

区域生态风险评价 ——以呼和浩特市为例

曾 勇*

(中国石油大学(北京)资源与信息学院油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249)

摘要:区域生态风险具有大尺度、多因素、多风险受体的特点,难以直接定量;从生态风险的定义出发,构建景观破碎度和面积加权生态价值指数评价区域生态风险,并以 ArcGIS 和 Fragstats 软件为研究平台,通过空间采样和插值方法得到区域生态风险的空间分布规律。以 2006 年 Spot 卫星遥感数据解译的呼和浩特市土地利用图为例,研究结果表明生态风险值范围在 0.04—0.26 之间,空间梯度差异明显,风险较高区域为东北部的大青山山区以及西南角的平原农业区,北部风险驱动力主要来自土壤侵蚀、地下水源地水位下降、水质恶化以及林地的退化;南部则是快速工业化导致林地、草地、特别是耕地景观转换为居民与工矿用地景观。案例研究结果表明所建方法直观、简便,可定量描述区域景观生态风险的相对大小和空间分布规律。

关键词:景观破碎度;区域;生态风险;评价;呼和浩特

The regional ecological risk assessment of Hohhot City

ZENG Yong*

State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, Faculty of Natural Resources & Information Technology, China Petroleum University, Beijing 102249, China

Abstract: The regional ecological risk has the characters of large scale, multiple stressors and multiple types of agents and difficult being quantified, From the definition of ecological risk, the ecological risk assessment method based on the indexes of landscape fragmentation degree and land value coefficient weighted by areas proportion has been put forward in this paper. Based on software platforms of ArcGIS and FRAGSTATS, the isoline map for ecological risk can be created by using the spatial sample method and the ordinary Kriging interpolator method. The land use map of Hohhot City for year 2005 was selected as example, the scope of ecological risk are between 0.04—0.26, but spatial difference of them are obviously, which high risk region locate at northeast mountainous area and southwest corner of farming land. The driving force of north areas comes from soil erode, underwater and forest degradation, while that of south areas are the rapid industrialization, which make the forest, grass and especially agriculture land rapidly convert to industry use land. The results show the method set up in this paper is intuitionistic and convenient. It can be used to score relatively value and rules of spatial distribution for regional ecological risk.

Key Words: landscape fragmentation degree; region; ecological risk; assessment; Hohhot City

1992 年美国国家环保局 (USEPA) 定义生态风险为一种或多种压力形成的不利生态效应的可能性过程^[1]。因此,生态风险是指一个种群、生态系统或整个景观的正常功能受外界胁迫,系统内部某些要素或其本身的健康、生产力、遗传结构、经济价值和美学价值发生退化的可能性。区域生态风险评价强调在区域水平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作用大小的过

基金项目:国家教育部博士点新教师基金资助(200804251002)

收稿日期:2008-12-01; **修订日期:**2009-04-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yongzeng1974@163.com

程^[2]。区域生态风险评价起源于环境风险评价,从 1980 年代开始至今,评价方法、内容、范围和方法都有了很大的发展,风险受体从人体发展到种群、群落、生态系统和景观尺度^[3-4]。但基于单因子小尺度的暴露-反应风险评价方法向区域大尺度多因子评价的外推过程中存在很多不确定性和困难性^[5]。目前国内外多以基于因子权重法的相对风险指标来评价区域生态风险大小。如曾辉,刘国军^[6]根据不同时段景观元素的结构特征构建生态风险指标。Liu, Cui, Dong 等^[7]以土壤侵蚀强度和生态脆弱度指标指示潜在的生态风险。王娟,崔保山,刘杰^[8]等以景观干扰指数和土地利用类型的敏感度为评价指标,分析了云南澜沧江流域景观生态风险时空变化。肖杨,毛显强^[9]以山西省平遥县为例,对风险发生概率和干扰的损失度进行评分计算风险值。彭羽,刘雪华,张爽^[10]以北京顺义区为例,计算不同风险源作用下的生态损失度后加权平均综合风险。贡璐,鞠强,潘晓玲^[11]从干扰和脆弱上定义生态损失度,对博斯腾湖区域进行生态风险评价。

针对研究中存在风险指标选取的主观性强,科学依据不足的问题。本文从生态风险的定义出发,将区域系统作为黑箱,不考虑系统内部的因果关系,根据区域系统外在表现出的景观破碎度和区域生态价值指数,来构建区域生态风险评价方法,并以呼和浩特市为例,分析生态风险值的相对大小和空间分布规律。

