

利用遥感和GIS进行四川省生态安全评价研究

杨存建^{1,2}, 陈静安³, 白忠¹, 程熙¹

(1. 四川师范大学西南土地资源评价与监测教育部重点实验室 成都 610068;

2. 电子科技大学地表空间信息技术研究所 成都 610068; 3. 云南师范大学数学学院 昆明 650092)

【摘要】四川省生态安全评价对其生态安全建设具有极其重要的意义。为此,该文利用地理信息技术、遥感技术和层次分析技术对四川省的生态安全评价进行了研究。建立了适用于四川省的生态安全评价指标体系,该指标体系由目标、准则和指标三个层次构成。在指标层中包含了反映自然、人文和污染等方面的14个指标,用遥感和GIS获取处理相关指标。利用层次分析法确定各指标的权重,使用GIS建立生态安全评价的相关模型。最后,以市州为单元,利用相关评价模型对自然生态环境状态、人文社会压力安全、环境污染压力安全和区域生态安全等指数进行评价和定级。该研究表明,利用遥感、GIS和AHP能有效地实现区域生态安全评价,且结果可示以图表。

关键词 层次分析; 评价指标体系; 生态安全; 地理信息系统

中图分类号 P627; TP79

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.05.031

Evaluation of Sichuan Ecological Security Based on Remote Sensing and GIS

YANG Cun-jian^{1,2}, CHEN Jing-an³, BAI Zhong^{1,2}, and CHENG Xi¹

(1. Research Center of Remote Sensing and GIS Applications, Key Lab of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest,

Ministry of Education, Sichuan Normal University Chengdu 610068;

2. Institute of Geo-surface information technology, University of Electronic and Technology of China Chengdu 610068;

3. School of Mathematics, Yunnan Normal University Kunming 650092)

Abstract Evaluating ecological security is very important to the construction of the ecological security. The technologies of remote sensing (RS), geographical information system (GIS), and analytical hierarchy process (AHP) are used to evaluate Sichuan ecological security. The appraisal index system suitable for Sichuan is created at first, which is composed of three layers such as object, rule, and index. The 14 indexes indicate respectively the status of nature, human culture, society and environmental pollution. The indexes are obtained and calculated by using RS and GIS. The weights of the indexes are determined by using AHP. The relative models are created for evaluating the ecological security. Finally, the indexes of the natural ecological environment, human culture society pressure security, environmental pollution pressure security, and regional ecological security are calculated and graded by using the relative models and GIS. It is shown that: the regional ecological security can be effectively evaluated by using RS, GIS and AHP.

Key words analytic hierarchy process; appraisal index system; ecological security; geographic information system

生态安全最初是作为一与国家安全密切相关的政治名词而提出的^[1], 近几年才逐渐赋予其科学内涵^[2]。生态安全是维护某一地区或某一国家乃至全球的生态环境不受威胁的状态, 能为整个生态经济系统的安全和持续发展提供生态保障^[3-7]。生态安全是指与人类息息相关的自然生态资源与环境处于良好的状况或不遭受不可恢复的破坏^[8]。文献[9-10]阐释了生态安全概念。生态安全研究已成为国内外相

关学科研究的前沿和热点之一^[11]。区域生态安全评价是生态安全研究的重要内容之一, 区域生态安全评价可以为区域生态环境管理和决策提供科学依据^[12]。20世纪90年代以来, 中国学者在生态安全评价研究方面做了大量工作, 并取得了许多重要成果^[13-18]。但到目前为止, 生态安全评价研究仍处于概念体系的建立和评价方法的探讨阶段, 并没有建立起比较完善的评价指标体系与评价方法^[19]。生态

收稿日期: 2009-07-08

基金项目: 国家自然科学基金(40771144); 四川省青年基金(08ZQ026-47); 四川省教育厅重大培育项目(07ZZ029)

