

基于投影寻踪模型的河南省耕地生态安全评价

李明薇, 陈伟强, 鄢雨旱, 马月红, 郭蕊蕊

(河南农业大学 资源与环境学院, 郑州 450000)

摘 要:耕地生态安全关系到粮食供给、社会稳定和经济社会可持续发展,对河南省 2006—2015 年的耕地生态安全状况从时空角度进行了分析评价,为指导区域耕地合理、可持续利用提供科学依据。运用 PSR 模型构建了耕地生态安全评价指标体系,运用准确度较高的投影寻踪模型进行了评价指数的测算。结果表明:(1) 人均耕地面积、单位耕地面积化肥负荷、第一产业占 GDP 比重、耕地垦殖率、城镇化水平已经成为影响河南省耕地生态安全状况的主要因素;(2) 研究期间,河南省耕地生态安全综合评价价值从 0.893 7 增加至 0.941 9,呈现出“快速上升—缓慢下降—波动上升”的阶段性发展态势;(3) 根据耕地生态安全综合评价价值的变化规律,将 18 个评价单元从时间维上分为快速上升区、慢速上升区和基本稳定区 3 种类型,在空间维上分为安全级别、良好级别、敏感级别、风险级别、危险级别 5 种划分类型;(4) 2006—2015 年,除了郑州,其他 17 个省辖市耕地生态安全综合评价价值均呈上升态势,城镇化水平、人口密度、人均耕地面积、第一产业占 GDP 比重是影响郑州耕地生态安全的主要因素。

关键词:耕地生态安全; PSR 模型; 投影寻踪模型; 河南省

中图分类号: F323.21; X826

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)04-0257-07

Evaluation on Farmland Ecological Security in Henan Province Based on Projection Pursuit Model

LI Mingwei, CHEN Weiqiang, YUN Yuhang, MA Yuehong, GUO Ruirui

(College of Resources and Environment, He'nan Agricultural University, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The ecological security of cultivated land is related to grain crops, social stability and sustainable development of economy and society. The ecological security status of cultivated land in Henan Province during 2006—2015 was analyzed and evaluated from the perspective of time and space, which could provide the basis for guiding the rational and sustainable utilization of cultivated land. The evaluation index system of cultivated land ecological security was constructed by using PSR model, and the projection pursuit model with higher accuracy was used to calculate the evaluation index. The results were as follows. (1) The per capita arable land area, chemical fertilizer load of the unit cultivated land area, the first industry accounted for the proportion of GDP, land reclamation rate index, the level of urbanization have become the main influencing factors on cultivated land ecological security in Henan Province. (2) During the study period, the comprehensive evaluation of the ecological security of cultivated land in Henan increased from 0.893 7 to 0.941 9, showing a ‘rapid rise-slow decline-rising volatility’ stage of development. (3) According to the variation of comprehensive evaluation of land ecological security value, the 18 evaluation units can be divided into three types including rapid rise level area, slow rise level area and basic stability level area in time dimension, and five types including security level, good level, sensitive level, risk level, risk level in space dimension. (4) During 2006—2015, in addition to Zhengzhou City, the other cities were on the rise on the ecological security evaluation of farmland, the level of urbanization, per capita arable land area, the first industry accounted for the proportion of GDP, the density of population have become the main influencing factors on cultivated land ecological security in Zhengzhou City.

Keywords: ecological security of cultivated land; PSR model; projection pursuit model; Henan Province

耕地是农业生产的基础,是土地资源的精华,耕地的生态安全对于保障国家粮食安全和国民经济的可持续发展具有重要作用^[1]。耕地生态安全是指在一定的时间和空间范围内,耕地生态系统在保持自身正常功能结构的情况下能够满足社会经济可持续发展所需要的状态,包括耕地生态系统安全、耕地资源环境安全和耕地社会经济安全^[2-6]。河南省是农业大省、人口大省、国家粮食主产区之一,粮食产量居全国前列,其耕地资源的生态安全状况直接关系到国家粮食安全保障以及社会的稳定、经济的可持续发展。然而近年来随着经济的快速发展及城镇化率的提高,大量耕地资源被占用,人与耕地矛盾日益加剧。与此同时,农药、化肥、农膜的不合理利用带来严重的水土流失、土壤污染等问题,造成耕地生态环境不断恶化,使得河南省耕地资源生态安全面临严峻的挑战。因此,对河南省耕地生态安全现状进行评价与分析具有重要的现实意义。

