CHENG Jie<sup>2</sup>, WANG Bai-tian<sup>1</sup>

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Mentougou Soil and Water Conservation Station, Beijing 102300, China )

**Abstract:** In order to know the status of ecological safety and potential of urban development of Tianjin, ecological fragility evaluation index system was established through field investigation and the statistical analysis. Hierarchic analysis was applied to quantitatively process the index system for then evaluate the ecological fragility of Tianjing. The result showed that as a result of excessive consumption of water resources, the ecological environment weakens gradually from the eastern coastal area to the interior, which provides a significant guidance for rational utilization of water resources.

**Key words:** Tianjin city; ecological fragility; AHP; water resource

关于生态脆弱性(ecological fragility)的研究, 可追溯到 20 世纪初美国生态学家 Clements 提出的生态过渡带理论<sup>[1]</sup>。随着 21 世纪的来临, 人类所面对的“生态环境应力”在急剧扩大。生态环境脆弱带的空间范围和程度都表现出明显的增长。自然资源面临的威胁在急速加剧。因而生态脆弱性研究越来越引起人类的重视, 成为生态学研究的一个热点。

目前, 关于生态脆弱性评价还没有一整套的标准, 本文根据天津市土地的实际情况, 参考 FAO《土地评价纲要》, 在遵循评价的针对性与持续性、综合性与主导性、科学性与实用性、差异性与可比性原则的基础上, 全面分析影响城市生态系统的限制性因子以及各因子之间的作用形式、作用强度, 选择引起生态脆弱性的主要敏感因子, 通过构建数学模式, 反

映特定时空区域上生态脆弱性的程度, 对天津市的生态脆弱性进行了初探。

## 1 研究区概况

天津市东临渤海, 北枕燕山, 全市总面积 1.19 万 km<sup>2</sup>。疆域南北长 189 km, 东西宽 117 km, 周长约 900 km, 其中, 海岸线长 152.8 km, 陆界长 700 多 km。是中国北方十几个省、市、区对外交往的重要通道, 是海上通往北京的咽喉要道。气候属暖温带半湿润季风气候, 年平均气温 12.3~14.0℃, 无霜期 200 d 左右, 年平均降水量为 534.1 mm, 年平均相对湿度 55%~65%, 受季风影响显著, 春季干旱多风, 夏季炎热多雨, 秋季晴朗气爽, 冬季寒冷干燥<sup>[2]</sup>。天津市水资源总量多年平均值为 18.32 亿

收稿日期: 2008-01-03 修回日期: 2008-07-01

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目“困难立地工程造林技术研究”(2006BAD03A03)

作者简介: 史振华, 男, 博士研究生, 研究方向为水土保持和生态环境。

$\text{m}^3$ ,其中地表水资源总量为10亿 $\text{m}^3$ ,地下水资源总量为3.2亿 $\text{m}^3$ 。土壤类型主要分为山区和平原2种,山区地带性土壤为褐土(785.85 $\text{km}^2$ )和山地棕壤(7.98 $\text{km}^2$ )。平原地区主要土壤类型有潮土(8302.38 $\text{km}^2$ )、滨海盐土(813.56 $\text{km}^2$ )和湿土(304.89 $\text{km}^2$ )。由于长时间的开发和利用,造成天津市湿地面积大幅度降低,生物多样性受到威胁,湿地生态环境服务功能不断下降。

## 2 研究方法

采用定量与定性相结合的评价方法——加权指数和法。该方法根据不同的评价因子对生态环境的影响强度,给定该因子影响强度相对应的权重,然后根据各评价单元评价因子资料确定该单元各评价因子的质量等级指数,以加权指数和法求得各评价单元的总分值,据此判定其脆弱性等级。

### 2.1 评价因子选择

城市生态状况很大程度上都体现在城市的土地问题上,降雨、径流、植物生长状况、环境承载力、城市扩展的可行性等问题,从分析土地状况就能辨识。土地既是影响生态脆弱性的原因之一,也是最能反映生态脆弱性的地方<sup>[3-4]</sup>。

