

基于 GIS 技术的吉林省生态灾害风险评价*

张继权^{1*} 梁警丹¹ 周道玮²

(¹ 东北师范大学城市与环境科学学院自然灾害研究所, 长春 130024; ² 东北师范大学草地科学研究所, 长春 130024)

摘要 基于自然灾害风险形成原理, 综合考虑吉林省自然和社会经济现状, 从致灾因子的危险性、承灾体的暴露性和脆弱性及防灾减灾能力 4 个方面选取指标, 利用自然灾害风险指数法、加权综合评价法及层次分析法构建生态灾害风险评价模型, 评价了各风险因子的贡献率, 并运用 GIS 技术生成吉林省生态灾害风险区划图。评价结果对于正确认识吉林省的生态环境风险水平, 有针对性地确定生态恢复与管理决策都有重要意义。

关键词 生态灾害 吉林省 自然灾害风险 风险评价 生态灾害风险指数

文章编号 1001-9332(2007)08-1765-06 中图分类号 X43 文献标识码 A

Risk assessment of ecological disasters in Jilin Province based on GIS. ZHANG Ji-quan¹, LI-ANG Jing-dan¹, ZHOU Dao-wei²(¹Research Institute of Natural Disaster, College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China; ²Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2007, 18(8): 1765-1770.

Abstract: Based on the principles of natural disasters risk formation, and considering the natural and social features of Jilin Province, relevant indices were selected from the aspects of hazard, exposure, vulnerability and emergency responses, and recovery capability, and Natural Disaster Risk Index method, Weighted Comprehensive Analysis, and Analytic Hierarchy Process were used to build the risk assessment model of ecological disasters in this Province. The contribution of each index was assessed, and the regionalization map of the ecological disasters risk in Jilin Province was built based on GIS, which would provide scientific references in accurately understanding the risk level of ecological disasters and in decision-making of eco-environment restoration and management in Jilin Province.

Key words: ecological disaster; Jilin Province; natural disaster risk; risk assessment; ecological disaster risk index (EDRI).

1 引言

生态灾害是生态系统过程(能量转化和物质循环)的异常变化给社会系统所造成的危害。它是由环境条件突发性变化以及能量和物质输入输出不平衡或系统各部分的平衡失调所致。生态灾害对社会经济的危害除了具有直接的扰动和打击(如洪水、风灾)之外,更重要的是表现为生态系统的功能(生产力或资源供给能力)衰退。生态灾害由自然、人为

或其共同作用形成,且目前人为生态灾害日益增多,危害也日益增大^[5]。本文基于自然灾害风险形成原理,综合考虑吉林省自然、社会经济现状,利用自然灾害风险指数法、加权综合评价法及层次分析法构建生态灾害风险评价模型,评价了各风险因子的贡献率,并运用 GIS 技术生成吉林省生态灾害风险区划图。评价结果对于正确认识吉林省的生态环境风险水平以及更有针对性地确定生态恢复与管理决策都具有重要意义。

2 研究区域概况

吉林省位于我国东北地区的中心地带(40°51'—46°18'N, 121°38'—131°17'E)。其生态灾害可

* 国家“十五”科技攻关项目(2004BA528B31)、教育部留学回国人员科研启动基金项目和省部共建国家重点实验室(吉林省生态恢复与生态系统管理实验室)开放课题资助项目。

* * 通讯作者。E-mail: zhangjq022@nenu.edu.cn

2006-07-11 收稿, 2007-05-17 接受。

分为:趋势性灾害、气象灾害、地质灾害和环境污染等。趋势性灾害在一段较长的时间内逐渐形成,有着明显的过程性^[4,14,16]。吉林省主要包括土壤侵蚀、沙漠化、盐渍化及黑土退化4类,东部山区局部水土流失严重,中部台地黑土日趋退化,西部草原沙漠化、盐碱化及退化问题突出。主要灾害性气候有低温冷害、干旱、洪涝、霜冻等,其中东部局部地区低温冷害和霜冻较为严重,且水资源年内与年际分配不均,导致东部山区易发生洪灾,中部松辽平原易发生涝灾,西部地区易发生旱灾。地质灾害多为突发性灾害,其中构成严重威胁的主要有崩塌、滑坡、泥石流及地面塌陷等。环境污染主要为地表水环境污染及农业污染,农业污染主要是施用化肥、农药及农膜对生态环境造成污染。

