

松嫩高平原黑土区典型地域耕地生态 安全评价及驱动力分析 ——以黑龙江省绥化市为例

张冰洁, 宋 戈

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘 要:对一定区域的耕地生态安全进行评价,分析影响耕地生态安全的因素,有利于指导区域耕地合理、可持续利用。以我国重要的商品粮生产基地松嫩高平原黑土区典型地域——黑龙江省绥化市为研究区,基于“P—S—R”模型建立耕地生态安全评价指标体系,运用多因素综合评价法,评价 2001—2009 年绥化市耕地生态安全状况,并借助 SPSS 软件提取影响研究区耕地生态安全的敏感因素。结果表明:2001 年绥化市耕地生态安全处于恶劣等级;2002—2004 年绥化市生态安全等级为风险级;2005—2009 年生态安全处于敏感等级,生态环境虽然受到一定破坏,但可以维持基本功能。自然灾害频发,水土流失严重以及人地矛盾的日益突出,是导致绥化市生态安全问题突出的主要原因。社会经济压力、农业科技进步和生态环境是影响耕地生态安全的三类因素。

关键词:松嫩高平原;耕地;生态安全评价;绥化市

中图分类号:F301

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0215-06

Evaluation on Cultivated Land Ecological Security and Analysis on the Driving Forces of the Typical Mollisols Area in Songnen High Plain ——A Case Study of Suihua City in Heilongjiang Province

ZHANG Bing-jie, SONG Ge

(College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Evaluation on cultivated land ecological security of a certain area and identifying factors that affecting the cultivated land ecological security can be helpful to guide the rational and sustainable use of land resources. This paper takes the typical mollisols region that is an important commodity grain production base in China—Suihua City on Songnen High Plain in Heilongjiang Province as the study region, evaluation index system of cultivated land ecological security based on ‘P—S—R’ model was established, evaluation on cultivated land ecological security from 2001 to 2009 was performed by using the multiple factors analysis method, and the principal component analysis method was carried to find out the driving forces on cultivated land ecological security by using SPSS software. The results showed that the grade of security cultivated land ecological security was at the poor ecological level in 2001; the grade of cultivated land ecological security had risen to risk level from 2002 to 2004; from 2005 to 2009, the grade of cultivated land ecological security was at a sensitive stage. Natural disasters, serious soil erosion and the contradiction between people and land resources resulted in the ecological security problems in Suihua City. The paper showed that the socio-economic pressures, agricultural science and technology and environmental were the three factors affecting the cultivated land ecological security.

Key words: Songnen high plain; cultivated land; ecological security evaluation; Suihua City

收稿日期:2011-11-10

修回日期:2011-12-11

资助项目:国家自然科学基金(41071346);黑龙江省青年学术骨干项目(1154G45)

作者简介:张冰洁(1986—),女,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,研究方向为土地利用。E-mail:bing1108@126.com

通信作者:宋戈(1969—),女,黑龙江省庆安人,博士/博士后,教授/博导,研究方向为土地利用。E-mail:songgelaoshi@163.com

耕地生态安全是耕地保护的基本内容,是耕地生产力的基础,对其进行评价,有利于协调人地关系,保障粮食安全,对实现土地资源乃至整个区域社会经济持续健康发展,构建和谐社会的具有重要的意义^[1]。目前,对于耕地生态安全方面的研究还是一个新的领域,相关研究主要集中于土地生态安全方面。土地生态安全来源于近年来兴起的“生态安全”研究^[2],概念虽不统一但内涵基本一致:一是土地生态系统自身是否安全,即其自身结构是否受到破坏,其生态功能是否受到损害;二是土地生态系统对人类的生产和生活是否安全,以及土地生态系统所提供的服务是否满足人类的生存需要^[3]。本文基于土地生态安全的内涵,将耕地生态安全界定为:耕地生态环境处于一种不受威胁或少受威胁的状态,耕地生态系统稳定,可供利用的自然资源充足,生态环境无污染。

