

# 基于 GIS 的安塞县县南沟流域农用地生态适宜性评价

李茂森<sup>1</sup>, 王继军<sup>1,2</sup>, 陈超<sup>4</sup>, 成思敏<sup>2,3</sup>, 李玥<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 陕西地建土地工程技术研究院, 陕西 西安 710075)

**摘要:**利用立地条件、土壤性质和土地利用状况 3 个方面共 8 个因子构建县南沟流域农用地生态适宜性评价指标体系,采用 AHP 层次分析法和专家打分的方式确定各评价因子的权重,在遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术的支持下,利用适宜性评价模型定量评价流域农用地生态适宜性,将各土地利用类型适宜性划分为 4 个等级,结合各土地利用类型的重要程度与适宜性等级划分流域内农用地各区域的适宜性。结果表明:流域内宜耕宜园地面积为 225.46 hm<sup>2</sup>,占流域总面积的 5.09%;宜耕地面积为 405.68 hm<sup>2</sup>,占 9.17%;宜林宜园地面积为 156.96 hm<sup>2</sup>,占 3.55%;宜园地面积为 773.15 hm<sup>2</sup>,占 17.47%;宜林宜草地面积为 881.43 hm<sup>2</sup>,占 19.91%;宜林地面积为 409.91 hm<sup>2</sup>,占 9.26%;宜草地面积为 1 490.00 hm<sup>2</sup>,占 33.66%;不适宜和非生产用地面积为 83.43 hm<sup>2</sup>,占 1.89%。研究结果可为县南沟流域农用地的合理划分提供科学参考。

**关键词:**县南沟流域;适宜性评价;GIS;农用地划分

中图分类号:S1127

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0237-06

## Ecological Suitability Evaluation of Agricultural Land in Xiannangou Watershed of Ansai Using GIS System

LI Maosen<sup>1</sup>, WANG Jijun<sup>1,2</sup>, CHEN Chao<sup>4</sup>, CHENG Simin<sup>2,3</sup>, LI Yue<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Institute of Land Engineering & Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an, Shaanxi 710075, China)

**Abstract:** Based on the site conditions, soil properties and land use status, 8 factors were used to construct the ecological suitability index system of agricultural land in Xiannangou Watershed. And the weights of each evaluation factor were determined by analytic hierarchy process and expert scoring method. With the support of remote sensing and geographic information system, the suitability evaluation model was used to quantitatively evaluate the ecological suitability of agricultural land, then the land use types were divided into four grades. We combined the importance of land use types and suitability of the classification of agricultural land to divide the agricultural land in the watershed. The results show that the area suits to orchard is 225.46 hm<sup>2</sup>, accounting for 5.09% of the total area; the area only suits to cultivation is 405.68 hm<sup>2</sup>, making up 9.17% of the total area; the area suits to woodland and orchard is 156.96 hm<sup>2</sup>, taking up 3.55% of the total area; the area only suits to orchard is 773.15 hm<sup>2</sup>, accounting for 17.47% of the total area; the area suits to woodland and meadow is 881.43 hm<sup>2</sup>, accounting for 19.91% of the total area; the area only suits to woodland is 409.91 hm<sup>2</sup>, accounting for 9.26% of the total area; the area only suits to meadow is 1 490.00 hm<sup>2</sup>, accounting for 33.66% of the total area. The remaining unsuitable and unproductive area is 83.43 hm<sup>2</sup>, accounting for 1.89% of the total area. These results can provide a scientific reference for the reasonable division of agricultural land in Xiannangou Watershed.

