

# 基于 GIS 的咸阳市区耕地地力评价

## ——以秦都区为例

白雪娇<sup>1</sup>, 常庆瑞<sup>1</sup>, 刘 钊<sup>1</sup>, 王路明<sup>1</sup>, 徐会善<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省咸阳市秦都区土肥站, 陕西 咸阳 712000)

**摘 要:**采用综合指数法对秦都区耕地地力进行评价。以关中平原的陕西省秦都区为研究区,借助 GIS 技术,结合层次分析法、模糊数学法等现代统计分析技术,在耕地地力调查的基础上,从立地条件、土壤性质、肥力状况、土壤管理 4 方面选取 12 项指标,对研究区耕地地力进行自动化、定量化和可视化评价。结果表明:秦都区耕地地力可分为 4 级,1—4 级地分别占耕地总面积的 52.08%,39.72%,7.35%,0.85%,该地区耕地地力水平较高。本研究分析了各级耕地的空间分布特征,对耕地资源的科学管理和可持续利用具有积极意义。该研究结果不仅可以直接应用于研究区农业生产,而且为关中平原开展耕地地力评价的方法进行了有益探索。

**关键词:**GIS; 关中平原; 耕地地力评价

**中图分类号:**S158

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2013)05-0108-05

## Evaluation of Farmland Productivity on Downtown of Xianyang City Using GIS

### —A Case Study of Qindu District

BAI Xue-jiao<sup>1</sup>, CHANG Qing-rui<sup>1</sup>, LIU Zhao<sup>1</sup>, WANG Lu-ming<sup>1</sup>, XU Hui-shan<sup>2</sup>

(1. College of Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi

712100, China; 2. Soil Fertilizer Station of Qindu District, Xianyang City, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

**Abstract:** Synthetic index method was adopted to evaluate the farmland productivity of Qindu District. On the basis of investigating the farmland productivity, 12 targets from 4 aspects of soil condition, soil properties, soil fertility and soil management of Qindu District of Shaanxi Province located in Guanzhong plain were selected. The farmland productivity was evaluated automatically, quantitatively and visually with the integrated use of GIS, analytical Hierarchy program (AHP) and fuzzy mathematical theory (FMT). The results indicated that farmland productivity in Qindu District could be divided into 4 grades. The areas of grades 1—4 accounted for 52.08%, 39.72%, 7.35%, and 0.85% of the total arable land areas, respectively, levels of the farmland productivity are higher. Analysis of the spatial distribution characteristics of each grade is beneficial for scientific management and sustainable use of farmland resources. This result can not only be applied to Qindu District agriculture production, but also contribute a beneficial exploration for studies about the evaluation of the farmland fertility of Guanzhong plain as well.

**Key words:** GIS; Guanzhong plain; arable land power evaluation

耕地是农业生产不可替代的重要生产资料,是保持社会和国民经济可持续发展的重要资源,随着人口数量剧增、人均耕地水平下降、人地矛盾日益突出,随之出现了耕地数量减少、耕地质量下降等一系列问题,耕地资源安全问题日益严重<sup>[1]</sup>,因此耕地数量的多少和质量的高低直接关系到其所在区域的经济建