作者简介: 杨存建(1967-), 男, 博士, 教授, 主要从事遥感和地理信息系统应用方面的研究。

安全评价指标体系的建立都要依据一定的方法来进行,目前国内外学者普遍接受并广泛使用的方法是联合国经济合作开发署建立的压力-状态-响应(pressure-state-response, P-S-R)框架模型方法^[20]。文献[21]在广泛分析研究了国内外生态评价指标体系方案案例的基础上,对PSR框架模型进行扩展,制定了区域生态安全评价指标体系概念框架,即驱动力-P S R概念框架模型。现有的生态安全评价方法主要有综合指数法、生态系统安全的综合评价法、生态安全承载力评价方法景观指数法、景观生态安全格局法、层次分析法等^[22-24]。层次分析法(analytical hierarchy process, AHP)是美国运筹学家A. L. Saaty于20世纪70年代初提出的一种灵活、简便、多准则定性定量相结合的决策分析方法。它是一种将决策者对复杂系统的决策思维过程模型化、数量化的过程。该方法首先把复杂的系统分解成若干子系统,并按它们之间的从属关系分组,形成有序的递阶层次结构,对同一层次各元素进行两两比较,并用矩阵运算确定出该元素对上层支配元素的相对重要性,进而确定出每个子系统对总目标的权重系数^[25]。文献[26]利用模糊数学与层次分析法对闭矿后的矿区土地复垦生态安全进行评价,所考虑的指标主要有土壤因素、水文因素、地质因素、风因素、矸石山因素、采空区因素以及其他因素。文献[27]对黄河中游砒砂岩地区长川流域土地利用/覆盖安全格局进行了初步探讨,但是其研究区域相对较小,只有529 km²。文献[28]在对我国生态安全评价研究综述的基础上,认为结合3S技术的生态安全方法是其研究的创新方向之一。生态安全评价的研究尺度主要有3个,即全球生态安全、国家生态安全和区域生态安全。我国在全球生态安全方面的研究还不多见,主要集中在国家和区域上的研究。我国在区域生态安全评价方面的研究近年来呈增长趋势,主要集中在省域、河流流域及其他一些区域的研究。如文献[29]开展了云南省生态综合评价的研究,并从资源、环境和人口等3个方面建立了指标体系。国内生态安

全评价研究的范围在不断扩大,主要有农业生态安全、湿地生态安全、土地资源生态安全、水资源生态安全、城市生态安全和旅游地生态安全等方面^[30-31]。

四川省位于中国西南部的长江上游,是长江流域重要的生态屏障。四川省的生态安全建设不仅有利于四川社会经济的可持续发展,而且也有利于长江中下游的社会经济的发展。四川省生态安全评价是其生态安全建设中最为基础的工作。目前,在四川省生态安全评价方面还存在空白之处,为此,本文对四川省生态安全评价指标体系、各指标获取技术、评价模型和方法等进行研究。

1 四川省生态安全评价指标体系及其权重的确定

参考国内外生态安全评价指标体系的研究,并结合四川省的具体情况和数据的可获取情况,采用自上而下、逐层分解的方法,构建了四川省生态安全评价指标体系,如表1所示。在该指标体系中,把区域生态安全分为3个层次,每一个层次又分别选择反映其主要特征的要素作为评价指标。第一层次是目标层,用A表示,以生态安全指数为目标。该指标值越高,表明其生态安全的程度越高。第二层次是准则层,以B表示,该层包含“自然生态环境状态指数”、“人文社会压力安全指数”和“环境污染压力安全指数”3个指标。分别以B₁、B₂和B₃表示。在该层中,其指标值越高,越有利于生态安全。第三层次为指标层,以C表示,该层包含平均海拔、平均坡度、平均土壤侵蚀强度、平均降水量、平均植被指数、平均温度、森林覆盖率、水体覆盖率、人口密度、农业人口密度、单位面积人口增长率、单位耕地面积粮食产量、单位面积工业废水未达标排放总量、单位面积工业废气未达标排放总量和单位面积化肥使用量。分别用C₁₁、C₁₂、C₁₃、C₁₄、C₁₅、C₁₆、C₁₇、C₁₈、C₂₁、C₂₂、C₂₃、C₃₁、C₃₂和C₃₃表示。在这些指标中,其值越高越有利于生态安全的为正指标,其值越高越不利于生态安全的为负指标。