收稿日期:2017-04-06

修回日期:2017-04-25

**资助项目:**国家自然科学基金“基于 CDM 下的陕北退耕区域农业产业—资源系统耦合机制研究”(41571515);国家重点研发计划课题“生态技术评价方法、指标与评价模型开发”(2016YFC0503702);国家重点研发计划项目“黄土高原水土流失治理与生态产业协同发展技术集成与模式”(2016YFC0501707)

**第一作者:**李茂森(1992—),男,四川达州人,硕士研究生,研究方向:水土保持与荒漠化防治。E-mail:461907922@qq.com

**通信作者:**王继军(1964—),男,陕西渭南人,研究员,博士生导师,研究方向:流域生态经济。E-mail:jjwang@ms.iswc.ac.cn

**Keywords:** Xiannangou watershed; suitability evaluation; GIS; agricultural land classification

安塞县县南沟流域作为黄土高原丘陵沟壑区的典型代表,自 1999 年实施退耕还林工程以来草地和林地面积显著增加,生态环境得到了巨大改善。与此同时流域内净碳汇量增量明显<sup>[1-2]</sup>,种植业生态价值也呈稳步递增趋势,流域碳汇产业潜力巨大<sup>[3]</sup>。但实际上县南沟流域内资源并没有得到充分合理利用,资源与产业不相协调现象依然存在<sup>[4-5]</sup>,资源短缺与资源浪费并存,林草产业及相关产业发展滞后使区域的可持续发展受到了严重制约<sup>[6]</sup>。农用地作为农业资源系统中的重要组成部分是直接用于农业、林业、牧业等农业生产的土地<sup>[7]</sup>。在保持生态系统稳定的前提下,为了能够充分利用流域内农业资源,合理规划农业产业布局,需要对县南沟流域内农用地生态适宜性进行科学评价。

农用地的常规评价多依赖于地理信息等科学方法和技术,通过一定的算法和模型来开展农用地评价<sup>[8]</sup>,是一种较为完善的评价方法体系。目前常用的土地适宜性评价方法大多为判别分析法或模糊综合评价法<sup>[9-11]</sup>,虽然主观性较强,但在一定程度的土地适宜性评价内不失为一种有效的评价方式。在评价指标的选取方面,目前的农用地适宜性评价大多为多层次,综合化评价体系,但在不同地域类型侧重点不同,在黄土高原地区,受自然环境、人为等因素的限制,在进行农用地适应性评价时则更加侧重于生态效益<sup>[12-13]</sup>。

县南沟流域内农地数量较为稳定,农地变化主要表现为内部结构的变化<sup>[14]</sup>。在此基础上,利用 RS、GIS 技术,从立地条件、土壤性质和土地利用状况 3 个方面构建评价指标体系,综合应用层次分析和模糊综合评价方法构建评价模型对县南沟流域农用地进行生态适宜性评价,从而划分科学合理的土地利用方式,为流域的高效可持续发展奠定基础。

## 1 研究区概括和数据来源

县南沟流域位于延安市北部,安塞县沿河湾镇内(东经 109° 12′ 12″—109° 22′ 12″,北纬 36° 41′ 24″—36° 46′ 12″)。流域内梁峁起伏、沟谷纵横,最高地海拔为 1 404 m,最低点海拔为 1 012 m,平均海拔为 1 219 m。流域年降水量为 500~550 mm,降雨年分配不均,主要集中在 7—9 月,属大陆性干旱半干旱气候。县南沟流域总面积为 4 426.04 hm<sup>2</sup>,人口约为 2 500 人,目前流域耕地面积为 377.37 hm<sup>2</sup>,占流域总面积的 8.53%,果园面积为 148.86 hm<sup>2</sup>,占 3.36%,水域、居民区等非生产用地面积为 66.91 hm<sup>2</sup>,占 1.51%,其余为林地和草地分别占

35.91%和 50.69%。县南沟流域内林地树种主要以刺槐为主,耕地主要分布在坝地、川地和梯田上,种植作物大多为玉米、土豆,果园则分布在梯田及缓坡地上,果树树种主要为苹果树。

本文主要数据来源是县南沟流域 2015 年数字高程图(DEM),2015 年的 Google 高清遥感影像图(TM),2015 年县南沟流域调查数据以及 1984 年延安市土壤普查数据。

