

吉林省西部生态环境安全综合评价

王德辉^{1,2}, 周慧杰^{3*}, 王萌², 吴波⁴, 董福湘⁵ (1. 广州中海达卫星导航技术股份有限公司, 广东广州 511400; 2. 中国科学院广州地球化学研究所地球系统科学与可持续发展研究中心, 广东广州 510640; 3. 广西师范学院地理科学与规划学院, 广西南宁 530001; 4. 赣南师范学院, 江西赣州 341000; 5. 长春工程学院勘查与测绘学院, 吉林长春 130021)

摘要 基于压力-状态-响应(P-S-R)模型, 遴选16个评价指标构建吉林省西部生态环境安全评价体系。利用遥感及统计数据, 对吉林省西部地区进行基于空间的生态安全评价。结果表明, 吉林省西部各县级行政单元生态安全处于较安全、临界安全和较不安全3个等级, 生态安全指数最高的为前郭尔罗斯蒙古族自治县(0.76), 最低的为通榆县(0.37)。较安全等级区包括前郭尔罗斯、镇赉、洮南和乾安4个县(市), 生态环境相对较好, 人类活动对生态环境的干扰小, 但自然本底条件相对欠佳; 临界安全等级包括扶余、大安、宁江、洮北和长岭5个县(市、区), 生态环境一般, 自然本底条件较好, 但人类活动干扰大, 生态建设能力不足; 较不安全等级为通榆县, 地热指数高, 人类活动干扰小, 但自然本地条件差, 生态建设能力低, 生态环境较差。

关键词 生态环境; 评价指标体系; 安全评价; 吉林省西部

中图分类号 S181.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)11-238-03

DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2015.11.079

Comprehensive Evaluation on the Ecological Environment Security of West Jilin

WANG De-hui^{1,2}, ZHOU Hui-jie^{3*}, WANG Meng² et al (1. Hi-Target Surveying Instrument Co. Ltd., Guangzhou, Guangdong 511400; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou, Guangdong 510640; 3. School of Geography and Planning, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi 530001)

Abstract This study selects 16 evaluation indicators to set up an ecological environment security evaluation system based on the pressure-state-response (P-S-R) model to evaluate the spatial ecological security of West Jilin by using remote sensing data and statistical data. The result shows that the ecological security of western administrative units at the county level in Jilin is at the relatively secure, critical secure and relatively insecure levels. The highest ecological security index is Qian Gorlos Mongol Autonomous County's 0.76, and the lowest is Tongyu County's 0.37. The relatively secure level areas include Qian Gorlos Mongol Autonomous County, Zhenlai County, Taonan County and Qian'an County, of which the relatively good ecological environment is less impacted by human activities, but their natural conditions are not so good. The critical secure level areas include Fuyu County, Da'an County, Ningjiang County, Taobei County and Changling County, of which the ecological environment is not good impacted heavily by human activities with inadequate ecological construction capabilities, though the natural conditions are not bad. The relatively insecure level area is Tongyu County with poor ecological environment and local natural conditions and inadequate ecological construction capabilities, though the geothermal index is high with little human disturbance.

Key words Ecological environment; Evaluation index system; Security evaluation; West Jilin Province

生态安全是指一个区域的可持续发展不至因生存空间和生态环境遭受破坏而受到威胁的状态, 生态安全是区域经济社会可持续发展的基础。自1989年国际应用系统分析研究所提出生态安全概念之后, 区域生态安全迅速成为国内外学术界研究的热点。我国生态安全研究起步稍晚, 但一开始就紧扣区域可持续发展这个主题。由于生态脆弱区的可持续发展问题一直得到国家和学术界的重视, 生态脆弱区也就成为生态安全研究的重点区域, 目前已取得一定的成果^[1-3]。但是, 现阶段的区域生态安全研究在很大程度上未能体现区域的特殊性, 特别是典型生态脆弱区的生态安全评价没能很好地结合生态脆弱区的特点, 典型生态脆弱区生态安全评价方法有待进一步探讨。

