

博斯腾湖区域景观生态风险评价研究^{*}

贡 璐^{1, 2, 3}, 鞠强^{1, 2, 3}, 潘晓玲^{1, 2, 3}

(1. 新疆大学资源与环境科学学院; 2. 新疆绿洲生态重点实验室; 3. 干旱半干旱可持续发展国际研究中心 乌鲁木齐 830046)

提 要: 生态风险评价是一个预测人类活动对生态系统结构、过程和功能产生不利影响可能性的过程, 是发现、解决生态环境问题的决策基础。本研究结合遥感和地理信息系统技术尝试对于干旱区最大的内陆淡水湖——新疆博斯腾湖进行系统的景观生态风险评价, 其目的在于为区域风险管理提供理论和技术支持, 这对于改善博斯腾湖生态环境、促进南疆地区可持续发展有着重要的现实意义。确立主要生态风险源主要为: 洪涝、干旱、水体矿化度和富营养化这四大类生态风险。利用遥感技术确立生态风险受体, 通过基于景观的生态风险的综合计算和 GIS 叠加, 得到博斯腾湖区域综合景观生态风险评价图。在此基础上, 进行生态风险综合评价和风险管理决策探讨。

关键词: 区域生态学; 区域风险管理; 景观生态风险; 博斯腾湖

中图分类号: Q149

文献标识码: A

干旱地区内陆湖泊萎缩、干涸、湖水咸化、湖泊环境资源受损、生态系统退化等已是普遍存在的问题, 且在发展中国家表现尤为突出。干旱区湖泊受损生态系统重建恢复和资源与环境的保护与可持续利用研究已成为国际社会及众多专家学者关注和研究的热点。作为全国最大的内陆淡水湖——博斯腾湖是新疆南疆地区的焉耆盆地、库尔勒市和尉犁县的工农业生产及人民生活的主要的水源, 同时也是塔里木河下游生态应急输水的直接水源。然而, 随着水土资源的大强度开发, 博斯腾湖的水环境问题日益突出^[1-3]。区域生态风险评价是在区域尺度上描述和评估环境污染, 人为活动或自然灾害对生态系统及其组分产生不利作用的可能性和大小的过程^[4]。其目的在于为区域风险管理提供理论和技术支持。本文结合景观生态学的原理方法^[5, 6]和 3S 技术, 借鉴国内外有关生态风险评价的理论和方法^[7-10], 以博斯腾湖区域为例, 尝试进行基于景观的生态风险评价的探讨, 这对于改善博斯腾湖生态环境、促进南疆地区可持续发展有着重要的现实意义。

1 研究区概况

博斯腾湖位于天山南麓, 焉耆盆地的东南, 属中生代断陷湖。中温带大陆性荒漠气候, 湖区多年平均降水量为 68.2mm, 年蒸发量为 1800~2000mm。其水域辽阔, 东西长达 55km, 南北平均宽 20km。在最高水位 1048.5m 时, 水面面积为 1210.5km², 容积为 90×10⁸m³, 平均水深为 7.5m, 最深为 16m。湖盆呈碟状, 中间低平, 靠近湖岸水深急剧变浅。湖体分为大、小两个湖区, 大湖区是湖体的主要部分, 在大湖西南部还有一连串的浅泊, 盛长芦苇, 习称小湖苇区。研究区有较好的光热条件, 为地区国民经济的发展提供了极为有利的自然条件, 使这里拥有着丰富的动植物资源。但同时也伴有寒潮、大风和干热风、冰雹和雷暴、暴雨和洪水等自然灾害性天气。本文选取博斯腾湖流域为研究区, 主要包括焉耆县、和硕县、博湖县和库尔勒的塔什店地区。库尔勒市大部分在孔雀河下游, 对博斯腾湖区域影响不大, 不在研究范围内。

* 收稿日期: 2005-10-26。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB41530) Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 贡璐(1978-), 女, 江苏省丹阳市人, 新疆大学资源与环境科学学院博士研究生, 讲师, 自然地理学专业。