学者们对耕地生态安全进行了大量研究。目前相关研究内容主要集中在区域耕地生态安全现状分析^[7-9]、耕地生态安全影响因子分析^[10-12]、区域耕地生态安全时空分布研究^[13-14]等方面。相关研究常采用层次分析法、熵权法、组合赋权法等常规方法^[15],然而层次分析法在确定指标权重方面较偏重于人的主观性,熵值法虽然克服了层次分析法在确定指标权重方面的缺陷,但用该方法确定的权重大小受样本差异程度影响较为明显^[16]。投影寻踪是处理和分析高维数据的一类新兴的统计方法,其基本思想是将高维数据投影到低维子空间上,寻找出反映原高维数据的结构或特征的投影,以达到研究和分析高维数据的目的。1974 年,美国 Stanford 大学的 Friedman 和 Tukey 首次将该方法命名为 Projection Pursuit,即投影寻踪。实证表明该方法建模评价具有信息表征丰富、客观可靠、适用和可操作等特点^[17-18]。

本文以河南省为研究对象。首先,基于压力—状态—响应模型^[19-23],结合本省的区域状况选取评价指标。其次,运用投影寻踪模型^[24]对指标数据进行测算,进而深入研究和分析河南省耕地资源生态安全现状,为保护河南省耕地生态环境和经济社会的可持续发展提供理论指导和技术支持。

1 研究区概况

河南省辖 17 个省辖市,1 个省直管市,21 个县级市,87 个县,界于北纬 31°23'—36°22',东经 110°21'—116°39',属大陆性季风气候。全省土地总面积 16.7 万 km²,居全国各省区市第 17 位,占全国总面积的 1.73%,平原、盆地、山地、丘陵分别占总面积的 55.7%,26.6%,

17.7%。近年来,由于经济的发展,不合理的开发和占用耕地,导致耕地面积不断减少,人地矛盾日益突出。截至 2015 年末,河南省总人口 10 722 万人,人均耕地面积 0.075 hm²,不及全国人均耕地面积的 1/3。河南省耕地生态系统不断恶化,生态安全程度降低,河南省是我国的粮仓,人口大省,对其进行生态安全评价迫在眉睫。

2 数据来源

本文数据主要来源于《河南省统计年鉴》(2006—2015 年)、《河南省水资源公报》(2006—2015 年)、《河南省国民经济和社会发展统计公报》、《河南省环境状况公报》、河南省人民政府门户网站。本文数据部分直接从统计年鉴和水资源公报等以上资料查得,其他数据根据查得数据计算而来。为统一耕地生态安全评价各指标值的变化范围并消除量纲,本文采用极差法对评价指标原始数据进行标准化处理。

3 研究方法

3.1 评价指标体系的构建

PSR 模型最初是由加拿大统计学家 David J. Rapport 和 Tony Friend 提出,后由联合国环境规划署(UNEP)和经济合作与发展组织(OECD)于 20 世纪 80、90 年代共同发展起来的用于研究环境问题的框架体系。该模型主要用于评价生态环境所承受的各种压力及这些压力给生态环境所带来的影响,以及人们对这些影响所做的响应。对于耕地生态安全系统而言,P(压力)指各种人类活动对土地施加的压力及对土地质量状况变化的影响;S(状态)指在各种压力下植被、土壤、养分、水等资源环境变化的类型、程度、空间范围和速率;R(响应)指各类土地用户和政府为补救土地退化性变化所做的有意识的努力。

本文在借鉴前人研究成果的基础上^[25-27],联系河南省的实际情况,以科学性、动态性、综合性和可操作性为原则,利用 PSR 模型从压力、状态、响应各准则层选取与河南省耕地生态安全密切相关的 22 项指标,建立耕地生态安全评价指标体系(表 1)。

3.2 投影寻踪模型构建

投影寻踪是将高维数据投影到低维子空间上,寻找出能较好反映原高维数据信息的数理模型,以达到处理高维数据的目的,是一种新兴的统计方法。投影寻踪模型自 1974 年由美国斯坦福大学的 Friedman 和 Tukey 两位学者提出以来,其理论和方法得到不断深化和发展,同时与现代计算机科学相结合,凭借其在高维、非线性数据分析方面计算快捷、信息处理

