

# 西安市耕地生态安全测度及影响因素分析

贾书楠<sup>1</sup>, 孙睿<sup>1</sup>, 夏显力<sup>1</sup>, 张天中<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 甘肃省国土资源规划研究院, 兰州 730000)

**摘要:**耕地生态安全评价对改善耕地生态系统安全状况、促进耕地可持续利用具有重要的现实意义。以西安市为研究区域,采用压力—状态—响应模型,构建了基于能值理论的耕地生态安全指标评价体系,采用组合赋权法来确定指标权重,测度了2001—2012年西安市耕地生态安全水平值及变动趋势,并采用多元线性回归模型分析了耕地生态安全的影响因素。结果表明:西安市耕地生态安全值总体波动趋势为:2001—2007年耕地资源由较安全区下降至安全临界区,在2004年出现一次波动;2007—2010年耕地资源安全评价价值呈上升趋势,且达到最高值,耕地生态状况由安全临界区跨越到较安全区;2010—2011年耕地资源安全状态下降至安全临界区,幅度较大,2012年虽有升高,但仍然处于安全临界区。提高人均能值产出、增加农业财政支出比例和严格管控建设用地占用耕地是改善西安市耕地生态安全的重要措施。

**关键词:**耕地;生态安全评价;能值理论;西安市

**中图分类号:**F301; X826

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2016)03-0164-06

## Estimation on the Cultivated Land Ecological Security of Xi'an and Analysis on Its Influence Factors

JIA Shunan<sup>1</sup>, SUN Rui<sup>1</sup>, XIA Xianli<sup>1</sup>, ZHANG Tianzhong<sup>2</sup>

(1. College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Land Resources Planning Institute of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Ecological security evaluation of cultivated land has the important practical significance to improve the cultivated land situation and promote the sustainable utilization of cultivated land. We established evaluation index system of cultivated land ecological security based on P-S-R model and evaluated the cultivated land ecological security during the period from 2001 to 2012 by using combination weighting method in the range of Xi'an, and the multiple linear regression was carried out to find the driving forces on cultivated land ecological security with SPSS software. The results showed that the evaluation value of cultivated land resources changed from the relatively safe area to safety critical region during the period from 2001 and 2007, there was a wave in 2004; The evaluation value increased during the period from 2007 to 2010, and reached up to the highest levels in 2010, cultivated land ecological situation changed to the safety critical region from the relatively safe area; The cultivated land resources safety state changed to the critical safety region in 2011, it had improved slowly in 2012, but still belonged to the safety critical state. Therefore, improving the output of per capita energy, increasing the proportion of agricultural financial expenditure and controlling the construction of farmland are all the important measures to improve the ecological security of cultivated land in Xi'an City.

**Keywords:** cultivated land; ecological security evaluation; energy theory; Xi'an City

耕地是最宝贵的土地资源,耕地安全是粮食生产和安全的基础和保障。近年来,随着经济的快速发展和人口的迅速增长,耕地资源利用压力超出负荷,耕地资源系统开始退化<sup>[1]</sup>。因此,从耕地生态安全的角度对耕地利用开展评价,对指导区域耕地生态环境建设、提高耕地产出能力和实现耕地资源可持续发展有

着重要的意义。目前,大量学者主要对耕地生态安全内涵、安全程度测度、问题表现和改进策略等方面进行了深入研究。耕地生态安全是指在一定的时间和空间尺度内,耕地生态系统处于保持自身正常功能结构和满足社会经济可持续发展需要的状态<sup>[2]</sup>。耕地生态安全评价属于多指标综合评价,指标评价体系的

构建和指标赋权方法至关重要。较多的学者采用的是压力—状态—响应模型评价指标体系<sup>[3-4]</sup>,也有对自然因素、经济因素、社会因素和生态因素等直接或间接影响因素进行分析构建指标体系的<sup>[5-6]</sup>。从研究结果来看,耕地生态安全主要受人口增长、社会经济发展、土地利用和土地利用的技术水平和自然灾害等方面的影响<sup>[6-7]</sup>。