城市生态脆弱性评价,以城市发展建设对土地自然属性的影响以及土地的适应程度为主要评定尺度,同时考虑对天津生态环境影响比较敏感的因素。遵循评价原则,尽量选取对该地区影响最显著、最稳定,并能从现有的各种普查、土地利用现状调查及农业区划等资料中获取数据的因子作为评价因素。

相关数据主要利用《2003年天津市国土规划研究项目》、《2006年天津市城镇整体规划项目》的调查资料以及实地调查结果,广泛征求有关专家的意见,经综合分析后,选取土地利用现状、污灌区、土壤沙化、土壤盐渍化、地表水和土壤分布6个因子作为评价因子。

### 2.2 评价因子对脆弱性的影响

天津的脆弱生态环境是长期自然作用和人类活动干扰下形成的。很多自然要素本身就具有其脆弱性的一面,而不合理的人类活动又加剧了生态环境退化的速度。

2.2.1 土地利用现状 土地利用现状是了解城市现状的必要因素之一。城市建设必然扰动原有土地,改变原土地利用类型,其扰动程度、对生态安全影响程度也与原地类有直接的关系,而原地类对城市建设也存在不同程度的影响。

2.2.2 污灌区 污灌是水资源短缺的必然产物,长期污灌对土壤、作物、水产、地下水均构成了严重污染,而且通过食物链必然会威胁到人类身体健康。它是影响天津生态环境的重要因子。

2.2.3 土壤沙化和盐渍化 土地沙化、土地盐渍化是土地退化的主要原因。土壤退化是环境质量的直接表现之一。其中,土壤盐渍化是阻碍天津发展的瓶颈之一,地下水位高、含盐量大使得滨海大部分地区都存在土壤盐渍化,制约了东部沿海地区农业发展,威胁天津生态安全。

2.2.4 地表水 水是人类生产生活所必须的资源之一。因此,考虑居民用水问题,保护水源地成为城市建设的重要因素。此外,从环境质量及资源恢复角度考虑靠近水系的要比远离水系的好。

2.2.5 土壤分布 土壤状况是长期自然作用最直接的体现,是表征生态环境脆弱性最明显的因素之一。土壤状况不仅影响农业发展,而且是水土保持、土地综合利用的决策依据之一。

### 2.3 指标体系

依据各因子对评价对象的影响程度,结合生态脆弱性相关文献,以及周边地区的实际情况,对其进行分级,建立评价指标体系(表1)。

表1 天津城市生态脆弱性评价指标体系

Table 1 Evaluation indices for urban-ecological fragility in Tianjin

评价因子	5	4	3	2	1
地表水分布	河流、一级湿地	二级湿地	三级湿地	盐田	其他地区
土壤分布	土壤质潮土、粘质潮土、黄土母质褐土	砂质潮土、碳酸盐淋溶褐土、红土母质潮褐土、花岗岩淋溶褐土	盐化潮土、湿潮土、沼泽土	盐化湿潮土、滨海盐土	盐田
土地沙化				无沙化区	沙化土壤
土地盐渍化	无盐渍化	轻度盐渍化(水域、中心城市)	中度盐渍化	重度盐渍化	盐田、盐土(塘沽城区)
污灌区分布			非污灌区	清污混灌及间歇污灌区	纯污灌区
土地利用现状	水面、林地	灌草、海涂、沼泽、滩地	水田、旱地	城镇用地	其他

2.4 权重计算

确定评价因子权重常用的方法有特尔斐法、灰色关联度分析法、回归分析法、层次分析法和专家意见法等。本文在参考天津及周边地区实际情况下，以专家决策法为基础，采用层次分析法(AHP)来确定参评因素的权重。

2.4.1 判断标度 进行层次分析法需要构建判断矩阵，而在构建判断矩阵之前，首先必须明确两两比较标度。美国匹兹堡大学的 T·L·Sauty 教授<sup>[5]</sup>提出了 1-9 标度(表 2)。

表 2 1-9 标度

Table 2 Importance scaling from 1 to 9

甲与乙指标对比	同等重要	稍微重要	明显重要	强烈重要	极端重要	介于两者之间
甲标度	1	3	5	7	9	2,4,6,8
乙标度	1	1/3	1/5	1/7	1/9	1/2,1/4,1/6,1/8

