

DOI: 10.5846/stxb201305101012

张雅洲, 谢小平. 基于 RS 和 GIS 的南四湖生态风险评价. 生态学报, 2015, 35(5): 1371-1377.

Zhang Y Z, Xie X P. Regional ecological risk assessment in Nansi lake based on RS and GIS. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(5): 1371-1377.

基于 RS 和 GIS 的南四湖生态风险评价

张雅洲, 谢小平*

曲阜师范大学地理与旅游学院, 日照 276826

摘要:以南四湖为研究对象, 基于遥感和地理信息系统技术选择干旱、洪涝和水体污染为生态风险源, 用景观格局指数评价生态系统的地位和受体的易损性, 并依据生态风险值的度量的原理, 通过计算综合风险概率及生态综合损失度得到南四湖的生态风险值。研究结果显示南四湖区域生态风险存在上下级湖分异与湖滨带状分异两大空间规律, 体现了南四湖区域生态风险的空间异质性。

关键词:遥感影像; GIS 分析; 区域生态风险评价; 南四湖

Regional ecological risk assessment in Nansi lake based on RS and GIS

ZHANG Yazhou, XIE Xiaoping*

School of Geography & Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276826, China

Abstract: Nansi Lake was selected as our study site for this study. Droughts, floods and water pollution for this site were used as a source of the ecological risk (ER) with information by the technologies of remote sensing images and geographic information system. Landscape indices were developed to evaluate ecosystem status and fragile ER receptors. Based on the principles of the measurement of ER, the ER values for Nansi Lake were obtained by integrated comprehensive loss probability and the ER degree. The results showed that the ER for Nansi Lake area had significant differences between upper and lower lakes with spatial distributions. It also showed that ER for Nansi Lake had a spatial and regional heterogeneity.

Key Words: remote-sensing image; GIS; regional ecological risk; Nansi Lake

区域生态风险评价是将生态风险评价应用到区域景观上去的方法^[1], 一般包括 3 个关键环节, 即区域内各生态系统的地位和作用评价、脆弱性评价以及可能遭受的风险概率评价^[2-3]。

经过近 20 年的研究发展, 国内外学者基于风险评价的基本原理和各自的研究, 建立了区域生态风险评价的模型和方法步骤, 或者做出了相应完善, 如 Wagner^[4]指出景观生态学研究方法的优势在于更加注重区域内部的异质性和区域与区域之间的关联性, 能更好地表达空间异质性; 付在毅^[5], 许学工^[6], 卢宏玮^[7]分别建立了适用于辽河三角洲、黄河三角洲和洞庭湖的生态风险评价模型, 并用生态指数量化了风险源, 用层次分析法赋各个风险源的权重值; 李谢辉^[8], 李景宜^[9], 陈鹏^[10]在各自的研究中以 GIS 为基础, 利用插值技术描述了风险源和风险受体, 同样通过层次分析法得到了区域内各个风险源的权重。已有的评价模型大多用层次分析法对风险源进行加权处理, 得到的针对整个研究区的某类风险的权重值, 而风险源在不同区域的强度是有差异的, 风险源权重的处理可以更加强调空间性, 并在本研究中进行了尝试。

南四湖是华北最大的淡水湖泊, 生态意义显著, 但是近 20 年来, 湖区及周边, 湿地面积趋减, 蓄水能力下

基金项目:国家自然科学基金(41072164); 曲阜师范大学南四湖湿地生态与环境保护省高校重点实验室资助

收稿日期:2013-05-10; **网络出版日期:**2014-04-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xp.xie@263.net

降,生物生存环境脆弱,生态安全面临严峻挑战^[11]。为满足南水北调工程的水质要求,南四湖应制定高效的生态环境管理策略。笔者认为生态管理更应注重“前瞻性”,而区域生态风险的研究,恰好符合这个特点。

本研究采用目前国内外较认可的生态风险评价过程,即受体分析、风险源分析、暴露与危害分析和综合风险评价^[4-10,12-13],充分利用 GIS 技术,对南四湖完成了生态风险评价,研究结果能为风险管理者和防灾减灾部门提供风险管理和环境决策依据。