设和社会发展。通过耕地地力评价,摸清区域耕地地力状况,可以评估耕地的生产水平,有效保护耕地质量,为耕地资源的高效和可持续利用提供科学依据。

近年来,不少学者借助 GIS 技术,采用系统聚类法、层次分析法等现代统计分析技术,进行了大量耕

地地力调查评价方面的研究,取得了较多成果。刘京等<sup>[2]</sup>以黄土高原南缘土石山区为研究区,借助 GIS 技术,与传统耕地地力评价方法相结合,分析土石山区耕地地力特征。王良杰等<sup>[3]</sup>以安徽省宣城市宣州区为例,在 GIS 支持下,综合利用系统聚类法、层次分析法、模糊评价法和数学模型,实现了耕地地力自动化、定量化评价。袁秀杰等<sup>[4]</sup>通过比较不同指标体系的评价结果,建立了相互转化的线性模型,实现了评价结果的统一可比性,并尝试建立统一的评价指标体系,在保证与原评价结果一致的前提下,基本实现了不同地貌区域内耕地质量评价结果的统一。林碧珊等<sup>[5]</sup>借助 GIS 技术,以土种为单元,采用限制因素法和综合归纳法,对耕地地力因素进行系统分析和评比,评价耕地地力等级。张海涛等<sup>[6]</sup>利用 GIS 和 RS 技术,将层次分析的原理和方法引入耕地地力评价以确定参评因子的权重,快速准确地对江汉平原后湖地区的耕地自然地力进行了综合评价。韩会庆等<sup>[7]</sup>在 GIS 技术辅助下,以贵州省绥阳县为研究样地开展了以 1:10 000 为基础比例尺的县域耕地质量评价研究,探讨了提高喀斯特地区耕地质量评价方法,定量揭示了区域耕地质量差异。

目前对关中平原市区耕地地力的研究较少,且缺乏自动化、定量化和可视化研究。秦都区位于咸阳市区西半部,属典型的城郊结合型地区,处于西部大开发的桥头堡和西咸经济一体化的结合部。随着经济的发展和城镇化的加剧,耕地资源的保护面临极大的挑战且日趋严峻。结合农业部耕地地力调查项目,借助 GIS 技术,分析秦都区耕地地力与土壤各肥力因子的时空变化特征,及时掌握耕地资源的数量、质量及其分布,对于推动关中平原市区耕地资源的合理配置,提高耕地保护与管理,促进农业结构调整和农业可持续发展具有十分重要的理论价值和现实意义。

## 1 研究区概况

陕西省咸阳市秦都区位于关中平原腹地,北纬  $34^{\circ}37'—34^{\circ}26'$ ,东经  $108^{\circ}37'—108^{\circ}45'$ ,总面积  $259.92\text{ km}^2$ ,现有耕地  $165.18\text{ km}^2$ 。渭河横贯东西,将其分为南北两半,地势西北高,东南低,呈阶梯状倾向渭河谷底,按形态成因分为黄土台塬、河流冲积平原两种类型。境内有属于渭河水系的沔河、沙河、新河、泥河、白马河和斗门河 6 条支流。本区属暖温带半湿润大陆性季风气候,四季冷热干湿分明,降水量  $520\sim 590\text{ mm}$ ,区域差异较大,呈马鞍形分布。全区年平均气温为  $13.4^{\circ}\text{C}$ ,年太阳辐射  $4.61\times 10^9\sim 4.99\times 10^9\text{ J/m}^2$ ,年累计光照时数  $2\ 017.2\sim 2\ 346.9\text{ h}$ 。

分布有旱耕人为土、水耕人为土、潮湿雏形土、冲积新成土和正常新成土等土壤类型,其中以旱耕人为土占绝对优势。

## 2 材料与方法

耕地地力评价的技术流程:首先收集相关的资料,准备计算机软硬件及建立研究区基础地理要素(包括行政区划、地形地貌、土壤、土地利用、样点养分等)空间数据库;其次获取耕地地力评价单元,构建耕地地力评价指标体系及其数据库,运用层次分析法和模糊数学法确定各指标的权重和各指标内部不同数值的模糊隶属度,以评价单元图为基础,计算耕地地力综合指数,应用累计频率曲线法确定分级方案;最后依据评价结果,量算统计各等级的面积,编制耕地地力等级分布图,分析各等级地的空间分布状况和与各影响因素间的关系,并提出耕地资源可持续利用的措施建议,具体的评价流程见图 1。