吉林省西部自然资源丰富, 湿地、草场面积大、石油储量大, 是吉林省的重要农牧区及石油化工基地, 是全省草场资源最多、畜牧业生产最发达的区域。但该区又是吉林省生态环境最脆弱的区域, 也是全省生态环境重建与恢复的重点地

区。由于自然、经济、社会等多方面的原因, 生态环境问题日益严重, 特别是以“三化”(沙化、盐碱化和退化)为代表的生态环境恶化问题日益突出, 严重地影响了该区域的可持续发展。对于吉林省西部以及吉林省西部所在的东北平原的生态环境问题, 许多学者进行了研究^[4-8], 但在研究的系统性和对特征因子的把握方面还存在诸多不足。笔者在识别吉林省西部自然-经济-社会复合生态系统的自然本底特征和经济社会特征的基础上, 系统把握该区生态安全的影响因子及其之间的联系, 构建该区特色的生态安全评价指标体系, 对该区生态安全进行综合评价, 为该区合理开发利用资源、保护和建设生态环境提供科学依据。

1 研究区概况

吉林省西部位于松嫩平原的中部, 辽河平原的北端, 属于半干旱、亚湿润农牧交错地带, 是松辽平原农业区向西部草原牧区过渡地带。该区大部分属于温带半湿润气候, 西部小部分属于温带半干旱气候。热量资源较为丰富, 年降水量在370~407 mm, 年蒸发量1500~1900 mm, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的年活动积温总和为2900~3200 $^\circ\text{C}$, 湿润系数为0.15左右。全区以西北风和西南风为多, 一般冬春干燥季节风速最大, 平均为4.5 m/s。该区地带性土壤为黑栗钙土, 但盐碱化草甸土及风沙土分布广泛, 在植被类型上属于由草甸草原向真草原过渡的地带。吉林省西部曾经是水草丰富的大草原, 但由于

基金项目 国家自然科学基金项目(4136102); 吉林省环境保护科技项目(吉环科2010-26); 广州市及番禺区博士后基金项目(125124)。

作者简介 王德辉(1977-), 男, 吉林榆树人, 博士, 在站博士后, 从事环境与区域可持续发展研究。* 通讯作者, 副研究员, 博士, 从事资源环境与区域可持续发展研究。

收稿日期 2015-03-13

人口剧增和对自然资源的过量开发,人类活动对生态环境的干扰强度日益增大,土地沙漠化、盐碱化和草场退化面积逐年增加,植被覆盖面积锐减。

吉林省西部行政上包括白城市洮北、大安、洮南、镇赉、通榆、松原市宁江、扶余、前郭尔罗斯、乾安、长岭 10 个县(市、区),土地总面积为 4 689 752 hm^2 ,占吉林省总幅员面积的 24.54%。2011 年吉林省西部总人口 494.68 万人,地区生产总值达 1 915.54 亿元,人均生产总值为 8 875 元,人均粮食 2 080 kg。

2 吉林省西部生态环境安全综合评价方法

2.1 评价指标体系构建 该研究以县级行政单位为评价单元,按照科学性、代表性、综合性、简明性、可操作性等原则构建指标体系。以“压力(Pressure) - 状态(State) - 响应(Response)”模型框架(PSR)^[9]为基础,根据社会 - 经济 - 自然复合生态系统原理^[10],在全面考虑生态安全影响因素基础上,注意各评价因子间的相互关联性和一些指标量化难度大的实际困难,从压力、状态、响应 3 个方面构建多层次评价指标体系(表 1),使得评价指标体系能从相应的层级和尺度上反映吉林省西部生态安全的基本状况。该指标体系包含 3 个准则层、16 个要素指标,其中状态指标主要用来反映当前流域生态系统在自然或人类活动的干扰下所表现出来的状况;压力指标用来反映流域承载的压力和产生各种生态问题的潜在原因;响应指标则用来反映人类克服目前生态安全问题的能力以及根据自身能力对各种生态安全问题所做出的积极反应。