精确的优势,广泛应用于医疗影像的鉴别与分类、工程项目管理、导弹目标设定分析等多类学科^[16]。近

年来,投影寻踪模型在多指标综合评价研究中的应用,更是得到众多学者的青睐。

表 1 2006—2015 年河南省耕地生态安全评价指标体系及权重

目标层	准则层	指标层	计算方法及单位	指标属性	权重
耕地生态安全评价	压力(P)	人口密度(C_1)	总人口/土地面积(人/ km^2)	—	—0.0853
		人口自然增长率(C_2)	人口出生率—人口死亡率(%)	—	0.0656
		人均耕地面积(C_3)	耕地面积/总人口(hm^2 /人)	+	0.5793
		城镇化率(C_4)	城镇人口/总人口(%)	—	0.2071
		单位耕地面积化肥负荷(C_5)	化肥总施量/耕地面积(t/hm^2)	—	—0.5042
		单位耕地面积农药负荷(C_6)	农药总施用量/耕地面积(t/hm^2)	—	0.1231
		单位耕地面积农膜负荷(C_7)	农膜总施用量/耕地面积(t/hm^2)	—	0.0664
		耕地环境质量指数(C_8)	(化肥总施用量+农药总施用量)/2(t)	—	—0.0421
	状态(S)	森林覆盖率(S_1)	(森林面积/土地面积) $\times 100\%$ (%)	+	—0.0177
		单位耕地粮食产量(S_2)	粮食总产量/耕地面积(kg/hm^2)	+	0.1259
		复种指数(S_3)	播种面积/耕地面积(%)	+	0.1109
		耕地垦殖率(S_4)	耕地面积/土地面积(%)	+	0.2094
		第一产业占 GDP 的比重(S_5)	第一产业产值/GDP(%)	+	0.4554
		高产田面积比例(S_6)	高产田面积/耕地面积(%)	+	0.0771
		自然灾害受灾面积比重(S_7)	自然灾害成灾面积/农作物播种面积(%)	—	0.0336
	响应(R)	污水处理率(R_1)	全年污水处理量/全年污水生产量(%)	+	—0.0065
		有效灌溉面积比重(R_2)	有效灌溉面积/耕地面积(%)	+	0.0429
		农民纯收入(R_3)	农民纯收入(元)	+	—0.0075
		人均粮食占有量(R_4)	总人口/粮食总产量(kg)	+	0.1607
		环境污染治理投资占 GDP 比重(R_5)	环保投资额/GDP(%)	+	0.0995
		单位耕地面积农业机械化总动力(R_6)	农业机械总动力/GDP(kW/hm^2)	+	—0.0229
		农林水事务投资比例(R_7)	农林水事务投资额/总投资额(%)	+	0.0972

注:权重即最佳投影方向向量;“+”表示正向指标,值越大越好;“—”表示负向指标,值越小越好。 P_8 是对化肥总施用量和农药总施用量先进行标准化处理后的平均值。

投影寻踪模型的建模过程如下:

(1) 综合投影值的定义。设定标准化处理后的 $x(i,j)$ 为评价对象第 i 样本,第 j 个指标的标准化值。其中($i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,p;n,p$ 分别为样本数量与指标个数), $\alpha=(\alpha_1,\alpha_2,\cdots,\alpha_p)$ 为 p 维单位投影向量,那么第 i 个样本的综合投影值为:

$$Z(i)=\sum_{j=1}^n\alpha(j)\cdot x(i,j) \tag{1}$$

(2) 投影指标函数的构造。为了在数据降维过程中,保证投影值全面准确地反映指标信息特征,要求投影值的分布特征为:局部各投影值点集聚,投影值区间形成若干密集点团;整体上各个密集点团分散开来,尽量分布在整个投影值区间。设定 S_z,D_z,Q_z 分别为各个样本 $z(i)$ 综合投影值的标准差、局部密度、投影指标函数。则投影指标函数为:

$$Q_z=S_z\cdot D_z \tag{2}$$
$$D_z=\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^n[R-r(i,j)]\cdot u[R-r(i,j)] \tag{3}$$