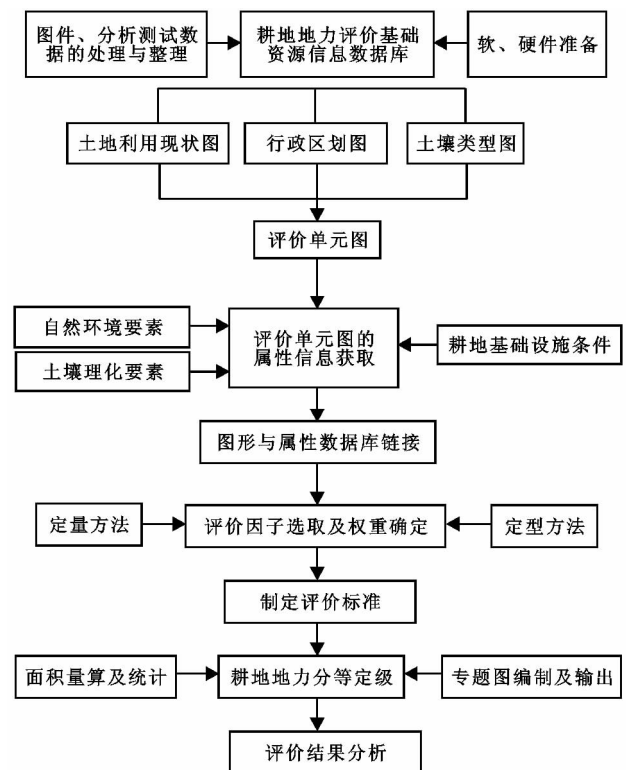


图 1 耕地地力评价流程

### 2.1 获取基础数据

基础数据包括属性数据、空间矢量数据和空间栅格数据:属性数据来自秦都区 2008—2010 年实施的“测土配方施肥”项目中得出的田间调查数据、土壤化验数据和秦都区土肥站提供的区域气候、水利设施建设、土地资源调查等方面的资料,提取其中有效数据,整理后建库;空间矢量数据包括地形图(1:50 000)、土壤图(1:50 000)、土地利用现状图(1:25 000)、

行政区划图(1 : 35 000),经完整性检验后扫描得到图像文件,在 ArcGIS 中经几何校正、矢量化、建立拓扑关系及投影转换后,存入矢量数据库;空间栅格数据(测土配方采样点)经完整性检验后数字化,得到采样点位图并作投影转换,将点位图通过关键字段连接外部数据库,通过克吕格插值得到栅格数据,存入栅格数据库。

### 2.2 划分评价单元

耕地地力评价单元指潜在生产能力近似且边界封闭具有一定空间范围的耕地,是耕地地力评价最基本单位、对象和基础图斑。在 ArcGIS 9.3 支持下,采用土壤图(土种)、土地利用现状图、行政区划图(镇)和地貌图叠加形成的图斑再进行综合取舍后作为评价单元。该方法的优点是考虑全面、综合性强,所形成的评价单元空间界线及行政隶属关系明确,土壤类型相同、土地利用状况一致,既可用于农业布局规划,还可用于指导实际的农事操作<sup>[8]</sup>。全区最后共划分评价单元 4 340 个。

### 2.3 选择评价因子

评价因子的合理选择对评价起主导限制作用,选择比较稳定可用量比表示的评价因子是评价工作的关键<sup>[9]</sup>。耕地地力评价实质是评定地形、土壤理化性状等自然要素对农作物生长限制程度的强弱。因此选取指标要以对耕地生产力有较大影响、在评价区域内变异较大,在时间序列上具有相对稳定性,与当前生产密切相关等为原则<sup>[10]</sup>,在全国耕地地力评价指

标体系框架下,针对影响关中地区耕地地力的主要因素,结合研究区耕地特点,采用特尔斐法选取立地条件(坡度、地貌类型)、土壤性质(土壤类型、土壤质地、土壤结构、土体构型)、肥力状况(土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾)、土壤管理(农田基础设施、灌溉能力)4 方面 12 项指标作为该区耕地地力的评价指标。

### 2.4 建立评价模型

土地是一个灰色系统,系统内部各要素与耕地地力间关系十分复杂,因此评价指标的赋值采用模糊隶属函数模型。根据模糊数学原理和秦都区评价指标类型,选择戒上型、直线型和概念型 3 种函数模型表达评价指标与耕地生产关系<sup>[11-12]</sup>。有机质、坡度等属于前两种数值型指标,采用特尔斐法和模糊评价法,确定各评价指标实际值和代表生产力水平的隶属度(0~1)间隶属函数关系;地貌等属于概念型指标,采用专家经验法直接给出隶属度。最终确定的评价指标隶属函数模型见表 1—2。