这些成果为本文研究设计提供了重要参考,但由于研究对象的复杂性和特殊性,在评价指标体系构建和研究方法选择上还没有形成共识,耕地生态安全评价研究还有进一步拓展的空间。本文以西安市为研究区域,采用压力—状态—响应模型,构建基于能值理论的耕地生态安全指标评价体系,采用层次分析法和熵值法结合的方法确定指标权重,对 2001—2012 年西安市耕地生态安全变化状况做出评价,并采用多元线性回归模型分析耕地生态安全的影响因素,为改善西安市耕地生态环境提供参考。

## 1 研究区概况

西安市位于陕西省关中平原中部地区,属暖温带半湿润季风气候区,东西长约 204 km,南北长约 116 km,总面积为 1 010 800 hm<sup>2</sup>,市区面积为 358 200 hm<sup>2</sup>。2012 年年末实有耕地面积 246 607 hm<sup>2</sup>,占土地总面积的 24.40%,人均占有耕地面积仅有 0.031 hm<sup>2</sup>,远远低于全国人均耕地面积 0.09 hm<sup>2</sup> 的水平,耕地资源不足的现象已经十分突出。2001—2012 年耕地面积共减少了 27 458 hm<sup>2</sup>,主要流向为建设用地、农业结构调整和生态退耕,耕地的年均递减率为 1.19%。西安市 GDP 由 2001 年的 734.86 亿元增至 2012 年的 4 366.1 亿元,其中,第一产业总产值由 45.87 亿元增加到 195.59 亿元。

## 2 耕地生态系统能值分析

能值分析方法可以综合反映某地区的社会经济生态系统的结构、功能与效率。应用能值可衡量分析自然环境资源与经济活动的价值以及它们之间的关系,对自然资源的科学评价和合理利用、经济发展方针的制定以及可持续发展战略均有重要的意义<sup>[8]</sup>。能量流动也是耕地生态系统存在和发展的基础,运用能值分析可以更好地反映耕地生态系统结构和功能上所具有独特的性质。

### 2.1 数据来源及计算方法

能值分析的基本原理就是将不同种类不可比较的能量换算成同一量纲的太阳能值(sej);能量和能值可以相互转化的关键是能值转换率。本文的基础

数据来源于 2002—2013 年《西安统计年鉴》和《陕西统计年鉴》<sup>[9-10]</sup>。一般来说,太阳能值的求解公式是:某要素的太阳能值=原始数据×能量折算系数×能值转换率。耕地生态系统部分项目的能量折算系数和能值转换率<sup>[8]</sup>,如表 1 所示。

表 1 能量折算系数和能值转换率

项目	能量折算系数	能值转换率
氮肥		4620 sej/g
磷肥		17800 sej/g
钾肥		1740 sej/g
复合肥		2800 sej/g
农药		1620 sej/g
农业机械		6700 sej/J
电力	1.25×10 <sup>7</sup> J/kWh	0.159 sej/J
柴油	4.4×10 <sup>7</sup> J/kg	0.066 sej/J
农膜		380 sej/J
种子	1.6×10 <sup>7</sup> J/kg	0.066 sej/J
劳动力	1.26×10 <sup>7</sup> J/d	0.38 sej/J
小麦	1.63×10 <sup>7</sup> J/kg	6.8×10 <sup>4</sup> sej/J
玉米	1.63×10 <sup>7</sup> J/kg	2.7×10 <sup>4</sup> sej/J
棉花	1.67×10 <sup>7</sup> J/kg	8.6×10 <sup>4</sup> sej/J
油料	2.63×10 <sup>7</sup> J/kg	8.6×10 <sup>4</sup> sej/J
蔬菜	2.5×10 <sup>7</sup> J/kg	2.7×10 <sup>4</sup> sej/J

而一些特殊物质的能量计算方法<sup>[8]</sup>如下:

(1) 太阳光能(sej)=耕地面积(m<sup>2</sup>)×太阳光平均辐射量(J/m<sup>2</sup>)×能值转换率(1 sej/J);