## 2 研究方法

### 2.1 农用地生态适宜性评价模型构建

本文采用多因子分级加权指数和法<sup>[15]</sup>作为县南沟流域农用地的生态适宜性综合评价模型,其评价步骤如下:通过对评价流域的实地分析筛选出影响农用地利用的主要因子,通过专家打分的方式得到各个因子对农用地影响程度的分值,采用层次分析法(AHP)得到各因子的权重值,然后对每一因子进行统计量化,通过 ArcGIS 软件分析处理得到各评价因子的流域矢量图,利用 ArcGIS 的图层叠加分析功能将各个矢量图进行加权叠加,得到各土地利用类型适宜性评价结果,划分评价单元适宜性等级,最后得到农用地适宜性的空间分布<sup>[16]</sup>。评价模型表达式为:

$$\text{Suit} = \sum_{i=1}^n W_i \times P_i$$

式中:Suit 为某一评价单元的适宜性综合评价分值; $n$  为评价因子总数; $W_i$  表示第  $i$  个评价因子的权重; $P_i$  为评价单元的第  $i$  个评价因子的分值; $i$  为评价因子编号。

### 2.2 农用地生态适宜性评价指标体系构建

2.2.1 评价指标及评分的确定 通过对黄土高原丘陵沟壑区农用地实际情况的分析,结合野外生态调查与历史资料收集,根据评价指标体系构建的基本原则<sup>[17]</sup>,结合影响流域内农用地利用的实际情况与数据获取的可行性,最后与专家分析讨论,选择立地条件指标(坡度、坡向、海拔、地貌类型)、土地利用现状指标、土壤性质指标(土壤类型、土壤质地、土壤结构)共 8 个因子作为县南沟流域适宜性分析的主要影响因子。

对于立地条件指标层中坡度、坡向、海拔数据通过 ArcGIS 软件处理流域数字高程图(DEM)得到,地貌类型数据则利用 ArcGIS 软件提取 DEM 中的山脊线和山谷线,从而得到流域地貌类型特征<sup>[18]</sup>,绘制完成地貌类型图;而土地利用现状则通过综合分析 Google 遥感影像图和县南沟 2015 年调查数据并借助 ENVI 软件划分得到;土壤性质指标层数据为 1984 年延安市安塞县土壤普查数据。

将各评价因子的土地适宜性等级划分为 4 个等级<sup>[19]</sup>:高度适宜、中等适宜、勉强适宜、不适宜。对应适宜性的 4 个等级,采用 4 分制,分别对应 4,3,2,1。在评价因子的等级划分中坡度等级节点划分为 6°,15°,25°,45°,在黄土高原丘陵沟壑区 6°以下的农用地可作为农用地或牧草地;6°~15°可以通过利用水土保持工程措施修筑开挖梯田;25°为国家实施退耕还林还牧政策的坡度界限;45°为退耕还林的极限坡度<sup>[20-22]</sup>;由于流域内海拔相对高差对于流域土地利用类型没有决定性的影响作用,为减少高程分类同一级中的差异,增加级间的差异,提高小尺度流域评价的准确性采用自然间断法<sup>[23]</sup>将县南沟海拔高度划分为三类,分别为 1 012~1 169 m,1 169~1 257 m,1 257~1 404 m。其余评价因子则根据其内在属性进行划分(表 1)。

表 1 县南沟流域农用地适宜性评价指标

指标层	因子层	因子分级标准	赋值			
			耕地	园地	林地	草地
立地条件	坡度/(°)	0°~6°	4	2	4	4
		6°~15°	3	4	4	4
		15°~25°	2	3	3	4
		25°~45°	1	1	2	3
		45°以上	1	1	1	2
	坡向	阳坡	2	4	1	3
		阴坡	3	1	4	4
		半阳坡	4	3	2	4
		半阴坡	3	2	3	4
	海拔/m	1012~1169	4	4	4	4
		1169~1257	2	2	2	4
		1257~1404	1	1	1	3
	地貌类型	梁峁部	2	3	1	3
		坡面部	2	4	3	3
		沟谷部	4	1	4	4
		梯田	4	3	4	4
		坝地	4	1	4	4
		川地	4	2	4	4
土壤性质	土壤类型	黄绵土	4	4	4	4
		黑垆土	4	4	4	4
		红土	2	2	2	3
		淤积土	4	4	4	4
	土壤质地	中壤	4	4	4	4
		轻壤	3	3	4	4
		轻黏壤	2	2	2	3
	土壤结构	团粒状	4	4	4	4
		粒状	3	3	3	4
		棱块状	2	2	2	3
土地利用现状	土地利用现状	草地	1	1	1	4
		林地	2	2	4	3
		耕地	4	3	4	4
		园地	3	4	4	4