1 方法构建

根据生态风险的定义,区域生态风险值 R 可表示为:

$$R[\text{危害/单位时间}] = P[\text{区域生态事故/单位时间}] \times D[\text{危害/区域生态事故}] \quad (1)$$

式中, P 为概率, D 为后果。事故发生概率 P 由受到的干扰强度所决定,而危害的后果是在风险识别和源项分析基础上,定量分析最大可信事故造成的生态危害,其绝对值大小难以定量,一般采用相对评价法。

考虑到事故产生的危害程度由区域自身的抵抗力和生态价值综合决定,区域所受的干扰强度越大,抵抗力越弱、区域的生态价值越大,则所造成的生态风险越大。

因此,根据以上因素的相互关系,构建的区域生态风险值 R 可表示为:

$$R[\text{危害/单位时间}] = P[\text{区域干扰强度}] \times \frac{V[\text{区域生态价值}]}{C[\text{区域抵抗力}]} \quad (2)$$

等式右边的 $\frac{P}{C}$ 项的综合作用的后果可用景观破碎化代替。景观破碎化指自然或人为因素的干扰导致景观由简单趋向于复杂的过程,即景观由单一、均质和连续的整体趋向于复杂、异质和不连续的斑块镶嵌体的过程。主要表现为斑块数量增加而面积缩小,斑块形状趋于不规则,内部生境面积缩小,廊道被截断以及斑块彼此隔离。景观破碎化会对生存于其中的物种带来一系列的不利影响,导致生物多样性丧失。同时,也反映人类活动对景观影响的强弱程度^[12-14]。因此,景观破碎化综合反映了抵抗力和干扰相互作用后果。一般而言,景观破碎化主要表现两个方面,一是景观斑块面积由大变小,二是随着斑块面积的减少和地理空间隔离程度的增加产生的景观结构破碎化^[15],可分别用斑块密度指标和蔓延度指标来指示。斑块密度指标反映了景观斑块面积大小,其值越大说明斑块数量增加而面积缩小,斑块形状趋于不规则,内部生境面积缩小,廊道被截断以及斑块彼此隔离,反映了景观受干扰较强烈,景观破碎化程度高;蔓延度是景观连通度的指示指标,是景观中不同斑块类型的团聚程度或延展趋势,是对斑块连通水平的衡量,如果有优势斑块形成良好的连通性,则蔓延度高,说明景观中起主导作用的斑块完整性和连通性好,高蔓延度表明景观低破碎;反之则说明景观具有多种要素的密集格局,斑块间连通性差、隔离度较高、破碎度高。Graham, Hunsaker, O' Nell^[16]曾用蔓延度指标评价区域生态风险。

因此,本文构造景观破碎度指标公式如下:

$$S = \frac{P}{C} = \frac{F}{M} \quad (3)$$

其中的 M 和 F 可以用下式表示^[17]:

$$F = \frac{N}{A} \times 10^6 \quad (4)$$

$$M = 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left(P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \times \left(\ln(P_i) \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right)}{2 \ln m} \quad (5)$$

式中, S 为景观破碎度, 是景观破碎化指示指标, 其值越大表明破碎化程度越大; F 为斑块密度 (个/100hm²); N 为景观中斑块的总数 (个); A 为景观总面积 (m²); M 为蔓延度 (%); P_i 为 i 类景观所占面积比 (%); g_{ik} 为 i 和 k 类景观的相邻网格单位数 (个); m 为景观类型总数 (个)。将公式(3)计算值用极差变换法转化到 [0,1] 区间。

区域生态价值可采用面积加权生态价值指数来反映。将区域生态类型分为农业生态系统、林地生态系统、草地生态系统、水域生态系统、居民与工矿生态系统、未利用地生态系统 6 大类型, 为准确地反映出各种类型的生态价值的相对大小, 利用层次分析法^[18] 确定相应的权重参数, 根据每两个生态系统组分比较判断的相对重要性程度构建判断矩阵, 采用方根法求解矩阵的归一化特征向量和特征值, 直到满足一致性检验, 所求特征向量就是各因子的权重排序, 即为各种类型的生态价值指数 V_i 。

计算面积加权生态价值指标:

$$V = V_a = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{A} \times V_i \right) \quad (6)$$

式中, V_a 为面积加权生态价值指数, 其值大小在 [0,1] 区间; A_i 为 i 类生态系统面积 ($i=6$) (km²); A 为区域生态系统总面积 (km²); V_i 为 i 类生态系统生态价值指数, 其值大小在 [0,1] 区间。