表1 四川省生态安全综合评价指标体系

目标层	准则层	指标层	数据来源	格式	意义
区域生态安全综合指数A	自然生态环境状态指数B ₁	平均海拔C ₁₁	DEM	栅格	负指标
		平均坡度C ₁₂	DEM	栅格	负指标
		平均土壤侵蚀强度C ₁₃	遥感	栅格	负指标
		平均降雨量C ₁₄	气象	栅格	正指标
		平均植被指数C ₁₅	遥感	栅格	正指标

表1 四川省生态安全综合评价指标体系

(续表)

目标层	准则层	指标层	数据来源	格式	意义
人文社会压力安全 指数 B_2		平均温度 C_{16}	气象	栅格	正指标
		森林覆盖率 C_{17}	遥感	栅格	正指标
		水体覆盖率 C_{18}	遥感	栅格	正指标
		非农业人口密度 C_{21}	统计	矢量	负指标
		单位面积人口增长率 C_{22}	统计	矢量	负指标
		农业人口密度 C_{23}	统计	矢量	负指标
环境污染压力安全 指数 B_3		单位面积工业废水未达标排放总量 C_{31}	统计	矢量	负指标
		单位面积工业废气未达标排放总量 C_{32}	统计	矢量	负指标
		单位面积化肥使用量 C_{33}	统计	矢量	负指标

生态安全指数由自然生态环境状态指数、人文社会压力安全指数和环境污染压力安全指数以一定的权重经线性组合而成。自然生态环境状态指数由平均海拔、平均坡度、平均土壤侵蚀强度、平均降水量、平均植被指数、平均温度、森林覆盖率和水体覆盖率以一定的权重经线性组合而成。人文社会压力安全指数由非农业人口密度、单位面积人口增

长率、农业人口密度以一定的权重经线性组合而成。环境污染压力安全指数由单位面积工业废水未达标排放总量、单位面积工业废气未达标排放总量和单位面积化肥使用量以一定的权重经线性组合而成。

表2 平均随机一致性指标取值表

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

表3 各指标的权重表

目标层	准则层	权重	指标层	权重
区域生态安全综合指数	自然生态环境状态指数	0.637 0	平均海拔	0.034 9
			平均坡度	0.133 3
			平均土壤侵蚀强度	0.286 2
			年平均降雨量	0.136 8
			平均植被指数	0.211 9
			平均温度	0.084 9
	人文社会压力安全指数	0.258 3	森林覆盖率	0.046 0
			水体覆盖率	0.032 6
			非农业人口密度	0.258 3
	环境污染压力安全指数	0.104 7	单位面积人口增长率	0.104 7
			农业人口密度	0.637 0
			单位面积工业废水未达标排放总量	0.751 4
			单位面积工业废气未达标排放总量	0.070 4
			单位面积化肥使用量	0.178 2

确定指标权重的方法有多种,如 Delphi 法、AHP 法、主成分分析法和熵权法,本文采用 AHP 法来确定指标权重^[32]。比较每一层对上一层因素的影响,每次都取该层的两个元素相互比较,全部比较的结果用以构成比较矩阵。比较尺度采用 1~9 尺度。计算比较矩阵的最大特征根及其所对应的特征向量,并对比较矩阵的一致性进行检验。

进行一致性检验可通过计算一致性比例 CR 来决定,即: $CR = CI/RI$, $CI = (R - N)/(N - 1)$ 。其中, CR

为计算一致性比例; CI 为一致性指标; RI 为平均随机一致性指标; R 为判断矩阵的最大特征根; N 为比较判断方阵的阶数,也是该层次所含因素的个数, RI 的取值如表 2 所示。