通讯作者: 潘晓玲

2 风险受体分析

区域生态风险评价的评价对象是区域内的生态系统。本文选取的风险受体为博斯腾湖区域的不用景观类型所代表的各类生态系统。

选择研究区 1999 年 9 月 ETM 影像作为主要遥感数据源,利用 ENV 14.0 软件中的配准与几何校正工具,辅以国家测绘局出版、国家基础地理信息中心生产的 1:50000 数字栅格地图进行几何校正,使 TM 影像与基图像几何形状相匹配;基于该研究区土地利用详查资料、土地利用图等数据资料,将目视解译与监督分类中的最大似然法分类器相结合提取遥感影像中的地理信息;进行外业精度验证,通过对解译结果进行随机选点,GPS 点属性校验结果表明,土地利用类型判别的准确率达到 95% 以上。将所得数据在 ArcInfo 8.0.1 环境下进行编辑和修改,生成矢量化地图,得到景观类型特征的空间信息库;景观类型斑块的分类标准以遥感数据的解译为主导,以国家级土地利用与覆被分类系统为基础,结合本研究区的景观特征,将不用景观类型所代表的生态系统划分为 9 类:农田生态系统,芦苇地生态系统,林草地生态系统,水域生态系统,滩涂生态系统,盐碱地生态系统,沙地生态系统,山地生态系统和居民点生态系统。

3 生态风险源

3.1 风险源选取

博斯腾湖及其周围湖滨湿地景观的生态环境十分脆弱,洪涝灾害、水环境恶化、水土流失,即水多、水少、水脏、水浑四大灾害在博斯腾湖流域不同程度存在。水环境面临的生态环境问题是:盐污染、有机污染、氮磷污染、与湖泊富营养化以及潜在的石油污染。污染物进入湖泊的主要途径由:河流、农田排渠、湖区降水等。

本文根据历史资料考证不同生态风险源发生的概率、强度及范围,忽略那些强度小、发生范围不大、对生态系统影响较为轻微的次要风险源,从而确定本区的主要生态风险源主要为:洪涝、干旱、水体矿化度和富营养化这四大类生态风险。

3.2 风险源描述

风险源以其发生的概率和强度来描述,与局地生态风险评价不同的是,区域生态风险评价的风险源还应表述其作用的区域范围。以下是本区 4 种主要生态风险源的概率分级和风险分布状况(图 1)。其中博斯腾湖水位变化带来的洪涝和干旱风险数据来自巴音郭楞蒙古自治州水管处 1986—2002 年监测数据;水体矿化度和富营养化风险数据来自巴音郭楞蒙古自治州环境检测站 1984—2002 年的监测数据。

4 暴露和危害分析

暴露分析研究各风险源在区域中与风险受体之间的接触暴露关系。与之相关联的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。

4.1 受体生态系统的生态损失度量

4.1.1 景观格局指数

不同的景观类型在维护生物多样性、保护物种、完善整体结构和功能、促进景观结构自然演替等方面的作用是有差别的;同时,不同景观类型对外界干扰的抵抗能力也是不同的。以景观格局分析为基础,构建一个景观格局指数 E 通过各个指数简单叠加用来反映不同景观所代表的生态系统受到干扰(主要是人类开发活动)的程度。

选择测量景观格局指数的指标:

$$\text{景观破碎度} = 2021 \frac{n_i}{A_i}$$

景观破碎化是由于自然或人为干扰所导致的景观由单一、均质和连续的整体趋向于复杂、异质和不连

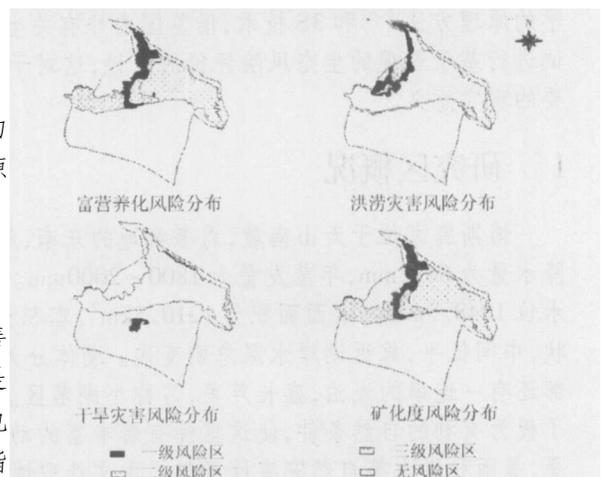


图 1 博斯腾湖地区主要生态风险源的风险分布状况

Fig 1 The risk distribution of major ecological risk sources in the Bosten lake region