表 1 吉林省生态安全评价指标体系

目标层 (A)	准则层 (B)	指标层 (C)	总权重
吉林省生态安全评价 状况(A)	状态(B1)	0.488 5 地形起伏度(C1)	0.006 2 0.003 0
		NDVI(C2)	0.057 7 0.028 2
		年降水量(C3)	0.026 4 0.012 9
		地热指数(C4)	0.012 4 0.006 1
		河流密度(C5)	0.125 5 0.061 3
		盐碱地面积比(C6)	0.385 8 0.188 5
		沙漠化面积比(C7)	0.385 8 0.188 5
	压力(B2)	0.312 1 人口密度(C8)	0.072 0 0.022 5
		城市化率(C9)	0.036 1 0.011 3
		单位面积化肥负荷(C10)	0.134 9 0.042 1
		路网密度(C11)	0.504 1 0.157 3
		土地垦殖指数(C12)	0.252 9 0.078 9
	响应(B3)	0.199 4 人均粮食产量(C13)	0.277 6 0.055 4
		人均 GDP(C14)	0.466 8 0.093 1
		机耕面积比(C15)	0.095 3 0.019 0
		有效耕地灌溉面积比(C16)	0.160 3 0.032 0

2.2 指标权重确定 假设指标体系共有 L 层,如果下一层对于上一层目标的重要程度不同,则一般可采用层次分析法(AHP)和专家经验估算法相结合的方法来确定 l 层指标对 $l-1$ 层相应指标的权重值 $W(l)$ 。该研究中采用改进了的三标度层次分析法(IAHP)和专家经验估算法相结合的方法^[11],计算结果见表 1。

法^[11],计算结果见表 1。

2.3 综合评价模型 采用综合评价法对吉林省西部的生态安全状况进行评分,计算公式为:

$$E_p = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i$$

式中 E_p 为第 p 个评价单元的生态安全综合评价指数; W_i 为该评价单元第 i 个评价指标标准化处理后的定量值; X_i 为生态安全评价指标 i 的权重,采用 AHP 确定指标权重^[9](表 1); n 为评价指标个数。

对各评价指标进行标准化处理,评价指标划分为逆向指标和正向指标,其规范化处理可用极差标准化方法进行计算。对于正相关指标,其标准化公式为:

$$Q_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

对于负相关指标,其标准化公式为:

$$Q_i = 1 - \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

式中 Q_i 为指标 i 的标准化值; X_i 为指标 i 的原始值; X_{\max} 、 X_{\min} 为评价区内指标 i 的最大值、最小值。

2.4 生态安全状态分级 根据研究区生态环境安全状况的特点,在参考其他科学研究成果^[12]的基础上,将研究区生态安全状态分为 5 个等级(表 2)。

表 2 研究区生态安全状态等级划分

等级	特征	生态安全指数
安全	自然资源条件优越,生态环境基本未受干扰破坏,生态系统结构完整,功能完善,系统恢复再生能力强,极少出现生态问题与生态灾害	0.8~1.0
较安全	生态环境较少受到破坏,生态系统结构比较完整,功能比较完善,一般干扰下可恢复,生态问题不显著,生态灾害较少	0.6~0.8
临界安全	生态环境受到一定破坏,系统结构发生恶化,但尚能维持基本功能,受干扰后易恶化,生态问题显现,生态灾害时有发生	0.4~0.6
较不安全	生态环境受到较大破坏,生态系统结构恶化较大,服务功能退化,受外界干扰后恢复困难,生态问题经常出现,生态灾害较多	0.2~0.4
不安全	生态环境受到严重破坏,生态系统结构残缺不全,生态系统服务功能严重退化,生态恢复与重建很困难,生态问题经常发生并极易演变成生态灾害	0~0.2