2.2.2 评价指标权重的确定 本文利用层次分析法将指标体系分为目标层(县南沟流域农用地生态适宜性评价)、指标层、因子层 3 层,通过专家打分的方式

确定各评价指标层及其评价因子层的相对重要性,构建指标层与因子层的两两判断矩阵,计算判断矩阵的特征根和特征向量,得到各个指标体系分层的适宜性权重,最后进行一致性检验其 CR 均小于 0.1,判断矩阵满足一致性(表 2)。

表 2 评价因子权重

评价因子	耕地	园地	林地	草地
权重	适宜性	适宜性	适宜性	适宜性
坡度	0.3150	0.1713	0.3016	0.3069
坡向	0.1601	0.2957	0.1877	0.1772
海拔高度	0.0469	0.0480	0.0498	0.0403
地貌类型	0.0924	0.0786	0.0979	0.0901
土壤质地	0.0733	0.1480	0.1645	0.1593
土壤结构	0.0279	0.0391	0.0271	0.0669
土壤类型	0.0160	0.0622	0.0667	0.0421
土地利用现状	0.2684	0.1571	0.1047	0.1172

3 结果与分析

3.1 各评价单元适宜性等级划分

利用 ArcGIS 软件将包含 7 个评价因子的矢量图进行叠加,得到县南沟流域农用地生态适宜性评价评价单元图,单元图共划分为 1 511 个评价单元,每个评价单元都具有坡度、坡向、海拔高度、地貌类型、土壤类型、土壤质地、土壤结构和土地利用现状 8 个属性数据。根据评价模型,结合表 1 到表 4 中单元评价因子分级的赋值与权重,采用地图代数方法计算出各个评价单元林地、草地、耕地、园地的适宜性评价得分,适宜性得分越高则表示适宜性越好。评价结果为连续的栅格表面,其中林地适宜性得分值为 1.747 6~4,草地适宜性得分值为 3.040 3~4,耕地适宜性得分值为 1.369 7~4,园地适宜性得分值为 1.393 3~4,非生产地各土地利用类型适宜性评分值为 0(附图 10)。

利用自然断点法将各个评价单元的土地利用类型适宜性程度划分为高度适宜、中度适宜、勉强适宜和不适宜四类,得到各土地利用类型适宜性在流域内的面积分布。流域内土地利用类型适宜性最高的为草地,农用地草地适宜性面积达到流域总面积的 97.04%,少许的草地不适宜性农用地主要分布在流域南坡坡度较陡的阳坡地上;流域内林地也表现出高度适宜性,仅中度宜林以上的农用地面积就占到流域总面积的 58.02%,高度宜林的农用地面积也达到流域总面积的 24.24%,主要分布在坝地、川地、流域北坡的沟谷以及坡度较缓的阴坡地上;园地在流域内的适宜性面积相比草地、林地则相对较少,但所占流域比例依然很大,达到流域总面积的 79.52%,但高度宜园的农用地面积则只有 573.34 hm<sup>2</sup> 仅为流域总面

积的 12.95%；流域内农用地的耕地适宜性在所有土地利用类型里适宜性最低，虽然可耕作的农用地面积也达到流域总面积的 74.48%，但高度宜耕性的农用地仅为流域总面积的 10.50%，而且大多为梯田、坝地这些通过水土保持工程措施改造的农用地，具体详见表 3。