1 研究区概况

南四湖位于山东省西南部,北纬 34°27'—35°20',东经 116°34'—117°21'之间,是南阳湖、独山湖、昭阳湖和微山湖 4 个相互连贯湖泊的总称。南四湖位于地质构造凹陷区,由古泗水河道被黄河泥沙淤塞而成,属河迹洼地湖,地处暖温带、半湿润季风气候区^[11],土壤绝大部分为水稻土和砂姜黑土,水稻土面积约 2800 hm²,主要分布在湖西滨湖洼地上,砂姜黑土主要分布在湖东滨湖洼地附近,面积约 1300 hm²^[14]。

本文区域生态风险评价的范围为南四湖湖区,即南四湖东大堤到西大堤之间,总面积约 1197.47 km²。研究中采用了表征相对量的景观格局指数,格局指数对空间尺度的选择十分敏感^[15-17],不同的空间尺度会对应不同的计算结果。在本研究中因为当景观格局指数的计算范围仅为湖区时,其结果并不能很好的表达该区域景观斑块的特点,故计算了除湖区外还有湖区周边的济宁市任城区、微山县和鱼台县的景观格局指数,涉及区域总面积约 3350 km²,但在实际评价时仅选用计算结果的东大堤到西大堤之间的部分以突出湖区范围内的景观特点(图 1 蓝色部分)。

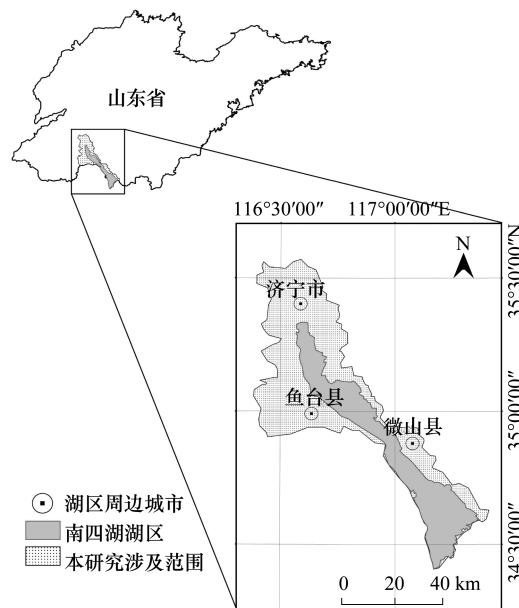


图 1 研究区范围示意图

Fig.1 Location of study area

2 研究方法

风险(risk)往往被定义为一个不理想事件发生的概率及其导致的后果^[18],进行区域生态风险评价,还需强调空间性^[18-19]。本研究对南四湖湖区进行生态风险评价,为体现区域差异,首先划分风险小区,每一个风险小区均为面积 1 km²的方格,对应着不同的风险源和风险受体,针对风险源,评估各类风险源的概率和强度,针对风险受体,引入景观格局指数评估其地位和易损性,最终用综合生态风险值表征区域生态风险的相对大小,每一个风险小区对应一个综合生态风险值,用以下模型计算:

$$R_k = P_k D_k$$

式中, R_k 是第 k 个风险小区的综合生态风险值; P_k 是风险小区的综合风险概率; D_k 是风险小区的生态综合损失度。其中:

$$P_k = \sum_{j=1}^n \partial_{kj} P_{kj}$$

$$D_k = \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{A} R_i$$

式中, P_{kj} 是第 k 个风险小区内 j 类风险源不同级别生态风险源的概率; ∂_{kj} 是第 k 个小区内 j 类风险源的权重; j 是风险源; n 为风险源数; N 为景观类型的数量; A_i 为小区内第 i 类景观组分的面积; A 为小区景观总面积; R_i

为第 i 种景观所对应的生态损失度。

在评价过程中,结合遥感数据、实测数据和历史统计数据,以 ARCGIS9.3 为平台,采用反距离权重和普通克里格法进行空间插值并进行对比,发现反距离权重法插值易受数据点集群的影响,而克里格法插值由于不仅考虑距离,而且通过变异函数和结构分析,考虑已知样本点的空间分布与未知样本点的空间方位关系,其插值结果能较好反应真实情况,故在本研究中确定采用克里格法进行空间插值去模拟风险源的强度与空间分布以及风险受体的易损性等,并充分运用了字段计算、栅格计算等其他的 GIS 功能。除此之外,在数据处理时还运用了数据量纲和级别统一的标准化法和统计风险频率的概率法等。

