

唐山市南湖生态示范区景观生态风险评价

杨克磊¹, 张建芳^{2*}, 杨晓帆³, 陈利成¹

1. 天津大学 管理学院, 天津 300072

2. 南开大学 环境学院, 天津 300071

3. 天津大学 环境学院, 天津 300072

摘要: 经过一系列生态修复工程建立的南湖生态示范区, 对唐山市的生态环境具有决定性作用, 但作为人工景观其敏感度较高。根据历史资料、遥感资料、地理信息系统(GIS)和动态监测数据, 运用景观生态学原理对该区域进行景观分析和生态风险分析。以该区域的生态系统为受体, 对南湖生态示范区主要生态风险源进行分析和识别, 包括干旱、沙尘暴、水土流失和污染。选择景观生态学中的指数作为风险评价指标, 对风险源可能造成的生态系统损失进行度量, 并利用层次分析法计算各风险源的权重。利用 GIS 将该区域划分为 351 个斑块, 利用综合生态损失度和综合风险源概率, 计算各风险小区的风险值, 并根据风险值分级, 绘制该区域综合生态风险评价图, 完成南湖生态示范区景观生态风险综合评价, 为该区域生态风险管理对策提供理论依据。

关键词: 景观生态; 风险评价; 生态示范区; 地理信息系统(GIS); 动态监测

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6929(2008)03-0104-06

Landscape Ecological Risk Assessment for the South Lake Ecological Demonstration Area in Tangshan

YANG Ke-lei¹, ZHANG Jian-fang², YANG Xiao-fan³, CHEN Li-cheng¹

1. School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2. College of Science and Technology, Nankai University, Tianjin 300071, China

3. College of Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: South Lake Ecological Demonstration Area (EDA) in Tangshan established after a series of ecological restoration projects had a decisive function on the ecological environment of Tangshan, but its susceptibility was relatively high as an artificial landscape. The principles and the methods of landscape ecology were applied to ecological risk assessment of this area, based on historic record, remote-sensing data, GIS and dynamic-monitoring date. The ecosystem was defined as risk receptor, and main risk sources defined and analyzed including drought, sandstorm, pollution and soil erosion in this landscape region. This study evaluated the probability and distribution of each kind of risk sources and applied ecological index in exposure and hazard analysis, and Analytical Hierarchy Process (AHP) method was used to calculate risk weight. This area was divided into 351 plaques by using GIS, and then combined probability and comprehensive ecological loss to calculate comprehensive risk value of each risk area. According to the risk value of each risk area, the region in South Lake EDA was divided into four levels of risk zones and completed drawing of ecological risk assessment in the region. The result of ecological risk assessment provided scientific basis for environmental risk management of South Lake EDA in Tangshan.

Key words: landscape ecology; risk assessment; Ecological Demonstration Area; GIS; dynamic-monitoring

生态风险评价(ERA)始于 20 世纪 80 年代, 经过 20 多年的发展, 其已由传统的单一化学污染物毒理和人体健康风险的研究逐渐扩展到更大的时空尺

度。美国环境保护局(USEPA)和各国环保管理机构纷纷进行生态风险评价技术框架研究, 并对 ERA 的评价范围、评价内容、评价方法进行扩展和研究。

ERA 的研究重点主要在于生态系统对环境干扰的敏感性上, 评价范围扩展到景观和区域尺度, 且已成为生态风险研究的趋势之一; 评价内容包括多风险因子、多风险受体、多评价端点; 评价方法中建立了景观、区域尺度的风险评价模型及大尺度评价

收稿日期: 2007-09-19 修订日期: 2007-11-14

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2005AA644030)

作者简介: 杨克磊(1963-), 男, 河北怀来人, 副教授, tjuyanglei@126.com。

* 责任作者: zhangjianfang@mail.nankai.edu.cn

的数学方法,并在许多区域得以应用^[1-2]。

景观生态风险评价所涉及的风险源以及评价受体等都在区域内具有空间异质性,即存在区域分异现象和规律,这就使其更具复杂性。因此在评价过程中要考虑评价对象的尺度和区域分异的要求。景观生态风险评价方法及步骤可以概括为研究区的界定和景观分析、受体分析、风险源分析、暴露与危害分析以及风险综合评价等。景观生态风险评价的目的在于为景观区域风险管理提供理论和技术支持,提高区域景观生态系统的管理水平^[3-4]。