表 3 县南沟流域农用地不同土地利用类型适宜性状况

		宜耕地	宜园地	宜林地	宜草地
高度适宜	得分范围	3.0173~4	3.0779~3.904	3.4385~4	3.8419~4
	总面积/hm <sup>2</sup>	464.52	573.34	1072.89	2043.23
中度适宜	得分范围	2.4702~3.0173	2.6937~3.0779	3.0498~3.4385	3.6500~3.8419
	总面积/hm <sup>2</sup>	1079.41	1416.65	1495.01	1404.50
勉强适宜	得分范围	2.0751~2.4702	2.3287~2.6937	2.6525~3.0498	3.3828~3.6500
	总面积/hm <sup>2</sup>	1752.58	1529.42	1317.29	847.13
小计/hm <sup>2</sup>		3296.51	3519.41	3885.19	4294.86
比例/%		74.48	79.52	87.78	97.04

3.2 县南沟流域各土地利用类型划分

在县南沟流域土地利用现状的基础上，根据各个评价单元得到的各土地利用类型的适宜程度等级，按照耕地、园地、林地、草地的优先顺序，从高度适宜到不适宜依次选取，为保障耕地、园地生产力的高效性只选取高度适宜和中度适宜耕地、园地的评价单元。其次各评价单元确定的适宜性土地利用类型，如果存在同一评价单元内有多个同等适宜程度的土地利用类型，在优先顺序不超 1 的情况下判断为二者同等适宜。由于草地的高适宜性，在评价单元中耕地、园地为勉强适宜的在不适宜林地的情况下皆判断为宜草地，四种土地利用类型皆不适宜的评价单元则判断为不适宜地。从而得到县南沟流域农用地各适宜性土地利用类型分布(附图 11)：其中适宜性面积最大的土地利用类型依然为草地，占流域总面积的

33.66%，主要分布在流域北坡的坡面部，而在流域南坡的坡面处则更适宜园地的使用，对流域进行适宜性选择后，流域的适宜性园地总面积为 1 155.57 hm<sup>2</sup>，占流域总面积的 26.11%，其中宜园地面积为 773.15 hm<sup>2</sup>，宜耕宜园地面积为 225.46 hm<sup>2</sup>，宜林宜园地面积为 156.96 hm<sup>2</sup>。在适宜性选择后，适宜性林地总面积相比流域林地现有面积变化不大为 1 448.30 hm<sup>2</sup>，占流域总面积的 32.72%，其中 881.43 hm<sup>2</sup> 为宜林宜草地，利用现状主要为林地和草地，但单宜林性农用地只有流域总面积的 9.26%，主要原因为大部分现有林地表现出与宜林性同等的宜草性或更高的宜园性。宜耕地则依然表现出对环境的苛刻性，总宜耕面积仅为流域总面积的 14.26%，除了主要在川地、坝地、梯田上分布外，其余则分布在流域北坡的部分缓坡处(表 4)。

表 4 县南沟流域农用地适宜性面积分析

适宜性	宜耕宜园地	宜耕地	宜林宜园地	宜园地	宜林宜草地	宜林地	宜草地
高度适宜	110.71	353.80	18.99	443.64	322.12	357.73	1269.03
中度适宜	114.75	51.88	137.97	329.51	255.34	50.81	7.99
勉强适宜					303.97	1.37	212.98
小计	225.46	405.68	156.96	773.15	881.43	409.91	1490.00
比例/%	5.09	9.17	3.55	17.47	19.91	9.26	33.66

3.3 适宜性评价前后流域土地利用类型变化

县南沟流域农用地适宜性评价后，由于双适宜性农用地对各适宜性土地利用类型的缓冲作用，各土地利用类型适宜性总面积相比于流域各土地利用现状除了园地适宜性面积有明显增加外其余变化不大(图 1)。但总的宜林面积相比于流域现状则有所减小，主要原因为现有林地具有多种适宜性，表现为部分林地展现出更好的宜园性以及少许林地的宜耕性，而且总的宜林、宜草面积相比于流域现有林地、草地面积明显减少，减少面积占现有林地、草地面积的 23.34%。