(2) 雨水化学能(sej)=耕地面积(m<sup>2</sup>)×年降雨量(m)×密度(10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>)×吉布斯自由能(4.94×10<sup>3</sup> J/kg)×能值转换率(15 444 sej/J);

(3) 雨水势能(sej)=耕地面积(m<sup>2</sup>)×平均海拔高度(m)×年均降雨量(m)×密度(10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>)×重力加速度(9.8 m/s<sup>2</sup>)×能值转换率(8 888 sej/J);

(4) 表层土损耗能(sej)=耕地面积(m<sup>2</sup>)×[表土侵蚀速率(g/m<sup>2</sup>)-表土形成速率(g/m<sup>2</sup>)]×土壤平均有机质含量(%)×表土层吉布斯自由能(5.4×4 186 J/g)×能值转换率(62 500 sej/J)。

### 2.2 西安市耕地能值投入产出

基于上述的统计数据收集和能值计算方法阐述,我们编制出 2001—2012 年西安市耕地能值投入产出表(表 2)。

### 2.3 西安市耕地能值分析

西安市能值投入主要包括可更新环境资源投入、不可更新工业辅助能投入和有机能的投入;耕地能值产出主要包括小麦、玉米、稻谷 3 种粮食作物,另加大豆、棉花、油料和蔬菜 4 种经济作物。能值投入产出变化曲线见图 1。

表 2 2001—2012 年西安市耕地能值投入产出

10E+20 sej

项目	年份											
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1 太阳光能	0.89	0.87	0.85	0.83	0.82	0.79	0.81	0.80	0.80	0.79	0.77	0.76
2 雨水势能	0.43	0.42	0.9	0.51	0.54	0.53	0.67	0.51	0.63	0.48	0.67	0.39
3 雨水化学能	1.04	1.02	2.17	1.23	1.29	1.28	1.62	1.22	1.52	1.15	1.62	0.94
可更新资源小计	2.36	2.31	3.92	2.57	2.65	2.6	3.1	2.53	2.95	2.42	3.06	2.09
4 表土层损失	0.39	0.39	0.38	0.37	0.37	0.35	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34
不可更新资源小计	0.39	0.39	0.38	0.37	0.37	0.35	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34
5 氮肥	18.1	17.9	18.0	18.2	19.0	19.1	18.9	19.1	19.2	18.4	18.4	19.2
6 磷肥	26.7	25.9	26.2	27.2	28.7	29.3	28.7	28.0	27.4	27.2	26.9	27.1
7 钾肥	0.53	0.54	0.57	0.46	0.59	0.55	0.60	0.59	0.58	0.66	0.66	0.75
8 复合肥	2.45	2.71	2.78	2.92	3.23	3.39	3.49	3.71	3.98	4.43	4.59	5.55
9 农药	0.32	0.27	0.24	0.23	0.23	0.24	0.23	0.24	0.22	0.20	0.20	0.20
10 农业机械	14.2	14.4	14.6	15.1	15.8	16.0	16.5	19.1	18.4	18.8	20.3	21.0
11 电力	0.24	0.22	0.24	0.27	0.45	0.45	2.00	2.08	2.12	1.44	1.44	5.26
12 柴油	1.64	1.22	1.34	1.30	1.48	1.44	1.46	1.48	1.49	1.80	1.79	1.67
13 农膜	0.006	0.007	0.007	0.006	0.007	0.007	0.008	0.008	0.008	0.009	0.010	0.010
工业辅助能小计	64.19	63.17	63.98	65.69	69.48	70.47	71.89	74.31	73.40	72.94	74.29	80.74
14 种子	0.40	0.39	0.36	0.40	0.42	0.40	0.39	0.44	0.45	0.46	0.37	0.40
15 劳动力	20.7	20.4	20.9	20.2	19.8	19.5	19.0	18.2	17.5	16.7	16.7	16.3
可更新有机能小计	21.1	20.79	21.26	20.6	20.22	19.9	19.39	18.64	17.95	17.16	17.07	16.7
能值总投入	86.7	85.4	87.8	87.9	91.37	92.01	93.3	94.5	93.2	91.6	93.3	98.7
1 小麦	10.77	10.36	10.72	10.64	10.69	9.47	8.5	11.7	11.32	11.73	9.95	10.52
2 玉米	4.02	4.03	3.18	4.03	4.37	4.45	4.65	4.53	4.82	4.79	3.75	3.93
3 稻谷	0.34	0.27	0.20	0.22	0.20	0.18	0.19	0.11	0.11	0.11	0.08	0.07
4 棉花	0.024	0.026	0.032	0.057	0.065	0.069	0.085	0.089	0.09	0.086	0.08	0.068
5 油料	0.27	0.26	0.245	0.25	0.251	0.234	0.208	0.025	0.024	0.026	0.025	0.022
6 蔬菜	10.31	11.46	11.45	12.21	13.21	12.78	13.79	14.95	16.36	17.08	17.66	18.75
7 大豆	0.31	0.30	0.22	0.26	0.22	0.26	0.27	0.22	0.23	0.30	0.29	0.30
能值总产出	26.0	26.7	26.0	27.7	29.0	27.4	27.7	31.6	33.0	34.1	31.8	33.7