3 受体分析

受体就是风险的承受者,是风险评价中的生态系统里可能受到来自风险源干扰的不利作用的组成部分^[20]。在区域生态风险评价中,受体则往往是多个生态系统类型,不同的生态系统类型在区域整体的生态功能方面所发挥的作用是不相同的^[13]。本研究选定水域生态系统和湿地生态系统为主要的生态受体。

在具有不确定性的风险源作用下,风险受体可能受到的损害,以及由此而发生的区域生态系统结构和功能的损伤就是生态终点^[13]。南四湖湖区,生态终点可能是珍稀物种的灭绝、生物种群数量的减少、湿地的退化和消失、植被的退化或演替中断、生态系统功能的损伤和人类利用价值的丧失等。

4 风险源分析

4.1 风险源的识别

风险源就是可能受到的胁迫。区域生态风险源往往包括自然因素和人为因素^[9,21]。考虑发生的概率、强度和范围,本研究选择干旱和洪涝为主要的自然生态风险源;人为生态风险源指可能导致危害或严重干扰生态系统的人为活动^[8],在本研究中,主要选取污废水排放和水体化学污染为主要人为生态风险源,统一称水体污染。

4.2 风险源描述

风险源表现为风险发生的概率和强度两大要素,在区域尺度上要体现空间的差异性^[6]。南四湖生态风险源的发生概率和其强度的空间分布情况分别如表 1 和图 2 所示。由于水体污染风险的发生概率难以获得,考虑到水体污染给生态系统带来的巨大影响,赋其概率为 0.5。

4.2.1 干旱

南四湖几乎每一年都有不同程度的旱情发生,特别是 20 世纪 80 年代至今,发生过 4 次非常严重的旱灾。最近两次分别是:1997 年,济宁市 40 多条河道断流,南四湖低于死水位,农作物受灾达 43.29 万 hm^2 ,其中

23.4 万 hm^2 重灾;2002 年,南四湖入湖河道断流 53 条,南四湖 7 月中旬干涸,生态环境遭受严重破坏^[11]。

参考《济宁市地方志》和历年降水量资料,收集统计湖区旱情的分布范围,并通过 GIS 插值得到湖区旱情分布栅格图,以其像元值度量干旱风险源的强度(图 2)。

4.2.2 洪涝

随着建国后南四湖的一系列控制性工程的建成,南四湖的洪涝问题得到了有效控制。济宁市 1949—2005 年气象统计资料显示,年降雨量在 650 mm 以上的年份为 33a,其中 1964、1990 和 2004 年降雨量分别为 1150.1、1071、1723.7 mm,2003 年更是高达 2068.1 mm,均是大涝之年。

表 1 济宁市水旱灾害发生概率表

Table 1 The probability of ecological risk sources in the Nansi Lake

位置 Location	洪涝 Flood disaster		干旱 Drought disaster	
	级别 Grade	概率 Probability	级别 Grade	概率 Probability
上级湖 High level lake	中等	0.4680	中等	0.3404
	严重	0.0425	严重	0.1063
下级湖 Low level lake	中等	0.3523	中等	0.2127
	严重	0.1063	严重	0.0180

来源于济宁市 1945 至 2005 年间后营水文站统计资料和《济宁市地方志》,本文中级别以 50 年一遇及以上为严重,以下为中等

解译湖区高水位 2004 年 6 月和低水位 2010 年 9 月两时陆地卫星 5 号搭载的主题成像传感器 (TM, Thematic Mapper) 影像中的水体信息,以面积差异度量湖区洪涝的空间分布,并认为强度是一致的(图 2)。

4.2.3 水体污染

南四湖湖水中污染物较高的项目是有机物、氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$)、酚、汞和砷,有机物的普遍超标,显示湖域局部已经遭到了较严重的有机物污染^[22]。南四湖入湖河流的水质情况很大程度上决定着南四湖的水质优劣情况,南阳湖和独山湖是 4 个湖区中有机物污染比较严重的区域^[20]。

结合济宁市环保局在南四湖湖中 11 个长期监测点多年监测资料和南四湖主要入湖河流的废污排放量^[11],插值得到湖区水体污染空间分布栅格图,并以像元值度量水体污染的强度(图 2)。