国外学者对耕地生态安全的研究主要是将耕地生态安全与可持续利用相结合进行系统研究^[4-5],国内学者对于土地生态安全的研究比较多见,研究对象大多集中于某一区域或不同功能的土地类型,如城市、草原、流域等^[1,6-9],以耕地为对象的生态安全研究相对较少,主要集中在耕地生态安全的概念及内涵分析^[10-11],评价指标选取以及指标体系构建^[12-13],区域生态安全现状评价与格局研究^[14]等方面。松嫩高平原黑土区位于中国的大平原之一松嫩平原东部,土壤肥沃,有机质含量高,腐殖质深厚,是我国重要的商品粮基地。本文选取松嫩高平原典型的黑土区绥化市为研究区,从宏观和中观层面出发,根据“压力—状态—响应”(P—S—R)三方面选取 20 个具有代表性的指标构建耕地利用生态安全评价指标体系,运用多因素综合评价法对绥化市耕地利用生态安全进行评价,并采用主成分分析法对耕地生态安全驱动力进行分析,探寻影响耕地生态安全的敏感因子,以期从根本上测度和诊断影响耕地生态环境变化的真正原因,为提高区域生态环境水平以及实现其耕地可持续利用提供重要参考。

1 研究区概况

绥化市位于松嫩高平原中部,东经 124°13′—128°30′,北纬 45°03′—48°02′,地势东北高、西南低,是松嫩高平原黑土区内具有很强代表性的区域,也是黑龙江省 13 个地级市(区)之一,下辖 1 个区、3 个县级市和 6 个县。2009 年末,绥化市土地总面积 34 854 km²,其中耕地面积 165.74 万 hm²,占土地总面积的 47.55%,年末总人口 580.2 万人,其中农业

人口比重达到 73.2%;地区生产总值由 2001 年的 339.6 亿元增加到 2009 年的 605.9 亿元,其中,第一产业总产值由 98.7 亿元增加到 208.7 亿元。绥化市地势平坦,土质优良肥力较高,日照时间长且雨量充沛,适于粮食作物和经济作物生长,是国家储备粮大区之一。2000 年,国家环境保护总局正式批准绥化市为全国生态示范区建设试点,其绿色产业的发展进入了正规化,2001—2009 年,粮食商品率由 60% 提高到 80% 以上,粮食总产量由 467.1 万 t 增加到 1 119.43 万 t,占黑龙江省粮食总产量的 1/4。

2 耕地生态安全评价指标体系的构建

目前,国内外关于构建耕地生态安全评价指标体系还没有共识。本文在选取评价指标时,从研究区人与环境系统的相互作用与影响出发,考虑了耕地资源承受的压力及其对耕地质量的影响,以及社会对这些变化的影响,在综合国内外相关的研究成果基础上^[15-17],结合研究区实际情况,从压力、状态、响应三个准则层选取了 20 个评价指标构建研究区生态安全评价指标体系,详见表 1。

3 研究区耕地生态安全评价

3.1 数据来源

本文基础数据来源于 2001—2009 年绥化市国民经济和社会发展统计公报、《黑龙江统计年鉴》(2002—2010),部分指标数据由原始数据整理计算得到,限于篇幅原因不一列出。

3.2 数据的标准化处理

生态安全评价是多指标综合评价,指标间缺乏统一的度量标准^[18]。为了消除不同量纲对评价结果的影响,本文采用极差变换法对所选指标原始数据进行标准化处理,便于进行指标值对比和综合测评分析。

对于正指标,即指标值要求“越大越好”的指标,采用上限效果测度,其计算方法为:

$$b_{ij} = \frac{[X_{ij} - \min(X_{ij})]}{[\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})]} \quad (1)$$

$$i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$$

对于负指标,即指标值要求“越小越好”的指标,采用下限效果测度,其计算方法为:

$$b_{ij} = \frac{[\max(X_{ij}) - X_{ij}]}{[\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})]} \quad (2)$$

$$i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$$

式中: X_{ij} ——第 i 个评价单元在第 j 个指标上的实际数据; $\max(X_{ij})$ ——第 j 个指标的最大值; $\min(X_{ij})$ ——第 j 个指标的最小值, $j=1,2,\dots,n$ 。