注:根据参考文献,太阳光能、风能、雨水化学能和雨水势能均为同一太阳能驱动,只选取最大值即雨水化学能。每个劳力按 1 a 平均工作 300 d 计算;各种作物种子按当年总产量的 2% 计算;西安市属于关中平原区域,其表土侵蚀速率取 2 000 g/m<sup>2</sup>,表土形成速率取值 1 260 g/m<sup>2</sup>,土壤平均有机质含量按 1.31% 计算。

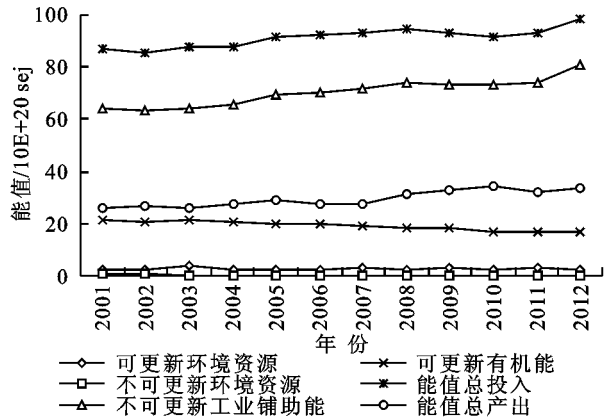


图 1 西安市 2001—2012 年耕地能值投入产出变化

2001—2012 年能值投入呈上升趋势,由 2001 年的  $8.67 \times 10^{21}$  sej 增加到 2012 年的  $9.87 \times 10^{21}$  sej,增长了 13.8%。其中,可更新环境资源投入较低,在研究期围绕  $1.2 \times 10^{21}$  sej 上下波动,在 2003 年达到最大值,原因是当年降雨量比较大。在不可更新环境资源中,西安市表土层损失值在逐渐减小,说明耕地保护意识在逐渐加强,

水土流失现象也逐步缓解。不可更新工业辅助能在能值投入中的比例约为 76.9%,且与能值总投入变化趋势基本一致,可见工业辅助能对西安市农业发展贡献最大;在工业辅助能中,化肥投入量最大,其次是农业机械。可更新有机能呈下降趋势,是因为西安市农业劳动力在减少,但是劳动力在研究期内对能值投入的贡献率约为 20.7%,说明西安市农业发展集约化程度不高,还未摆脱传统的农业生产模式。2001—2012 年能值产出由  $2.60 \times 10^{21}$  sej 增加到  $3.37 \times 10^{21}$  sej,上升了 29.6%。而西安市耕地产投比由 29% 增加到 34%,说明耕地单位投入所带来的经济效益在增加。