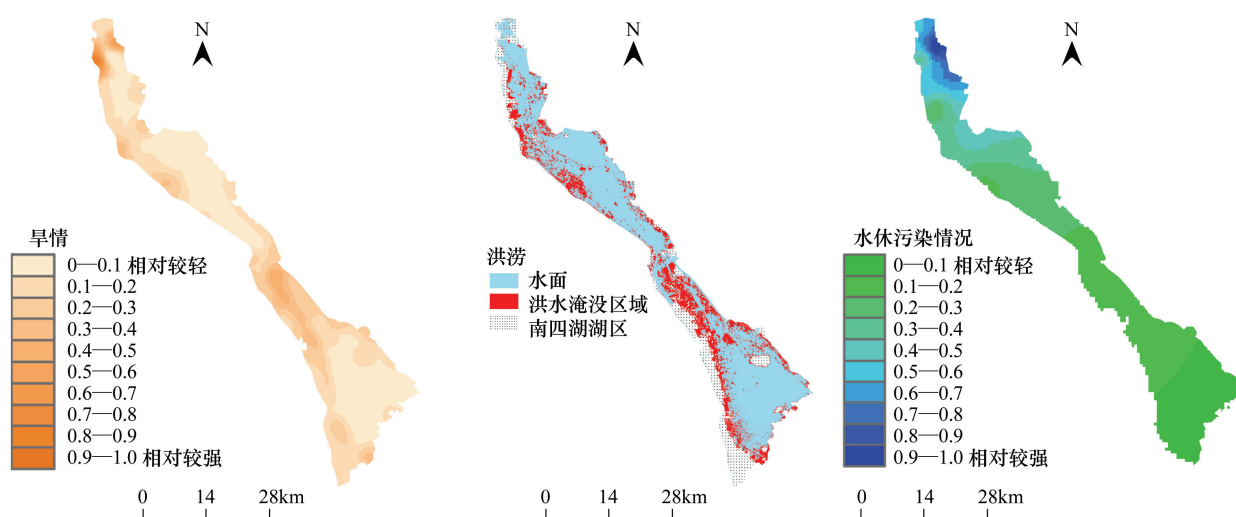


图 2 风险源强度空间分布图

Fig.2 Distribution of the risk sources

5 暴露与危害分析

暴露分析就是研究区各风险源与生态受体的接触关系,而与之相联系的危害分析则是要确定风险源对风险受体的损害程度^[2-3,12-13]。

5.1 暴露在风险中的受体

本研究中主要的生态风险受体是水域生态系统、湿地生态系统。选用 2010 年 9 月 18 日,条带号 122,行编号为 35、36 的两景空间分辨率 30 m 的 TM 影像,以 ENVI48 为平台,进行拼接裁剪得到研究区,用人工神经网络法提取生态受体信息,并用 2011 年 12 月,2012 年 9 月实地考察所获得的实际地表覆被资料进行精度检验,其中训练样本分离度均在 1.85 以上,检验精度为 97.5%,Kappa 系数为 0.9。

5.2 生态系统的地位与易损性

南四湖区域的各类生境所处的位置不同,组合方式更是有所差异。不同的生境类型在维护生物多样性、保护物种、完善生态系统的结构和功能、促进景观结构自然演替等方面的作用是不一样的^[11]。同强度、同一风险源作用于不同的生境类型时,可能对整个区域的生态结构与功能产生不同强度的危害^[13]。景观分布在遥感中的表现具有直观性和准确性,它可以准确的显示出各种生态影响的空间分布和梯度变化特征,使各种空间分析的手段成为可能^[15]。本文引入景观格局指数和生态损失度来表达生态系统的地位与易损性^[8-10,23]。景观格局指数是一个相对量,本研究计算该指数时将空间尺度范围扩展到湖区周边的县域(表 2)。

表 2 生态系统类型景观格局指数
Table 2 Calculation methods of landscape pattern indices

景观格局指数 Landscape pattern indices	计算方法 Computing Method
破碎度 C_i Fragmentation index of landscape	$C_i = n_i/M_i$ (1)
分离度 N_i Splitting index of landscape	$N_i = I_i \times A/A_i$, $I_i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n_i}{M}}$ (2)
优势度 D_i Dominance index of landscape	$D_i = H_{\max} + \sum_{i=1}^N [P_i \times \ln(P_i)]$, $H_{\max} = \ln(N)$ (2)
结构指数 S_i Structure index of landscape	$S_i = aC_i + bN_i + cD_i$ (3)
脆弱度 F_i Fragility index of landscape	专家打分赋值归一获得 (4)
损失度 R_i Loss index of landscape	$R_i = S_i \times F_i$ (5)