笔者借鉴国内外有关生态风险评价的理论和方法^[5-8],对唐山市南湖生态园林进行景观生态风险分析。

1 研究区的界定和景观分析

研究区域为距唐山市中心 2 km 的南湖生态示范区,该生态示范区是在开滦采煤塌陷区上建成的人工景观区域,南北最长约 4 065 m,东西最宽约 3 140 m,总面积约 791.44 hm²,中心位置位于 118°09'20"E,39°35'00"N。过去的南湖地区垃圾压占耕地,水体污染,生态环境极度恶化,严重干扰了城市可持续发展。经过多年的综合整治以及生态修复工程,建成了集生态功能、景观功能、游憩功能于一体的南湖生态示范区。南湖地区与唐山市东北部塌陷地,西北部田园绿地,以及市中心大城山、弯道山、凤凰山及陡河、青龙河、大钊公园共同构成唐山市城市生态系统的重要区域。

根据实地调查所获得的南湖生态示范区的动植物种类数量并绘制物种分布图、卫星遥感资料和南湖生态示范区土地利用现状图等资料,运用 GIS 技术对南湖生态示范区的景观类型进行分类,将南湖生态示范区划分为密林景观、疏林浅草景观、湖面景观、休闲娱乐景观、农田景观、自然生态恢复区、文化景观和其他用地等 8 种类型,编制景观类型图(见图 1),并统计各种景观结构(见表 1),以此作为景观生态风险分析的基础。



图 1 南湖生态示范区景观类型

Fig.1 Landscape types of South Lake Ecological Demonstration Area

表 1 南湖生态示范区的景观结构

Table 1 Landscape structure of South Lake Ecological Demonstration Area

景观结构	面积/hm ²	面积指数	斑块数/个	廊道	
				类型	长度/m
密林景观	54.88	6.93	24	铁路	6 100
疏林浅草景观	161.85	20.45	58	城市快速路	3 050
湖面景观	177.33	22.42	78	公园路	14 530
休闲娱乐区	188.04	23.76	82	环湖路	6 700
农田景观	70.37	8.89	39		
自然生态恢复区	67.56	8.53	32		
文化景观	12.67	1.60	12		
其他用地	58.74	7.42	31		
总计	791.44	100	351		30 380

2 生态风险受体分析

南湖生态示范区为人造景观,根据景观生态学原理和生态风险评价原理,各种景观都可能受到危害影响而产生风险,选取南湖生态示范区的各种景

观作为风险评价的受体进行分析。根据生态风险评价原理,生态终点是指在具有不确定性的风险源的作用下,风险受体可能受到的损失,以及由此而发生的区域生态系统结构和功能的损伤^[7-8]。南湖生态

示范区可能的生态终点是生态功能减少、生态服务功能降低、生物物种减少、植被破坏、地下水破坏及土地侵蚀等。

3 风险源分析

风险源分析是指区域中可能对生态系统或其组分产生不利作用的干扰进行识别、分析和度量^[1,8]。通过对南湖生态示范区的生态环境现状和风险状况进行分析,判断对南湖生态示范区系统产生不利作用的可能的自然生态风险源为干旱、水土流失、沙尘暴等;南湖生态示范区的主要人为生态风险源为污染。因此,笔者确定干旱、水土流失、沙尘暴和污染为南湖生态示范区的主要生态风险源,对生态风险源的描述主要通过其发生的概率和强度,并在空间上定位其作用的区域范围^[9]。表 2 列出唐山市 1951—2001 年 50 年的干旱概率分级^[10]。