式中:设定 R 为样本投影值局部密度的窗口半径; $r(i,j)$ 表示样本投影值间的距离, $r(i,j)=|z(i)-z(j)|$;符号函数 $u[R-r(i,j)]$ 为单位阶跃函数,当 $R\geq r(i,j)$ 时,函数值为 1;当 $R<r(i,j)$ 时,函数值取 0。密度窗宽 R 的取值为: $r(i,j)_{\max}\leq R\leq 2p$ 。

(3) 投影指标函数的优化。当一维投影指标函数值最大时,可以较好地揭示高维数据的基本特征,因此,样本投影指标函数值 Q_z 尽量取最大值。此时,单位向量 α 为最佳投影向量。优化函数如下:

最大化指标函数:

$$\max Q_z=S_z\cdot D_z \tag{4}$$
$$\|\alpha\|=1 \tag{5}$$

(4) 投影指标函数的求解。目前,大多数学者对投影指标函数的求解多采用蚁群算法、加速遗传算法、粒子群算法等智能算法与计算机技术相结合来进行优化计算。本文选用更加可靠和有效的多智能体遗传算法对目标函数进行全局优化,以期求得最优解。然后利用所求的最佳投影单位向量,得到充分反映各指标信息的综合投影值,从而进行评价。

3.3 评价结果的优劣排序

本文以最佳投影方向向量作为各评价指标的权重,以求得的最佳投影方向向量,与各指标相应的标准化值相乘,将其积进行加和,得到各个样本点的投影值(即耕地生态安全评价值),包括子系统评价值和系统综合评价值,然后根据样本投影值的大小进行优劣排序。根据最佳投影方向向量对各评价指标对子系统和系统的影响程度进行分析。

3.4 评价标准的建立

目前关于耕地生态安全评价标准并没有统一的阈值,本文参考相关研究^[28-30],并结合研究区域实际

情况,通过 SPSS 分析将研究区域耕地生态安全综合评价值的取值划分为 5 个区间,依次对应 5 个等级,并对系统特征进行详细描述,具体评价标准见表 2。

表 2 耕地生态安全评价标准

综合评价值	安全级别	特征
(1.26,1.6)	安全级别(I)	耕地生态环境基本未受破坏,处于不受威胁的健康状态
(1.08,1.26)	良好级别(II)	耕地生态环境受到较小干扰,生态系统功能处于良好的状态
(0.82,1.08)	敏感级别(III)	耕地生态环境受到较少破坏,生态系统尚可维持基本功能,但是受到干扰后易恶化
(0.53,0.82)	风险级别(IV)	耕地生态环境遭受较大破坏,遭到破坏后恢复存在一定的困难
(0,0.53)	危险级别(V)	耕地生态环境遭受很大破坏,受外界干扰后生态恢复与重建很困难,易演变成生态灾害

4 结果与分析

4.1 评价指标最佳投影方向向量的确定

本研究以 2006—2015 年河南省各年度和各省辖市评价指标数据为样本,采用基于遗传算法的投影寻踪模型评价分析河南省耕地生态安全时序变化和空间分异。在耕地集约利用时序变化评价分析中,样本维数为 10(样本为年度),指标数为 22;在耕地生态安全空间分异评价分析中,样本维数为 18(样本为各省辖市),指标数为 22。利用基于多智能体遗传算法的投影寻踪模型,将标准化处理后的数据在 Matlab 2016 中进行仿真计算^[31-33],得出河南省耕地生态安全时序变化和空间分异各评价指标的最佳投影方向向量(表 1)。

投影指标的绝对值越大,指标越重要^[16]。由最佳投影方向向量可知,排在前 5 位的依次是人均耕地面积、单位耕地面积化肥负荷、第一产业占 GDP 比重、耕地垦殖率、城镇化水平,说明该 5 项指标是影响河南省耕地生态安全状况的主要因素。