表 1 绥化市耕地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	指标层及单位	指标说明
耕地生态安全综合评价	压力	人口密度(C_1)/(人·km ⁻²)	每 1 km ² 人口数
		人口自然增长率(C_2)/‰	人口自然增加数与平均人口数比
		单位耕地用电量(C_3)/(kW·h·hm ⁻²)	每 1 hm ² 耕地用电量
		单位耕地化肥施用量(C_4)/(t·hm ⁻²)	每 1 hm ² 耕地施用化肥量
		人均耕地面积(C_5)(hm ² /人)	人均所占耕地面积
		农业人口比重(C_6)/%	农业人口占总人口比
		耕地受灾面积(C_7)/万 hm ²	受灾耕地面积
	状态	年降水量(C_8)/mm	每年降水总量
		水资源总量(C_9)/亿 m ³	区域内地表水与地下水总量
		废水排放达标率(C_{10})/%	废水排放达标量占废水排放量比
		单位耕地面积建设机械动力(C_{11})/(kW·hm ⁻²)	每公顷耕地建设机械动力
		耕地垦殖率(C_{12})/%	耕地面积与土地总面积比
	响应	人均 GDP(C_{13})(元/人)	人均地区生产总值
		第一产业比重(C_{14})/%	第一产业占 GDP 比值
		人均粮食产量(C_{15})(t/人)	人均粮食生产重量
		固体废物综合利用量(C_{16})/万 t	固体废物综合利用量
		除涝面积占易涝面积比(C_{17})/%	除涝面积占易涝耕地面积比
		农作物播种面积(C_{18})/万 hm ²	实际播种或移植有农作物的面积
		农村人均纯收入(C_{19})/元	农村住户人口平均的纯收入水平
		粮食单产(C_{20})/(t·hm ⁻²)	平均每 1 hm ² 耕地全年所生产的粮食数量

3.3 权重的确定

本文采用主客观综合赋权法确定指标权重,将层次分析法和熵值法相结合,综合考虑主观意向和客观数学理论,突破单一方法确定权重的局限,客观地反映各指标层对目标层的影响度(表 2)。

(1) 层次分析法确定的指标权重向量为 $W_1 = (W_1 W_2 \cdots W_{20})$;熵值法确定的指标权重向量值为 $W_2 = (W_{*1} W_{*2} \cdots W_{*20})^T$;

(2) 确定组合权重向量 $W_C = (W_{C1} W_{C2} \cdots W_{C20})^T$,令: $W_C = \theta_1 W_1 + \theta_2 W_2$,其中 θ_1, θ_2 为组合权重系数向量的线性表出系数, $\theta_1, \theta_2 \geq 0$,且满足单位化约束条件: $\theta_1^2 + \theta_2^2 = 1$ 。对原始数据作无量纲化处理以及对 θ_1, θ_2 进行归一化处理,按照上述确定组合权重方法计算得出生态安全评价指标的组合权重值。

3.4 综合评价值的确定

根据标准化后数据和指标层的权重,计算指标层中各因素的综合评价价值,通过指标层中各因素的评价价值和目标层的权重,计算得出 2001—2009 年绥化市耕地生态安全的最终评价价值。

$$D_i(\omega) = \sum_{j=1}^n X_{ij} \times W_j \quad i=1,2,\cdots,m; j=1,2,\cdots,n$$

式中: $D_i(\omega)$ ——综合评价价值; W_j ——第 j 个指标的权重; X_{ij} ——第 i 个指标的标准值; n ——指标个数。综合评价价值的大小反映了各年份耕地生态安全的高低程度。评价价值越大,安全性越高;评价价值越小,安全性越低(表 3)。