续的斑块镶嵌体的过程,景观破碎化是生物多样性丧失的重要原因之一,它与自然资源保护密切相关。式中 C_i 为景观 i 的破碎度, n_i 为景观 i 的斑块数, A_i 为景观 i 的总面积。

$$\text{景观分离度: } V_i = \frac{D_{ij}}{A_{ij}}$$

指某一景观类型中不同斑块数个体分布的分离度,式中 V_i 为景观类型 i 的分离度, D_{ij} 为景观类型 i 的距离指数, A_{ij} 为景观类型 i 的面积指数。

$$\text{干扰强度和自然度: } W_i = L_i / S_i; N_i = 1 / W_i$$

W_i 受干扰强度; L_i : i 类生态系统内廊道(公路、铁路、堤坝、沟渠)的总长度; S_i : i 类生态系统的总面积; N_i : i 类生态系统类型的自然度。干扰强度表示人类的干扰作用,干扰强度越小,越利于生物的生存,因此,其针对受体的生态意义越大。

$$\text{景观格局指数: } E_i = aC_i + bV_i + cN_i$$

E_i : i 类生态系统的景观格局指数生态指数; a , b , c : 指标的权重,且 $a + b + c = 1$ 。根据专家打分和层次分析法,以上三种指数分别赋以 0.6, 0.3, 0.1 的权值,从而计算出各类景观的生态系统景观格局指数。

4.1.2 景观脆弱度指数

景观中生态系统脆弱性与其在景观自然演替过程中所处的阶段有关,一般情况下,处于初级演替阶段、食物链结构简单、生物多样性指数小的生态系统较为脆弱;另外,就本地区的景观而言,受人为作用强、可以通过管理输入负熵的生态系统类型,如农田,居民区往往比其他生境类型稳定。由此判断,本区的 9 种受体生态系统中,脆弱度的排序依次是:水域、芦苇地、湿地、林草地、盐碱地、沙地、山地、农田、居民点。排序后进行得到各自的脆弱度指数 F_i 。

4.1.3 景观生态损失度指数

景观损失度指数表示遭遇干扰时各类型景观所受到的生态损失的差别,也即其自然属性损失的程度,是某一景观类型的景观结构指数和脆弱度指数的综合。生态损失度指数以下式表示: $D_i = E_i \cdot F_i$

式中, D_i : i 类生态系统的生态损失度指数, E_i : i 类生态系统的格局指数, F_i : i 类生态系统的脆弱度指数。用上述公式和权重计算出各受体生态系统的生态损失度指数(表 1)。

表 1 博斯腾湖区域各生态系统的生态损失度计算值

Tab 1 The ecological harmful index of ecosystems in Bosten lake

景观类型	斑块数量 (个)	面积 (hm^2)	景观破碎 度 C_i	景观分离 度 V_i	自然度 N_i	格局指数 E_i	脆弱度 指数 F_i	生态损失 度指数 D_i
农田	18	36843.2	0.0147	0.0314	0.0888	0.02712	0.041	0.001
林草地	86	22696.7	0.1136	0.1401	0.0470	0.13489	0.134	0.018
芦苇地	64	45480.5	0.0422	0.0845	0.1028	0.07095	0.178	0.013
水域	21	116599.8	0.0054	0.0507	0.2815	0.04660	0.22	0.010
滩涂	14	52000.1	0.0081	0.0531	0.0153	0.03332	0.156	0.005
盐碱地	16	28574.3	0.0168	0.0435	0.0102	0.03691	0.102	0.004
沙地	29	75432.8	0.0115	0.0386	0.1843	0.03691	0.076	0.003
山地	7	110577.3	0.0019	0.0072	0.2672	0.03002	0.069	0.002
居民点	8	2230.7	0.1075	0.0024	0.0005	0.06527	0.024	0.002

4.2 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。采用层次分析法得到各风险源的权重如下:洪涝灾害 0.3,干旱灾害 0.24,水体矿化度灾害 0.35,水体富营养化 0.11。这为进行区域生态风险综合评价打下了基础。

5 区域生态风险综合评价

5.1 风险小区的划分

区域生态风险评价的一个重要特征即受体和风险源在区域内的空间异质性。博斯腾湖流域受 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有差别。利用 ETM 影像图,以博斯腾湖为中心,将整个区域划分为大小不同的 158 个斑块,即 158 个风险小区。这样,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。

