

基于 GIS 的铜川市印台区耕地地力评价研究

侯 浩, 常庆瑞*

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 基于 GIS 技术, 根据印台区耕地第 2 次土壤普查资料和“测土配方施肥”采样调查分析结果, 利用县域耕地资源管理信息系统, 对铜川市印台区耕地地力进行了定量评价分级。结果表明, 印台区总耕地面积为 19 177.85 hm², 占总土地面积的 31.50%; 其中一级地、二级地、三级地、四级地和五级地的面积分别为 3 692.66、4 991.53、2 644.04、6 568.90 hm² 和 1 280.72 hm², 质量较低的四、五级地占地比例很高, 达 40% 以上; 地力水平整体处于国家标准的中等偏下等级。影响耕地地力水平的主要限制因子是地形起伏较大、地块分布散碎, 缺乏灌溉条件和基础设施较差; 今后应加强有限耕地资源的保护, 大力开展土地整理, 兴建水利工程, 完善基础设施建设, 建成一定数量的高标准基本农田。

关键词: 耕地地力; 定量评价; GIS; 空间分布

中图分类号: S158.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2014)05-0169-07

Evaluation of the Farmland Productivity of Yintai District in Tongchuan City Based on GIS

HOU Hao, CHANG Qing-rui*

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The farmland productivity in Yintai District was assessed and classified based on "county arable land management information system", information collected in the second national soil survey, and the analysis results from the balanced fertilization on soil testing. The results showed that the total cultivated area of Yintai district was 19 177.85 hm², accounting for 31.50% of the total land area. The areas of the 1st, 2nd, 3rd, 4th and 5th grade cultivated land were 3 692.66, 4 991.53, 2 644.04, 6 568.90 and 1 280.72 hm², respectively. The 4th and 5th grade cultivated land with poor quality accounted a large proportion (over 40%). Soil fertility quality in the whole district was in lower-middle level according to national standard. The main limiting factors influencing the soil fertility were the undulating terrain, scattered land distribution, lack of irrigation condition, and poor infrastructure. Related countermeasures were proposed, such as to strengthen the protection of limited land resources, vigorously carry out land consolidation and the construction of water conservancy projects, improve infrastructure construction, and build basic farmland with high standard.

Key words: cultivated land capacity; quantitative assessment; GIS; spatial distribution

耕地作为人类赖以生存的重要资源, 对保持国家粮食安全的可持续发展具有十分重大的战略意义^[1]。耕地地力指的就是耕地的基础地力, 它是在一个特定区域内的特定土壤类型上, 耕地的立地条

件、自然环境条件、农田基础设施及耕作者培养施肥管理水平等因素综合构成的^[2]。耕地保护的基础就是对耕地进行地力评价, 它不仅能够评价和估量耕地的地力水平, 而且对合理地利用耕地, 加快农业结

收稿日期: 2014-03-11 修回日期: 2014-04-21

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 项目)(2007CB407203); 国家自然科学基金项目(30872073)。

作者简介: 侯浩, 男, 硕士研究生, 研究方向: 遥感与 GIS 技术应用。E-mail: hou_mu@163.com

* 通信作者: 常庆瑞, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 资源环境与 3S 技术应用。E-mail: changqr@nwafu.edu.cn

构的调整和农田的可持续利用都具有非常重大的实践意义。

近些年来,关于耕地地力评价方面的研究,国内外进行了大量的工作^[3-14],专家学者应用 GIS(Geographical information system)技术和现代统计理论,提出了许多不同的评价方法。铜川市位于黄土高原与关中平原过渡区,地貌类型复杂多样,地力差异明显,了解掌握该地区土地的肥力状况,准确评价其地力水平,对当地农业生产规划管理具有十分重要的指导意义,同时也可为同类地区耕地地力评价提供参考依据。为此,本研究基于 GIS 技术,采用层次分析法(Analytic hierarchy program, AHP)、模糊综合评价法(Fuzzy comprehensive evaluation method)、特尔斐法相结合的方法,对研究区的耕地地力进行评价和估量,并且根据评价结果对各等级耕地的可持续利用提出了一些合理开发利用建议。