如 $CR < 0.1$, 则认为该层次单排序的结果有满意的一致性,否则需要调整判断矩阵元素的取值。通过一致性检验后,比较矩阵的最大特征根所对应的特征向量的归一化值作为对上一层的贡献值。通过层次分析得到各指标权重值如表 3 所示。

2 四川省生态安全评价

2.1 评价单元的确定及评价指标的处理

以市州为基本评价单元, 将矢量的行政界线栅格化成与已有栅格数据同投影、同坐标体系和同栅格大小的栅格数据, 并将其与海拔、坡度、土壤侵蚀强度、年平均降雨量、植被指数、平均温度、有林地和水体等栅格数据进行叠加, 并统计出各市州的平均海拔、平均坡度、平均土壤侵蚀强度、平均降雨量、平均植被指数、平均温度、森林覆盖率和水体覆盖率。通过2000年四川省的统计数据得到非农业人口密度、单位面积人口增长率、农业人口密度、单位面积工业废水未达标排放总量、单位面积工业废气未达标排放总量和单位面积化肥使用量等指标数据。将指标层中的所有指标进行归一化处理, 使其取值在0~1之间。

正指标和负指标的归一化处理公式分别为:

$$C_{ij} = (C_{ij} - C_{imin}) / (C_{imax} - C_{imin})$$

$$C_{ij} = (C_{imax} - C_{ij}) / (C_{imax} - C_{imin})$$

式中 C_{ij} 为 C_{ij} 的归一化值。

2.2 准则层指标的计算

自然生态环境状态指数为:

$$B_1 = \sum W_{1j} \cdot C_{1j}$$

式中 B_1 为自然生态环境状态指数; 在 C_{1j} 中, j 的取值为1~8; W_{1j} 为 C_{1j} 所对应的权重。

人文社会压力安全指数为:

$$B_2 = \sum W_{2j} \cdot C_{2j}$$

式中 B_2 为人文社会压力安全指数; 在 C_{2j} 中, j 的

取值为1~3。 W_{2j} 为 C_{2j} 所对应的权重。

环境污染压力安全指数为:

$$B_3 = \sum W_{3j} \cdot C_{3j}$$

式中 B_3 为环境污染压力安全指数; 在 C_{3j} 中, j 的取值为1~3; W_{3j} 为 C_{3j} 所对应的权重。

2.3 生态安全指数的计算

将自然生态环境状态指数、人文社会压力安全指数和环境污染压力安全指数进行归一化处理, 将其值归一化在0到1之间。然后, 利用如下公式计算生态安全指数:

$$A = \sum W_{Bj} \cdot B_{Bj}$$

式中 A 为生态安全指数; B_{Bj} 为 B_j 所对应的归一化值, 其中 j 的取值为1~3; W_{Bj} 为 B_{Bj} 所对应的权重。

将生态安全综合指数进行归一化处理, 将其值归一化在0~1之间。

2.4 分等定级

按照0.2的间距, 将自然生态环境状态指数、人文社会压力安全指数、环境污染压力安全指数和生态安全指数的归一化值进行分等定级, 其标准如表4所示。

表4 分等定级表

指标值范围	0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1.0
等级	1	2	3	4	5

2.5 四川省生态安全评价结果

自然生态环境状态指数、人文社会压力安全指数、环境污染压力安全指数和生态安全指数及其等级如表5所示。其生态安全综合指数等级分布如图1所示。

表5 指数值及其等级表

地市州	自然生态 环境状态指数			人文社会 压力安全指数			环境污染 压力安全指数			生态安全指数		
	非归一 化值	归一 化值	等 级	非归一 化值	归一 化值	等级	非归一 化值	归一 化值	等级	非归一 化值	归一 化值	等级
阿坝州	0.34	0.05	1	0.74	1.00	5	1.00	1.00	5	0.39	0.07	1
巴中市	0.60	0.72	4	0.54	0.69	4	0.92	0.91	5	0.73	0.80	4
成都市	0.71	1.00	5	0.54	0.69	4	0.07	0.00	1	0.82	1.00	5
达州市	0.65	0.85	5	0.54	0.69	4	0.88	0.87	5	0.81	0.98	5
德阳市	0.58	0.67	4	0.40	0.48	3	0.55	0.52	3	0.61	0.54	3
	非归一 化值	归一 化值	等 级	非归一 化值	归一 化值	等级	非归一 化值	归一 化值	等级	非归一 化值	归一 化值	等级
甘孜州	0.32	0.00	1	0.74	1.00	5	1.00	1.00	5	0.36	0.00	1
广安市	0.64	0.82	5	0.09	0.00	1	0.75	0.73	4	0.60	0.52	3
广元市	0.52	0.51	3	0.63	0.83	5	0.87	0.86	5	0.63	0.59	3
乐山市	0.48	0.41	3	0.61	0.80	4	0.75	0.73	4	0.54	0.39	2

表5 指数值及其等级表

续表

地市州	自然生态			人文社会			环境污染			生态安全指数		
	环境状态指数			压力安全指数			压力安全指数					
凉山州	0.38	0.15	1	0.69	0.92	5	0.98	0.98	5	0.44	0.17	1
泸州市	0.56	0.62	4	0.51	0.65	4	0.66	0.63	4	0.63	0.59	3
眉山市	0.67	0.90	5	0.41	0.49	3	0.71	0.69	4	0.77	0.89	5
绵阳市	0.41	0.23	2	0.61	0.80	4	0.83	0.82	5	0.44	0.17	1
内江市	0.49	0.44	3	0.29	0.31	2	0.51	0.47	3	0.41	0.11	1
南充市	0.64	0.82	5	0.41	0.49	3	0.82	0.81	5	0.73	0.80	4
攀枝花	0.50	0.46	3	0.65	0.86	5	0.77	0.75	4	0.59	0.50	3
遂宁市	0.54	0.56	3	0.31	0.34	2	0.69	0.67	4	0.51	0.33	2
雅安市	0.44	0.31	2	0.67	0.89	5	0.93	0.92	5	0.52	0.35	2
宜宾市	0.49	0.44	3	0.51	0.65	4	0.72	0.70	4	0.52	0.35	2
资阳市	0.52	0.51	3	0.34	0.38	2	0.75	0.73	4	0.50	0.30	2
自贡市	0.57	0.64	4	0.39	0.46	3	0.68	0.66	4	0.60	0.52	3

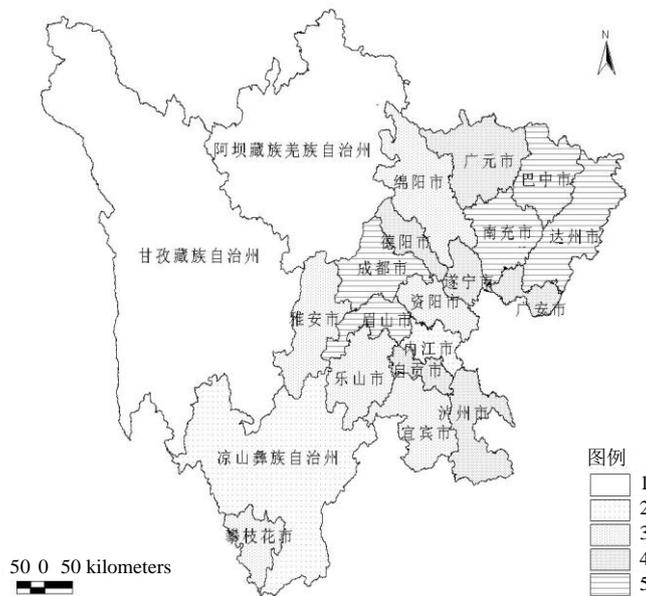


图1 四川省生态安全等级

就自然生态环境状态指数等级而言,最低的市州为阿坝州、甘孜州和凉山州,最高的市州为广安市、南充市、达州市、眉山市和成都市。就人文社会压力安全指数等级而言,最低的市州为广安市,最高的为广元市、攀枝花市、雅安市、凉山州、甘孜州和阿坝州。就环境污染压力安全指数等级而言,最低的为成都市,最高的为南充市、绵阳市、广元市、达州市、巴中市、雅安市、凉山州、甘孜州和阿坝州。就区域生态安全等级而言,最低的为阿坝州、甘孜州、内江市、凉山州和绵阳市,最高的为眉山市、达州市和成都市。生态安全为一级的城市