表 1 数值型评价指标隶属函数

项目	函数类型	隶属函数	标准指标	指标下限值
有机质	戒上型	$Y=1/[1+0.035264(u-c)^2]$	18.566066	9
碱解氮	戒上型	$Y=1/[1+0.001528(u-c)^2]$	87.567340	43
有效磷	戒上型	$Y=1/[1+0.009843(u-c)^2]$	38.587649	18
速效钾	戒上型	$Y=1/[1+0.000329(u-c)^2]$	197.375307	86
坡度	直线型	$Y=0.946359-0.051687x$	0	10

表 2 概念型评价指标隶属度

因子类型		评价因子描述及其隶属度				
地貌类型	描述	二级阶地	三级阶地	一级阶地	黄土台原	河漫滩
	隶属度	1	0.90	0.85	0.80	0.60
灌溉能力	描述	保灌	能灌	可灌		
	隶属度	1	0.95	0.50		
农田基础设施	描述	配套	基本配套			
	隶属度	1	0.70			
土壤质地	描述	中壤	轻壤	重壤	砂壤	
	隶属度	1	0.90	0.85	0.70	
土壤结构	描述	团粒状	团块状	核状	块状	粒状
	隶属度	1	0.95	0.80	0.75	0.50
土体构型	描述	A—P—B—C	A—B—C	A—BC—C	A—C	
	隶属度	1	0.95	0.80	0.50	

### 2.5 确定评价指标权重

耕地地力评价是多种因素综合作用的结果,不仅每一种因素对地力的影响是复杂的,而且各因素之间相互制约相互影响,各指标的重要性是由秦都区的实际情况和经验来确定<sup>[13]</sup>,为了增加赋值的科学性,降低主观性,采用层次分析法确定各评价指标的重要

性<sup>[14]</sup>。通过建立层次结构、构造判断矩阵、层次单排序、层次总排序及其一致性检验得到秦都区 12 个评价指标的权重(表 3)。其中地貌类型、土壤类型、有机质、碱解氮、有效磷、灌溉能力指标的权重值较高,为影响该区耕地地力的主要因素。

表 3 秦都区耕地地力评价指标权重

目标层 a	准则层 b		指标层 c		组合权重
耕地地力	立地条件 $b_1$	0.1411	坡度 $c_1$	0.2500	0.0353
			地貌类型 $c_2$	0.7500	0.1058
			土壤类型 $c_3$	0.4713	0.1240
	土壤性质 $b_2$	0.2630	土壤质地 $c_4$	0.2584	0.0680
			土壤结构 $c_5$	0.1351	0.0355
			土体构型 $c_6$	0.1351	0.0355
			有机质 $c_7$	0.4231	0.1924
	土壤养分 $b_3$	0.4547	碱解氮 $c_8$	0.2272	0.1033
			有效磷 $c_9$	0.2272	0.1033
			速效钾 $c_{10}$	0.1225	0.0557
			灌溉能力 $c_{11}$	0.6667	0.0941
	土壤管理 $b_4$	0.1411	农田基础设施 $c_{12}$	0.3333	0.0470

2.6 计算耕地地力综合指数与分级

利用加法模型计算耕地地力综合指数 (IFI), 公式如下:

$$IFI = \sum F_i \times C_i \quad (i=1,2,3,\cdots,n)$$

式中:IFI——(Integrated Fertility Index)耕地地力指数; $F_i$ ——第  $i$  个因素的隶属度; $C_i$ ——第  $i$  个因素的组合权重。用样点数与耕地地力综合指数制累积频率曲线图,根据样点分布频率,将秦都区耕地分为四级(表 4)。

表 4 秦都区耕地地力等级划分

等级	一级	二级	三级	四级
IFI	$IFI \geq 0.75$	$0.65 \leq IFI < 0.75$	$0.55 \leq IFI < 0.65$	$IFI < 0.55$

