

基于 PSR - GM(1,1) 模型的华池县耕地生态安全评价与预测

高莉萍¹, 程文仕², 周晓丽², 刘学录^{1,2*}

(1. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃农业大学管理学院, 甘肃兰州 730070)

摘要 运用 PSR 模型建立评价指标体系, 用综合评价法计算生态安全值, 对华池县 2009—2014 年的耕地生态安全状况进行评价, 在此基础上, 通过 GM(1,1) 模型对 2015—2020 年的耕地生态安全状况进行预测并建立障碍度模型确定障碍因子。结果表明: 2009—2014 年, 华池县的耕地生态安全状况良好且逐渐改善, 2015—2020 年耕地生态环境将继续改善, 生态安全状况的主要障碍因子包括城镇化水平、农村人均纯收入、有效灌溉面积、机械总动力、单位耕地农膜压力 5 个方面, 为耕地保护指明了方向。

关键词 耕地生态安全; PSR 模型; GM(1,1) 模型; 华池县

中图分类号 F301.24 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)01-0215-03

Evaluation and Prediction of the Cultivated Land Ecological Security in Huachi County Based on PSR and GM(1,1) Model

GAO Li-ping¹, CHENG Wen-shi², ZHOU Xiao-li² et al (1. College of Resources and Environmental Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070; 2. College of Management, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract Using the PSR model to establish evaluation indicators, through the GM(1,1) grey forecasting model to forecast the future Huachi County cultivated land ecological security index. The results showed that cultivated land ecology safe was the overall upward trend in Huachi County during 2009-2014, the cultivated land ecological security situation continuous improvement during 2015-2020 the main obstacle factors of concentrated in the area of urbanization level, rural per capita net income, effective irrigation area, total power machinery, unit farmland agricultural film pressure.

Key words Farmland ecological safety; PSR model; GM(1,1) mode; Huachi County

耕地是粮食生产的基础, 是最为宝贵的资源^[1]。随着城镇化、工业化的快速发展及人口持续增长, 人地矛盾日益凸显, 人类活动对耕地生态环境的干扰日益严重, 导致耕地的生态安全状况不稳定, 耕地生态安全问题成为人们普遍关注的焦点^[2], 开展耕地生态安全评价与预测研究, 准确掌握耕地生态安全动态, 对合理规划、高效利用和整治耕地资源具有重要的理论和实践指导意义。

目前我国学者对耕地生态安全的研究主要偏重于生态安全现状的定性分析, 针对耕地生态安全评价的研究还不多见, 方法上主要有熵权物元模型^[3]、组合赋权^[4]、可拓度评价模型^[5]。针对耕地生态安全预测的研究更少, 仅有徐美等^[6]基于 RBF 模型以湖南省土地生态发展趋势预测, 以及邵红娟等^[7]基于能值分析对贵州省耕地生态预警研究。总体而言, 耕地生态安全评价与预测的研究还处于初级阶段, 评价和预测方法体系有待进一步完善。笔者以华池县为例, 应用 PSR 模型和 GM(1,1) 模型对耕地生态安全进行评价与预测, 并借助障碍度模型对障碍因子进行诊断, 以期能为耕地生态安全评价和预测提供可资借鉴的方法, 并诊断现阶段和未来耕地生态安全存在的问题, 为实施生态恢复与重建提供参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况 华池县(107°29'~108°33'E, 36°07'~36°51'N)位于甘肃省东部, 庆阳市东北部。东北与陕西省志丹县、吴旗县、定边县相接, 西南与省内庆城、合水、环县相邻, 现辖 6 镇 9 乡 111 个行政村。属黄土高原残垣沟壑区, 地