2.4.2 层次分析法计算模型 层次分析法(AHP)<sup>[6]</sup>是按照各类因子之间的隶属关系把它们排成由高到低的若干层次，建立不同层次元素之间的相互关系(图 1)。

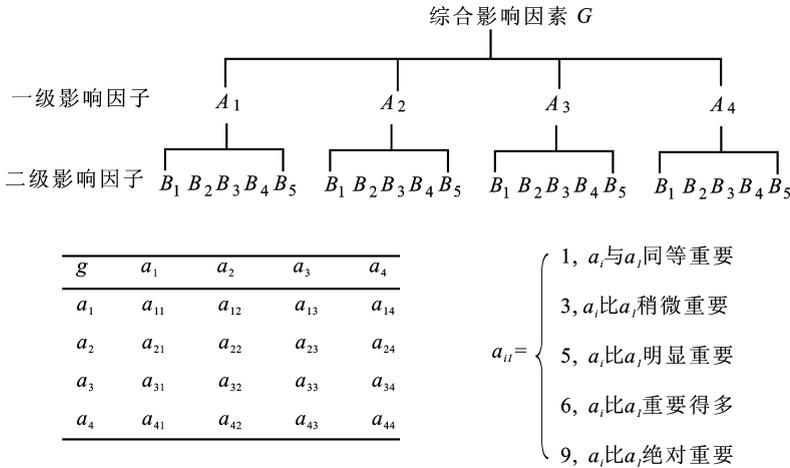


图 1 评价因子结构及判断矩阵

Fig. 1 Evaluation factors structure and judgment matrix

其中,  $a = 1, a_j = 1/a_{ij} (i \leq j)$ 。由此得到一个互反的判断矩阵:  $g = (a_{ij})_{j \times j}$ , 经过  $g$  的最大特征值求出。

2.4.3 计算权向量 对每一个成对比较矩阵, 利用求和法计算最大特征根及对应特征向量。

- (1) 对成对比较矩阵 A 的每一列向量进行归一化, 得  $\omega_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij}$ ;
- (2) 对  $\omega_{ij}$  按行求和, 得  $\omega_i' = \sum_{i=1}^n \omega_{ij}$ ;
- (3) 将  $\omega_i'$  归一化,  $\omega_i = \omega_i' / \sum_{i=1}^n \omega_i'$ , 得  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ , 即为近似特征向量;
- (4) 计算  $\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A\omega)_i}{\omega_i}$ , 作为最大特征根的近似值。

2.4.4 一致性检验 为了检验矩阵的一致性, 需计算出一致性指标(CI)和一致性比例  $\frac{CR}{CI} = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ ,  $CR = \frac{CI}{RI}$ , 其中, RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标。当  $CR < 0.1$  时, 认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则对判断矩阵进行调整, 直到取值合适, 进而求出所有因子的权重值(表 3)。

表 3 天津城市生态脆弱性评价指标权重

Table 3 Index weights of urban-ecological fragility evaluation in Tianjin

因子	地表水	土壤分布	土壤沙化	土壤盐渍化	土地利用现状	污灌区分布
权重值(W)	0.324 2	0.220 1	0.048 3	0.024 2	0.293 3	0.090 9

2.5 评价单元划分

评价单元划分是各类评价的重要部分。目前, 常用的划分方法主要是以土地利用现状图图斑为评价单元。但这种方法对于大斑块内部差异性反映的精度较差。因此, 本文利用 ViewGIS 技术, 以土地利用现状图为底图将各个评价因子图与之叠加, 所得最后小斑作为评价单元。土地利用现状对城市建设的影响是显著的, 因此, 划分评价单元首先要考虑土地利用现状, 而城市生态脆弱性是受到诸多环境因子影响的综合结果, 将评价因子图叠加是具有科学依据的。