1 研究区概况与数据资料

1.1 研究区概况

铜川市印台区地处陕西省中部关中平原与陕北黄土高原过渡地带,108°51'—109°27'E,34°51'—35°22'N,东西长 64.5 km,南北宽 44.8 km。全区总面积 608.7 km²,辖 7 个镇 3 个街道办事处,106 个行政村,387 个村民小组,23 个社区,总人口 23.8 万人(其中:农业人口 9.5 万人)。印台区属暖温带大陆性半湿润季风气候,四季分明,光热适中,气候温和,光照时间长,昼夜温差大。年日照 2 379.10 h,年平均气温 10.6℃,夏季平均气温 22.3℃,无霜期 182 d,年降水 649.2 mm。印台区土层深厚,植被良好,植被覆盖率 31.57%,野生动植物品种繁多,粮食作物主要有小麦、玉米等,经济作物有花椒、烟草、油料、苹果、药材等,是全国苹果最佳适生区之一。

1.2 数据资料及数据库建立

耕地地力评价的质量好坏取决于用数评价的数据质量^[15]。本研究的数据是由属性数据和空间数据两大类来组成。属性数据主要包括《铜川土壤》、全国第二次土壤普查的相关资料、2008—2011 年研究区实施的“测土配方施肥”项目中所采集的 2 319 个土壤样品,分别对每个土壤样品的 pH、速效钾、碱解氮、有效磷和有机质进行分析化验,通过统一的测土配方施肥数据录入软件,经过筛选后进行分类,最后整理完成后建立属性数据库。空间数据主要是将 1:50 000 地貌类型分区图、地形图、土壤类型图(土种)、土地利用现状图和行政区划图(村级)等图件利用 ArcGIS9.3 软件进行图件数字化、图形编

辑、坐标转换和图幅拼接等一系列处理,然后将得到的数字地图以 shape 格式存入到矢量数据库,再将采样点位图插值后得到栅格数据后存入栅格数据库,最终建立空间数据库。

2 评价程序与方法

2.1 技术流程

耕地地力评价从最初收集整理数据,然后建立数据库(属性数据和空间数据),一直到最后编制专题图和撰写报告,具有一套完整的流程,具体见图 1。

2.2 评价单元的划分

将行政区划图(村级)、土地利用现状图和土壤类型图(土种)3 个图层进行叠置,然后按照相邻村相同合并较小单元格后形成评价单元图斑,每一个评价单元都具有相同的土地利用类型和土壤类型(土种),隶属于同一个村,这样不仅为下一步的评价工作奠定了坚实的基础,而且也便于耕地的利用与管理。全区最终共划分了 4 036 个评价单元。

2.3 评价指标的选取及其权重的确定

影响最终评价结果准确性和科学性的关键性步骤是评价指标的选取^[16]。本研究在遵循重要性、差异性、稳定性、易获取、精简性原则的基础之上,针对印台区的具体实际情况,根据该领域专家的经验和定量评价意见,最终选取立地条件(坡度、海拔、地貌类型)、土壤肥力状况(碱解氮、速效钾、有效磷、有机质)、土壤剖面组成(质地、土壤结构、土体构型)、基础设施(灌溉能力、农田基础设施)等 4 个方面 12 个参评因素作为铜川市印台区耕地地力的评价指标。

评价指标权重的确定采用层次分析法(Analytic hierarchy program, AHP),通过建立层次结构模型、构造判断矩阵、层次排序及其一致性检验,得到印台区 12 个评价指标的组合权重(表 1)。