4.2 耕地生态安全综合评价价值分析

4.2.1 压力系统综合评价价值变化分析 由图 1 可知,河南省耕地生态安全压力系统评价价值在 2006—2015 年期间总体上呈现波动上升态势。其中,2006—2009 年,耕地生态安全压力系统评价价值呈现快速上升态势,以 26.93% 的增长率,由 2006 年的 0.157 8 上升到到 2009 年的 0.200 3;2010—2013 年,耕地生态安全压力系统评价价值呈下降趋势,由 2010 年的 0.194 5 下降到 2013 年的 0.182 8;2014—2015 年,耕地生态安全压力系统评价价值增长了 0.2%。这表明耕地利用系统压力状况有所改善,人类对耕地利用系统的干扰逐渐减少,但是仍需加强对耕地利用系统的保护,减少耕地生态环境压力。

4.2.2 状态系统综合评价价值变化分析 由图 2 可知,河南省耕地生态安全状态系统评价价值在 2006—2015 年期间总体呈现缓慢下降态势,耕地生态安全状态系统评价价值由 2006 年的 0.546 2 下降到 2015

年的 0.526 9,年均减少率为 3.66%。其中,2006 年生态安全状态系统评价价值为 0.546 2,是研究期间的该系统的最大值;2007—2010 年,状态系统评价价值出现上升态势,由 2007 年的 0.540 1 上升到 2010 年的 0.546 0;2011—2015 年状态系统评价价值呈现波动下降态势,以 1.46% 的减少率由 2011 年 0.534 6 下降到 2015 年的 0.526 9。这表明在此期间,当地政府对土地的综合整治力度不够,农业环境污染治理效果不明显,还应积极发展生态农业建设,改善农业生产条件,推广土壤改良技术,促进耕地生态环境不断改善。

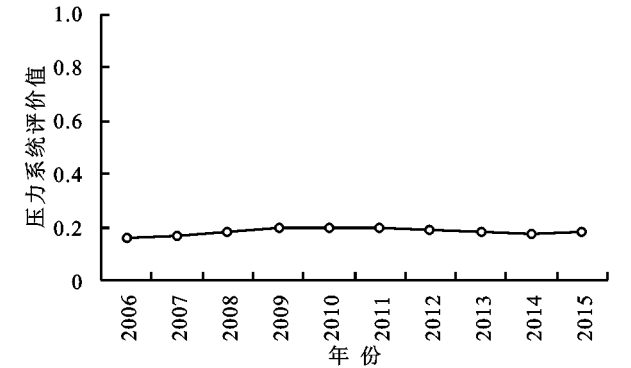


图 1 2006—2015 年河南省耕地生态安全压力系统发展态势

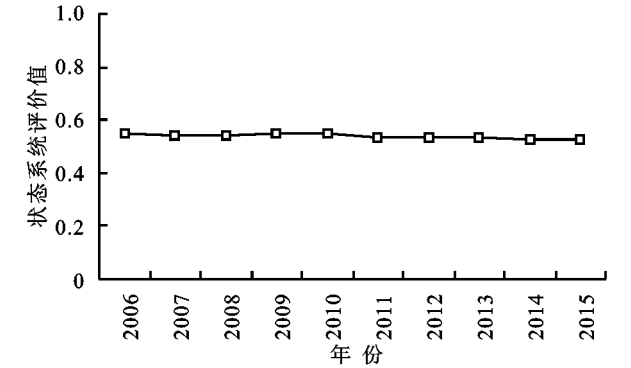


图 2 2006—2015 年河南省耕地生态安全状态系统发展态势

4.2.3 响应系统综合评价价值变化分析 由图 3 可知,河南省耕地生态安全响应系统评价价值在 2006—2015 年期间整体上呈波动上升态势,由 2006 年的 0.189 7 上升到 2015 年的 0.236 7,年均增长率为 24.78%。其中,人均粮食占有量、环境污染治理投资比例、农林水

事务投资比例分别由 2006 年的 544.32 kg, 57%, 7.73% 增加到 2015 年的 639.99 kg, 86%, 11.64%。这说明政府部门对耕地生态环境的保护措施起到了比较明显的成效, 加大了对耕地生态环境保护和农业科技的投入, 加强了对耕地污染的治理, 粮食产量不断提高; 同时也得益于国土整治工程的持续推进和严格耕地保护制度的稳步实施。