表中公式中, n_i 为生态系统类型*i*的斑块数量; A_i 为生态系统*i*的总面积, A 是区域总面积; I_i 是景观类型的距离指数; $H_{\max}$ 是生态系统多样性指数的最大值; P_i 为*i*类生态系统所占面积的比例; N 为生态系统类型的总数; a 、 b 、 c 为相应指数的权重。生态损失度 R_i 的大小由结构指数 S_i 和脆弱度 F_i 决定。 S_i 反映了相对于整个研究区域而言的各个生态系统受到人为活动干扰的程度, S_i 由破碎度 C_i 、分离度 N_i 和优势度 D_i 叠加得到,三者权重 $a+b+c=1$,通过分析权衡并结合已有研究经验^[6,8-10,24-26],赋 a 为 0.6, b 为 0.3, c 为 0.1。 F_i 是生态系统脆弱度,反映的是各个生态系统本身的抗干扰能力,亦可以反映其对环境改变的敏感性^[8],景观的自然演替过程与生态系统的脆弱度关系紧密,一般来说处于初级演替阶段、食物链单一并且生物多样性差的生态系统脆弱性较高^[2,8],结合已有研究经验^[5-9,18-20,24-25],并根据专家打分并归一化结果得到。

根据表 2 中公式,计算得表 3 结果。

表 3 湖区 2010 年景观格局指数
Table 3 Landscape pattern indices of Nansi lake in 2010

景观 Landscape	斑块数 Patch number	面积 Area/km ²	C_i	N_i	D_i	S_i	F_i	R_i
水域 Water body	3036	847.82	3.58	1.88	1.26	2.83	0.767	1.194
湿地 Wetland	18906	421.34	44.87	9.45	1.34	29.89	0.633	18.92
其他 The others	18851	2059.82	—	—	—	—	—	—

$C_i, N_i, D_i, S_i, F_i, R_i$ 的意义及算法参照表(2)

6 综合生态风险评价

综合生态风险评价就是要结合风险源分析、受体分析和暴露与危害分析对区域的生态风险大小给出综合的评价,本文即是计算在研究方法部分中提到的 P_k 、 D_k 、 R_k 值。

模型中 A_i 、 A 由文中 4.1 处遥感解译后统计得到, R_i 由表 3 得到, P_{kj} 由表 1 得到,关于 ∂_{kj} 即风险源权重,以往的许多生态风险研究,基本上都是采用层次分析法得到针对整个研究区域的权重值^[5-10],本研究将论文第 4 部分获得的风险源插值结果置于风险小区内,并用其在小区内分布面积的比例与该风险的强度等级的乘积作为该小区的风险源权重,这样,同一风险源在整个区域内没有统一的权重,只存在针对风险小区的风险源的权重。将 P_k 插值得图 3,可以看到这种权重处理表现出了良好的空间性。

利用 GIS 字段计算功能最终得到 1178 个生态风险值 R_k ,统计得表 4,以 R_k 为风险小区中心点的属性值插值得到生态风险空间分布图(图 3)。

南四湖湖区 1178 个风险小区的生态风险值差异明显,标准差 1.662,最大值与最小值相差 90 倍以上(表 4)。统计发现风险值在 0—3 之间出现了 733 次,3—6 之间出现了 409 次,6—10 之间出现了 46 次,由于生态风险值本身表达的是相对整个研究区域的风险大小,是一个相对量,故不再进行归一化处理。

表 4 南四湖生态风险值统计表

Table 4 The statistics of Nansi lake ecological risk value

小区个数 Cell number	最大值 Max	最小值 Min	合计 Total	平均值 Mean	标准差 Standard deviation
1178	9.6719	0.1934	3302.215	2.7819	1.662