5.2 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。本文采用以下指标和公式来度量每个风险小区的风险值:

5.2.1 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,从而可以求出该小区的综合风险概率,其公式为:

$$P_k = \sum \beta_j P_{j1}$$

式中, P_k : k 风险小区的综合风险概率, P_{j1} : k 小区内 j 类 I 级生态风险的概率, β_j : j 类风险源的权重。

5.2.2 综合生态损失度

虽然每个风险小区内风险源状况是一致的,但受体状况却不一致,其中可能存在不同的生态系统类型,将各个生态系统的景观生态损失度按面积比例合成,可以得到该风险小区的综合生态损失度,其公式为:

$$D_k = \sum (S_{ki} / S_k) D_i$$

式中, D_k : 第 k 个风险小区的综合生态损失度, S_{ki} : 第 k 个风险小区内 i 类生态系统的面积, S_k : 第 k 个风险小区总面积, D_i : i 类生态系统的景观生态损失度指数。采用以上公式,可以分别算得博斯腾湖流域全部 158 个风险小区的综合风险概率和综合生态损失度。

5.2.3 综合生态风险值

最后,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 : 第 k 个风险小区的风险值, P_k : 第 k 个风险小区内的综合风险概率, D_k : 第 k 个风险小区的综合生态损失度。根据此公式,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,并生成了博斯腾湖区域景观生态风险综合评价图(图 2)。

6 区域风险管理对策

由博斯腾湖流域生态风险综合评价图可以看出博斯腾湖区域生态风险强度的分布具有一定的规律性。总体上看,沿湖西岸的小湖区是高风险带,风险强度自湖岸向陆地,自三角洲扇缘向扇顶逐渐降低,呈带状分布。博斯腾湖地区生态风险评价的结果将整个地区划分为 4 级综合风险区。

一级风险区主要位于黄水沟河口一带、22 团干排、团结总干排及沿河滩涂地带。本区主要的风险管理对策为:① 应尽快实施引黄水沟淡水入湖工程,以达到稀释湖水和改善该区域水体循环之目的。② 对现有湿地进行封育和保护,实施人工育苇工程,恢复湿地生态功能。③ 对目前直接通过黄水总干排等排入博斯腾湖废水的 10 余家企业(主要有造纸厂、糖厂和番茄酱厂等)要求污染物达标排放,以减少进入博斯腾湖的工业污染。

二级风险区位于博湖县农业区、博斯腾湖西南小湖区和西泵站区。本区芦苇沼泽湿地,是保护物种最多的地带,主要风险来自水体矿化度和洪涝,本区主要的风险管理对策为:① 在原有防洪堤坝的基础上,巩固本区防洪能力。保证大小湖隔堤泄洪力。② 应尽快使西泵站以东建立的东泵扬水站投入运营,使之更有利于湖泊水循环和脱盐,改善水体质量。③ 逐步将自然苇荡变为半人工管理的苇田,以保证芦苇沼泽面积的稳定。④ 农业区应向集约化经营的方向发展,发展高效、精细的生态农业。

三级风险区分布在博斯腾湖中部和沿湖泊呈带状分布地区,大湖区水质和西泵站区水质矿化度较低,但有富营养化趋势,影响富营养化的主要因子是总氮和总磷。在博斯腾湖湖岸北缘,为湖体萎缩风险,北缘的泻湖面积近年来大量减少。另外,沿湖的一些旅游景点,机动游船排污引起水体水质恶化。本区主要的风险管理对策为:① 开采焉耆盆地地下水量,增加开都河入湖水量,减少入湖盐量,改善湖区生态环境及

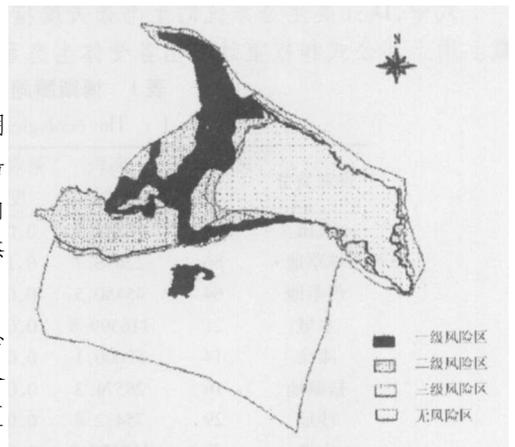


图 2 博斯腾湖区域生态风险综合评价图
Fig 2 Map of comprehensive regional ecological risk assessment of the Bosten lake region