3 结果与分析

3.1 地力等级空间分布及主要属性分析

秦都区耕地地力评价结果见表 5。由此可见,该区耕地质量好,生产力水平高,一、二级的优质耕地所占比超过 90%,其中一级地面积占耕地总面积的一半以上,二级地接近 40%;质量较差的耕地所占比不到 10%,其中劣质的四级地仅为 0.85%。一级地主要分布在地势较平坦的黄土台塬和一级阶地上,分别占一级地总面积的 54.96%和 26.05%,该区地面平坦,土体深厚,土质好,土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾等主要养分含量高,肥力水平高,且灌溉条件和农田基础设施配套,生产性能高;二级地主要分布在黄土台塬上,占二级地总面积的 74.58%,该区地形平缓,坡度较小,土体较厚,养分含量较为丰富,无明显的障碍层次,但部分地块无灌溉条件或水源不足,灌溉保证率低,生产性能有所降低;三级地与一级地具有相似的分布特征,但相反一级阶地要多于黄土台塬,分别占三级地总面积的 46.66%和 25.00%,该区地形平坦,土壤理化性状较好,但由于

土壤肥力较低,土壤中的各种障碍因素对农业生产影响较大和部分耕地无灌溉能力,降低了耕地生产力;四级地仅分布在一级阶地和河漫滩上,其中一级阶地上分布 61.16%,地处河漫滩,土壤质地偏砂,漏水漏肥,结构松散,易受洪涝灾害威胁,生产性能较低。

3.2 地力等级行政区域分布分析

将耕地地力等级分布图与行政区划图叠置分析。由此可知,一级地主要集中在钓台、双照、渭滨和马庄,占一级地的 89.57%,其中双照一级地分布面积较多,占一级地总面积的 35.68%;二级地主要集中在双照和马庄,占二级地总面积的 74.34%,其中双照占 37.91%;三级地主要集中在马庄、渭滨和沣东,占三级地的 74.23%,其中沣东占 40.40%;四级地只分布在陈杨寨和沣东,其中沣东占 53.46%。全区各街道(镇)中,双照、钓台、马泉和渭阳西路的耕地地力水平较高,而沣东耕地地力水平最差。双照一、二级的优质耕地占本地耕地总面积的 98.78%;钓台和马泉也都达到 97%以上,其中钓台一级耕地占本地耕地总面积的 72.87%;渭阳西路虽耕地面积较少,但其全部为一级耕地;沣东质量较差的耕地面积达到本地耕地总面积的一半以上。

4 结论与讨论

(1) 本研究以关中平原市区耕地作为评价对象,通过 GIS 强大的数据处理和分析功能,统一管理耕地地力等级划分过程中的空间数据和属性数据,实现评价单元的自动划分,自动批量数值计算,与传统的耕地资源调查研究相比,既提高了工作效率,又可以方便快捷地更新耕地资源信息库;GIS 技术和现代统计分析技术相结合,完全依据耕地的属性要素进行评价,获得的结果不仅提高了耕地地力评价结果的精

度,克服了凭经验确定分级指数主观方法的弊端,而且准确地反映耕地的地力等级差异及耕地地力的空间分布和空间差异,为关中平原市区耕地地块的有效保护、合理利用和提高耕地地力提供了理论依据。

表 5 研究区各乡镇各等级耕地面积

街道	项目	合计	地力等级			
			一级	二级	三级	四级
面积总计所占比例	面积/hm <sup>2</sup>	16518.32	8602.12	6561.09	1214.82	140.30
	比例/%	100	52.08	39.72	7.35	0.85
陈杨寨街道	面积/hm <sup>2</sup>	378.56	172.16	15.10	126.02	65.29
	比例%	2.29	45.48	3.99	33.29	17.25
钓台街道	面积/hm <sup>2</sup>	2509.94	1828.96	609.01	71.97	—
	比例%	15.19	72.87	24.26	2.87	—
沣东街道	面积/hm <sup>2</sup>	1016.5	261.15	189.61	490.74	75.01
	比例%	6.15	25.69	18.65	48.28	7.38
古渡街道	面积/hm <sup>2</sup>	231.14	67.54	133.83	29.77	—
	比例%	1.40	29.22	57.90	12.88	—
马泉街道	面积/hm <sup>2</sup>	689.94	383.73	289.55	16.67	—
	比例%	4.18	55.62	41.97	2.42	—
马庄镇	面积/hm <sup>2</sup>	4378.95	1754.26	2390.16	234.54	—
	比例%	26.51	40.06	54.58	5.36	—
双照街道	面积/hm <sup>2</sup>	5625.04	3069.12	2487.32	68.60	—
	比例%	34.05	54.56	44.22	1.22	—
渭滨街道	面积/hm <sup>2</sup>	1672.46	1052.21	443.75	176.50	—
	比例%	10.12	62.91	26.53	10.55	—
渭阳西路街道	面积/hm <sup>2</sup>	12.87	0.13	—	—	—
	比例%	0.08	100	—	—	—
吴家堡街道	面积/hm <sup>2</sup>	2.91	0.0013	0.03	—	—
	比例%	0.02	4.44	95.56	—	—