2.4 隶属函数建立与数据标准化处理

确定评价指标体系后,必须对评价指标进行标准化处理。因为单因素指标间的数据量纲和数据类型不同,对耕地地力的影响程度不能直接用单因素指标来衡量,选择模糊数学的理论方法评价单因素指标,其中对于数值型指标,运用特尔斐法和模糊评价法,通过隶属函数拟合方法,建立各指标的隶属函数(表 2),式中 C 为标准指标值, U_1 为指标下限值, U_2 为指标上限值;对于概念型指标,采用专家打分法直接给出隶属度(表 3)。根据表 2、表 3 计算出每一个评价单元各指标的评分值。

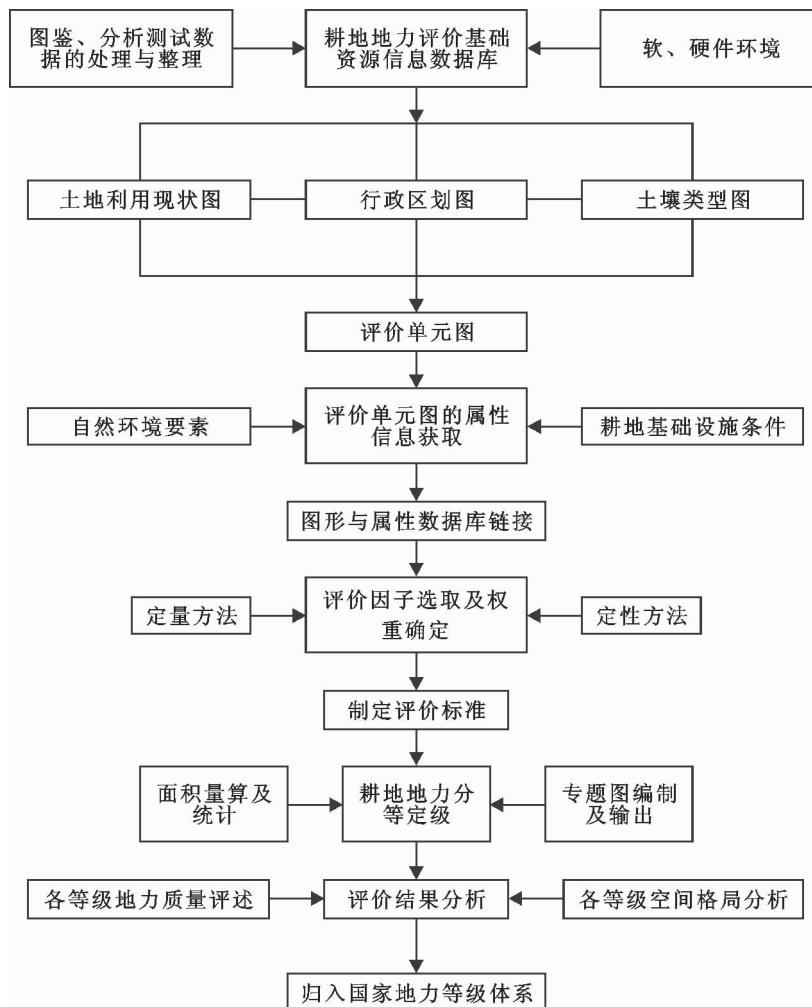


图1 耕地地力评价流程图

Fig. 1 Process of farmland productivity evaluation

表1 铜川市印台区评价指标层次分析结果

Table 1 Analysis of evaluation index order in Yintai District of Tongchuan City

目标层		耕地地力				组合权重 $\sum B_i C_j$
准则层		B ₁ 0.454 7	B ₂ 0.263 0	B ₃ 0.141 1	B ₄ 0.141 1	
立地条件 B ₁	地貌类型(C ₁)	0.539 0				0.245 1
	坡度(C ₂)	0.297 3				0.135 2
	海拔(C ₃)	0.163 8				0.074 5
剖面构成 B ₂	质地(C ₄)		0.539 0			0.141 8
	土壤结构(C ₅)		0.163 8			0.043 1
	土体构型(C ₆)		0.297 3			0.078 2
肥力状况 B ₃	有机质(C ₇)			0.423 1		0.059 7
	碱解氮(C ₈)			0.227 2		0.032 1
	有效磷(C ₉)			0.122 5		0.017 3
	速效钾(C ₁₀)			0.227 2		0.032 1
基础设施 B ₄	灌溉能力(C ₁₁)				0.750 0	0.105 8
	农田基础设施(C ₁₂)				0.250 0	0.035 3