3 生态灾害风险模型的构建过程

3.1 自然灾害风险形成原理

自然灾害风险指未来若干年内可能达到的灾害程度及其发生的可能性。一般而言,自然灾害风险是危险性、暴露性和脆弱性综合作用的结果^[3,22,24],防灾减灾能力对于自然灾害风险度的作用较大,因此在区域自然灾害风险形成过程中,危险性(H)、暴露性(E)、脆弱性(V)和防灾减灾能力(R)缺一不可,是四者综合作用的结果(图1),自然灾害风险数学公式为^[2]:

自然灾害风险度 = 危险性(H) × 暴露性(E) × 脆弱性(V) × 防灾减灾能力(R)

危险性是指人、财产、系统或功能遭受损坏威胁的频率和严重程度;暴露性是指可能受到危险因素威胁的所有人和财产,如人员、牲畜、房屋和农作物等;脆弱性是指在给定危险地区存在的所有由于潜在的危险因素而造成对财产的伤害或损失程度;防灾减灾能力是指政府及个人为防止和减小风险而采

取一系列措施的能力,包括资源准备、减灾投入等。

3.2 生态灾害风险评价指标体系的选择

从发展过程来看,生态灾害表现为突发式和渐近累积式两种形式。突发生态灾害(如洪涝、台风、暴发性病虫害等)在短时间内给社会经济系统带来巨大损失,易于被人们所认识,而渐近累积式生态灾害(土壤侵蚀、环境污染、物种绝灭和长时间尺度气候异常变化等)则不易被人们觉察,它们的不断累积会带来大范围不可逆的危害,使社会经济系统遭受毁灭性灾难。缺乏生态合理性的人类活动会加速累积式生态灾害的进程,使其演化为实发性不可逆的生态灾害^[5]。吉林省是我国生态灾害种类较多的省份之一,按照灾害的诱发过程和灾害主要发生的部位,生态灾害分为趋势性灾害、气象灾害、地质灾害和环境污染等。基于自然灾害风险形成原理及吉林省生态灾害的特点,遵循指标体系确定的科学性、规范性、代表性、简明性、全面性及可操作性原则^[7,10,15,17,26],将吉林省生态灾害风险评价指标体系分为目标层、因子层、子因子层及指标层,并选取了30个指标来描述生态灾害风险(表1),其中权重系数是在采用问卷调查法咨询相关专家的基础上运用层次分析法计算得出。

3.3 生态灾害风险模型的建立

根据标准自然灾害风险数学公式,结合生态灾害风险评价指标体系,利用加权综合评价法^[6,21,23]和层次分析法^[9,13,18,20,25],建立如下生态灾害风险指数模型:

$$EDRI = (H^{WH}) \times (E^{WE}) \times (V^{WV}) \times (1 - R)^{WR} \quad (1)$$

$$H = W_{H1}X_{H1} + W_{H2}X_{H2} + W_{H3}X_{H3} + W_{H4}X_{H4} + W_{H5}X_{H5} + W_{H6}X_{H6} + W_{H7}X_{H7} + W_{H8}X_{H8} \quad (2)$$

$$E = W_{E1}X_{E1} + W_{E2}X_{E2} + W_{E3}X_{E3} + W_{E4}X_{E4} + W_{E5}X_{E5} + W_{E6}X_{E6} + W_{E7}X_{E7} \quad (3)$$

$$V = W_{V1}X_{V1} + W_{V2}X_{V2} + W_{V3}X_{V3} + W_{V4}X_{V4} + W_{V5}X_{V5} + W_{V6}X_{V6} + W_{V7}X_{V7} + W_{V8}X_{V8} + W_{V9}X_{V9} + W_{V10}X_{V10} \quad (4)$$

$$R = W_{R1}X_{R1} + W_{R2}X_{R2} + W_{R3}X_{R3} + W_{R4}X_{R4} + W_{R5}X_{R5} \quad (5)$$

其中EDRI是生态灾害风险指数,用于表示生态灾害风险程度,其值越大,则生态灾害风险程度越大;H、E、V、R的值相应地表示危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力因子指数;在式(2)—式(5)中, X_i 是指标*i*量化后的值, W_i 为指标*i*的权重,表示各指标对形成生态灾害风险的主要因子的相对重要性。