表 2 绥化市耕地生态安全评价指标权重

评价指标	层次分析法权重	熵值法权重	组合权重
C_1	0.0585	0.0472	0.0537
C_2	0.0502	0.0331	0.0426
C_3	0.0431	0.0685	0.0557
C_4	0.0565	0.0406	0.0495
C_5	0.0712	0.0447	0.0514
C_6	0.0782	0.0608	0.0659
C_7	0.0638	0.0587	0.063
C_8	0.0418	0.0585	0.0513
C_9	0.0415	0.0764	0.058
C_{10}	0.0533	0.0591	0.0435
C_{11}	0.0412	0.0415	0.0413
C_{12}	0.0585	0.0519	0.0625
C_{13}	0.0456	0.0767	0.0603
C_{14}	0.0636	0.0593	0.0616
C_{15}	0.0538	0.0475	0.0563
C_{16}	0.0437	0.0658	0.0599
C_{17}	0.0641	0.0109	0.0394
C_{18}	0.0395	0.0653	0.0517
C_{19}	0.0207	0.0212	0.0198
C_{20}	0.0112	0.0123	0.0126

3.5 评价标准的确定

目前,对于耕地生态安全还没有一个统一的评价标准,本文根据研究区耕地生态环境现状,参考有关文献^[19-23],将耕地生态安全评价价值划分为 5 个等级:恶劣级、风险级、敏感级、良好级和安全级(表 4)。

表 3 绥化市耕地生态安全评价结果

指标	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
$D_i(\omega)$	0.3859	0.4703	0.5035	0.5807	0.6274	0.6356	0.6227	0.6238	0.6640

表 4 绥化市耕地生态安全评价等级

安全评价区间	等级	安全程度	等级特征
$D_i(\omega) \geq 0.9$	I	安全级	耕地生态系统服务功能完善,生态环境基本未受到干扰破坏,功能性强,无农业污染,生态问题不显著,生态灾害少
$0.9 > D_i(\omega) \geq 0.8$	II	良好级	耕地生态系统服务功能较完善,生态环境受到较少干扰,功能尚好,污染程度低,生态问题不显著,生态灾害不大
$0.8 > D_i(\omega) \geq 0.6$	III	敏感级	耕地生态系统服务功能有所退化,生态环境受到一定破坏,但尚可维持基本功能,受到外界干扰易恶化,生态问题显著
$0.6 > D_i(\omega) \geq 0.4$	IV	风险级	耕地生态系统服务功能严重退化,生态环境受到较大破坏,功能退化不全,受到外界干扰后恢复困难,生态问题较大,生态灾害较多
$0.4 > D_i(\omega)$	V	恶劣级	耕地生态系统服务功能几近崩溃,生态环境受到很大破坏,生态系统结构残缺不全,功能低下,发生退化性变化,恢复与重建困难,生态灾害严重

3.6 评价结果分析

评价结果表明(表 3—4),2001 年绥化市耕地生态安全评价值为 0.385 9,生态安全等级为 V 级,安全程度处于恶劣级,生态环境受到很大破坏,生态功能低下,生态灾害严重;2002—2004 年生态安全评价价值由 0.470 3 增长到 0.580 7,生态安全等级为 IV 级,安全程度处于风险级,随着政府对环境治理力度的加强,生态环境有所改善,但是生态问题仍然突出,环境破坏较为严重,灾害较多;2005—2009 年生态安全评价价值均处于 0.6~0.8,生态安全等级有所提高,处于评价等级中 III 级,安全程度为敏感级,生态环境受到一定破坏,但可以维持基本功能。