2.5 地力等级确定

利用加法模型计算各评价单元图斑的耕地地力

综合指数 IFI(Integrated Fertility Index), 具体计算公式如下^[17]:

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

式中, F_i 指的是第 i 个评价指标的评分值, C_i 指的是第 i 个评价指标的权重。

最后,采用累积频率曲线分级法确定耕地地力等级的划分标准(表 4),将印台区所有评价单元归入相应的耕地地力等级,得到评价结果。

表 2 铜川市印台区数值型评价指标隶属函数

Table 2 Membership functions of numerical evaluation indexes in Yintai District of Tongchuan City

函数类型	评价指标	隶属函数	C	U_1	U_2
戒上型	有机质	$Y=1/[1+0.023\ 126*(u-c)^2]$	19.841 301	0.11	19.841 301
戒上型	碱解氮	$Y=1/[1+0.001\ 750*(u-c)^2]$	66.455 352	-5.26	66.453 52
戒上型	有效磷	$Y=1/[1+0.008\ 256*(u-c)^2]$	23.290 471	-9.73	23.290 471
戒上型	速效钾	$Y=1/[1+0.000\ 073*(u-c)^2]$	283.217 127	-67.91	283.217 127
直线型	海拔	$Y=1.778\ 379-0.000\ 956*x$		814.204	1 860.229 079
直线型	坡度	$Y=0.962\ 941-0.034\ 240*x$		-1.082 33	28.123 276

表 3 铜川市印台区概念型评价指标隶属度

Table 3 Membership of conceptual evaluation indexes in Yintai District of Tongchuan City

评价指标			评价指标描述及隶属度						
地貌类型	描述		河谷阶地			黄土台塬		土石山地	
	隶属度	1	0.8	0.4					
灌溉能力	描述		能灌	可灌	无灌				
	隶属度	0.8	0.6	0.3					
土壤结构	描述		团粒	微团粒	团块状	核状	块状	棱柱状	
	隶属度	1	0.95	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4	
农田基础设施	描述		配套	不配套					
	隶属度	0.8	0.5						
质地	描述		中壤土	重壤土	轻壤土	黏壤土	黏土		
	隶属度	1	0.9	0.85	0.6	0.4			
土体构型	描述		A-P-B-C	A-B-C	A-BC-C	A-C	AC-C	C	
	隶属度	1	0.95	0.9	0.7	0.5	0.4		

表 4 铜川市印台区耕地地力等级标准

Table 4 Productivity grade standard of farm land for Yintai District of Tongchuan City

地力等级	一级地	二级地	三级地	四级地	五级地
IFI	$IFI \geq 0.75$	$0.675 \leq IFI < 0.75$	$0.6 \leq IFI < 0.675$	$0.525 \leq IFI < 0.6$	$IFI < 0.525$

3 结果与分析

3.1 耕地地力等级的数量结构

在 ArcGIS9.3 软件的平台上,统计计算评价结果图的属性数据,得到研究区各等级耕地的面积。印台区总耕地面积为 $19\ 177.85\text{ hm}^2$,占总土地面积的 31.50%,其中质量较好的一、二级地占耕地面积

的 45.28%,中等质量的三级地占耕地面积较少,为 13.79%,质量较差的四、五级地占耕地面积的比例很高,达到 40.93%。按照农业部颁布的“全国耕地类型区、耕地地力等级划分”农业行业标准,该地区耕地地力的质量处于中等偏下水平,位于国家标准等级的 4~8 等地之间(表 5)。