势北高南低, 海拔 1 110~1 781 m, 地面起伏较大。气候为大陆性气候, 四季分明, 年降水量 450~600 mm, 平均气温 7.8℃。煤炭、石油、天然气、风能等资源丰富。北部半农半牧, 中南多以种植业为主, 地形多样, 土层深厚, 农作物种类多, 发展农、林、牧、渔业具有得天独厚的优越条件。2014 年华池县总人口 13.55 万, 土地面积 3 791 km², 其中耕地面积 694.36 km²。

1.2 数据来源 土地利用面积数据来源于华池县 2009—2014 年土地利用更新调查数据库。人口、农业现代化水平、播种面积及产出水平、社会经济发展水平等数据来源于 2009—2012 年《华池县统计年鉴》和 2013—2015 年《华池发展年鉴》。其他气候、水文和地貌等自然地理资料来源于 2014 年《华池县国民经济和社会发展公报》。

1.3 研究方法

1.3.1 PSR 模型。 基于 PSR(压力-状态-响应)模型建立指标体系^[8]。遵循科学性、可比性、系统性原则, 在广泛搜集分析已有研究成果^[9]并进行专家咨询的基础上, 结合华池县实际情况, 选取人口密度等 16 个指标构建了华池县耕地生态安全评价指标体系及权重(表 1)。

1.3.2 多因素综合评价法。 运用多因素综合评价法确定耕地生态安全值^[10]:

$$E = \sum_{j=1}^n W_j \times X_{ij} \quad (1)$$

式中, E 为生态安全值, W_j 为指标 j 的权重, X_{ij} 为指标标准化值。

目前关于生态安全等级的划分没有统一的标准, 参考相关研究^[11], 结合区域实际, 该研究将耕地生态安全分为 5 个等级(表 2)。

1.3.3 GM(1,1)模型。 采用 GM(1,1)模型对华池县 2015—2020 年耕地生态安全进行预测。邓聚龙提出 GM(1,1)模型

作者简介 高莉萍(1987—), 女, 甘肃秦安人, 在读硕士, 从事农业推广研究。* 通讯作者, 教授, 博士生导师, 从事景观生态学、土地资源评价研究。

收稿日期 2017-09-20

应用范围较广并被称为传统的灰色预测模型,灰色预测是灰色系统理论中的组成部分^[12]。模型精度检验标准(表3)。

表1 耕地生态安全评价指标及权重

Table 1 Evaluation index and their weight of cultivated land ecological security

目标层 Target layer	准则层 Guidelines layer	指标层 Indicator layer	指标属性 Indicator attributes	权重 Weights
耕地生态安全 评价 Evaluation of cultivated land ecological security	压力	人口密度(P_1)	-	0.131 456
		人口自然增长率(P_2)	-	0.044 771
		人均耕地面积(P_3)	+	0.059 145
		城镇化水平(P_4)	-	0.036 054
		单位耕地化肥压力(P_5)	-	0.032 150
		单位耕地农膜压力(P_6)	-	0.032 668
	状态	森林覆盖率(S_1)	+	0.027 577
		粮食单产(S_2)	+	0.134 320
		复种指数(S_3)	+	0.069 081
		耕地垦殖率(S_4)	+	0.046 971
		第一产业占GDP比重(S_5)	+	0.056 165
		灾害指数(S_6)	-	0.042 720
	响应	有效灌溉面积(R_1)	+	0.053 343
		农村人均纯收入(R_2)	+	0.095 589
		人均粮食占有量(R_3)	+	0.073 792
		单农业机械总动力(R_4)	+	0.064 198

注:“-”表示负向指标,即指标值越小越好;“+”表示正向指标,即指标值越大越好

Note:“-” indicates the negative index, that is, the smaller the index value, the better; “+” indicates the positive index, that is, the larger the index value, the better

表2 耕地生态安全评价等级划分标准

Table 2 Evaluation rank of cultivated land ecological security

安全等级 Security level	安全状态 Safe condition	安全值 Safety value
I	安全	0.8~1.0
II	较安全	0.6~0.8
III	临界安全	0.4~0.6
IV	较不安全	0.2~0.4
V	不安全	0.0~0.2