综合(3), (6)可得到区域生态风险的表达式:

$$R = \frac{F}{M} \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{A} \times V_i \right) \quad (7)$$

式中, R 值越大, 区域风险越大, 可将 R 的最小和最大值作为区域生态风险的上下限, 采用等距离方式划分为 5 级, 对应于低、较低、中、较高、高风险等级。

为表征区域生态风险的空间分布特征, 可以采用网格法将区域划分为 j 个小区, 则第 j 个子区域的景观生态风险为:

$$R_j = \frac{F_j}{M_j} \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{ij}}{A_j} \times V_{ij} \right) \quad (8)$$

以采样方格中心点为对应的空间坐标, 在 Arcgis 中通过普通克里格插值获得区域风险的空间分布特征。

2 评价结果

2.1 研究区概况

呼和浩特市位于内蒙古自治区中西部, 北与乌兰察布盟四子王旗、包头市达茂旗相连, 东与乌兰察布市察右中旗、卓资县、凉城县接壤, 南与鄂尔多斯市准格尔旗和山西省右玉县交界, 西与包头市毗邻。地理坐标为东经 110°30′—112°18′, 北纬 39°35′—41°23′。包括新城区、赛罕区、回民区、玉泉区, 市区总面积 2086km²。

分为山地和平原两大地形。北部为大青山中低山区, 东部为蛮汗山黄土丘陵, 中部为大青山冲洪积平原区, 南部为大黑河冲积平原区, 还有局部沙丘地貌。地势特征为北高南低, 东高西低, 由东北向西南缓缓倾斜; 属典型的中温带干旱半干旱大陆性季风气候, 年均降水为 400mm; 2004 年市区人口为 109.7 万人, GDP 年均增长 27% 以上, 人口和经济快速发展带来了较大生态压力。

根据 2006 年土地利用矢量图 (图 1), 市区范围内耕地 679.2km², 占总面积的 32.6%; 林地面积 343.5km², 占总面积的 16.5%; 草地面积 704.2km², 占总面积的 33.8%; 水域面积 57.9 km², 占总面积的 2.8%; 居民与工矿面积 240.9 km², 占总面积的 11.6%, 未利用地面积 57.9 km², 占总面积的 2.8%。

2.2 数据来源与计算过程

数据来源 2006 年 6 月的 Spot 卫星遥感数据解译的呼市土地利用图 (图 1)。土地利用类型合并为耕地、

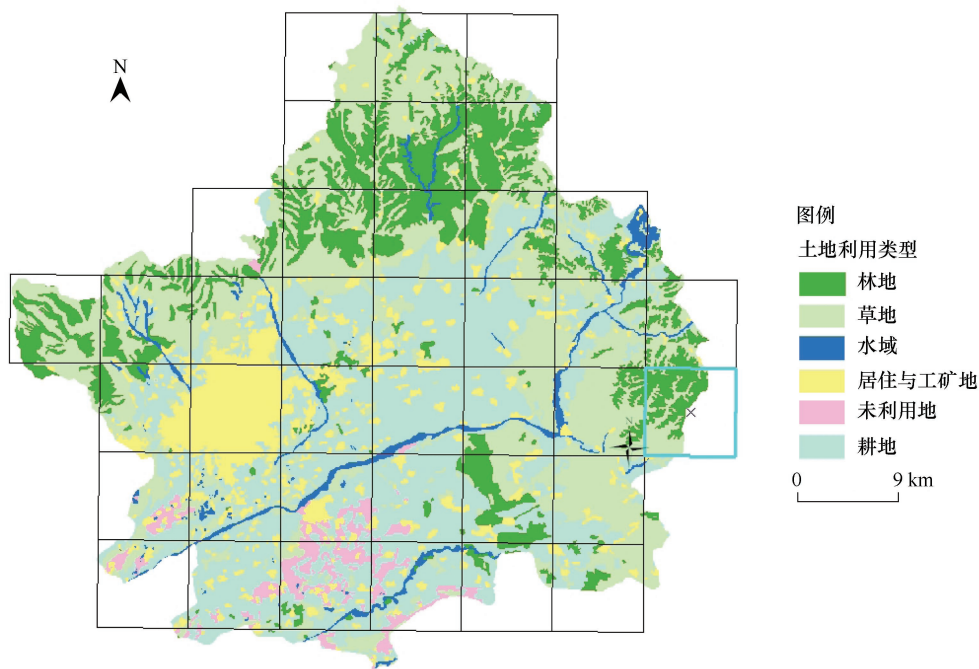


图1 基于2006年土地利用矢量图上的采样方格
Fig.1 The samples based on land use map of year 2006

林地、草地、水域、居民与工矿、未利用地。在呼市范围内(56km×63km)进行系统采样,采样间隔为1,采样单元为(8km×8km)(图1),共38个样方,分别计算生态风险值。