除了面积变化外，各土地利用类型适宜性空间分布相比土地利用现状也变化较大，主要表现为流域南坡的阳坡、半阳坡上部分缓坡地的现有草地、林地表现出更好地宜园性，这也是适宜性园地面积明显高于现有园地面积的主要原因，而在一些阴坡半阴坡的沟谷和缓坡地上的现有草地、林地则表现为宜林宜草的双适宜性。相比现有林地、草地适宜性的变化，现有耕地、园地则变化不大，除了部分耕地、园地表现出宜耕宜园的双适宜性外，其余绝大部分依然表现出良好的现有土地利用类型的适宜性。

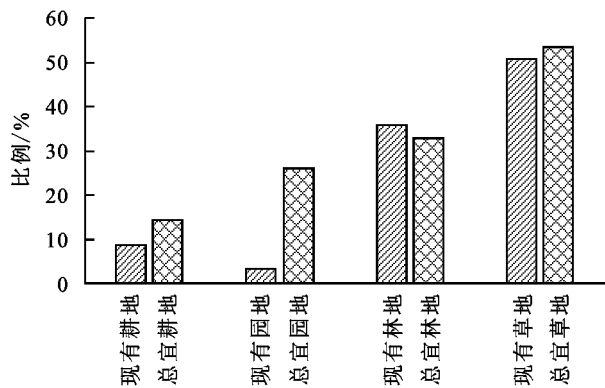


图1 评价前后土地利用类型所占流域比例

## 4 讨论

### 4.1 县南沟流域农用地有待合理利用,农用地资源潜力巨大

县南沟流域作为黄土高原丘陵沟壑区典型代表,生态环境脆弱,流域内产业发展面临着如何与生态环境保持协调等问题。本文通过建立多因子评价模型,应用GIS技术对流域内农用地利用方式的适宜性进行了合理划分。从划分结果来看在实施退耕还林工程后县南沟流域耕地、园地面积仍然有提升空间,特别是园地发展空间巨大。其次流域草地空间发展潜力巨大,适宜性评价后现有草地中除单一宜草地外,其他适宜性土地利用类型草地面积占现有总草地面积的36.00%,占流域总面积的18.25%,主要为较好的宜园和宜林性。所以流域内现有荒草地可向林地、园地适当转变,这样不仅能够更好地保持流域生态系统稳定性,增加经济收入还能增加流域内的碳汇储量,对流域低碳发展能起到良好的促进作用。

### 4.2 果业发展前景较好,应适当增加果业投入

山地苹果为安塞县的特色产业,有着得天独厚的气候环境和完善的产业链。县南沟流域内果业潜力巨大,流域现有果园面积占流域总面积的3.36%,但适宜果园面积达到流域总面积的26.11%,其中高度适宜面积为流域总面积的12.95%相比现有果园面积增加2.85倍。流域可根据自身情况加大果业投入,开垦未利用的适宜园地,其中高度宜园的农用地可发展苹果、梨等高产值果业,中度宜园的农用地则可种植核桃、山杏、枣树等具有水土保持效益的经济树种。合理规划发展在增加流域生产经济效益的同时也能保持流域的生态效益,维持流域发展的可持续性。

### 4.3 农用地利用缓冲性强,土地利用方式多样

从流域农用地适宜性等级划分的结果可知,单适宜性分布的宜耕地、宜园地、宜林地和宜草地所占流域比例皆在70%以上,同时具有双类型同等适宜程度的农用地面积比例也达到流域总面积的28.55%。流域内农用地表现出多适宜性,土地利用结构方式多

样,特别是部分林草地具有多种土地利用类型的适宜性。在保持生态系统稳定和流域农用地各适宜性范围内,根据不同需求可合理改变土地利用结构,在适应不同环境变化的同时也能维持流域内生态效益和经济效益的动态平衡。