表 5 耕地地力评价分级统计

Table 5 Statistical classification of farmland productivity evaluation

地力等级	一级地	二级地	三级地	四级地	五级地
面积/ hm^2	3 692.66	4 991.53	2 644.04	6 568.90	1 280.72
国家标准等级	四等地	五等地	六等地	七等地	八等地
产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	9 000~10 500	7 500~9 000	6 000~7 500	4 500~6 000	3 000~4 500

3.2 耕地地力的空间分布及利用建议

由图 2、表 6 可知,一级地集中分布在东部的黄土台塬和河谷阶地上,以阿庄镇、高楼河镇和红土镇为主。该级耕地地势平坦,坡度小,平均坡度为 5.47° ,海拔较低,平均海拔为 976.98 m;土壤主要

以黄绵土、褐土和黑垆土为主,土壤养分(碱解氮、速效钾、有效磷、有机质)含量相对比较丰富。存在的主要问题是灌溉渠系、基础设施不完全配套。今后应努力建设成为高产高效的基本农田,切实保护其不被建设用地所占用。

二级地分布在中部的黄土台塬区,少数分布在河谷阶地上,红土镇、印台镇和广阳镇是其集中的区域。该级地地势相对比较平缓,坡度不是很高,平均坡度 14.22° ,平均海拔1 018.62 m;土壤类型以黄绵土和褐土为主,土壤肥力比一级地低。存在的主

要问题是无灌溉条件,农田基础设施不配套,土壤理化性质较差。今后应根据立地条件,发展灌溉条件,注意改良培肥,为了持续区域农业生产的稳定发展,也应该约束建设用地的征用。

表6 铜川市印台区乡镇耕地地力等级统计

Table 6 Administrative distribution of productivity grades of farm land for Yintai District of Tongchuan City

乡镇名称	合计	一级地	二级地	三级地	四级地	五级地
高楼河	1 999.00	783.41	539.36	176.30	423.75	76.19
三里洞	5.91	2.21	1.99	1.71	—	—
印台	2 127.06	311.79	1 194.30	440.57	134.11	46.30
城关	50.52	37.60	12.92	—	—	—
广阳	1 976.48	250.83	956.55	322.85	313.57	132.68
王石凹	772.01	—	—	19.75	594.29	157.97
红土	3 200.94	576.00	1 336.23	371.55	704.22	212.95
金锁关	3 469.63	78.87	173.69	688.71	2 216.35	312.02
阿庄	2 522.29	1 566.81	649.14	49.32	246.78	10.23
陈炉	3 054.01	85.15	127.36	573.28	1 935.83	332.39
全区总计	19 177.85	3 692.66	4 991.53	2 644.04	6 568.90	1 280.72