由评价结果可以看出,虽然 2001—2009 年以来,绥化市耕地生态安全评价价值呈总体上升趋势,但绥化市耕地生态安全问题仍然突出,耕地生态系统服务功能有所退化,生态环境受到一定破坏,但尚可维持基本功能,容易受到外界干扰而恶化,产生以上问题的主要原因有:(1) 自然灾害严重,2001—2009 年间,绥化市耕地受灾面积累积达到 1 005 万 hm^2 ,洪涝灾害、龙卷风侵袭都给绥化市耕地生态安全带来很大威胁;(2) 工业废水过量排放,2003 年绥化市工业废水排放达标率为 71.24%,达 9 a 间最低点,工业废水的过量排放,使得绥化市本来就少的水资源受到严重污染,地表水质不断恶化,耕地生态环境恶化;(3) 2001—2009 年间,绥化市固体废物排放量增长 1.45 倍,空气质量恶化,但 2003 年后,由于洪涝灾害成灾率及其直接经济损失大幅度下降,生态环境质量又有所改善;(4) 人口不断增长和耕地面积不断减少,虽然绥化市的人口控制工作目前已取得了一定的成绩,但是人口增长的趋势仍未得到控制,绥化市现仍然是黑龙江省的人口大市,2001—2009 年间,绥化

市人口平均增长 7.11‰,人口对耕地的压力呈上升态势;(5) 农药化肥大量施用,根据统计资料可知,2001—2009 年绥化市的化肥、农药使用强度逐年都在增加,农业生产中滥施化肥和农药,在很大程度上对生态环境造成污染。

4 耕地生态安全驱动力分析

因耕地生态环境的变化情况主要取决于耕地利用的压力因素、状态因素和响应因素的综合变化情况,而各因素又最终受到指标层各因子的影响。要对耕地生态安全情况进行把握,对耕地生态安全影响因子(驱动力)的研究显得尤为重要。而影响耕地生态安全的因子错综复杂,相互之间耦合关联,给研究带来困难。因此,本文遵循科学性、系统性、区域性和可操作性原则,采用主成分分析法将若干个自变量压缩成几个独立成分,以此来减弱自变量之间的相互干扰,并以上文指标体系中 2001—2009 年各指标序列资料作为基础数据,利用 SPSS 17.0 统计软件对样本进行计算,分析对绥化市耕地生态安全产生影响的驱动力。

4.1 结果总体分析

通过对相关系数矩阵进行分析,发现耕地生态安全与农作物播种面积、耕地垦殖率、人均耕地面积、人口密度、农村人均纯收入、人均粮食产量、第一产业比重、耕地用电量以及废水排放达标率有较大的正相关,相关系数分别达到 0.926,0.920,0.920,0.871,0.813,0.800,0.748,0.754,0.708;耕地生态安全压力与人口密度、人均耕地面积和单位耕地用电量的相关性系数分别为 0.932,0.904,0.843;与耕地生态安全状态相关性较高的指标有废水排放达标率、单位耕地面积建设机械动力以及耕地垦殖率,相关性系数分

别为 0.800,0.720,0.644;另外,农作物播种面积、人均粮食产量、人均 GDP 以及固体废物综合利用量与耕地生态安全响应相关性较高,相关性系数分别为 0.954,0.919,0.846,0.794。

4.2 影响耕地生态安全因子的定量分析

由因子碎石图、特征值及主成分贡献率表(表 5)可知,第一、二、三、四主成分的累积贡献率已达到 89.965 8%(超过 85%),所得的主成分结果对大多数指标已经给出充分的概括,完全符合分析要求,而彼此之间又不相关,信息不重叠,可以进行结果分析,由此进一步得出主成分载荷矩阵表(表 6)。由因子载荷矩阵可知,第一主成分与人均粮食产量、农村人均纯收入、人口密度、农作物播种面积、耕地垦殖率、人均耕地面积、人均 GDP、农业人口比重、第一产业比重、人口自然增长率以及粮食单产有较大的相关性;第二主成分与单位耕地化肥施用量、单位耕地用电量、单位耕地面积建设机械动力和固体废物综合利用