## 5 结论

基于GIS技术的农用地适宜性评价可以将具体的要素数据化,通过多层次因子的叠加分析能较全面的综合农用地适宜性的各种影响要素,在一定程度内提高了评价结果的科学性和合理性。同时适宜性评价结构的划分通过计算机完成,较好的保持了评价结果的客观性。本文以多因子评价模型为基础从立地条件、土壤性质和土地利用状况三个方面构建评价指标体系,划分了县南沟流域农用地不同土地利用类型的适宜性,从评价结果的划分来看各适宜性土地利用类型所占流域比例较为合理,分别为宜耕宜园地面积占流域面积的5.09%,宜耕地面积地占9.17%,宜林宜园地面积占3.55%,宜园地面积占17.47%,宜林宜草地面积占19.91%,宜林地面积占9.26%,宜草地面积占33.66%。从评价结果的前后变化来看,除了流域开发较少的园地适宜性面积有明显的增加外,其余土地利用类型的总适宜性面积变化不大,以此可以表明以多因子评价模型建立的县南沟流域农用地生态适宜性评价方法是可行的。

## 6 问题与展望

### 6.1 流域农用地适宜性划分没有绝对性

本文划分的流域内农用地各土地利用类型适宜性是以耕地、园地、林地、草地的重要程度依次划分的,划分的各土地利用类型适宜性并没有绝对性,是在一定程度内的科学参考,例如宜耕、宜园地区域只是在同等条件下最适宜耕地、园地使用的区域,而对于林地、草地这类土地利用类型可能同样适宜使用。在以后的研究中可根据流域的不同需求改变流域土地利用类型的侧重点,划分不同类型的流域农用地适宜性,从而达到流域发展的动态平衡与可持续性。

### 6.2 适宜性评价因子选择与赋值的主观性

由于没有统一的评价标准,本文的适宜性评价因子的选择主要是通过与该领域的多个专家讨论分析得到的,而且对农用地适宜性影响较大的土壤侵蚀因子和水源条件,由于土壤侵蚀数据无法获取以及流域内农用地基本依靠雨水灌溉并没有纳入到本文的评价指标体系中,评价体系的全面性可能会受到影响。其次各因子适宜性评价的划分标准和各因子权重都是采用专家咨询的方式产生,由于这种方式比较主观,整个评价体系的客观性也有待深入研究。未来可