孔雀河水质。②加强沿湖旅游景点管理,减少现有汽油游船,建议使用电气船。③控制博斯腾湖北岸耕地面积,避免泻湖萎缩。

四级风险区主要分布在距湖泊和河流较远的农田草地区和居民点以及博斯腾湖南部的大面积沙地和山地。本区风险小,可在发展节水农业和完善农田防护林网上下功夫,减少水稻的种植,改良草场,扩大绿地面积。

区域生态风险评价是一个非常复杂的过程,需要对很多不确定因素进行综合考虑,同时还要有大量的实地调查,这些因素决定了综合评价结果的准确性。本文利用 ETM 数据结合历史资料对博斯腾湖区域进行生态风险评价尚处在初步的研究阶段,评价方法和结果还有待进一步提高。同时,提出的景观生态风险评价方法,仅仅作为一种尝试,旨在为景观生态学的原理和方法在生态评价中的应用以及区域生态环境质量状况评价问题的研究探索一种途径。

参考文献

- [1] 夏军,左其亭,等.博斯腾湖水资源可持续利用——理论·方法·实践[M].北京:科学出版社,2003
- [2] 谭莞,王亚俊,等.新疆博斯腾湖水生态环境变化分析[J].干旱区研究,2004,21(1):712
- [3] 徐海量,陈亚宁,李卫红.博斯腾湖湖水污染现状分析[J].干旱区资源与环境,2003,17(3):9597
- [4] 刘康,李团胜.生态规划——理论、方法与应用[M].北京:化学工业出版社,2004:5154
- [5] 邬建国.景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2000:99~109
- [6] 陈鹏,潘晓玲.干旱区内陆流域区域景观生态风险分析——以阜康三工河流域为例[J].生态学杂志,2003,22(4):116120
- [7] 毛小琴,刘阳生.国内外环境风险评价研究进展[J].应用基础与工程科学学报,2003,11(3):266273
- [8] 付在毅,许学工,等.辽河三角洲湿地区域生态风险评价[J].生态学报,2001,21(3):365373
- [9] 许学工,林辉平,付在毅.黄河三角洲湿地区域生态风险评价[J].北京大学学报,2001,137(1):111120
- [10] 李自珍,何俊红,等.生态风险评价与风险决策模型及应用——以河西走廊荒漠绿洲开发为例[J].兰州大学学报,1999,35(3):149155

Ecological Landscape Risk Assessment Study of Bosten lake

GONG Lu^{1, 2, 3}, JU Qiang^{1, 2, 3}, PAN Xiao—ling^{1, 2, 3}

(1. Xinjiang University College of Resources and Environment Science; 2. Xinjiang Key Laboratory of Oasis Ecology;

3. International Center for Desert Affairs—Research for Sustainable Development in Semi-Arid and Arid Land, Urumqi 830046, China)

Abstract

The study of reconstruction and recovery of damaged ecosystem, the protection and sustainable utilization of environment and resources of the lakes in arid districts have been paid close attention by the international communities and numerous experts and scholars. The ecological risk assessment offers the scientific foundation for decision and execution of ecological risk management. Bosten lake, the largest inland freshwater lake in China, is the main water source for the industrial and agricultural production and the people's lives in Yanqi basin, Kuara city and Yuri county in South Xinjiang, and the direct water source for emergency transportation in the Lower Reaches of Tarim River as well. However, with the intensive development of the water and soil resources, the water environmental question on the Bosten lake has become more and more serious. In the case study of Bosten lake, this research probes into the theory and method of ecological landscape risk assessment with the frontier theory of landscape ecology and the technological train of 3S. Defining the mainly risk resource including flood, drought, water pollution and rich nutrition of water, the main process includes five stages: regional analysis, risk receptor selection, risk sources analysis, exposure and hazard analysis, and integrated risk assessment. On the basis of assessment result, the environmental risk management countermeasure is advanced.

Keywords: region ecology; environmental risk management; ecological landscape risk; Bosten Lake