4 吉林省生态灾害风险评价

由式(2)—式(5)可分别得出吉林省各市、县危

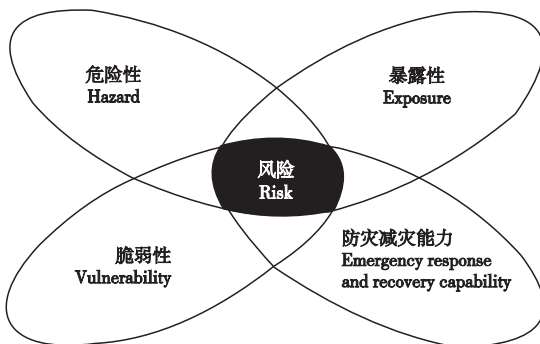


图1 自然灾害风险形成原理

Fig. 1 Formation principle of natural disaster risk.

表 1 吉林省生态灾害风险评价指标体系

Tab. 1 System of risk assessment indicators for the ecological disaster of Jilin Province

目标层 Target level	因子层 Factor level	子因子层 Sub-factor level	指标层 Indicator level	权重 Weights	文献 Reference	
吉林省生态 灾害风险指数 Risk index of ecological disasters in Jilin Province	危险性 Hazard	趋势性灾害 Trend disaster	X_{H1} 土壤侵蚀敏感性指数 * Soil erosion sensitivity index	0.0642	[19]	
			X_{H2} 沙漠化敏感性指数 * Desertification sensitivity index	0.0642	[19]	
			X_{H3} 盐渍化敏感性指数 * Salinization or alkalinization sensitivity index	0.0642	[19]	
			X_{H4} 黑土退化敏感性指数 * Black soil degeneration sensitivity index	0.0642	[19]	
		气象灾害 Meteorological disaster	X_{H5} 气象灾害(低温冷害、干旱、洪涝、霜冻)综合敏感性指数 * Integrated sensitivity index of low temperature harm, drought, waterlogging and frost	0.0877	[19]	
			地质灾害 Geological disaster	X_{H6} 地质灾害(崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷)综合敏感性指数 * Integrated sensitivity index of dilapidation, landslide, mud-rock flow and land collapse	0.0247	[19]
				环境污染 Environmental pollution	X_{H7} 地表水污染敏感性指数 * Surface water pollution sensitivity index	0.0182
		暴露性 Exposure	人口 Population	X_{E1} 总人口 Total population	0.0122	[11]
				X_{E2} 人口密度 Population density	0.0122	[11]
				社会经济 Society & economy	X_{E3} 生产总值 Total output value	0.0245
	生态环境 Ecological environment		X_{E4} 农业用地面积比 Percentage of farming land accounted for the total area	0.0183	[1]	
			X_{E5} 牧业用地面积比 Percentage of animal husbandry land accounted for the total area	0.0183	[1]	
			X_{E6} 林业用地面积比 Percentage of forestry land accounted for the total area	0.0183	[1]	
			X_{E7} 渔业用地面积比 Percentage of fishery land accounted for the total area	0.0183	[1]	
	脆弱性 Vulnerability		人口 Population	X_{V1} 18 岁以下及 60 岁以上人口比例 Percentage of population aged from 0 - 18 and older than 60	0.0216	[11]
				X_{V2} 文盲人口占 15 岁及以上人口比例 Percentage of illiterate population aged more than 15 years old	0.0108	[8]
				社会经济 Society & economy	X_{V3} 粮食单产波动指数 Fluctuation index of grain yield per unit area	0.0432
			X_{V4} 小企业所占% Percentage of small corporations		0.0216	[11]
			生态环境 Ecological environment	X_{V5} 土地盐碱化面积占全省土地盐碱化总面积% Percentage of salinization or alkalinization land accounted for its total area in Jilin Province	0.0216	[19]
				X_{V6} 土地沙漠化面积占全省土地沙漠化总面积% Percentage of desertification land accounted for its total area in Jilin Province	0.0216	[19]
				X_{V7} 水土流失率 Ratio of soil erosion	0.0216	[11]
				X_{V8} 土地受旱率 Ratio of drought	0.0216	[12]
				X_{V9} 30 年平均水灾成灾面积 Thirty-year average flood damage area	0.0216	[11]
			防灾减灾能力 Emergency response & recovery capability	资源准备 Resources preparation	X_{R1} 人均生产总值 Per capita GDP	0.0567
	X_{R2} 医院、卫生院床位数 Number of beds in hospitals and health centers	0.0189			[11]	
	X_{R3} 建成区绿化覆盖面积 Area of greenery patches in constructed district	0.0504			[11]	
	X_{R4} 自然保护区面积 Area of nature reserve	0.0504			[11]	
投入水平 Investment degree	X_{R5} 环境污染治理完成投资总额 Amount of capital invested for harnessing environmental pollution	0.0505		[11]		