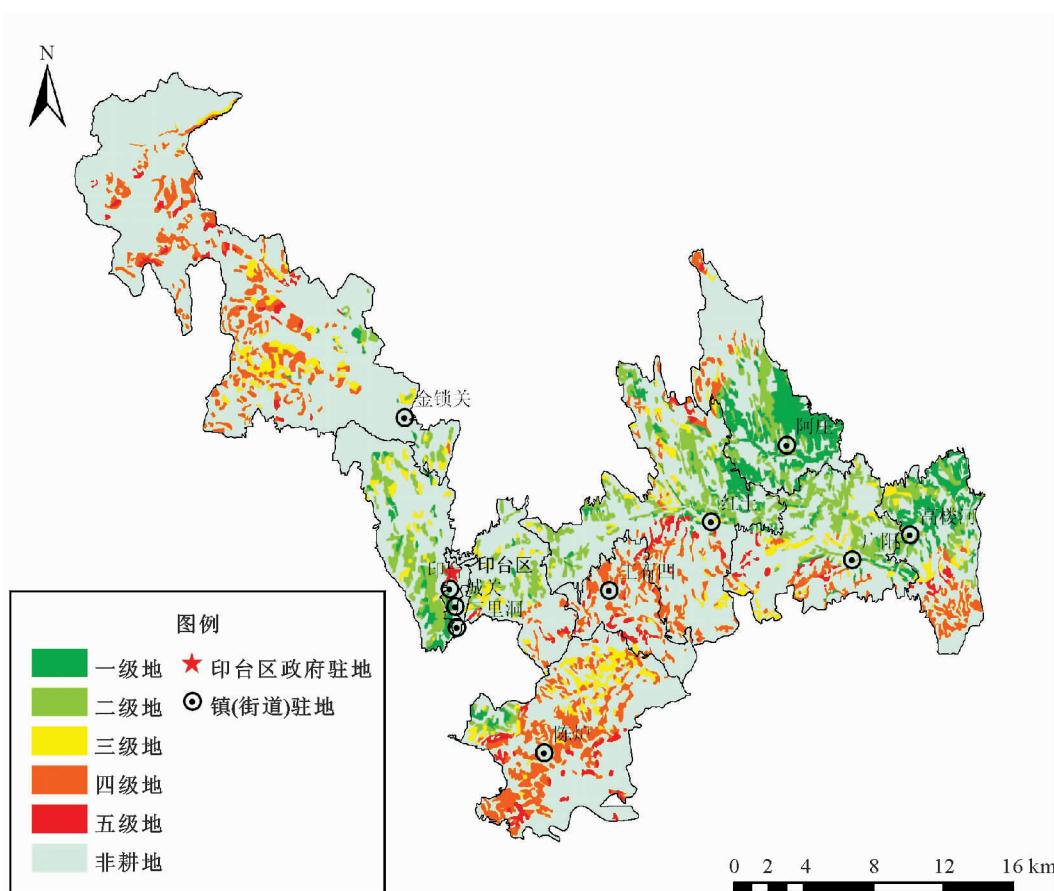


图2 铜川市印台区耕地地力等级

Fig. 2 Map of productivity grade of farmland in Yintai District of Tongchuan City

三级地主要集中在金锁关镇、陈炉镇和印台镇,全部分布在土石山地和黄土台塬区。该级地地势起伏较大,坡度较陡,平均坡度为 15.58° ,平均海拔为1 087.50 m;土壤类型主要是褐土和黄绵土,土壤理化性质较好,但生产性能较低,这是由于随着坡度的

增大,水土流失也逐渐增强,土壤养分含量也有所降低。建议该级土地今后应大力开展土地整理工程,进行路网、林带等基础设施建设,培肥、改良土壤性质,不断提高耕地的地力水平。

四级地是该区面积最大的耕地,超过总耕地面

积的 1/3,集中分布在金锁关镇和陈炉镇。地貌类型以土石山地区为主,极少量位于黄土台塬区,平均海拔 1 192.41 m,平均坡度为 16.53°,土壤类型主要为褐土和黄绵土。随着海拔和坡度的增大,水土流失比三级地更加严重,土壤质量一般,建议该级耕地应科学施肥,以改良土壤性质(土壤质地、土壤结构、土体构型),尽可能地提高土壤养分含量和土壤肥力水平。

五级地面积较小,主要集中在陈炉镇、金锁关镇和红土镇的土石山地区。立地条件相当恶劣,地面崎岖起伏,地块破碎,切割明显,坡度一般超过 20°,平均海拔为 1 156.80 m,土壤类型主要为新积土。该级地由于坡度大,容易发生水土流失,土壤养分含量低,生产性能很差。建议该级耕地在开发利用过程中必须加强水土资源保护,防止土壤侵蚀发生;对于坡度>25°的耕地应逐步退耕还林还草。