3 西安市耕地生态安全测度

3.1 评价指标体系的构建

本文认为耕地生态安全即为耕地生态环境处于基本未受到干扰或破坏、功能性强、产出能力稳定、生态环境无污染、生态灾害少的状态。当前国内外关于

耕地生态安全评价指标体系主要从经济、社会、环境和科技方面选取评价指标,本文在综合国内外相关研究成果的基础之上<sup>[11-15]</sup>,考虑人类活动、社会变化和环

安市耕地条件和开发利用的实际情况,引入能值理论及其对耕地生态影响机理,从压力(P)、状态(S)、响应(R)3 个方面选定 15 个评价指标构建西安市耕地生态安全评价指标体系,如表 3 所示。

表 3 西安市耕地生态安全评价指标体系

一级指标(权重)		二级指标	指标说明	预测方向	组合权重
压力 (0.3021)		人口密度	总人口/行政区面积	—	0.0656
		人均耕地面积	区域耕地面积/总人口	+	0.0428
		耕地非农指数	基期内耕地非农化面积/期初耕地面积	—	0.0661
		城镇化水平	非农业人口/总人口×100%	—	0.0752
		单位耕地辅助能值投入*	工业辅助能值投入/耕地面积	—	0.0524
耕地生态安全评价	状态 (0.2378)	单位耕地生产能力指数	西安市粮食单产/陕西省粮食单产×100%	+	0.0375
		能值密度*	能值总投入/耕地面积	+	0.0452
		净能值产出率*	粮食产出能值/(可更新能值投入+工业辅助能值)	+	0.0688
		环境负载率*	不可更新能值投入/可更新能值投入	—	0.0412
		可持续发展指数*	净能值产出率/环境承载率	+	0.0451
	响应 (0.4601)	旱涝保收率	旱涝保收面积/耕地总面积	+	0.0441
		废水排放达标率	废水排放达标量/废水排放总量	+	0.0492
		农民人均纯收入	农民总收入/农民总人口	+	0.1145
		农业财政支出比例	农业财政支出/财政总支出	+	0.1315
		人均能值产出*	粮食产出能值/总人口	+	0.1208

注:\*表示需结合能值理论进一步分析。

3.2 指标标准化及指标权重的确定

本文所构建的耕地生态安全评价指标体系是多指标综合评价的、各个指标之间缺乏统一的度量标准,而极差变换法可以有效地消除不同指标标准对评价结果的作用,因此首先对所有评价指标的观测值进行标准化处理以便更准确地确定指标权重。

对于正指标,计算公式为:

$$b_{ij} = \frac{[X_{ij} - \min(X_{ij})]}{[\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})]}$$

(i=1,2,⋯,m;j=1,2,⋯,n)

(1)

对于负指标,计算公式为:

$$b_{ij} = \frac{[\max(X_{ij}) - X_{ij}]}{[\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})]}$$

(i=1,2,⋯,m;j=1,2,⋯,n)

(2)

式中: $X_{ij}$ ——第  $i$  个评价单元在第  $j$  个指标上的实际数据; $\max(X_{ij})$ ——第  $j$  个指标的最大值; $\min(X_{ij})$ ——第  $j$  个指标的最小值, $j=1,2,\cdots,n$ 。

本文采用主观赋权法(层次分析法)和客观赋权法(熵值法)相结合的方法来确定指标权重。层次分

析法确定的指标权重向量为  $W_A = (W_1, W_2, \cdots, W_{15})^T$ ;熵值法确定的指标权重向量值为  $W_B = (W'_1, W'_2, \cdots, W'_{15})^T$ ;确定组合权重向量  $W_C = (W_{C_1}, W_{C_2}, \cdots, W_{C_{15}})^T$ ,令: $W_C = \theta_1 W_A + \theta_2 W_B$ ,其中  $\theta_1, \theta_2$  为组合权系数向量的线性系数,  $\theta_1, \theta_2 \geq 0$ ,且满足单位化约束条件: $\theta_1^0 + \theta_2^0 = 1$ 。对原始数据作无量纲化处理以及对  $\theta_1, \theta_2$  进行归一化处理,按照上述确定组合权重方法计算得出生态安全评价指标的组合权重值,具体数据见表 3。