有5个,二级有5个,三级有6个,四级有2个,五级有3个。

3 结果与讨论

通过本文研究得到的主要结论如下:

(1) 本文在参考国内外生态安全评价指标体系的基础上,制定了适合四川省生态安全评价的指标体系,该指标体系由目标、准则和指标3个层次构成。准则层包括自然生态环境状态、人文社会压力安全和环境污染压力安全等指数。指标层包含了反映自然生态环境的8个指标,反映人文社会压力的3个指标,以及反映环境污染压力的3个指标。该指标体系

完整科学, 适合四川的特点。

(2) 充分利用了先进的遥感和 GIS 技术获取和处理各指标数据。如利用遥感技术获取土壤侵蚀强度、植被指数、森林覆盖率和水体覆盖率, 具有成本低, 效率高的特点。利用 GIS 技术, 可以有效地将统计数据、点源数据、矢量数据、栅格数据和遥感数据结合起来, 进行生态安全的评价研究。

(3) 利用 GIS 技术建立了四川省生态安全评价的相关模型和评价系统, 并利用这些模型和系统对四川省的生态安全进行了评价, 揭示出了四川省生态安全的空间分布特征。就四川省的生态安全指数等级而言, 最低的为阿坝州、甘孜州、内江市、凉山州和绵阳市, 最高的为眉山市、达州市和成都市。通过动态更新这些指标, 利用这些模型和评价系统可以实现对四川省生态安全的动态评价。

进一步的研究在于将评价单元从市州细化到区县, 以至乡镇。在此基础上, 建立四川省生态安全动态评价信息系统。探讨遥感数据支持下的相关统计数据和观测站点数据的有效空间化问题, 探讨基于100 m网格单元的生态安全评价, 以及基于地块的多层次生态安全评价。