表 2 干旱概率分级
Table 2 Probability of drought

干旱等级	大旱	中旱	轻旱	正常
概率/%	13.7	51.0	21.6	13.7

根据河北省 48 年的气象资料,以河北省所收集的数据代表唐山市南湖地区的沙尘暴、扬尘概率分级,见表 3^[11-12]。

表 3 沙尘暴、扬尘概率分级
Table 3 Probability of sandstorm and blow-sand

等级	沙尘暴天数/d			扬尘天数/d		
	<1	1~5	>5	<1	1~5	>5
概率/%	35	55	10	20	80	

水土流失量受到降雨强度、地表物质组成、地形坡度、植被覆盖度、植被类型等因素的影响,所以水土流失的概率值无法直接得到,因此选用其他数值加以替代。植被覆盖度在很大程度上能反映水土流失区发生水土灾害的难易程度。利用遥感监测数据,运用经验模型法估算植被覆盖度。根据南湖地区的地形、土地利用类型和植被覆盖状况制定了土壤流失分级指标。不同的土地类型依据不同的侵蚀因子作为强度判别标准。根据植被覆盖度图划分为 4 个等级,生成植被覆盖度等级图;将坡度图划分 5 个等级,生成坡度等级图。利用 GIS 将植被覆盖度和坡度信息进行空间叠加,得到植被覆盖度与坡度的不同组合,统计每种组合的土壤流失强度绘制土壤流失等级分布图。统计各等级的面积并对其数值进行归一化处理,作为水土流失的发生概率。其中

土壤侵蚀模数可以通过流失面积和土壤流失强度来推算,推算的参考指标为《土壤侵蚀分类及分级标准》^[13]。

污染主要是由附近居民生活污水直接排入引起的水体污染和煤矸石引起的土壤污染。研究中选择色度、浊度,SS,BOD₅,COD_{Cr},NH₃-N,P 和重金属含量等作为水体的评价因子。选择土壤质地,pH,有机质等和重金属(Cu,Zn,Pb 及 Cd)作为土壤质量评价因子。水体生态风险评价是通过建立模型计算综合风险值^[6,14-15],总体来说风险值均较小,对整个生态系统不构成威胁,可忽略不计。土壤重金属污染采用潜在生态风险指数法进行评价,评价结果表明各监测点的潜在生态风险均较小,可忽略不计。土壤退化生态风险评价是通过建立模型进行归一化处理,并建立风险函数,计算综合风险值。结果表明,垃圾填埋场和村庄搬迁旧址风险很大,废弃农用地风险较大,且随着土壤土层深度的加大,生态风险值有所增加^[16-17]。

4 暴露和危害分析

暴露分析研究风险源在区域中与风险受体之间的接触暴露关系,危害分析则要确定风险源对生态系统及其风险受体的损害程度^[7]。以上 4 种主要生态风险源所产生的危害是多方面的,这些风险源的存在将对南湖生态系统构成极大威胁。

不同的景观类型中所分布的生物物种也不同,即不同物种所适宜的生境不同,各种类型生境在区域内所处的位置不同,所受人为干扰强度有所差异。同时,不同类型生境对外界干扰的抵抗能力是不同的。因此,不同的景观类型在维护生物多样性、保护物种、完善生态系统的结构功能等方面的作用是有差别的。相同强度的同一风险源作用于不同的景观类型,可能对整个区域的生态结构和功能产生不同强度的危害。因此,笔者根据不同类型景观的结构、功能,以及动、植物分布情况的不同,在进行南湖示范区生态风险分析时,以景观生态学为基础,选择生态弹性度指数、景观破碎度指数、景观脆弱度指数以及生态损失度指数作为评价指标。

4.1 生态弹性度指数

生态弹性度是指生态环境系统的自我维持、自我调节及其抵抗各种压力与扰动的能力。生态弹性度的大小反映特定生态环境系统缓冲与调节能力。一般地,系统组成越复杂、越多样化,各构成类型的健康与安全状况就越好,系统的弹性范围就越大。

一种景观类型的生态弹性度指数越大,说明该景观对干扰的抵抗能力越大,遭受损害后的恢复能力越强. 计算公式为:

$$ECO = V_i \cdot S_i \cdot P_i$$

$$V_i = M_i / M$$

式中, ECO 为生态弹性度指数; S_i 为各种景观面积所占比例; V_i 为第 i 类生态系统的生物多样性指数, 用 Monk 指数公式计算; M 为整个区域内的物种数; M_i 为第 i 类生态系统中的物种数; P_i 为弹性分值, 由专家打分.