2.6 生态脆弱性评价方法

采用加权指数和法作为评价方法。加权指数和法是根据评价目的, 选取有关属性因素(指标), 并根据各因素对评价对象的影响程度及各因素之间相互

作用的重要性顺序确定其权重值和分级指标与指数,然后按数学规律求出它们的加权指数和,最后根据各评价单元的综合指数进行排序划分等级来反应土地质量的方法。公式为:

$$L_i = W_1 P_{i1} + W_2 P_{i2} + \dots + W_j P_{ij} \quad (i=1, \dots, n, j=1, \dots, m)$$

式中: $L_i$  第  $i$  个评价单元加权指数和,是诸评价因素对评价单元内评价对象的综合反映; $W_j$  为第  $j$  个评价因素的权重值(用层次分析法确定),它反映评价因素对评价对象的脆弱性影响的重要性; $P_{ij}$  为第  $i$  个评价单元第  $j$  项评价因素指数,表示评价因素对评价对象的影响程度; $n$  为评价单元总数; $m$  为评价因素个数。

利用 View GIS 软件,确定评价单元,建立对应数据库,利用加权指数和公式计算每一个评价单元的评价指标值。

### 2.7 评价标准

结合具体要求和天津市的实际情况,参考全省及邻近省(市)的有关分级指标划分方法,确定生态脆弱程度为 4 级。

利用 GIS 软件对评价综合管理功能,将其自动划分为 4 个级别,并根据实际情况进行意见的调整,确定等级划分值。

## 3 结果与分析

按照以上方法,确定生态脆弱程度为 4 级,即严重脆弱、中度脆弱、一般脆弱、轻微脆弱。根据评价等级,利用 VIEWGIS 软件计算出各类土地面积以及占全市土地面积的百分比(表 4)。结果表明,中度脆弱的土地面积所占比例最大,占到 44.6%,严重脆弱与一般脆弱的面积相同,分别占 24.2%,轻微脆弱的面积最少,仅占 7.0%,由此可见,天津城市的生态环境非常脆弱。

表 4 天津城市生态脆弱性程度

Table 4 The degree urban ecological fragility of Tianjin

	轻度脆弱	一般脆弱	中等脆弱	严重脆弱
分值	3.80~4.70	2.77~3.80	2.16~2.77	1.2~2.16
面积 /km <sup>2</sup>	833.00	2 879.80	5 307.40	2 879.80
比例 /%	7.0	24.2	44.6	24.2

此外,应用 ViewGIS 软件,根据对各个单元评价的结果绘制天津生态脆弱性图(图 1)。从评价图上可看出,天津东部滩涂、沿海地区的生态环境较为敏感,基本都是严重脆弱地区;西部平原区为大面积农地,大部分为中度脆弱地区;北部林地及西南部农地为一般脆弱区;仅在南北水库、水系发达地区,脆弱性较轻微,呈明显的过渡性。