3.3 综合评价值测算及标准的确定

根据上文计算所得的极差标准化后的数据和各个二级指标的权重,采用如下计算公式,计算二级指标下各个因素综合评价值,得出 2001—2012 年西安市耕地生态安全的最终评价值,如表 4 所示。

$$P = \sum_{i=1}^n \omega_i b_{ij}$$

(3)

式中: $P$ ——2001—2012 年各年西安市耕地生态安全综合评价值; $\omega_i$ ——第  $i$  个指标的权重; $b_{ij}$ ——指标标准值。

表 4 耕地生态安全综合测度值

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
P	0.4758	0.4256	0.3797	0.4142	0.4250	0.3473	0.3602	0.4298	0.5004	0.6089	0.4747	0.4989

目前有关耕地生态安全评价的相关研究中,没有统一的标准来衡量耕地生态安全情况,本文根据上文对西安市耕地生态环境的评价结果,在借鉴其他学者

生态系统安全等级划分的基础上<sup>[14-15]</sup>,将耕地生态安全评价值划分为 5 个等级区域:耕地生态不安全区、安全敏感区、安全临界区、基本安全区和安全区,见表 5。

表 5 耕地生态安全等级标准

安全评价区间	$0 < p < 0.2$	$0.2 \leq p < 0.4$	$0.4 \leq p < 0.6$	$0.6 \leq p < 0.8$	$0.8 \leq p < 1$
生态安全等级	不安全	安全敏感	安全临界	基本安全	安全

3.4 评价结果分析

根据上述分析计算,可以直观清晰地观察 2001—2012 年西安市耕地生态安全值及所处的安全等级,见图 2。

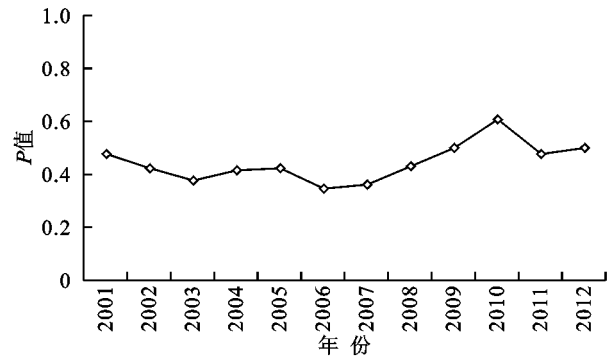


图 2 2001—2012 年西安市耕地生态安全综合评价曲线

对 2001—2012 年西安市耕地生态安全综合评价变化走势分析表明,西安市耕地生态安全综合指数总体偏低呈波动性特征,2006 年处在峰谷,2010 年达到峰值,说明西安市耕地生态系统安全状况总体偏低且极不稳定。西安市耕地生态安全评价价值由 2001 年的 0.475 8 降到 2003 年的 0.379 7,由安全临界区下降至安全敏感区;2004—2005 年年耕地安全评价价值有所上升,但到 2006 年安全评价价值下降到 0.347 3,处于安全敏感区。2007—2010 年生态安全评价价值继续呈波动上升至 0.608 9,生态安全等级有大幅提高,进入基本安全区,但在 2011 年,生态安全评价价值降到 0.474 7,2012 年增长至 0.498 9,又降至安全临界区。

表 6 模型逐步回归分析结果

模型	非标准化系数		标准系数	t	Sig.	共线性统计量	
	B	标准误差				容差	VIF
常量	0.299	0.137		2.178	0.072		
人均能值产出 $X_{15}$	2.520E-19	0.000	0.896	10.842	0.000	0.502	1.991
能值密度 $X_7$	-2.037E-20	0.000	-0.556	-3.576	0.012	0.142	7.064
农业财政支出比例 $X_{14}$	0.032	0.005	0.825	6.288	0.001	0.199	5.022
耕地非农化指数 $X_3$	-0.025	0.006	-0.368	-4.056	0.007	0.417	2.398
人口密度 $X_1$	-0.001	0.000	-0.517	-2.687	0.036	0.093	10.807