* 敏感性指数由文献^[19]中的敏感性分布图分级赋值而得 The sensitivity index was computed by given points according to class in accordance with distribution maps of sensitivity in reference.

险性、暴露性、脆弱性及防灾减灾能力因子指数值,生态灾害风险分析需考虑组成其风险的 4 个因子,图 2 为吉林省生态灾害风险因子分析结果.由图 2 不仅可以比较出不同地区单一风险因子对总体风险的贡献程度,如吉林省各市、县中,通榆县、洮南市和大安市危险性高,其中洮南市最高;长春市、榆树市、德惠市、双辽市、梨树县、长岭县、前郭县、乾安县、扶余县及镇赉县危险性较高,而辽源市区、辉南县、和

龙市、安图县危险性低,其中辉南县最低;而且可以比较出同一地区不同风险因子对总体风险的贡献程度及生态风险的形成原因,如长春市区生态灾害风险主要受危险性、防灾减灾能力因子的制约,洮南市生态灾害风险主要受危险性因子的制约等.

基于式(1),运用 GIS 生成吉林省生态灾害风险区划图(图 3).依据风险等级划分标准(表 2),属轻风险水平的有 12 个区域,全部位于东部及中

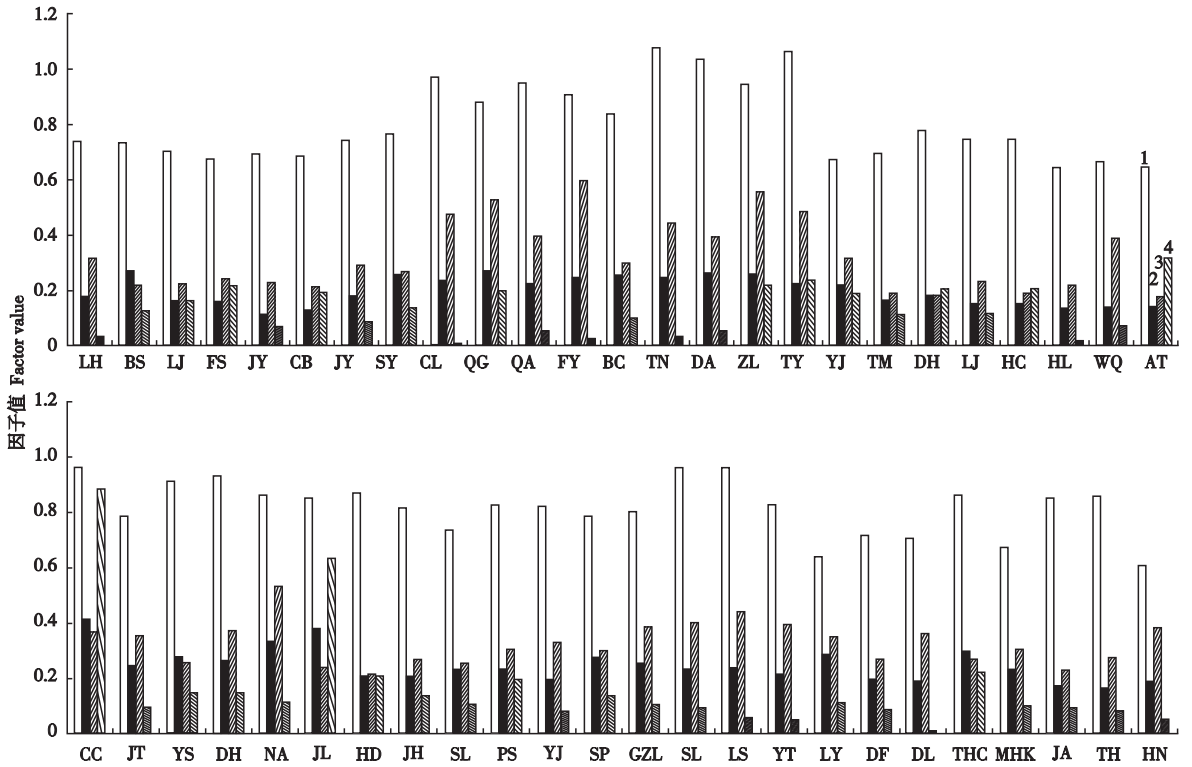


图2 吉林省生态灾害风险因子

Fig. 2 Factors of the ecological disaster risk in Jilin Province.