4.2 景观破碎度指数

景观破碎化是生物多样性丧失的一个最主要原因. 由于人类活动, 使原来完整的景观被分割成大大小小许多个斑块, 形成破碎化的景观. 一些物种因在破碎化的景观中找不到合适的栖息地、足够的食物和运动空间而面临着更大的外界干扰的压力. 笔者选择景观破碎度指数来反映人类的这种干扰作用, 干扰强度越小, 越利于生物的生存, 其针对受体的生态意义越大. FN_1 和 FN_2 均在 $(0, 1)$ 之间, 其中 0 表示景观未被完全破坏, 1 表示景观被完全破坏. 其公式为:

$$FN_1 = (N_p - 1) / N_c$$

$$FN_2 = MPS(N_t - 1) / N_c$$

式中, FN_1 为整个研究区域的景观破碎度指数; N_p 为景观斑块总数; N_c 为研究区域内景观的总面积与最小斑块面积的比值; FN_2 为某景观斑块类型的景观破碎度指数; MPS 由景观内所有的平均斑块面积除以景观内最小斑块面积得到; N_t 为景观内某一景观类型的斑块总数.

4.3 景观脆弱度指数

研究中用景观脆弱度指数来描述景观组分在外界风险作用下偏离其稳定状态或遭受巨大破坏的难易程度的指标, 与各种景观生态风险与景观组分之间的作用方式以及景观组分自身属性密切相关^[7]. 一般情况下, 处于景观自然演替过程中的初级演替阶段、食物链结构简单、生物多样性指数小的生态系统较为脆弱. 南湖生态示范区受人为作用强, 可以通过管理输入负荷的生态系统类型(如农田)比其他生境类型稳定^[18-19]. 通过了解各种生态风险的作用方式, 根据景观组分在其作用下发生逆向变化的难易程度专家评分, 对该区域的 8 种受体景观进行脆弱性排序: 湖面景观区为 8, 自然生态恢复区为 7, 疏林浅草景观区为 6, 密林景观区为 5, 农田景观区为 4,

其他景观区为 3, 休闲娱乐区为 2, 文化景观区为 1. 归一化处理后得到其脆弱性相对权重, 即景观脆弱度指数(F_i).

4.4 生态损失度指数

生态损失度指数(D_i)是某景观生态系统的生态弹性度指数、景观破碎度指数和景观脆弱度指数的综合, 计算公式为:

$$D_i = ECO \cdot FN_2 \cdot F_i$$

不同景观生态系统由于生态弹性限度大小不同、受人类干扰的强度不同以及脆弱程度不同, 因此在相同风险下, 不同景观生态系统的生态损失度是不相同的. 以此计算各受体景观生态系统的生态损失度指数.

4.5 风险源的综合权重

各主要风险源对风险受体的作用强度是不同的, 对形成区域性生态风险的作用大小也有差异. 采用层次分析法对各风险源的权重进行分析, 为进行区域生态风险综合评价打下了基础. 获得的生态风险源的权重分别为: 干旱 0.453, 沙尘暴 0.167, 污染 0.262, 水土流失 0.118^[20].

5 景观生态风险综合评价

5.1 风险小区的划分

受 4 种主要风险源的共同作用, 不同风险源在整个区域内的风险强度范围是不同的, 因此区域内不同地点所受到的综合风险也不同. 利用 GIS 将整个区域划分为大小不同的 351 个斑块, 即 351 个风险小区. 将 4 种风险源的影响范围通过 GIS 进行叠加, 每个风险小区内部具有近似一致的综合风险源的作用, 而不同风险小区的风险源种类或发生概率、强度则可能不同, 即就生态风险源而言, 风险小区具有区内同质性和区间异质性^[7].