2.5 指标数据来源 该研究图形数据资料来源于研究区的基础底图、各县(市、区)土地利用图、流域行政区图、遥感 ETM 影像。属性数据主要来源于《2012 吉林统计年鉴》,从中获得有关吉林省生态安全评价各统计指标值。同时,各县市获取的相关统计数据和地方志等作为重要的补充数据源。

3 生态安全综合评价

吉林省西部生态环境安全评价结果见表 3。根据评价结果,编制吉林省西部安全指数分布图(图 1)。

表 3 2011 年吉林省西部生态环境安全评价结果

指标名称	指标评分值									
	洮北	洮南	大安	镇赉	通榆	宁江	长岭	乾安	前郭	扶余
地形起伏度	0.001 6	0.000 0	0.003 0	0.002 8	0.002 0	0.002 9	0.001 3	0.002 8	0.001 7	0.001 6
NDVI	0.025 5	0.011 9	0.000 0	0.008 9	0.000 0	0.023 5	0.015 6	0.008 3	0.017 0	0.028 2
年降水量	0.002 9	0.000 1	0.002 7	0.000 0	0.002 4	0.012 9	0.008 0	0.003 4	0.006 3	0.003 9
地热指数	0.005 8	0.006 1	0.000 0	0.003 6	0.005 2	0.002 1	0.002 6	0.001 3	0.000 7	0.000 9
河流密度	0.000 0	0.016 3	0.061 3	0.038 6	0.016 8	0.030 1	0.006 4	0.033 5	0.048 9	0.027 8
盐碱地面积比	0.187 1	0.134 8	0.000 0	0.091 7	0.036 6	0.188 5	0.104 6	0.089 3	0.145 2	0.167 2
沙漠化面积比	0.188 5	0.186 1	0.188 1	0.188 5	0.000 0	0.178 5	0.094 6	0.188 5	0.179 7	0.113 4
人口密度	0.010 9	0.020 3	0.020 3	0.021 8	0.022 5	0.000 0	0.018 9	0.020 2	0.019 4	0.016 1
城市化率	0.001 0	0.006 1	0.006 1	0.006 0	0.006 9	0.000 0	0.010 5	0.007 7	0.008 4	0.011 3
单位面积化肥负荷	0.000 0	0.027 4	0.037 1	0.039 0	0.042 1	0.013 7	0.004 5	0.021 5	0.023 0	0.008 4
路网密度	0.000 0	0.157 3	0.124 7	0.113 3	0.152 2	0.005 3	0.107 8	0.114 0	0.094 7	0.083 7
土地垦殖指数	0.000 0	0.066 1	0.078 9	0.064 4	0.061 9	0.001 9	0.022 7	0.036 7	0.034 8	0.005 1
人均粮食产量	0.012 7	0.017 5	0.018 0	0.040 6	0.005 9	0.000 0	0.040 9	0.026 6	0.055 4	0.039 2
人均 GDP	0.019 6	0.000 0	0.008 2	0.022 4	0.004 8	0.054 4	0.017 9	0.052 5	0.093 1	0.027 6
机耕面积比	0.019 0	0.013 4	0.007 1	0.008 7	0.000 0	0.012 5	0.002 1	0.011 2	0.013 0	0.003 3
有效耕地灌溉面积比	0.032 0	0.000 0	0.002 4	0.021 4	0.011 5	0.015 9	0.012 5	0.028 9	0.020 9	0.029 0
生态安全指数	0.51	0.66	0.56	0.67	0.37	0.54	0.47	0.65	0.76	0.57