(2) 参评因子的选择及其权重确定方法是耕地地力评价的核心问题,参评因子的选择将直接关系到耕地地力评价的结果。本研究根据研究区的地理位置、地形地貌和当地实际情况,综合选取立地条件、土壤性质、肥力状况、土壤管理 4 方面 12 项对耕地地力影响比较大、区域内变异明显、在时间序列上具有相对稳定性、与农业生产有密切关系的参评因子,数理统计与专家知识相结合选取参评因素的方法,建立起的耕地地力评价指标体系,更能准确地反映耕地的地力等级差异,使评价结果更具综合性和客观性。对关中平原地区的耕地地力评价具有一定的指导意义和实用价值。

(3) 研究区耕地地力等级可分为 4 级,以一级地和二级地为主,其中一级地面积占 52.08%,二级地占 39.72%,该地区耕地地力水平较高,全年粮食平均产量一般在 10 000~13 000 kg/hm<sup>2</sup>。应增施有机肥料,改善土壤结构,提高土壤抗旱保肥和供肥能力,并建立合理的轮作制度和科学的施肥制度等措施进一步提高耕地综合生产能力。

参考文献:

[1] 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):250-254.

[2] 刘京,常庆瑞,陈涛,等. 黄土高原南缘土石山区耕地地力评价研究[J]. 中国生态农业学报,2010,18(2):229-234.

[3] 王良杰,赵玉国,郭敏,等. 基于 GIS 与模糊数学的县级耕地地力质量评价研究[J]. 土壤,2010,42(1):131-135.

[4] 袁秀杰,赵庚星,朱雪欣. 平原和丘陵区耕地地力评价及其指标体系衔接研究[J]. 农业工程学报,2008,24(7):65-71.

[5] 林碧珊,汤建东,张满红. 广东省耕地地力等级研究与评价[J]. 生态环境,2005,14(1):145-149.

[6] 张海涛,周勇,汪善勤,等. 利用 GIS 和 RS 资料及层次分析法综合评价江汉平原后湖地区耕地自然地力[J]. 农业工程学报,2003,19(2):219-223.

[7] 韩会庆,蔡广鹏,张凤太,等. 基于 GIS 的喀斯特地区耕地质量评价:以贵州省绥阳县为例[J]. 水土保持研究,2011,18(6):129-131.