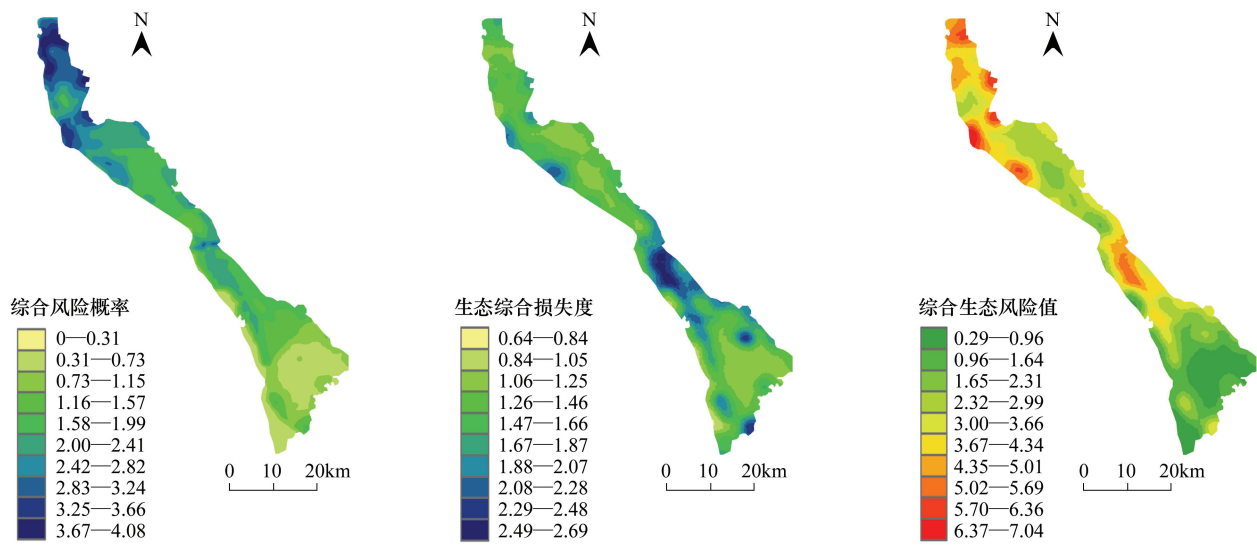


图 3 综合风险概率(P_K)、生态综合损失度(D_K)、综合生态风险(R_K)空间分布图

Fig.3 The spatial distribution of integrated risk probability (P_K), integrated eco-loss (D_K) and integrated eco-risk (R_K)

从空间分布上看,生态风险表现出上级湖大于下级湖,滨湖地带大于湖心敞水区的分异性(图 3),具体而言,在南四湖湖区,相对生态风险较高的区域主要集中在:洸府河、泗河、白马河和东鱼河河口附近,南阳镇附近水域以及二级坝周边地区。其主要原因可能是:1)与注入上下级湖的河流有关:目前注入南四湖的河流的主要功能之一便是纳污^[11],而注入上级湖的河流的数量与密度都要大于注入下级湖的河流,大量河流排污排废增加了上级湖的生态风险。2)由于二级坝的存在,下级湖受到洪涝和干旱灾害机率都要小于上级湖,水位变动对下级湖的生态扰动相对比较小。3)与研究区降水有关:南四湖多年平均降水由南向北递减。4)湖滨地区受水位影响大:南四湖水旱灾害频繁,湖滨地区在丰水期为涝,枯水则旱,生境的频繁变化增加了该区域的生态风险。5)南四湖流速很慢,换水周期为 503 d,由河流带来的生活污水,工业废水以及农业灌溉回水中的有机污染物、有毒物质等累积在河流入湖口附近。

7 结论与讨论

研究结果显示了南四湖生态风险的空间分异特征,具体找到了湖区生态风险较高的地区,同时也量化了风险受体以及湖区的干旱、洪涝和水体污染 3 个风险源,并且找到了他们的空间分布规律。

区域生态风险评价是一个多学科交叉的研究领域,涉及内容较多,本文研究存在一些不足。关于风险源,在有条件的情况下应尽量全面地反映研究区的生态胁迫,南四湖湖区的围垦现象和湖泊的泥沼化亦是南四湖湿地退化的重要原因,在以后的研究中因受重视。关于生态受体,单从景观学上说明受体的地位和脆弱性显得不够全面,景观破碎化与生物多样性的关系尚待进一步的深入研究。同许多区域生态风险的研究一样,本文最终获得的综合生态风险值在指示生态事件或生态终点方面存在不足。