模型逐步回归分析结果显示,调整后的  $R^2 = 0.962$ ,且  $F = 7.218$ ,显著性  $p \approx 0.000$ ,通过  $F$  检验,表明方程拟合优度良好。同时,由表 6 可知所有系数的估计值都通过了  $T$  检验,均在 5% 的水平上显著。

4.3 影响因素分析

人均能值产出与耕地生态安全评价价值呈正相关。人均能值产出越大,耕地产出能力越强,在一定的价格水平下,农业产出增加的同时农业收入也在增加,

4 西安市耕地生态安全影响因素分析

由上文论述可得出耕地的生态安全状况受耕地利用的压力因素、状态因素和响应因素 3 个方面的共同作用,而各个因素又受指标层因子的影响。对影响耕地生态安全的各个指标层因子进行进一步分析,可以更深入地把握耕地生态安全状况。因此采用上文西安市 2001—2012 年耕地生态安全评价指标体系中的基础数据,选择多元线性回归模型中的逐步回归法将 15 个指标筛选出影响较大的因素进行分析,以期能影响揭示西安市耕地生态安全的影响因素。

4.1 模型建立

以耕地生态安全评价价值  $Y$  作为因变量,以耕地生态安全评价 15 个二级指标  $X_1, X_2, \dots, X_{15}$  作为解释变量,模型构建如下:

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^{15} \beta_j X_j + \epsilon \tag{4}$$

式中:  $\epsilon$ ——随机误差项;  $\beta_0$ ——常数项;  $\beta_j$ ——待估计的参数 ( $j = 1, 2, \dots, 15$ )。

4.2 多元线性回归模型分析

首先,采用回归分析中的进入 (enter) 法进行分析,分析结果虽然模型拟合通过显著性检验,但是部分指标方差膨胀因子 VIF 值远大于 10,表明模型中解释变量存在多重共线性。因此我们运用逐步回归法 (Stepwise) 来解决多重共线性的问题,具体详见表 6。

为进一步加大农业投入提供了可能。能值密度反映一个地区的经济发展水平,它与耕地生态安全呈负相关,说明西安市经济发展在一定程度上造成了耕地生态环境破坏。农业财政支出比例与耕地生态安全评价价值呈正相关。农业财政支出比例反映政府对农业的重视程度和扶持力度,增加耕地保护投入的资金,既可以大幅度地提高农业现代化水平,又能使耕地质量、耕地产出逐年提高,耕地安全程度也会越高。耕

地非农化指数越大,一方面耕地非农化面积增加,耕地面积减少,另一方面非农建设过程中会造成土地污染,这些都会导致耕地生态安全值下降。人口密度与耕地生态安全评价价值呈负相关。人口增长需要更多的耕地满足口粮,同时也需要占用耕地建设基础设施满足生活需要,势必造成耕地生态安全压力。

现对2001—2012年西安市耕地生态安全综合评价价值变化走势进行影响因素分析。2001—2002年耕地生态安全值处于安全临界区,由于人们对耕地生态环境的影响较小,人均耕地面积相对较高,耕地非农化指数较低;单位耕地辅助能值投入较低,耕地污染程度低,耕地生态问题不显著;2003年耕地生态安全水平下降至安全敏感区,是因为2003年西安市降雨量大,农业受灾面积较大,人均能值产出低;2004—2005年耕地生态安全值回升,原因是农业税的取消农业财政支出比例的上升使得农民的生产积极性增加;2006年耕地生态安全值位于峰谷,人口增长过快,能值密度值大,这段时期内受人类活动干扰,耕地生态系统结构有恶化趋势,耕地污染严重,生态问题显现,耕地生态安全处敏感水平;2006—2010年耕地生态安全值一直增加至最高值,原因是政府加大了对耕地生态环境的投入,农业科技水平的提高和应用使得耕地产出能力增强,西安市加强了对水土流失的综合治理,加大对非农建设用地占用耕地的管制,人均能值处于较高水平,生态安全水平的逐步回升;2011—2012年耕地生态安全值又下降至临界安全区,是因为耕地非农化面积大幅增加,耕地面积减少,另一方面非农建设过程中会造成土地污染,这些都会导致耕地生态安全值下降。