CC 长春 Changchun ; JT 九台 Jiutai ; YS 榆树 Yushu ; DH 德惠 Dehui ; NA 农安 Nong 'an ; JL 吉林 Jilin ; HD 桦甸 Huadian ; JH 蛟河 Jiaohu ; SL 舒兰 Shulan ; PS 磐石 Panshi ; YJ 永吉 Yongji ; SP 四平 Siping ; GZL 公主岭 Gongzhuling ; SL 双辽 Shuangliao ; LS 梨树 Lishu ; YT 伊通 Yitong ; LY 辽源 Liaoyuan ; DF 东丰 Dongfeng ; DL 东辽 Dongliao ; THC 通化市 Tonghua city ; MHK 梅河口 Meihekou ; JA 集安 Ji 'an ; TH 通化县 Tonghua ; HN 辉南 Huinan ; LH 辉南 Huinan ; BS 白山 Baishan ; LJ 临江 Linjiang ; FS 抚松 Fusong ; JY 靖宇 Jingyu ; CB 长白 Changbai ; JY 江源 Jianguyuan ; SY 松原 Songyuan ; CL 长岭 Changling ; QG 前郭 Qianguo ; QA 乾安 Qian 'an ; FY 扶余 Fuyu ; BC 白城 Baicheng ; TN 洮南 Taonan ; DA 大安 Da 'an ; ZL 镇赉 Zhenlai ; TY 通榆 Tongyu ; YJ 延吉 Yanji ; TM 图们 Tumen ; DH 敦化 Dunhua ; LJ 龙井 Longjing ; HC 珲春 Huichun ; HL 和龙 Helong ; WQ 汪清 Wangqing ; AT 安图 Antu. 1)危险性 Hazard ; 2)暴露性 Exposure ; 3)脆弱性 Vulnerability ; 4)防灾减灾能力 Emergency response & recovery capability.