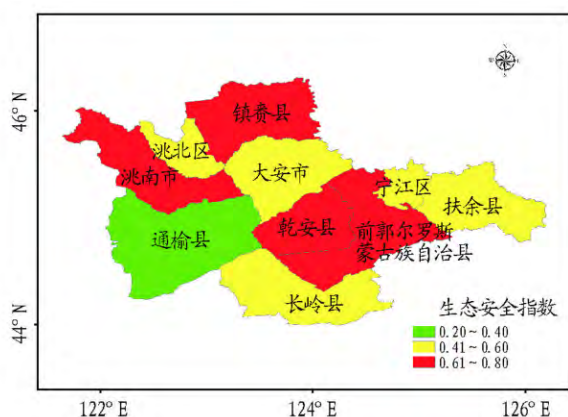


图 1 吉林省西部生态环境安全指数分布

3.1 总体特征分析 吉林省西部各县级行政单元生态安全指数介于 0.2~0.8 之间,分别对应于较安全、临界安全和较不安全 3 个等级。其中,处于较安全等级县级行政单元 4 个,处于临界安全等级 5 个,处于较不安全等级 1 个;生态安全指数最高的为前郭尔罗斯蒙古族自治县(0.76),最低的为通榆县(0.37)。

3.2 区域特征分析

3.2.1 较安全等级区。该等级区域的县级行政单元包括前郭尔罗斯、镇赉、洮南和乾安 4 个县(市),生态安全指数分别为 0.76、0.68、0.66、0.65。与研究区整体水平相比,该等级区生态环境条件相对较好,河流密度较大、沙漠化面积小;人口密度、路网密度、土地垦殖指数、单位面积化肥负荷相对较低,人类活动对生态环境的干扰小;人均 GDP、人均粮食产量、机耕面积比明显高于研究区平均水平,生态建设能力较强,但该区地形起伏度相对较大,植被覆盖率较低,年降水量较少,自然本底条件相对不佳。

3.2.2 临界安全等级区。该等级区域的县级行政单元包括扶余、大安、宁江、洮北和长岭 5 个县(市、区),生态安全指数

分别为 0.57、0.56、0.54、0.51、0.47。与研究区整体水平相比,该等级区植被覆盖率高、盐碱地面积小、年降水量较大,自然本底条件较好,但人口密度、单位面积化肥负荷、路网密度较大,土地垦殖指数高,人类活动干扰大;人均粮食产量、人均 GDP 较低,机耕面积比较小,生态建设能力不足。

3.2.3 较不安全等级区。该等级区域的县级行政单元为通榆县,位于研究区西部,生态安全指数为 0.37。与研究区整体水平相比,该等级区生态环境优势在于地热指数高,人口密度、路网密度、单位面积化肥负荷小,土地垦殖指数较低,人类活动干扰小,但植被覆盖率低,年降水量、河流密度小,盐碱地、沙漠化严重,自然本地条件差;人均粮食产量、人均 GDP 较低,机耕和有效耕地灌溉面积小,生态建设能力低。

4 结论

(1) 生态安全是区域经济社会可持续发展的基础,吉林省西部自然资源丰富,但生态环境较为脆弱。笔者在识别吉林省西部自然-经济-社会复合系统的自然本底特征和经济社会特征的基础上,系统把握该区生态安全的影响因子及其之间的联系,构建该区特色的生态安全评价指标体系,对该区生态安全进行综合评价。研究结果为该区合理开发利用资源、保护和建设生态环境提供科学依据。

(2) 该研究以县级行政单位为评价单元,以“压力-状态-响应”模型框架(PSR)为基础,根据自然-社会-经济复合生态系统原理,在全面考虑生态安全影响因素基础上,注意各评价因子间的相互关联性和一些指标量化难度大的实际困难,构建以压力、状态、响应为准则层的吉林省西部生态安全评价指标体系。指标权重确定采用改进了的 IAHF 和专家经验估算法相结合的方法。

(3) 评价结果表明,吉林省西部各县级行政单元生态安全指数介于 0.2~0.8 之间,分别对应于较安全、临界安全和较不安全 3 个等级。其中,处于较安全等级县级行政单元 4 个