## 5 结论与建议

通过对2001—2012年西安市耕地生态安全评价分析表明,西安市耕地生态安全程度呈波动性特征,耕地生态安全状况总体偏低且不稳定。人均能值产出、能值密度、农业财政支出比例、耕地非农化指数和人口密度是影响西安市耕地生态安全水平的重要因子。

研究结果显示,耕地生态安全耕地生态水平有很大提升空间,政府和民众都应该意识到耕地生态安全的重要性,采取措施控制耕地数量,保护耕地质量,稳定粮食产量,不断协调影响耕地生态安全的自然、经济和社会因素,从而提高西安市耕地生态安全水平。建议如下:第一,加大农业科技投入力度,提高人均能值产出。第二,增加农业财政支出,通过开展土地整理提高耕地质量;同时,合理引导和培训农民采用先

进合理的耕作方式提高耕地生态安全程度。第三,严格控制非农建设占用耕地,确保耕地数量安全与质量安全。第四,提升区域人口与耕地资源匹配性,减轻耕地资源承载能力。

因此,通过能值理论与PSR模型有机结合,将资源环境、人类活动、社会经济等联系起来并考虑它们之间的相互作用,有利于调整耕地生态环境、人类活动和经济发展的关系。在PSR模型下建立的耕地生态安全评价体系中,能值指标选取和生态安全等级划分时存在一定的主观性,今后在系统表征指标的选取和生态安全等级的确定方面还应进一步深入研究。

### 参考文献:

- [1] 杨曙辉,宋天庆,陈怀军,等.中国耕地生态安全危机的影响及思考[J].农业科技管理,2012,31(3):5-9.
- [2] 张冰洁,宋戈.松嫩高平原黑土区典型地域耕地生态安全评价及驱动力分析:以黑龙江省绥化市为例[J].水土保持研究,2012,19(3):215-220.
- [3] 张锐,郑华伟,刘友兆,等.基于PSR模型的耕地生态安全物元分析评价[J].生态学报,2013,33(16):5090-5100.
- [4] 王千,金晓斌,周寅康.河北省耕地生态安全及空间聚集格局[J].农业工程学报,2011,27(8):338-344.
- [5] 徐慧,黄贤金,赵荣钦,等.江苏省沿海地区耕地系统能值分析及高效持续利用评价[J].自然资源学报,2011,26(2):247-257.
- [6] 徐辉,雷国平,崔登攀,等.耕地生态安全评价研究:以黑龙江省宁安市为例[J].水土保持研究,2011,18(6):180-184,189.
- [7] 赵其国,周生路,吴绍华,等.中国耕地资源变化及其可持续利用与保护对策[J].土壤学报,2006,43(4):662-672.
- [8] 蓝盛芳,钦佩,陆宏芳.生态经济系统能值分析[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [9] 西安市统计局.西安统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002—2013.
- [10] 陕西省统计局.陕西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002—2013.
- [11] 舒帮荣,刘友兆,陆效平,等.能值分析理论在耕地可持续利用评价中的应用研究:以南京市为例[J].自然资源学报,2008,23(5):876-885.
- [12] 金丹,卞正富.徐州耕地生态经济系统结构、功能及可持续性绩效评价[J].中国土地科学,2010(2):38-44.
- [13] 刘学功,成金环,秦明周,等.河南省新野县村镇土地利用的能值评价[J].生态经济,2011(5):81-83.
- [14] 任平,洪步庭,周介铭.长江上游农业主产区耕地生态安全评价与空间特征研究[J].中国人口·资源与环境,2013,23(12):65-69.
- [15] 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.