ARCGIS 工作站平台上,将样方矢量图转化为栅格图,将栅格图输入到 FRAGSTATS 软件,计算各样方的景观格局指数,表1中列出了所有样方的主要景观格局指数。从中看出,斑块密度在0.21—1.88之间,蔓延度在43.81—89.19之间,样方之间的差异明显。根据公式(3)计算样方景观破碎度。

应用层次分析法计算各类生态系统价值指数,构造林地、草地、耕地、水域、居民与工矿地之间生态价值重要性的成对比较矩阵,对比较矩阵进行计算,得出最大特征值 $\lambda = 6.099$ 所对应的归一化的特征向量(林地0.28,草地0.12,耕地0.11,水域0.40,居民与工矿0.07,未利用地0.03), $CR = 0.016 < 0.1$,通过一致性检验。

根据公式(6)求得样方面积加权生态价值指数;在此基础上,根据公式(8)计算样方生态风险值;将生态风险值作为样方中心点属性值,在 ARCGIS 的地统计模块 Geostatistical Analyst 中,采用普通克里格方法进行插值,得到生态风险等值线图。

2.3 计算结果

生态风险空间分布计算结果如图2,从中看出,呼市区域生态风险范围值在0.04—0.26之间,说明风险峰值较低,原因在于2000—2005年间林地面积增加了11700hm²,水土流失得到基本治理,地表植被覆盖度呈现增大趋势,生态质量总体向良性状态发展。

相对风险程度采用等距离划分为5级,分别为低

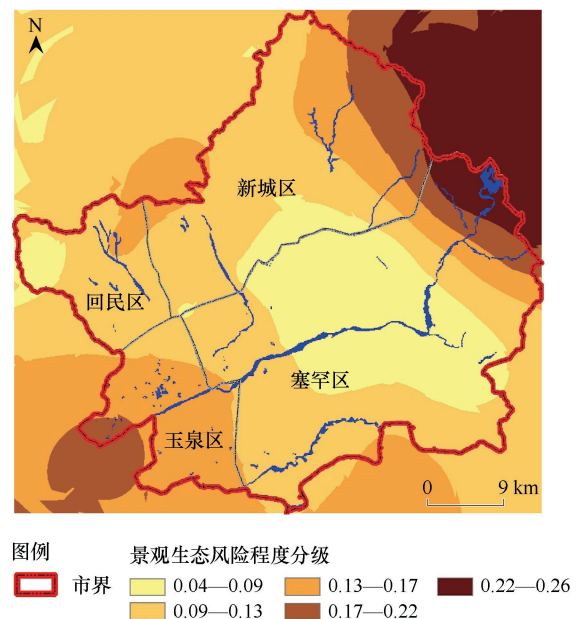


图2 呼和浩特市景观生态风险空间分布图
Fig. 2 spatial distribution of ecological risk for Huhehaote City

0.04—0.09, 较低 0.09—0.13, 中 0.13—0.17, 较高 0.17—0.22, 高 0.22—0.26。可看出研究区生态风险空间差异明显, 风险较高区域为东北部大青山区以及西南角的平原农业区, 大青山一带林地较多但质量退化, 同时属流域上游区域, 地形较复杂, 属土壤侵蚀敏感区; 西南角的平原农业区一带地势较低, 位于主要水系的下游, 河流生态系统非常脆弱, 污染问题、洪涝灾害以及水环境的破坏都会对其沿河两岸生态环境造负面影响。生态风险中等的区域位于大青山外围地区、西北主城区以及西南部的灌溉农业区, 大青山外围地区还是属于土壤侵蚀较敏感区, 西北部主城区是地下水源保护区, 且位于城市主导风的上风向, 城市人口密集, 大气污染防治和地下水源保护的任务较重; 西南部的灌溉农业区是工业用地的扩展区域, 随着工业园区向远郊发展, 污染风险源从城区向南部城郊逐步转移, 体现出较强的人为干扰, 且该区域存在较多的破碎化林地、草地和水域, 自身的稳定性较差; 主城区主要为居民与工矿用地, 景观完整性好, 因此发生景观破碎化的概率较低, 且其用地的生态价值较低, 发生生态事故后的生态价值损失较小, 因此其生态风险为较低风险。呼市的中部灌溉农业区为生态风险低的区域, 以农牧业为主, 受到的人类活动干扰较小。