表3 GM(1,1)模型精度检验标准

Table 3 GM(1,1) model accuracy test standard

精度等级 Accuracy class	小误差概率 Small error probability(P)	均方差比 Mean square error ratio(C)
1	>0.95	<0.35
2	0.8~0.95	0.35~0.5
3	0.7~0.8	0.5~0.65
4	≤0.7	≥0.65

1.3.4 障碍度模型。借助障碍度模型(式2)来诊断影响耕地生态安全的主要障碍因子^[13-14]。

$$A_j = \frac{r_{ij} \times w_j}{\sum_{j=1}^n r_{ij} \times w_j} \quad (2)$$

式中, A_j 为指标障碍度; $r_{ij} = 1 - X_{ij}$; r_{ij} 为指标偏离度; X_{ij} 为指标标准化值; w_j 为权重。

2 结果与分析

2.1 耕地生态安全评价结果分析 运用多因素综合评价法

(式2),计算得到华池县2009—2014年耕地生态安全值,并按照表2划分生态安全等级(表4)。

表4 2009—2014年耕地生态安全等级

Table 4 Rank of cultivated land ecological security during 2009-2014

年份 Year	压力指数 Pressure index	状态指数 Status index	响应指数 Response index	安全值 Safety value	安全等级 Security level
2009	0.234 94	0.049 50	0.001 31	0.285 71	IV
2010	0.254 18	0.131 47	0.012 26	0.397 91	IV
2011	0.158 94	0.191 37	0.085 23	0.435 54	III
2012	0.111 53	0.186 38	0.123 56	0.421 47	III
2013	0.061 27	0.311 31	0.280 55	0.653 14	II
2014	0.248 73	0.319 29	0.235 48	0.803 50	I

从表4可以看出,2009—2014年华池县耕地生态安全状况呈良性发展的态势,耕地生态安全值从0.285 71上升到0.803 50,耕地生态安全等级不断提高,生态环境不断改善。

2009—2014年华池县耕地生态安全变化可分为2个阶段:2009—2012年耕地生态安全等级呈平缓上升趋势,2012年略有下降,安全级别由较不安全级提升到临界安全级;2012—2014年耕地生态安全值快速提升,由2012年的0.421 47上升到2014年的0.803 50,生态安全等级从临界安全级快速提升到安全级。这与2012年以前生态环境保护未引起足够的重视,从2013年开始加大生态环境整治、全面推进和落实“南梁”红色旅游等建设,以及经济社会的快速发展完全吻合。

华池县耕地生态安全值在2012年略有下降,采用障碍度模型(式2)对2012年耕地生态安全的主要障碍因子进行诊断,结果见表5。

表5 2012年耕地生态安全障碍因素排序

Table 5 Order of main obstacles to cultivated land ecological security in 2012

位序 Order	障碍因素 Disorder factor	障碍度 Barrier//%
1	森林覆盖率(S_1)	15.06
2	人口密度(P_1)	15.04
3	人均耕地面积(P_3)	10.15
4	人均粮食占有量(R_3)	9.79
5	耕地垦殖率(S_4)	8.06
6	农村人均纯收入(R_2)	7.13
7	有效灌溉面积(R_1)	6.74

从表5可以看出,2012年影响耕地生态安全的前7位障碍因素包括森林覆盖率(S_1)、人口密度(P_1)、人均耕地面积(P_3)、人均粮食占有量(R_3)、耕地垦殖率(S_4)、农村人均纯收入(R_2)、有效灌溉面积(R_1)。可见由于人口不断增加,城镇化进程的加快、各项道路等基础设施配套建设实施,森林和耕地面积有所减少,森林覆盖率、人口密度、人均耕地面积等增长幅度较大,人均耕地面积、人均粮食占有量、耕地垦殖率等有所减少。