参 考 文 献

- [1] 石 山. 树立生态安全新思想[J]. 生态农业研究, 1998, 6(4): 1-3.
SHI Shan. To build new idea of Ecological security[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 1998, 6(4): 1-3.
- [2] 刘 红, 王 慧, 张兴卫. 生态安全评价研究述评[J]. 生态学杂志, 2006, 25(1): 74-78.
LIU Hong, WANG Hui, ZHANG Xing-wei. Research review on ecological security assessment[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(1): 74-78.
- [3] COSTANZA R, NORTON B G, HASKELL B D. Ecosystem health: New goal for environment management[M]. Washington DC: Island Press, 1992.
- [4] NORTON S B, RODIER D J, GENTILE J H, et al. A framework for ecological risk assessment at the EPA[J]. Environment of Tarical Chemistry, 1992, 11: 1663-1672.
- [5] DOBSON A D, BRADSHAW A D, BAKER A J M. Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology[J]. Science, 1997, 277: 515-524.
- [6] 谢花林, 李 波, 王传胜, 等. 西部地区农业生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 3028-3036.
XIE Hua-lin, LI Bo, WANG Chuan-sheng, et al. Agroecosystem health assessment in western China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 3028-3036.
- [7] 刘 明, 刘 淳, 王克林. 洞庭湖流域生态安全状态变化及其驱动力分析[J]. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1271-1276.
LIU Ming, LIU Fu, WANG Ke-lin. Eco-security in Dongting Lake watershed: Its changes and relevant driving forces[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26: 1271-1276.
- [8] 郭中伟. 建设国家生态安全预警系统与维护体系——面对严重的生态危机的对策[J]. 科技导报, 2001, 1: 54-56.
GUO Zhong-wei. To build the early warning and maintaining system of national ecological security[J]. Science & Technology Review, 2001, 1: 54-56.
- [9] 肖笃宁, 陈文波. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. 应用生态学报, 2002, 13 (3): 354-358.
XIAO Du-ning, CHEN Wen-bo. On the basic concepts and contents of ecological security[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13 (3): 354-358.
- [10] 陈国阶. 论生态安全[J]. 重庆环境科学, 2002, 24(3): 1-3.
CHEN Guo-jie. On ecological security[J]. Chongqing Environmental Science, 2002, 24(3): 1-3.
- [11] 崔胜辉, 洪华生, 黄云凤, 等. 生态安全研究进展[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 861-868.
CUI Sheng-hui, HONG Hua-sheng, HUANG Yun-feng, et al. Progress of the ecological security research[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(4): 861-868.
- [12] 高长波, 陈新庚, 韦朝海, 等. 广东省生态安全状态及趋势定量评价[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2191-2196.
GAO Chang-bo, CHEN Xin-geng, et al. Quantitative evaluation of ecological security status and trends: a case study of Guangdong Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2191-2196.
- [13] 徐继承, 易佩荣. 人类的终极安全: 生态安全[J]. 佳木斯大学社会科学学报, 2004, 22(1): 71-73.
XU Ji-cheng, YI Pei-rong. Ultimate security of human: environmental security[J]. Journal of Social Science of Jiamusi University, 2004, 22(1): 71-73.
- [14] 吴 迪, 段昌群, 杨 良. 生态安全与国家安全[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 40-42.
WU Di, DUAN Chang-qun, Yang Liang. Ecological safety and national safety[J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2003, 16(6): 40-42.
- [15] 尹晓波. 中国可持续发展生态安全面临的挑战及对策[J]. 计划与市场探索, 2003, (2): 24-26.
YIN Xiao-bo. The challenge and strategy faced by ecological security of Sustainable Utilization in China[J]. Research of the Plan & the Market, 2003, (2): 24-26.
- [16] 李艳芳. 中国生态安全的现状与法律保障[J]. 法商研究, 2004, (2): 69-74.
LI Yan-fang. The current situation and legal safeguards of ecological security in China[J]. Studies In Law and Business, 2004, (2): 69-74.
- [17] 尹晓波. 中国生态安全问题初探[J]. 经济问题探索, 2003, (3): 51-55.
YIN Xiao-bo. Preliminary discussion on the problem of Ecological security in China[J]. Inquiry Into Economic Problems, 2003, (3): 51-55.
- [18] 金 磊. 新世纪全球更瞩目: 生态安全与减灾[J]. 劳动安全与健康, 2001, (9): 12-14.
JIN Lei. More attention from the World in the new century: Ecological security and disaster reduction[J]. Safty & Health At Work, 2001, (9): 12-14.
- [19] 高吉喜, 张向晖, 姜 昀, 等. 流域生态安全评价关键问题研究[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊 II): 216-224.