表 1 样方景观格局指数
Table 1 The main landscape indexes of samples

样方编号 Number	斑块数 /个 Number of patches	斑块密度 /(个/100hm ²) Patch density	平均最近 距离/m Mean nearest	蔓延度 /% Contagion index	样方编号 Number	斑块数 /个 Number of patches	斑块密度 /(个/100hm ²) Patch density	平均最近 距离/m Mean nearest	蔓延度 /% Contagion index
1-1	10.00	0.21	201.77	58.67	5-3	26.00	0.41	547.32	54.68
2-1	55.00	0.87	411.39	52.70	5-4	37.00	0.58	630.00	64.93
2-2	55.00	0.92	453.08	51.63	5-5	28.00	0.44	899.67	75.91
2-3	45.00	1.28	506.67	53.81	5-6	38.00	0.59	751.05	72.46
2-4	39.00	1.88	433.03	44.20	5-7	42.00	0.80	588.38	56.74
3-1	27.00	1.03	289.39	59.72	6-1	22.00	1.47	320.96	62.34
3-2	51.00	0.80	326.65	55.75	6-2	38.00	0.67	315.67	64.05
3-3	19.00	0.30	934.32	89.19	6-3	44.00	0.69	458.15	48.92
3-4	99.00	1.55	359.91	54.48	6-4	22.00	0.34	946.57	66.75
3-5	79.00	1.31	454.44	66.59	6-5	31.00	0.48	835.52	56.74
4-1	9.00	0.48	2436.72	87.18	6-6	31.00	0.48	462.88	45.24
4-2	28.00	0.58	464.27	56.19	6-7	27.00	1.10	794.77	56.39
4-3	26.00	0.41	605.54	55.00	8-1	56.00	1.03	429.55	43.81
4-4	53.00	0.83	426.35	58.80	8-2	51.00	0.80	575.62	52.86
4-5	78.00	1.22	386.33	53.45	8-3	26.00	0.41	577.13	58.95
4-6	65.00	1.02	374.29	45.93	8-4	28.00	0.45	735.40	67.20
4-7	78.00	1.22	496.66	50.03	8-5	26.00	0.83	621.97	47.49
5-1	49.00	0.95	462.94	62.30	9-1	32.00	0.99	379.24	55.86
5-2	38.00	0.59	569.87	57.52	9-2	13.00	0.39	265.70	57.69

纵观呼市景观生态风险分布特征, 北部景观生态风险驱动力是土壤侵蚀、地下水源地水位下降和水质恶化以及主要林地的退化和减少; 南部则是工业开发带来的快速城镇化和工业化, 林地、草地、特别是耕地的转换为城镇景观。

3 结论

(1) 从生态风险的概念出发, 将区域生态系统的结构、功能和过程作为黑箱, 构建了基于景观破碎度和面积加权价值指数的区域生态风险评价方法, 案例研究结果表明: 所建方法有直观、简便的特点, 可计算区域生态风险的相对大小和空间分布规律, 完善了区域生态风险定量评价方法。

(2) 呼市区域生态风险值在 0.04—0.26 之间, 说明区域生态风险的峰值较低, 但空间差异明显, 风险较高区域位于东北部的大青山区以及西南角的平原农业区, 风险中等区域位于大青山外围地区、西北部城区以

及西南部的灌溉农业区;风险低区域位于呼市的中部灌溉农业区。北部生态风险驱动力是土壤侵蚀、地下水源地水位下降和水质恶化,林地的退化;南部则是快速城镇化和工业化,林地、草地、特别是耕地的转换为城镇景观。

(3)本文从风险的定义出发所建模型,推导出以景观破碎度和区域生态价值指数来构建区域生态风险的指标评价方法,与现有的间接评价方法相比,指标选取具有一定的理论依据,避免指标选取的主观性;文本所建的区域生态风险评价是相对风险大小,对生态风险的直接计算方法和评价标准的确定需要进一步研究。

References:

- [1] Ying H W. Ecological risk assessment. Shanghai: Press of East China University of Science and Technology, 2001.
- [2] Fu Z Y, Xu X G. Regional ecological risk assessment. *Advances in Earth Science*, 2001, 16(2): 267-271.
- [3] Wayne G L. Twenty years before and hence: ecological risk assessment at multiple scales with stressors and multiple endpoints. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2003, 9: 1317-1326.
- [4] Hunsaker C T, Graham R L, Suter G W, O'Neill R V, Barnhouse L W, Gardner R H. Assessing ecological risk on a regional scale. *Environmental Management*, 1990, 14(3): 325-332.
- [5] Chen H, Liu J S, Cao Y, Li S C, Ouyang Y H. Progresses of ecological risk assessment. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1558-1564.
- [6] Zeng H, Liu G J. Analysis of regional ecological risk based on landscape stress. *China Environmental Science*, 1999, 19(5): 454-457.
- [7] Liu, Cui, Dong, *et al.* Evaluating the influence of road networks on landscape and regional ecological risk-A case study in Lancang River Valley of Southwest China, *Ecological Engineering*, 2008, 27(8): 1-5.
- [8] Wang J, Cui B S, Liu J, Yao H R, Zhai H J. The effect of land use and its change on ecological risk in the Lancang River watershed of Yunnan Province at the landscape scale. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(2): 269-277.
- [9] Xiao Y, Mao X Q. Spatial analysis of regional landscape ecological risk. *China Environmental Science*, 2006, 26(5): 623-626.
- [10] Peng Y, Liu X H, Zhang S. Ecological risk assessment of the Shunyi District, Beijing based on an analysis of the integrated ecological loss. *J Tsinghua Univ (Sci & Tech)*, 2008, 48(3): 367-369.
- [11] Gong L, Ju Q, Pan X L. Ecological landscape risk assessment study of Bosten lake. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(1): 27-31.
- [12] Wan X L, Bu R C, Hu Y M, Xiao D N. Analysis on landscape fragment of Liaohe delta wetlands. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(3): 299-304.
- [13] Wang Y J, Li T S, Lliu K, Su J W, Cheng S Y. Landscape patterns and fragmentation in Yulin prefecture. *Resources Science*, 2005, 7(2): 161-166.
- [14] Yang G J, Xiao D N. Forest landscape pattern and fragmentation: a case study on Xishui Natural Reserve in Qilian mountain. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(5): 56-61.
- [15] Liu H Y, Lu X G, Zhang S K, Yang Q. Fragmentation process of wetland landscape in watersheds of Sanjiang Plain, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 289-295.
- [16] Graham E J, Hunsaker C T, O'Neill R V. Ecological risk assessment at the regional scale. *Ecological Application*, 1991, 1: 196-206.
- [17] Wu J G. Landscape ecology- pattern, process, scale and class. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [18] Zhao H C, Xu S B, He J S. The analytic hierarchy process: a new simple decision making method. Beijing: Science Press, 1986.

参考文献:

- [1] 殷浩文. 生态风险评价. 上海: 华东理工大学出版社, 2001.
- [2] 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.
- [5] 陈辉, 刘劲松, 曹宇, 李双成, 欧阳华. 生态风险评价研究进展. *生态学报*, 2006, 26(5): 1558-1564.
- [6] 曾辉, 刘国军. 基于景观结构的区域生态风险分析. *中国环境科学*, 1999, 19(5): 454-457.
- [8] 王娟, 崔保山, 刘杰, 姚华荣, 翟红娟. 云南澜沧江流域土地利用及其变化对景观生态风险的影响. *环境科学学报*, 2008, 28(2): 269-276.
- [9] 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.
- [10] 彭羽, 刘雪华, 张爽. 基于综合生态损失度的顺义区生态风险评价. *清华大学学报(自然科学版)*, 2008, 48(3): 367-369.
- [11] 贡璐, 鞠强, 潘晓玲. 博斯腾湖区域景观生态风险评价研究. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(1): 27-31.
- [12] 王宪礼, 布仁仓, 胡远满, 肖笃宁. 辽河三角洲湿地景观破碎化分析. *应用生态学报*, 1996, 7(3): 299-304.
- [13] 王永军, 李国胜, 刘康, 苏建文, 程水英. 榆林地区景观格局分析及其破碎化评价. *资源科学*, 2005, 7(2): 161-166.
- [14] 杨国靖, 肖笃宁. 森林景观格局及破碎化评价——以祁连山西水自然保护区为例. *生态学杂志*, 2003, 22(5): 56-61.
- [15] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎, 杨青. 三江平原流域湿地景观破碎化过程研究. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 289-296.
- [17] 邬建国. 景观生态学-格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [18] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法: 一种简易的新决策方法. 北京: 科学出版社, 1986.