4 结论

以陕西省铜川市印台区作为评价对象,应用 GIS 技术,采用层次分析法(Aalytic hierarchy program, AHP)、模糊综合评价法(Fuzzy comprehensive evaluation method)和特尔斐法相结合的方法对研究区的耕地地力作出了评价和估量,印台区总耕地面积为 19 177.85 hm²,占总土地面积的 31.50%;其中 1 级地 3 692.66 hm²,2 级地 4 991.53 hm²,3 级地 2 644.04 hm²,4 级地 6 568.90 hm²,5 级地 1 280.72 hm²,耕地地力位于国家标准的中等偏下水平。

评价单元由行政区划图(村级)、土地利用现状图和土壤类型图(土种)3 个图层进行叠置获得。因此每一个评价单元都具有相同的土地利用类型和土壤类型(土种),隶属于同一个行政村,便于评价结果在生产实践中的推广应用,及其耕地资源的利用与管理。

针对印台区的具体实际,依据专家经验知识和数理统计方法,选取土壤肥力(碱解氮、速效钾、有效磷、有机质)、立地条件(坡度、海拔、地貌类型)、土壤剖面组成(质地、土壤结构、土体构型)、土壤管理(灌溉能力、农田基础设施)等 4 个方面 12 个参评因素,建立了适用于黄土高原与关中平原过渡区的耕地地力评价指标体系。

印台区耕地地力等级的分布与当地的地貌类型、海拔高度、坡度等有着密切的关系,随着地势由平缓的河谷阶地过渡为海拔较高、坡度较大的土石山地,耕地质量愈来愈低,地力等级从一级降到五级。

参考文献:

- [1] 徐盛荣. 土地资源评价[M]. 北京:高等教育出版社, 1993: 306-334.
XU S R. Appraisement of land resource [M]. Beijing: Higher Education Press, 1993: 306-335. (in Chinese)
- [2] 李涛. 山东省耕地类型区划分及地力评价研究[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2003, 34(2): 217-222.
LI T. Cultivated land type classification and productivity evaluation of Shandong Province [J]. Journal of Shandong Agricultural University: Nat. Sci. Edi., 2003, 34(2): 217-222. (in Chinese)
- [3] 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[J]. 中国农业资源与区划, 2009, 30(6): 35-41.
WU L Z, GUO S Q, ZHANG B T. Studies on evaluation of arable land power in hilly gully regions of loess plateau based on GIS [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2009, 30(6): 35-41. (in Chinese)
- [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.
YUAN X J, ZHAO G X, ZHU X X. Linkage of evaluation index system for cultivated land fertility evaluation in plain and hill regions [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(7): 65-71. (in Chinese)
- [5] 王瑞燕, 赵庚星, 李涛, 等. GIS 支持下的耕地地力等级评价[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 307-310.
WANG R Y, ZHAO G X, LI T, et al. GIS supported quantitative evaluation of cultivated land fertility [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 307-310. (in Chinese)
- [6] 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.
LIN B S, TANG J D, ZHANG M H. Valuation of cropland capacity classes in Guangdong [J]. Ecology and Environment, 2005, 14(1): 145-149. (in Chinese)
- [7] 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.
ZHUANG S F. Study of synthetic evaluation model based on Analytical Hierarchy Process [J]. Journal of Hefei University of Technology, 2000, 23(4): 582-590. (in Chinese)
- [8] 李铮, 王晋民, 王海景. 耕地地力调查成果在耕地资源合理配置方面的探索与应用[J]. 山西农业科学, 2006, 34(1): 16-18.
LI Z, WANG J M, WANG H J. Approach and application of soil fertility investigation result in plantation resource reasonable configuration [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2006, 34(1): 16-18. (in Chinese)
- [9] 鲁明星, 贺立源, 吴礼树, 等. 基于 GIS 的华中丘陵区耕地地力评价研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 96-101.
LU M X, HE L Y, WU L S, et al. Evaluation of the farmland productivity of hilly region of central China based on GIS [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(8): 96-101. (in Chinese)
- [10] 李贤胜, 叶军华, 杨平, 等. 基于 GIS 的广德县耕地地力定