2.2 耕地生态安全预测 在Matlab软件中运行GM(1,1)模型。借助2009—2014年指标原值对2015—2020年华池县

耕地生态安全指标进行预测,结果见图 1。根据模型的精度验证标准和计算结果可知该预测模型可行^[15]。从图 1 可以看出,2015—2020 年华池县生态安全值不断提高,从 0.831 17 提高到 0.949 52,说明“十三五”期间华池县生态环境安全,生态环境不断改善。

利用障碍度模型对 2015—2020 年耕地生态安全进行障碍因子诊断,结果见表 6。

从表 6 可以看出,按照各障碍因素出现的频次,2015—2017 年,华池县耕地生态安全的最主要障碍因素有:城镇化水平(P_4)、农村人均纯收入(R_2)、有效灌溉面积(R_1)、机械总动力(R_4)、单位耕地农膜压力(P_6);除此之外,森林覆盖率(S_1)、复种指数(S_3)、灾害指数(S_6)、第一产业占 GDP 比重(S_5)、耕地垦殖率(S_4)对耕地生态安全也有一定的影响;

表 6 2015—2020 年耕地生态安全障碍因素排序

Table 6 Order of main obstacles to cultivated land ecological security during 2015 - 2020

年份 Year	1	2	3	4	5	6	7
2015	S_3 (27.77)	R_2 (17.84)	R_1 (17.72)	R_4 (15.35)	S_2 (7.49)	R_3 (7.21)	S_5 (5.71)
2016	P_4 (17.66)	R_2 (14.19)	R_1 (14.09)	R_4 (12.10)	P_6 (10.43)	S_2 (5.74)	R_3 (5.52)
2017	P_4 (16.51)	R_2 (13.17)	R_1 (13.07)	R_4 (11.12)	P_6 (9.63)	S_1 (5.82)	S_2 (5.13)
2018	P_4 (14.64)	R_2 (11.58)	R_1 (11.49)	S_1 (10.37)	R_4 (9.68)	S_6 (9.10)	P_6 (8.40)
2019	S_1 (19.23)	S_6 (16.86)	P_4 (11.40)	R_2 (8.94)	R_1 (8.86)	R_4 (7.40)	P_6 (6.48)
2020	S_1 (56.09)	S_3 (32.34)	P_3 (11.09)	S_4 (0.49)			

注:表中 S_3 、 R_2 、 P_4 等符号分别代表表 1 中的各项指标

Note: S_3 , R_2 , P_4 and other symbols in the table represent the indicators in Table 1 respectively

按照障碍度变化情况,2015—2020 年,城镇化水平(P_4)、农村人均纯收入(R_2)、有效灌溉面积(R_1)、机械总动力(R_4)、单位耕地农膜压力(P_6)等 5 项主要障碍因素的障碍度不断降低,对耕地生态环境的影响不断减弱,耕地生态安全呈良性发展态势。

3 结论与讨论

(1) 2009—2014 年,华池县的耕地生态安全状况可以分 2 个阶段。2009—2012 年耕地生态安全等级呈平缓上升趋势,2012 年略有下降,安全级别由较不安全级提升到临界安全级;2012—2014 年耕地生态安全值快速提升,耕地生态安全状况良好且逐渐改善。

(2) 2015—2020 年华池县生态安全值不断提高,从 0.831 17 提高到 0.949 52,说明“十三五”期间华池县生态环境安全,生态环境不断改善。

(3) 2015—2017 年,华池县耕地生态安全的最主要障碍因素有:城镇化水平、农村人均纯收入、有效灌溉面积、机械总动力、单位耕地农膜压力。在未来经济社会发展中,要强化耕地保护意识,从这 5 个方面注重耕地生态安全的恢复与重建。

(4) 近年来,随着经济社会的快速发展,华池县城镇化水平不断提高,农村人均纯收入不断增加,有效灌溉面积和机械总动力持续增加,单位耕地农膜压力不断降低,可以看出,预测 2015—2020 年耕地生态安全的障碍因子及其变化态势结果符合华池县实际情况。