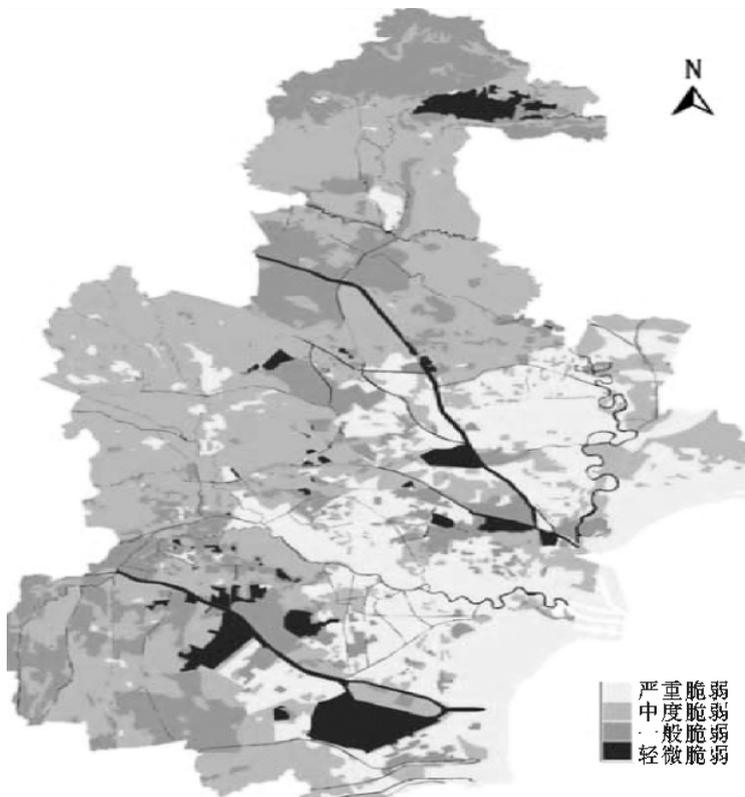


图 2 天津城市生态脆弱性分析图

Fig. 2 Urban ecological fragility map of Tianjin

天津处于气候过渡带上,对水环境产生了深刻的影响,是该地区生态脆弱性严重的根本原因。第

一,天津地处海河末端,地质构造复杂,季风影响明显,干旱、洪涝、地震等自然灾害较严重。同时,工业化进程中不合理开采地下水,致使地面沉降加速,年沉降达 30 mm 以上,至今已有近 10 km<sup>2</sup> 地面低于平均海平面,海水倒灌,使天津成为有名的“咸水城”;第二,地下水位过高使土壤盐渍化问题严重,造成了越靠近海岸线生态脆弱性越严重;第三,由于长期对自然资源掠夺式开发和经营,城区扩张,农用地减少,生产和生活排放的废弃物及农业生产中大量施用化肥和农药,对生态环境产生的破坏性后果在短时期内还难以恢复,因此,西部及南部农地的生态环境也面临严重问题,脆弱性逐渐变得严重。由于南北两大水库——团泊水库、于桥水库面积较大,物种资源丰富,生物多样性复杂,因而脆弱性较轻微。

#### 4 结语

城市生态脆弱性评价有助于了解城市生态安全状况及城市发展的潜力<sup>[7-9]</sup>,对于促进城市生态系统稳定,减少由城市建设和管理等干扰造成城市环境影响有重要意义。从天津生态脆弱性分析结果来看,天津生态安全正受到严重威胁,尤其是东部沿海地区。水源污染、过渡捕捞、滥采滥伐、围海造地、盐场的无序生产、海产养殖业单一性和超量生产以及港口、运输、工业、旅游等污染,造成生境恶化,使其变得十分脆弱。海洋生态系统受到了严重破坏。在

不同环境单元,特别是环境脆弱单元,应根据脆弱性的类型和特征,结合脆弱性产生原因,采取适当的控制措施,规范社会经济行为,降低生态环境风险,有利于维护城镇生态安全和可持续发展<sup>[10-12]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 天津市统计局.天津市统计年鉴(2000—2005)[M].北京:中国统计出版社.
- [2] 曹伟.城市生态安全导论[M].北京:中国建筑工业出版社,2004:1-45.
- [3] 邬建国.景观生态学[M].北京:高等教育出版社,2002:15-80.
- [4] 侯剑秋.关于城市生态平衡问题[J].生态科学,1996,15(1):95-99.
- [5] 袁明鹏.严河.城市生态系统健康评价的层次分析法应用研究[J].区域发展,2003(8):84-86.
- [6] 刘振乾,刘红玉,吕宪国.三江平原湿地生态脆弱性研究[J].应用生态学报,2001,12(2):241-244.
- [7] 陈惠彬.天津海洋经济可持续发展面临严峻生态安全挑战[J].海洋环境保护,2005(1):13-15.
- [8] 赵艺学.基于水土流失生态势的山西省生态脆弱性分区研究[J].水土保持学报,2003,17(4):71-74.
- [9] 王让会,樊自立.干旱区内陆河流域生态脆弱性评价[J].生态学杂志,2001,20(3):63-68.
- [10] 梁晶晶.生态脆弱带面临着荒漠化问题[J].北京大学学报:自然科学版,2001,37(4):543-549.
- [11] 王学雷.江汉平原湿地生态脆弱性评估与生态恢复[J].华中师范大学学报:自然科学版,2001,35(2):237-240.
- [12] 赵跃华.脆弱生态环境定量评价方法研究[J].地理科学,1998,1(18):21-29.