研究中基于 GIS 技术对风险源权重的确定进行了新的尝试,很好的反映出了风险源的空间性,与层次分析法得到的风险源权重相比,本研究考虑到了风险源在空间上有不同强度表现的可能性,是对区域生态风险研究技术的探讨和区域风险源权重计算方面的提高。

参考文献 (References):

- [1] Hunsaker C T, Grahm R L, Suter G W, O'Neill R V, Barnthouse L W, Gardner R H. Assessing ecological risk on a regional scale. *Environmental Management*, 1990, 14(3): 325-332.
- [2] 肖杨, 毛显强. 区域景观生态风险空间分析. *中国环境科学*, 2006, 26(5): 623-626.
- [3] 周婷, 蒙古军. 区域生态风险评价方法研究进展. *生态学杂志*, 2009, 28(4): 762-767.
- [4] Wagner H H, Fortin M J. Spatial analysis of landscapes: concepts and statistics. *Ecology*, 2005, 86(8): 1975-1987.
- [5] 付在毅, 许学工, 林辉平, 王宪礼. 辽河三角洲湿地区域生态风险评价. *生态学报*, 2001, 21(3): 365-373.
- [6] 许学工, 林辉平, 付在毅. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价. *北京大学学报: 自然科学版*, 2001, 37(1): 111-120.
- [7] 卢宏伟, 曾光明, 谢更新, 张硕辅, 黄国和, 金相灿, 刘鸿亮. 洞庭湖流域区域生态风险评价. *生态学报*, 2003, 23(12): 2521-2530.
- [8] 李谢辉, 王磊, 李景宜. 基于 GIS 的渭河下游河流沿线区域生态风险评价. *生态学报*, 2009, 29(10): 5524-5534.
- [9] 李谢辉, 李景宜. 基于 GIS 的区域景观生态风险分析——以渭河下游河流沿线区域为例. *干旱区研究*, 2008, 25(6): 899-903.
- [10] 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. *生态学杂志*, 2003, 22(4): 116-120.
- [11] 沈吉, 张祖陆, 杨丽原, 孙庆义. 南四湖——环境与资源研究. 北京: 地震出版社, 2009: 4-5.
- [12] 李自珍, 何俊红. 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. *兰州大学学报: 自然科学版*, 1999, 35(3): 150-155.
- [13] 蒙古军, 赵春红. 区域生态风险评价指标体系. *应用生态学报*, 2009, 20(4): 983-990.
- [14] 济宁市土壤. 济宁市土壤肥料工作站. 济南: 山东省地图出版社, 1990: 39-190.
- [15] 陈利顶, 刘洋, 吕一河, 冯晓明, 傅伯杰. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来. *生态学报*, 2008, 28(11): 5522-5531.
- [16] 布仁仓, 李秀珍, 胡远满, 常禹, 贺红土. 尺度分析对景观格局指标的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(12): 2181-2186.
- [17] 申卫军, 郭建国, 任海, 林永标, 李明辉. 空间幅度变化对景观格局分析的影响. *生态学报*, 2003, 23(11): 2219-2231.
- [18] 付在毅, 许学工. 区域生态风险评价. *地球科学进展*, 2001, 16(2): 267-271.
- [19] 曾勇. 区域生态风险评价——以呼和浩特市为例. *生态学报*, 2010, 30(3): 668-673.
- [20] 高学平, 李文猛, 张晨, 赵世新. 入湖河流对南四湖水质的影响. *水资源保护*, 2013, 29(2): 1-5.
- [21] 陈立项, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析——以山东省东营市为例. *生态学报*, 1996, 22(4): 116-120.
- [22] 武周虎, 张可, 金玲仁, 杨连宽, 张建. 南四湖水水质空间分布特征分析与改善效果评估. *水资源保护*, 2012, 28(6): 1-7.
- [23] 鞠强. 博斯腾湖区域生态风险评价研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2005.
- [24] 许妍, 高俊峰, 高永年. 基于土地利用动态变化的太湖地区景观生态风险评价. *湖泊科学*, 2011, 23(4): 642-648.
- [25] 林扬碧, 陈秋波, 邹伟, 钟同畅. 区域景观结构的生态风险评价方法与案例研究. *环境科学与管理*, 2009, 34(4): 186-189.
- [26] 卢远, 苏文静, 华瑾, 汤传勇. 左江上游流域景观生态风险评价. *热带地理*, 2010, 30(5): 496-502.