量有较大的正相关;第三主成分与年降水量、水资源总量和废水排放达标率有较大的相关性;第四主成分与除涝面积占易涝面积比和耕地受灾面积有一定的相关性。经观察分析发现第四主成分中的因子具有和第三主成分中因子共同的解释作用,可将其划为同一类。因此对以上的强相关因子进行分析和整理,可将绥化市耕地生态安全的驱动力归纳为社会经济压力因素、农业科技进步因素和生态环境因素。

表 5 特征值及主成分贡献率

主成分	特征值	百分率%	累积/%
1	10.8912	54.4562	54.4562
2	3.2124	16.0622	70.5184
3	2.2383	11.1914	81.7098
4	1.6512	8.2560	89.9658
5	1.1577	5.7883	95.7540
6	0.5168	2.5840	98.3380
7	0.2285	1.1424	99.4804
8	0.1039	0.5196	100.0000

表 6 主成分载荷矩阵

变量	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
人均粮食产量	0.984	—	—	—
农村人均纯收入	0.981	—	—	—
人口密度	0.966	—	—	—
农作物播种面积	0.948	—	—	—
耕地垦殖率	0.918	—	—	—
人均 GDP	0.914	—	—	—
人均耕地面积	0.905	—	—	—
农业人口比重	0.665	—	—	—
第一产业比重	0.649	—	—	—
人口自然增长率	0.303	—	—	—
粮食单产	0.084	—	—	—
单位耕地化肥施用量	—	0.325	—	—
单位耕地用电量	—	0.231	—	—
单位耕地面积建设机械动力	—	0.213	—	—
固体废物综合利用量	—	0.172	—	—
年降水量	—	—	0.507	—
水资源总量	—	—	0.348	—
废水排放达标率	—	—	0.173	—
耕地受灾面积	—	—	—	0.803
除涝面积占易涝面积比	—	—	—	0.745

社会经济压力因素,耕地生态安全压力指标人口密度和人均耕地面积在 2001—2009 年间均有所增加,但涨幅不大;而人均粮食产量由 0.85 t/人增加到 1.93 t/人,增长 127.01%,农村人均纯收入由 1 956 元增加到 4 250 元,农作物播种面积也由 142.90 万 hm² 增加到 175.94 万 hm²,人均 GDP 由 2001 年的 6 242 元增加到 2009 年的 10 471 元,耕地垦殖率同期也表现出增长的态势,说明绥化市经济在此期间稳步

发展,所带来的社会经济压力变小,随着经济的发展耕地生态环境安全值逐渐增加。

农业科技进步因素,包括了单位耕地化肥施用量、单位耕地面积建设机械动力等因子,依靠科技进步,加大对农业的投入,改良耕地,提高粮食单产,间接体现了农业科技进步、农业生产率提高对耕地生态安全的影响。绥化市 2009 年单位耕地用电量达到 433.39(kW·h)/hm²,是 2001 年的 1.52 倍,单位耕

地面积建设机械动力也增加了 43.85%。

生态环境因素,主要包括自然因素和环境治理,绥化市近年来通过一系列措施对水土流失、废水废气排放的环境污染进行整治,2001—2009年间,绥化市废水排放达标率由 75.8%增加到 85.9%,耕地生态环境向良好态势发展。

5 结论

通过对 2001—2009 年绥化市耕地生态安全进行评价,分析得出影响耕地生态安全的三类因素——社会经济压力因素、农业科技进步因素和生态环境因素,其中人均粮食产量、农村人均纯收入、人口密度、农作物播种面积、人均 GDP、单位耕地面积建设机械动力、单位耕地化肥施用量、除涝面积占易涝面积比和废水排放达标率几个指标是影响耕地生态安全的主要因子。研究结果表明近年来绥化市耕地生态安全程度逐渐好转,但生态环境仍受到一定破坏,评价结果比较真实贴近实际情况,可为制定耕地保护政策、耕地可持续利用和人和地协调发展提供依据。