(5) 该研究运用 PSR 模型建立耕地生态安全评价指标体系,该方法充分考虑到了在耕地生态安全评价的过程中多

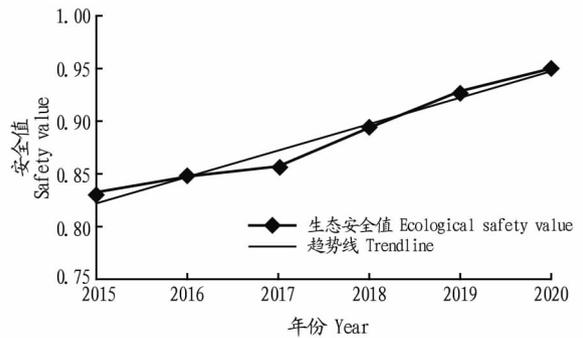


图 1 华池县耕地生态安全值变化预测

Fig. 1 Prediction of the change of cultivated land ecological security value in Huachi County

因素的影响,并尽可能包括更多的信息,在此基础上利用 GM(1,1)模型进行指标预测,测算得到的安全等级和障碍因子符合华池县实际情况,说明 PSR - GM(1,1)模型在耕地生态安全评价与预测中具有较高的可信度,方法切实可行。

参考文献

- [1] 杨曙辉,宋天庆,陈怀军,等.中国耕地生态安全:危象及成因[J].中国人口·资源与环境,2011,21(12):125-128.
- [2] 吴大放,刘艳艳,刘毅华,等.耕地生态安全评价研究展望[J].中国生态农业学报,2015,23(3):257-267.
- [3] 张祥义,许皞,刘名冲,等.基于熵权物元模型的耕地生态安全评价研究:以河北省肥乡县为例[J].土壤通报,2014,45(1):18-23.
- [4] 崔明哲,杨凤海,李佳.基于组合赋权法的哈尔滨市耕地生态安全评价[J].水土保持研究,2012,19(6):184-187,192.
- [5] 赵文晖,杨伟州,王利香,等.基于可拓优度评价模型的耕地生态安全评价:以保定市为例[J].河南农业科学,2015,44(2):60-65.
- [6] 徐美,朱翔,刘春腊.基于 RBF 的湖南省土地生态安全动态预警[J].地理学报,2012,67(10):1411-1422.
- [7] 郜红娟,蔡广鹏,罗绪强,等.基于能值分析的贵州省 2000—2010 年耕地生态安全预警研究[J].水土保持研究,2013,20(6):307-310.
- [8] 潘润秋,姚星.基于 PSR 模型的安徽省土地生态安全动态评价[J].湖北农业科学,2016,55(3):589-594.
- [9] 李玲,侯淑涛,赵悦,等.基于 P-S-R 模型的河南省土地生态安全评价及预测[J].水土保持研究,2014,21(1):188-192.
- [10] 王淼,赵俊三,张萌.基于 PSR 模型的土地生态安全综合评价:以禄丰县为例[J].安徽农业科学,2015,43(26):270-273.
- [11] 赵宏波,马延吉.东北粮食主产区耕地生态安全的时空格局及障碍因子:以吉林省为例[J].应用生态学报,2014,25(2):515-524.
- [12] 殷春雪,李锋,钱谊,等.基于 GM(1,1)模型的长沙市生态安全综合评估预测[J].环境科学与技术,2012,35(S1):373-378.
- [13] 张锐,刘友兆.我国耕地生态安全评价及障碍因子诊断[J].长江流域资源与环境,2013,22(7):945-951.
- [14] 李春燕,南灵.陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J].中国土地科学,2015,29(4):72-81.
- [15] 王开友,陈定元.灰色 GM(1,1)模型建模的理论探讨[J].安庆师范学院学报(自然科学版),2008,14(3):23-25.