- 量评价[J]. 土壤, 2009, 41(3): 490-494.
- LI X S, YE J H, YANG P, et al. Quantitative assessment of cultivated-land capacity in Guangde County based on GIS [J]. Soils, 2009, 41(3): 490-494. (in Chinese)
- [11] 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.
- LIU J, CHANG Q R, CHEN T, et al. Evaluation of farm-land productivity on the earth and rocky area of the South Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(2): 229-234. (in Chinese)
- [12] 季菲菲, 吉文丽, 杨婷, 等. 基于土地适宜性的新农村规划——以高台县侯庄村为例[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(5): 205-210.
- JI F F, JI W L, YANG T, et al. New rural planning based on land suitability—a case study of Houzhuang Village[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(5): 205-210.
- [13] 刘友兆, 王峻, 刘吉军, 等. 地理信息系统支持下的县域耕地分等研究[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(3): 106-110.
- LIU Y Z, WANG J, LIU J J, et al. Study on the gradation of cultivated land at county level with the support of GIS [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2001, 24(3): 106-110. (in Chinese)
- [14] 阴淑婷, 常庆瑞, 李晓明, 等. 基于GIS的耕地土壤速效磷分布特征—以富县为例[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(6): 227-230.
- YIN S T, CHANG Q R, LI X M, et al. Distribution of soil rapidly available phosphorus by GIS—a case study of Fuxian County[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(6): 227-230.
- [15] 王建国, 单艳红, 杨林章. 我国农用地分等定级理论与方法探讨[J]. 农业系统科学与研究, 2002, 18(2): 84-88.
- WANG J G, SHAN Y H, YANG L Z. Theory and method of classification and gradation for farming land in China [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2002, 18(2): 84-88. (in Chinese)
- [16] 彭建, 蒋一军. 我国农用地分等定级研究进展与展望[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(4): 167-170.
- PENG J, JIANG Y J. Research progress and prospect on classification and grading of agricultural land in China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13(4): 167-170. (in Chinese)
- [17] 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.
- ZHANG H T, ZHOU Y, WANG S Q, et al. Natural productivity evaluation of cultivated land based on GIS and RS data in Houhu Farm of Jianghan Plain [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(2): 219-223. (in Chinese)

(上接第128页)

- [10] 任芳, 刘强. 珍珠柴粗提物对13种植物病原菌的抑制活性[J]. 广西植物, 2009, 29(1): 132-135.
- REN F, LIU Q. Antifungal activity against plant pathogens of the extracts from *Salsola passerina* [J]. Guihaia, 2009, 29(1): 132-135. (in Chinese)
- [11] 李玉平, 冯俊涛, 邵红军, 等. 25种菊科植物提取物对3种植物病原菌的药效试验[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(4): 123-126.
- LI Y P, FENG J T, SHAO H J, et al. Bio-activities of extracts from 25 species compositae plants against three kinds of pathogens[J]. Jour. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For. ; Nat. Sci. Edi., 2003, 31(4): 123-126. (in Chinese)
- [12] 柴卫利, 项林平, 王珏, 等. 僵蚕醇提物对林木病原真菌的抑菌作用[J]. 林业实用技术, 2009, 31(4): 33-34.
- [13] 庄世宏, 郝彩琴, 冯俊涛, 等. 小花假泽兰精油超临界CO₂提取工艺及其化学成分和抑菌活性研究[J]. 西北植物学报, 2010, 30(1): 163-169.
- ZHUANG S H, HAO C Q, FENG J T, et al. Supercritical CO₂ extraction method and fungicidal activity of essential oil from *Mikania micrantha* [J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin., 2010, 30(1): 163-169. (in Chinese)
- [14] 林孔勋. 杀菌剂毒理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 67-74.
- [15] 乐海洋. 菊科杀虫植物化学及毒理学[J]. 农药译丛, 1997, 19(3): 32-38.