5.2 小区综合风险值的度量

风险值是区域生态风险的表征, 风险值应包含风险源的强度、发生概率、风险受体的特征、风险源对风险受体的危害等信息, 风险值即为这些信息指标的综合.

5.2.1 综合生态损失度

虽然每个风险小区内的风险源的状况是一致的, 但受体状况却不一致, 其中可能存在不同的生态系统类型, 风险受体的特征以及受体生态损失度可以用综合生态损失度表示, 其公式为:

$$D_k = \sum (S_k / S_k) D_i$$

式中, D_k 为第 k 个风险小区的综合生态损失度; S_k

为第 k 个风险小区内第 i 类生态系统的面积; S_k 为第 k 个风险小区总面积; D_i 为第 i 类生态系统的景观生态损失度指数。

5.2.2 综合风险概率

每个风险小区内受到不同种类、不同级别的风险源的叠加作用而有着一致的综合风险源,从而可以求出该风险小区的综合风险概率,其公式为:

$$P_k = \sum \beta_j P_{jk}$$

式中, P_k 为第 k 个风险小区的综合风险概率; P_{jk} 为第 k 个风险小区内第 j 类 1 级生态风险的概率; β_j 为第 j 类风险源的权重。

5.2.3 综合生态风险值

采用以上公式,可以分别算得全部 351 个风险小区的综合风险概率和综合生态损失度。根据风险值计算的原理,采用如下公式来计算每个风险小区的风险值:

$$R_k = P_k \cdot D_k$$

式中, R_k 为第 k 个风险小区的风险值。根据该公式,分别计算出每个风险小区的风险值;然后利用 ARCVIEW 中的分级方法将这些风险值分为 4 个等级,并生成了综合生态风险评价图(见图 2)。综合生态风险评价图向人们展现了潜在的风险区。由图 2 可见,南湖生态示范区生态风险强度的分布具有一定的规律性。

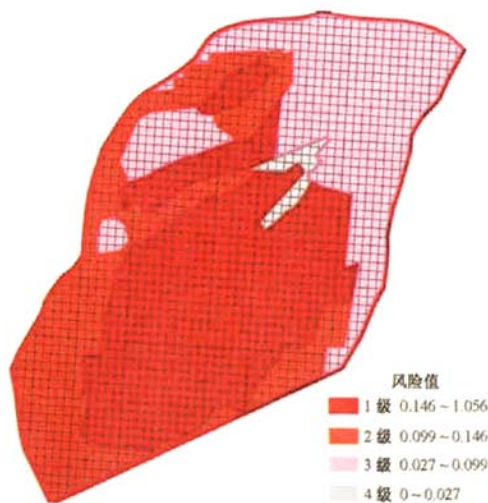


图2 南湖生态示范区综合生态风险评价

Fig.2 Comprehensive ecological risk assessment of South Lake Ecological Demonstration Area

a. 疏林浅草景观区和湖面景观区的风险值最

大,为 1 级风险区。这一带是鸟类的主要生境,所以其生态意义重大,但是这 2 种景观类型均很脆弱,受到破坏后不易恢复,且湖面景观区受到干旱、沙尘暴、污染等多种风险源的综合影响,各种风险源发生的概率和强度也较大。疏林浅草景观区的生境的生态指数不高,但会受到干旱、污染、水土流失和沙尘暴等风险源的作用的概率较大。

b. 由 1 级风险区向外扩展的自然生态恢复区、农田景观区和密林景观区为 2 级风险区,自然生态恢复区内分布着值得关注的动、植物,因此具有重要的生态意义,但是同时受到各种风险源的影响;农田景观区生境类型主要为农田、草地等,生态系统结构较为脆弱;密林景观区比疏林浅草景观区生态系统较为复杂,生态系统稳定性较高,因此这 3 种类型的景观位于 2 级风险区。

c. 3 级风险区主要是垃圾填埋场、粉煤灰填埋场及物流用地等区域。主要生境类型为草地、居民点和城市用地,这一地带的生境意义较小,风险源主要为污染、干旱、沙尘暴等,且污染发生的概率相当高。