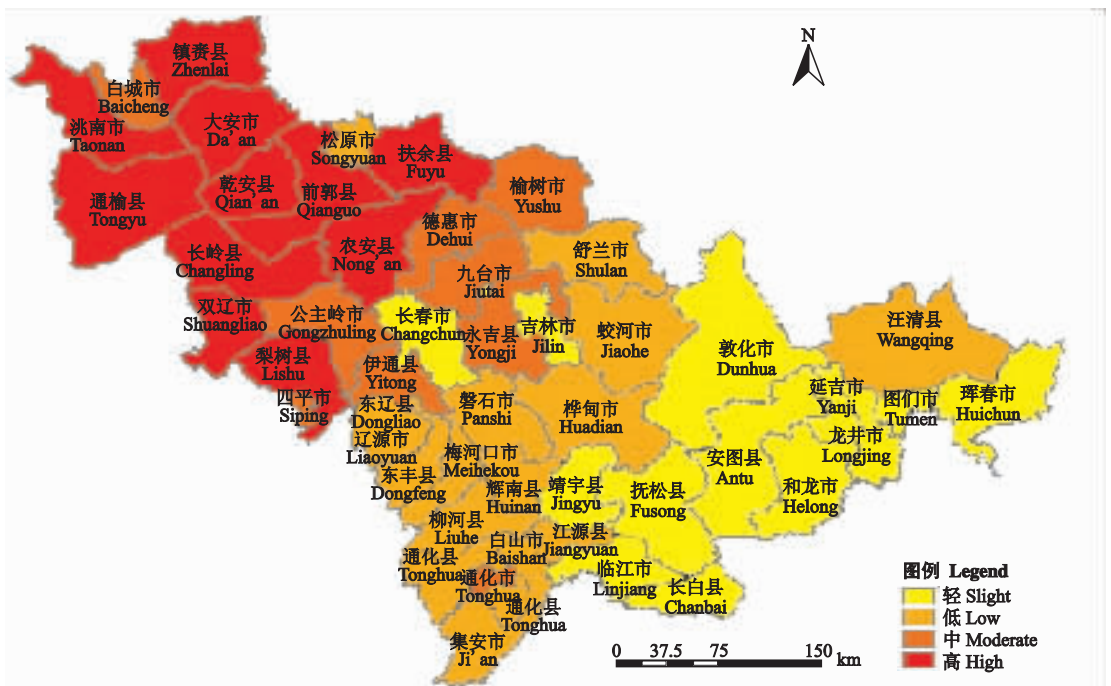


图3 吉林省生态灾害风险图

Fig. 3 Risk map of ecological disasters in Jilin Province.

表 2 风险等级划分标准

Tab. 2 Division criterion of risk rank

风险等级 Risk rank	EDRI			
	≤0.49	0.49~0.56	0.56~0.63	>0.63
	轻 Slight	低 Low	中 Moderate	高 High

部地区,属低风险水平的有 15 个区域,大部分位于东部及中部地区;属中等风险水平的有 10 个区域,大部分位于中部地区;属高风险水平的有 12 个区域,绝大部分位于西部地区。从总体上看,吉林省生态灾害风险水平空间格局大致为西部高、中部较高、东部低,个别地区情况相反,如西部松原市区处于低风险水平,中部长春市区及吉林市处于轻风险水平,计算结果与实际情况基本相符。

5 结 语

1) 本文所采用的生态灾害风险评价方法简单、可行且提供了定量、可比较、统一客观的分析结果,借助 GIS 技术,将吉林省生态灾害风险水平所处等级直接显示在二维空间平面上,既可判读各评价单元所处的风险水平,又能反映风险程度的地域差异。

2) 研究结果表明,吉林省生态灾害风险评价指标体系中选用的指标比较客观,能全面反映吉林省的生态灾害风险水平。建立评价指标体系的科学性,直接影响生态灾害风险模型的科学性与准确性,本文的指标体系只适用于吉林省,对于其它地区,还需要根据当地情况进行指标选择。

3) 本文依据自然灾害风险分析原理构建吉林省生态灾害风险评价模型,在分析构成生态灾害风险的危险性因子、暴露性因子、脆弱性因子及防灾减灾能力因子的基础上,以能综合体现风险程度的风险指数(EDRI)作为指标,将吉林省分为 4 个生态灾害风险区,评价结果可为有关部门确定生态恢复与管理政策提供参考依据。

参考文献

[1] Bai X-M (白效明). 2000. Research on the Eco-Environment and Construction of the Ecological Province in Jilin Province. Changchun: Jilin University Press: 115-132 (in Chinese)

[2] Davidson RA, Lamber KB. 2001. Comparing the hurricane disaster risk of U. S. coastal counties. *Natural Hazards Review*, 2(3): 132-142

[3] Huang C-F (黄崇福). 2005. Risk Assessment of Natural Disaster Theory & Practice. Beijing: Science Press: 3-7 (in Chinese)

[4] Huang C-F (黄崇福). 2001. Risk Analysis of Natural

Disaster. Beijing: Beijing Normal University Press: 16-17 (in Chinese)

[5] Liu Q-Y (刘全友), Lu Z-C (陆中臣). 1999. The types of ecological disasters in the joint areas of Shanxi, Hebei, Shandong and He'nan provinces and analysis of the causes of the disasters. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 19(1): 23-29 (in Chinese)

[6] Liu X-Y (刘兴元), Chen Q-G (陈全功), Liang T-G (梁天刚), et al. 2006. Establishment of snow disaster remote sensing monitoring and damage estimation systems in Altai pastoral region of Xinjiang. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 17(2): 215-220 (in Chinese)

[7] Pan A-H (潘爱华), Pei W (裴雯). 2004. Design on evaluation indicator system of eco-environment quality in Qilian Mountains. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology* (甘肃林业科技), 29(2): 12 (in Chinese)

[8] Population Census Office of Jilin Province (吉林省人口普查办公室). 2000. Statistics of Population Census of Jilin Province in 2000. Beijing: China Statistics Press. (in Chinese)