针对绥化市耕地生态安全现状,应加强耕地环境保护和生态建设,尽可能降低自然灾害给耕地带来的损失和影响;制定相关政策,限制工业企业废水废气排放量,降低对区域水资源和空气的污染;控制人口增长,提高人口素质,减轻耕地环境压力;引导农民采用先进合理的耕作方式,努力培肥地力,减少化肥农药施用量,控制耕地盐碱化,促进该地区经济可持续发展。

本文主要从宏观和中观层次对绥化市 2001—2009 年间耕地生态安全进行了评价,由于微观层次包括土地生物特征、土壤结构特征和土壤化学特征等方面的指标在这 9 a 间变化不大,所以本研究假定该类指标是定值,对结论影响不大。

参考文献:

- [1] 董飞,宋戈.城市区域土地生态安全评价:以哈尔滨市阿城区为例[J].国土资源情报,2010(4):41.
- [2] 曲格平.生态环境问题已成为国家安全的热门话题[J].环境保护,2002(5):3-5.
- [3] 曹新向,郭志永等.区域土地资源持续利用的生态安全研究[J].水土保持学报,2004,18(2):192-195.
- [4] Beesley K B, Ramsey D. Agricultural Land Presevation [J]. International Encyclopedia of Human Geography, 2009,25(6):65-69.
- [5] Rasul G, Thapa G. Sustainability Analysis of Ecological and Conventional Agricultural Systems in Bangladesh [J]. World Development,2003,31(6):1721-1741.
- [6] 李茜,任志远.区域土地生态环境安全评价[J].干旱区资源与环境,2007,21(5):75-79.
- [7] 李明月,赖笑娟.基于 BP 神经网络方法的的城市土地生态安全评价:以广州市为例[J].经济地理,2011,31(2):289-293.
- [8] 贾艳红,赵军,南忠仁,等.基于熵权法的草原生态安全评价:以甘肃牧区为例[J].生态学杂志,2006,25(8):1003-1008.
- [9] 陈东景,徐中民.西北内陆河流域生态安全评价研究:以黑河流域中游张掖地区为例[J].干旱区地理,2002,25(3):219-224.
- [10] 刘彦随,杨子生.我国土地资源学研究新进展及其展望[J].自然资源学报,2008,23(2):354-360.
- [11] 钟祥浩,刘淑珍,王小丹,等.青藏高原生态安全研究[J].山地学报,2010,28(1):1-10.
- [12] 龚建周,夏北成,刘彦随.基于空间统计学方法的广州市生态安全空间异质性研究[J].生态学报,2010,30(20):5626-5634.
- [13] 朱红波,张安录.我国耕地资源生态安全的时空差异分析[J].长江流域资源与环境,2007,16(6):755-758.
- [14] 谷树忠,姚予龙,沈镭,等.资源安全及其基本属性与研究框架[J].自然资源学报,2002,17(4):281-285.
- [15] 李玉平,蔡运龙.河北省土地生态安全评价[J].北京大学学报:自然科学版,2007,43(6):784-789.
- [16] 高楠,宋戈.黑龙江省耕地资源安全综合评价研究[J].水土保持研究,2009,16(4):251-254.
- [17] 余鸿,雷国平.大庆市土地生态安全评价与对策[J].中州大学学报,2010,27(1):5-8.
- [18] 张卫华,赵铭军.指标无量纲化方法对综合评价结果可靠性的影响及其实证分析[J].统计与信息论坛,2005,20(3):34-35.
- [19] Bertollo P. Assessing landscape health: A case study from northeastern Italy[J]. Environ. Manage., 2001, 27(3):349-365.
- [20] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment & Urbanization,1992(4):121-130.
- [21] 王军.石家庄市耕地动态变化与生态安全评价研究[D].石家庄:河北师范大学,2009.
- [22] 周利军,张淑花.基于熵权法的农业可持续发展评价:以绥化市为例[J].资源开发与市场,2008,24(11):982-984.
- [23] 曹新向.旅游地生态安全评价模型及实证研究[J].经济地理,2006,26(6):1062-1066.