- 探讨[J]. 气象学报, 2010, 60(2): 277-284.
- [10] 罗敬宁, 郑新江, 朱福康, 等. 中国沙尘暴发生的气象危险度研究[J]. 中国沙漠, 2011, 31(1): 185-198.
- [11] 李锦荣. 基于 RS 和 GIS 的沙尘暴灾害风险评价研究: 以内蒙古锡林郭勒盟为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [12] 武健伟, 李锦荣, 孙涛, 等. 锡林郭勒地区沙尘暴气候致灾因子危险性评价[J]. 干旱区研究, 2011, 20(6): 936-943.
- [13] 李宁, 杜子璇, 刘忠阳. 沙尘暴发生过程中的风速和土壤湿度变化[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 28-30.
- [14] Mc Tainsh G H. Climatic controls upon dust storm occurrence in eastern Australia[J]. Journal of Arid Environments, 1998, 39(3): 457-466.
- [15] 顾卫, 蔡雪鹏, 谢峰, 等. 植被覆盖与沙尘暴日数分布关系探讨: 以内蒙古中西部地区为例[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 273-277.
- [16] 顾卫, 蔡雪鹏, 李彰俊, 等. 内蒙古中西部地区沙尘暴日数分布的地貌特征[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(4): 131-136.
- [17] 郭妮, 张杰, 韩涛, 等. 西北特殊地形与沙尘暴发生的关系探讨[J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 576-581.
- [18] 李彰俊, 李宁, 顾卫, 等. 内蒙古中西部地区土壤水分对沙尘暴的贡献[J]. 地球科学进展, 2005, 20(1): 24-28.
- [19] 郝璐, 李彰俊, 郭瑞清. 冬春季积雪与沙尘天气发生日数关系的探讨: 以内蒙古中部地区为例[J]. 中国沙漠, 2006, 26(5): 797-801.
- [20] 杜子璇, 李宁, 刘忠阳, 等. 层次分析法在下垫面因子影响沙尘暴危险度研究中的应用[J]. 干旱区地理, 2007, 30(2): 184-188.
- [21] 樊运晓, 罗云, 陈庆寿. 区域承灾体脆弱性评价指标体系研究[J]. 现代地质, 2001, 15(1): 113-116.
- [22] 樊运晓, 高朋会, 王红娟. 模糊综合评判区域承灾体脆弱性的理论模型[J]. 灾害学, 2003, 18(3): 20-23.
- [23] 樊运晓, 罗云, 陈庆寿. 区域承灾体脆弱性综合评价指标权重的确定[J]. 灾害学, 2001, 16(1): 85-87.
- [24] 叶宗裕. 关于多指标综合评价中指标正向化和无量纲化方法的选择[J]. 浙江统计, 2005, (4): 24-25.
- [25] 韩胜娟. SPSS 聚类分析中数据无量纲化方法比较[J]. 科技广场, 2008(3): 229-231.
- [26] 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): 33-36.
- [27] 陈松林, 王天星. 等间距法和均值—标准差法界定城市热岛的对比研究[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(2): 145-150.
- [28] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006.
- [29] 杜娟, 何飞, 史培军. 湘江流域洪水灾害综合风险评价[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 38-44.

(上接第 107 页)

- [4] 方向京, 李贵祥, 张正海. 滇东北不同退耕还林类型生物生产量及水土保持效益分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(5): 229-232.
- [5] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 149-152.
- [6] 杨建波, 王利. 退耕还林生态效益评价方法[J]. 中国土地科学, 2003, 17(5): 54-58.
- [7] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1986.
- [8] 魏强, 柴春山. 半干旱黄土丘陵沟壑区小流域水土流失治理综合效益评价指标体系与方法[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 87-89.
- [9] 古丽努尔·沙布尔哈孜, 尹林克, 热合木都拉·阿地拉, 等. 塔里木河中下游退耕还林还草综合生态效益评价: 以新疆生产建设兵团农二师 33 团为例[J]. 干旱区研究, 2004, 21(2): 161-165.
- [10] 张勇, 李有华, 杜轶, 等. 区域退耕还林(草)工程综合效益评价研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(6): 108-111.
- [11] 任春燕. 基于层次分析法的纸坊沟流域农业生态系统效益评价[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 214-217, 222.
- [12] 姚清亮. 河北省退耕还林工程效益评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009: 43-44.
- [13] 闫德仁, 薛英英, 韩凤杰, 等. 沙漠生物土壤结皮国外研究概况[J]. 内蒙古林业科技, 2007, 33(1): 39-40.

(上接第 112 页)

- [8] 吴立忠, 郭世乾, 张保田. 基于 GIS 的黄土高原丘陵沟壑区的耕地地力评价研究: 以天水市麦积区耕地地力评价为例[J]. 中国农业资源与区划, 2009, 30(6): 35-41.
- [9] 陈颖, 吴柏清, 邹卓阳, 王广杰. 基于 GIS 的土地适宜性评价: 以四川省马尔康县为例[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 100-103.
- [10] 傅伯杰. 土地评价的理论和实践[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991.
- [11] 戴旭. 农业土地评价的理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [12] 庄锁法. 基于层次分析法的综合评价模型[J]. 合肥工业大学学报, 2000, 23(4): 582-590.
- [13] 农肖肖, 何政伟, 吴柏清. ARCGIS 空间分析建模在耕地质量评价中的应用[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1): 234-236.
- [14] 王蓉芳, 曹富友, 彭世琪, 等. 农业部行业标准: 全国耕地类型区、耕地地力等级划分[R]. 1996.