[9] Shao B (邵波), Chen X-P (陈兴鹏). 2005. AHP analysis on the integrated assessment for the eco-environment of Gansu Province. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 19(4): 29-32 (in Chinese)

[10] Song S-B (宋松柏), Cai H-J (蔡焕杰). 2005. A comprehensive quantitative assessment model for arid area's basin water-soil environment quality. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 16(2): 345-349 (in Chinese)

[11] Statistical Bureau of Jilin Province (吉林省统计局). Annual Statistic: 1988-2005. Beijing: China Statistics Press. (in Chinese)

[12] Water Conservancy Department of Jilin Province (吉林省水利厅). 1996. The Flood and Drought in Jilin Province. Changchun: Jilin Science and Technology Press. (in Chinese)

[13] Wang Y-P (王以彭), Li J-S (李结松), Liu L-Y (刘立元). 1999. The application of AHP in calculating the weight coefficient of assessment indices. *Journal of First Military Medical University* (第一军医大学学报), 19(4): 377-379 (in Chinese)

[14] Xiong Y (熊鹰), Wang K-L (王克林), Huang D-Y (黄道友). 2004. Eco-environment synthetic evaluation based on GIS technology in Hunan Province. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 18(5): 174-175 (in Chinese)

[15] Xu P-W (徐鹏炜), Zhao Duo (赵多). 2006. Ecological environmental quality assessment of Hangzhou urban area based on RS and GIS. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 17(6): 1034-1038 (in Chinese)

[16] Yang X-C (杨秀春), Zhu X-H (朱晓华). 2002. A study on model of the influence of disasters on eco-environmental quality—A case study of Jiangsu Province.

- Journal of Catastrophology* (灾害学), **17**(2): 7-10 (in Chinese)
- [17] Ye Y-P (叶亚平), Liu L-J (刘鲁君). 2000. A preliminary study on assessment indicator system of provincial eco-environmental quality in China. *Research of Environmental Science* (环境科学研究), **13**(3): 33-36 (in Chinese)
- [18] Yin H-W (尹海伟), Kong F-H (孔繁花), Li X-Z (李秀珍). 2005. GIS-based forest fire risk zone mapping in Daxing 'an Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**(5): 833-837 (in Chinese)
- [19] Yu L (于力), Liu H-Q (刘惠清), Zhang S-W (张树文), et al. 2006. Study on Functional Regionalization of the Eco-Environment in Jilin Province. Changchun: Jilin People's Press. (in Chinese)
- [20] Zhang B (张波). 1998. The synopsis of AHP basic idea. *Journal of Northwest University* (西北大学学报), **28**(2): 109-113 (in Chinese)
- [21] Zhang JQ. 2004. Risk assessment of drought disaster in the maize-growing region of Songliao Plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **102**(2): 133-153
- [22] Zhang J-Q (张继权), Norio O, Hirokazu T. 2005. Comprehensive risk management of natural disasters. *Cities and Disaster Reduction* (城市与减灾), (2): 2-5 (in Chinese)
- [23] Zhang JQ, Norio O, Hirokazu T, et al. 2004. Damage evaluation and regionalization of agro-meteorological disasters in the maize-growing region of Songliao Plain, China: Case study area of Lishu Area of Jilin Province. *Natural Hazards*, **31**(1): 209-232
- [24] Zhang J-Q (张继权), Wei M (魏民). 1994. The application of WCA in evaluation and regionalization of the production level for the maize-growing region. *Economic Geography* (经济地理), **14**(5): 19-21 (in Chinese)
- [25] Zhao H-C (赵焕臣), Xu S-B (许树柏). 1986. The Analytic Hierarchy Process: A Kind of Simple Decision. Beijing: Science Press: 3-20 (in Chinese)
- [26] Zuo W (左伟), Wang Q (王桥), Wang W-J (王文杰), et al. 2002. Study on regional ecological security assessment index and standard. *Geography and Realm Research* (地理学与国土研究), **18**(1): 67-71 (in Chinese)

作者简介 张继权,男,1965年生,教授,博士生导师。主要从事区域气象灾害与生态环境风险评价、预警与管理研究,发表论文60余篇。E-mail: zhangjq022@nenu.edu.cn

责任编辑 肖红