- GAO Ji-xi, ZHANG Xiang-hui, JIANG Yun, et al. Study on the key problems for assessment of ecological security of watershed area [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(supplementary issue II): 216-224.
- [20] 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.
ZUO Wei, ZHOU Hui-zheng, WANG Qiao. Conceptual framework for selection of an indicator system for assessment of regional ecological safety[J]. Soil, 2003, (1): 1-7.
- [21] 左伟, 王桥. 区域生态安全评价指标与标准研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 67-71.
ZUO Wei, WANG Qiao. Study on regional ecological security assessment index and standard[J]. Geography and Territorial Research, 2002, 18(1): 67-71.
- [22] 吴国庆. 区域农业可持续发展的生态安全及其评价探析[J]. 生态经济, 2001(8): 22-25.
WU Guo-qing. Ecological safety and assessment of regionally sustainable agriculture development[J]. Ecological Economy, 2001, (8): 22-25.
- [23] 任志远, 黄青, 李晶. 陕西省生态安全及空间差异定量分析[J]. 地理学报, 2005, 60(4): 597-606.
REN Zhi-yuan, HUANG Qing, LI Jing. Quantitative analysis of dynamic change and spatial difference of the ecological safety: the case of Shanxi Province[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(4): 597-606.
- [24] 曹新向, 郭志永, 雒海潮. 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.
CAO Xin-xiang, GUO Zhi-yong, LUO Hai-chao. Study on ecological security of regionally sustainability utilization of land researches[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2004, 18(2): 192-195.
- [25] 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.
LI Yu-ping, CAI Yun-long. Security evaluation of land ecology in Hebei Province[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis, 2007, 43(6): 784-789.
- [26] 刘喜韬, 鲍艳, 胡振琪, 等. 闭矿后矿区土地复垦生态安全评价研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 102-106.
LIU Xi-tao, BAO Yan, HU Zhen-qi, et al. Ecological security assessment of land reclamation for mine areas after mine closure[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(8): 102-106.
- [27] 高清竹, 许红梅, 江源, 等. 黄河中游砒砂岩地区长川流域土地利用/覆盖安全格局初探[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 51-56.
GAO Qing-zhu, XU Hong-mei, JIANG Yuan, et al. Preliminary discussion on ecological security pattern of land use and land cover in the soft rock of Middle Reaches of the Yellow River: a case study of Changchun watershed, Inner Mongolia, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(3): 51-56.
- [28] 周旭. 我国生态安全评价研究综述[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2007, 28(3): 200-206.
ZHOU Xu. Review of researches on ecological security assessment in China[J]. Journal of China West Normal University(Natural Sciences), 2007, 28(3): 200-206.
- [29] 张向晖, 高吉喜, 董伟, 等. 生态安全研究评述[J]. 环境保护, 2005, 12: 48-54.
ZHANG Xiang-hui, GAO Ji-xi, DONG Wei, et al. Comment on ecological security research[J]. Environmental Protection, 2005, 12, 48-54.
- [30] 何焰, 由文辉. 水环境生态安全预警评价与分析[J]. 安全与环境工程, 2004, 11(4): 1-4.
HE Yan, YOU Wen-hui. The ecological alarm assessment and analysis of the water environment in Shanghai[J]. Safety and Environmental Engineering, 2004, 11(4): 1-4.
- [31] 谢花林, 李波. 城市生态安全评价指标体系与评价方法研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2004, 40(5): 705-710.
XIE Hua-lin, LI Bo. A study on indices system and assessment criterion of ecological security for city[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science), 2004, 40(5): 705-710.
- [32] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京: 科学技术出版社, 1986.
ZHAO Huan-chen, XU Shu-po, HE Jin-seng. Analytic hierarchy process decision — making a simple new method[M]. Beijing: Science and Technology Press, 1986.

编辑 漆蓉



杨存建, 中国科学院博士、博士后研究员。参加完成了多项国家科技攻关项目、863项目、中科院的知识创新项目、省部级项目和国际合作项目。独立主持完成了中国博士后基金项目、中国自然科学基金项目、四川省杰出青年学科带头人培养计划项目、省教育厅项目和多项地方横向项目, 目前, 主持科技部863项目和国家自然科学基金项目各1项。已在《地理学报》、《生态学报》、《地理研究》、《遥感学报》、《自然灾害学报》、《水土保持学报》、《植物生态学报》、《中国环境监测》、《PE & RS》、《IJGIS》和《IGARSS》等上发表论文60多篇, SCI、EI收录15篇。与他人合作出版专著3部, 译著4部。其成果被国内同行引用达800多次。曾获得省部级科技进步二、三等奖各1项。曾任中国地理信息系统协会理论与方法专委会副主任。现任中国自然资源学会理事, 中国资源信息系统专委会委员; 国际地圈生物圈计划中国全国委员会RS/DIS工作组成员; 中国优选法统筹法与经济数学研究会复杂系统研究委员会常务理事。其主要研究领域是面向资源集约、环境友好和社会和谐的遥感、地理信息系统和全球定位系统在资源、环境、城市和城镇等方面的综合应用。