以结合实际需要,应用新的技术方法获取更全面的评价指标体系,减少主观因素在评价中的影响,从而得到更科学更合理的流域农用地适宜性。

#### 参考文献:

- [1] 顾文,赵阿丽,徐健,等. 基于碳汇生产理念下的县南沟流域退耕还林工程实施效果评价[J]. 水土保持研究, 2014, 21(2): 144-151.
- [2] 王正淑,王继军,刘佳. 退耕地林草植被碳汇及与农业生态经济系统的关系:以陕西省县南沟流域为例[J]. 草地学报, 2016, 24(2): 263-269.
- [3] 王正淑,王继军. 县南沟流域种植业生态价值的测算与分析:基于碳汇视角[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 261-266.
- [4] 顾文,王继军,齐智娟. 不同优化情境下的县南沟流域商品型生态农业系统耦合关系[J]. 水土保持研究, 2014, 21(5): 163-168.
- [5] 李奇睿,王继军,郭满才. 基于结构方程模型的安塞县商品型生态农业系统耦合关系[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 240-247.
- [6] 王继军. 黄土丘陵区纸坊沟流域农业生态经济系统耦合过程分析[J]. 应用生态学报, 2009, 20(11): 2723-2729.
- [7] 赵庆玲,周洋,王晓军. “乡土”农用地评价:以山西省河曲县沙坪村为例[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(2): 239-245.
- [8] 邱炳文,池天河,王钦敏,等. GIS 在土地适宜性评价中的应用与展望[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(5): 20-23.
- [9] Dujmovi Ć J, Tré G D. Multicriteria methods and logic aggregation in suitability maps[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2011, 26(10): 971-1001.
- [10] 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(6): 35-41.
- [11] Malczewski J. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2006, 8(4): 270-277.
- [12] 吴涛,苏美霞. 国内农用地适宜性评价研究综述[J]. 内江师范学院学报, 2013, 28(8): 59-62.
- [13] 王丹丹,吴普特,赵西宁. 黄土高原退耕还林(草)效益评价研究进展[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 223-228.
- [14] 杜娜,王继军. 县南沟流域农业土地利用/覆被变化浅析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(6): 171-173.
- [15] 南晓娜,彭天祥,刘科伟. GIS 支持下的山地城市用地适宜性评价:以陕南岚皋为例[J]. 国土资源科技管理, 2009, 26(3): 101-105.
- [16] 齐增湘,廖建军,徐卫华,等. 基于 GIS 的秦岭山区聚落地适宜性评价[J]. 生态学报, 2015, 35(4): 1274-1283.
- [17] 李春越,谢永生. 黄土高原土地资源生态经济适宜性评价指标体系初步研究[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 53-56.
- [18] 汤国安. ArcGIS 地理信息系统空间分析试验教程[M]. 北京:科学出版社, 2012.
- [19] 张友焱,周泽福,程金花. 黄土丘陵沟壑区土地适宜性评价研究:以山西省中阳县圪针耳流域为例[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 93-95.
- [20] 汤国安,宋佳. 基于 DEM 坡度图制图中坡度分级方法的比较研究①[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 157-160, 192.
- [21] 黄志霖,傅伯杰,陈利顶. 黄土丘陵区不同坡度,土地利用类型与降水变化的水土流失分异[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(4): 11-18.
- [22] 傅伯杰,邱扬,王军,等. 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 717-722.
- [23] 莫建飞,陆甲,李艳兰,等. 基于 GIS 的广西洪涝灾害孕灾环境敏感性评估[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 33-37.

(上接第 236 页)

#### 参考文献:

- [1] 中国科学院南方山区综合科学考察队. 中国亚热带山区水土流失治理与防治[M]. 北京:科学出版社, 1989.
- [2] 黄文辉,任成均,陈志勇,等. 梅江水沙特性变化分析[J]. 人民珠江, 2007(5): 37-38.
- [3] 钟兆和. 五华县坚持长期治理乌陂河小流域成效显著[J]. 水土保持通报, 1993, 13(2): 47-49.
- [4] 杨永欢. 五华县水土流失现状及保护对策[J]. 广东水利水电, 2011(4): 69-71.
- [5] 张金泉,徐颂军. 五华县的水土流失及其分区治理[J]. 热带地理, 1989, 9(3): 213-221.
- [6] 古丽霞. 五华县水土流失现状与治理[J]. 广东建材, 2010, 26(3): 169-171.
- [7] 董磊熊,熊立华,于坤霞,等. 气候变化与人类活动对水文影响的研究进展[J]. 水科学进展, 2012, 23(2): 278-285.
- [8] 傅伯杰,陈利顶,王军,等. 土地利用结构与生态过程[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 247-255.
- [9] Turner M G. Landscape ecology: the effect of pattern on process[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1989, 20(1): 171-197.
- [10] 王计平,陈利顶,汪亚峰. 黄土高原地区景观格局演变研究综述[J]. 地理科学进展, 2010, 29(5): 535-542.
- [11] 张学霞,陈丽华. 黄土高原地区流域景观格局对水土流失的影响分析[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 95-102.
- [12] 王丽娜. 黄土高原地区小流域景观格局及其尺度效应分析[D]. 辽宁阜新:辽宁工程技术大学, 2011.
- [13] 陈鹏飞. 黄土丘陵沟壑区小流域水沙变化与土地利用格局演变的耦合研究[D]. 北京:北京林业大学, 2010.
- [14] 程复. 黄土丘陵沟壑区生态恢复背景下土地利用变化对河川径流泥沙影响研究[D]. 北京:北京林业大学, 2011.