d. 4 级风险区位于南湖生态示范区的中心位置,主要为文化景观区,其生境的生态弹性指数、景观脆弱度指数均较小,风险源较少且概率小,故风险值最小。

南湖生态示范区作为一个人工景观生态系统,人类活动占据着绝对优势,不同的土地利用方式和强度产生不同的景观生态格局,景观生态系统的结构和组成反映其生态效应,因此生态系统较为脆弱。任何不当的人类行为,都可能对其生态造成很大损失。因此对南湖生态示范区的开发应在保护生态的前提下兼顾社会、经济、生态三大效益,使旅游资源可持续利用,这需要人类的行为应尽量避免增加低风险区的风险值,并不断采取措施降低区域的风险级别。

6 结语

根据风险源的强度、风险发生概率、景观类型及其不同的生态功能等,利用景观生态风险指数,定量描述了景观生态风险的空间分布。针对不同级别的风险区域采取不同的风险管理对策,从而实现生态环境的协调,有力地保护生物多样性以及生态系统结构和功能的稳定。生态风险评价的结果可为生态环境的风险管理和可持续发展中的风险决策提供依据。

参考文献(References):

- [1] 许学工,布仁仓.黄河三角洲湿地区域生态风险评价[J].北京大学学报:自然科学版,2001,37(1):111-120.
- [2] 肖笃宁,胡远满,李秀珍.等.环渤海三角洲湿地的景观生态学研究[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [3] Barnthouse L W, Suterll G W, Bartell S M. Quantifying risks of toxic chemical on aquatic populations and ecosystems [J]. Chemosphere, 1988, 17:1487.
- [4] Barnthouse L W, Suterll G W. Use manual for ecological risk assessment[J]. ORNL, 1988:6251.
- [5] Pastorok R J, Sampson J R. Review of ecological risk assessment methods to develop numerical criteria for cleanup of hazardous waste sites [C]//Draft prepared for Washington Department of ecology. Washington DC: Olympia, 1990.
- [6] 殷浩文.水环境生态风险评价程序[J].上海环境科学, 1995, 14(11):11-14.
- [7] 肖杨,毛显强.区域景观生态风险空间分析[J].中国环境科学,2006,26(5):623-626.
- [8] 付在毅,许学下,林辉平,等.辽河三角洲湿地区域生态风险评价[J].生态学报,2001,21(3):365-373.
- [9] 巫丽芸,黄义雄.东山岛景观生态风险评价[J].台湾海峡, 2005,24(1):35-42.
- [10] 冯平,王仲珏,杨鹏.海河流域区域干旱特征的分析与研究[J].水利水电技术,2003,34(3):33-36.
- [11] 周自江.近45年中国扬尘和沙尘暴天气[J].第四纪研究, 2001,21(1):9-19.
- [12] 邹受益,高科,邹晓峰.北京及其周边地区的沙尘暴研究[J].环境保护,2007(9):57-62.
- [13] 中华人民共和国水利部. SL190-96 土壤侵蚀分类分级标准 [S].北京:中国水利水电出版社,1997.
- [14] 卢宏伟,曾光明.洞庭湖流域区域生态风险评价[J].生态学报,2003,23(12):2521-2532.
- [15] 刘成,王兆印,何耘,等.环渤海湾诸河口潜在生态风险评价[J].环境科学研究,2002, 15(5):33-37.
- [16] 张华,张甘霖.土壤质量指标和评价方法[J].土壤, 2001(6): 326-330.
- [17] 郑昭佩,刘作新.土壤质量及其评价[J].应用生态学报,2003, 14(1):131-134.
- [18] 杨育武,汤洁,麻素挺.脆弱生态环境指标库的建立及其定量评价[J].环境科学研究,2002,15(4):46-49.
- [19] 冯利华,黄亦君.生态环境脆弱度的综合评价[J].热带地理, 2003,23(2):102-105.
- [20] 吴开亚,李如忠,孙世群,等.区域生态环境的未知测度评价模型及应用[J].环境科学研究,2004,17(2):22-25.

(责任编辑:潘风云)