(下转第 284 页)

“医食同源 药食同根”从现代营养学分析 药食同源植物兼具了丰富的营养价值和药用价值。合理平衡的运用药食同源植物,不仅可以改善体质 增强免疫力,还可以治愈疾病。

4 药食同源植物的展望

随着环境污染的日益严重,工作压力的不断增加,人们的身体健康和营养状况不容乐观,处于亚健康状态的人日益增多。目前,国内外越来越推崇绿色养生,而药食同源食品不仅在我国有很大需求,在国际上也越来越受到重视。

随着人们保健意识的增强,药食同源食品在国内外得到了迅速发展。风靡全球的欧美“健康食品”(healthy food),还有挤入我国保健品行业的日本“功能食品”(functional food),还有正在兴起的我国“药食同源食品”,其理论基础都是“药食同源”^[21-22]。据统计,2004年全球药食同源食品476亿美元,其中美国是全球药食同源产品产量最大的国家,其次是欧洲和日本。美国、欧洲、日本的药食同源产品产量占全球的90%以上^[23]。

然而,笔者认为药食同源植物的发展仍然需要注意以下一些问题:中医典籍中有大量简便、有效的药膳方剂,需要人们进行切实有效的临床和试验研究来加以挖掘和利用;我国的药食两用饮料植物资源非常丰富,但是人们对于药食同源植物的研究概念认识不清,研究的目标不明确、重点不突出,试验分析系统不同,指标不统一、标准不一致,使不同的试验结果无法相互比较;中药煎煮方法复杂麻烦,没有相应的规范化的质量控制,难以获得现代人尤其是年轻人的认可,而他们正是现在和将来要服务的主体;食品安全问题研究欠缺;企业缺乏品牌意识,在目前的市场发展过程中,品牌是企业的核心和生命力,而这一点我国的企业还有欠缺。

据不完全统计,美国2009年药食同源食品销售额达到250亿美元。如何合理利用和发挥药食同源植物的长处使之更多的人群服务是目前人们面临的机遇和挑战,选择药食同源的中药作为研究的对象,保证其安全并确保其具有一定的治疗效果,借鉴食品业的发展成果,结合中医药的成本和技术优势,尤其是中药提取物的应用,将会有非常好的社会

和经济效益。

参考文献

- [1] 金生源. 对祖国医学“药食同源”的现代理解与展望[J]. 浙江中医药大学学报, 2011, 35(1): 11-12.
- [2] 俞雪如. 中医学食养、食治、药膳的起源与发展史[J]. 中药材, 2002, 25(5): 359-361.
- [3] 翁维新. 中医饮食营养学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1991: 17.
- [4] 刘晓航. 中医药膳与康复医学[J]. 现代康复, 2001, 5(11): 20-21.
- [5] 路新国. 论中国传统营养学——兼与西方近代营养学比较[J]. 扬州大学烹饪学报, 2001(4): 1-5.
- [6] 陈巧, 周晓燕. 中医饮食保健学与西方近代营养学比较研究[J]. 四川烹饪高等专科学校学报, 2012(2): 27-29.
- [7] 李泽锋. 枸杞营养成分及综合利用[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2010, 12(3): 1.
- [8] 王燕, 汪以真. 枸杞多糖的生物学功能研究进展[J]. 饲料工业, 2005(24): 4-6.
- [9] 郑国琦, 胡正海. 宁夏枸杞的生物学和化学成分的研究进展[J]. 中草药, 2008(3): 496-499.
- [10] 李臻, 赖富饶, 吴晖. 葛根的营养成分分析[J]. 现代食品科技, 2011, 27(8): 1010-1019.
- [11] 吕丽华, 荣晓慧. 葛根活性成分的药理作用及其现代临床应用[J]. 社区医学杂志, 2014, 12(19): 35.
- [12] MANN J J, CURRIER D, STANLEY B, et al. Can biological tests assist prediction of suicide in mood disorders? [J]. Int Neuropsychopharmacol, 2006, 21(1): 1-10.
- [13] 李万秀. 野菊花活性成分及应用的研究进展[J]. 饲料与畜牧, 2014(8): 42-46.
- [14] 吴红钉, 杨立伟, 苏薇薇. 野菊花化学成分及药理研究进展[J]. 中药材, 2004, 27(2): 142-144.
- [15] 陈雯, 黄世敬. 酸枣仁化学成分及药理作用研究进展[J]. 时珍国医国药, 2011, 22(7): 1726-1728.
- [16] 钟名诚, 肖聪. 龙眼肉的研究现状[J]. 中国药业, 2008, 17(16): 79.
- [17] OKUYAMA E, EBIHARA H, TAKEUCHI H, et al. Adenosine the anxiolytic-like principle of the Arillus of Euphorialongana [J]. Planta Medica, 1999, 65(2): 115.
- [18] 黄建蓉, 李琳, 李冰. 龙眼肉生理功效和活性成分的研究进展[J]. 食品工业科技, 2007, 28(3): 221.
- [19] NAOKI Y, KENGO M, MASAKI K, et al. The inhibitory effects of mangiferin, a naturally occurring glucosylxanthone, in bowel carcinogenesis of male F344 rats [J]. Cancer Lett, 2001, 163: 163-170.
- [20] 李淑芳, 陈晓明, 郭意如. 杏仁的营养成分与功能因子[J]. 营养保健, 2004(11): 23-24.
- [21] 周俭. 中国传统营养学的起源和发展[J]. 营养学报, 2008, 30(4): 341-344.
- [22] PETER J J, STEPHANIE J. Functional food development: concept to reality [J]. Trends in Food Science and Technology, 2007, 18(5): 387-390.
- [23] BENKOUIDER C. Functional foods: A global overview [J]. International Food Ingredients, 2004, 5: 66-68.
- [3] 陈浩, 周金星, 陆中臣, 等. 荒漠化地区生态安全评价[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 58-62.
- [4] 东北师范大学地理系自然资源研究室. 吉林省中西部沙化土地景观生态建设[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 1990.
- [6] 汤洁, 林年丰, 卞建民. 农业生态地质环境质量综合评价——以吉林省乾安县为例[J]. 世界地质, 1999, 18(2): 89-94.
- [7] 卞建民, 林年丰, 汤洁. 吉林西部乾安县土地荒漠化研究团[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(2): 177-179.
- [8] 黄锡畴, 孟宪奎. 东北地区西部生态环境脆弱带评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [9] 左伟, 周慧珍, 王桥. 区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究[J]. 土壤, 2003(1): 2-7.
- [10] 马世俊, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. 生态学报, 1981, 4(1): 1-9.
- [11] 周慧杰, 周兴, 吴良林, 等. 区域生态经济建设指标体系设计与实证[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(26): 8386-8389.
- [12] 陈务开, 黄万常, 周兴. 广西红水河流域生态安全综合评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(34): 21191-21194, 21220.

(上接第240页)

个处于临界安全等级5个,处于较不安全等级1个;生态安全指数最高的为前郭尔罗斯蒙古族自治县(0.76),最低的为通榆县(0.37)。

(4) 较安全等级区生态环境相对较好,人类活动对生态环境的干扰小,自然本底条件相对欠佳;临界安全等级区生态环境一般,自然本底条件较好,但人类活动干扰大,生态建设能力不足;较不安全等级区地热指数高,人类活动干扰小,但自然本地条件差,生态建设能力低,生态环境较差。

参考文献

- [1] 吴良林, 周慧杰, 李漫. 区域资源环境安全综合评价方法与实证——以桂西北喀斯特山区为例[J]. 国土与自然资源研究, 2012(5): 52-54.
- [2] 南颖, 吉喆, 冯恒栋, 等. 基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4790-4798.