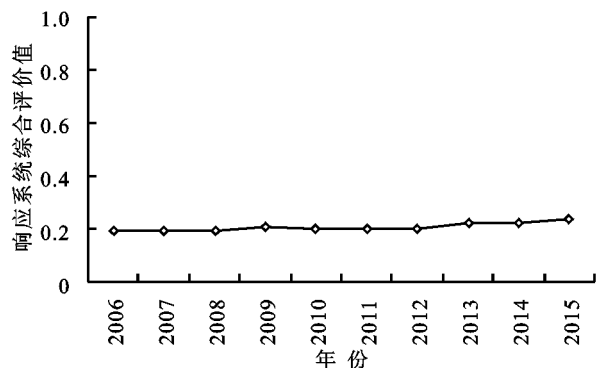


图3 2006—2015年河南省耕地生态安全响应系统发展态势

4.2.4 综合系统评价值变化分析 从图4可以看出, 在2006—2015年期间, 河南省耕地生态安全投影值整体上呈波动上升趋势, 由2006年的0.8937上升到2015年的0.9419, 均处于敏感级别(Ⅲ), 表明河南省耕地生态环境受到较少破坏, 生态系统结构尚能维持基本功能, 但受干扰后易恶化。进一步分析可知研究期间河南省耕地生态安全以2009年、2012年为分界点呈现出“快速上升—缓慢下降—波动上升”的阶段性发展态势。2006—2009年(快速上升阶段), 耕地生态安全综合评价值由2006年的0.8937上升到2009年的0.956。主要是因为耕地生态安全压力系统评价值的上升, 说明耕地生态安全压力在此研究阶段不断减小, 人们对耕地的改造和干扰减少。2009—2011年(缓慢下降阶段), 耕地生态安全综合评价值由2009年的0.9563下降到2012年的0.9254, 主要因为压力系统和响应系统评价值均缓慢下降。主要体现在, 单位化肥、农药、农膜负荷的不断增加, 分别从2009年的628.67万t, 12.14万t, 14.14万t增加到2011年的673.71万t, 12.87万t, 15.16万t, 第一产业占GDP比重由2006年的13.90%下降到2012年的12.77%。2012—2015年(波动上升阶段), 耕地生态安全综合评价值由2012年的0.9252增加到2015年的0.9419。主要得益于2011年9月国务院颁布的《关于支持河南省加快建设中原经济区的指导意见》, 中原经济区建设正式上升为国家战略, 省九次党代会提出了建设中原经济区的宏伟事业, 《意见》指出“坚持高起点推进工业化、城镇化和农业现代化, 把加强生态环境保护、节约集约利用资源作

为转变经济发展方式的重要着力点, 加快构建资源节约、环境友好的生产方式和消费模式, 不断提高可持续发展能力”。同时《意见》要求河南持续探索走好一条不以牺牲农业和粮食、生态和环境为代价的新型城镇化、新型工业化、新型农业化三化协调科学发展的路子。作为对政策的响应, 本省加大了对环境污染治理和农林水事务的投资比例, 分别由2012年的60%, 11%上升到90%, 11.6%; 农业基础设施有了比较大的改善, 单位耕地面积农业机械化水平、有效灌溉面积比重分别由2012年的10 872.73万kW, 61%上升到11 710.08万kW, 66%。

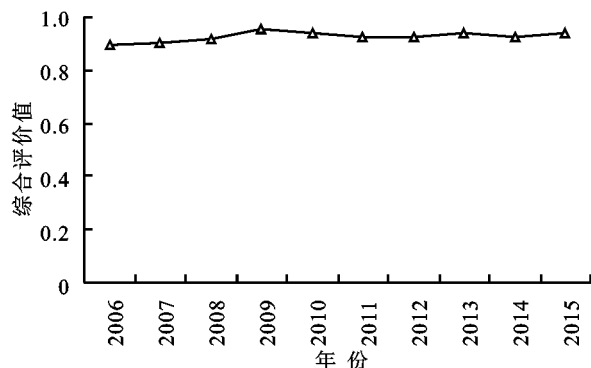


图4 2006—2015年河南省耕地生态安全综合评价值发展态势

4.3 各省辖市耕地生态安全时空演变结果与分析

4.3.1 各省辖市耕地生态安全时间变化 以河南省18个省辖市为评价单元, 计算获取河南省2006—2015年各个省辖市的耕地生态安全综合评价值。根据研究区域的地域特征并咨询相关专家, 对18个省辖市耕地生态安全评价值在2006—2015年的变化率(Q)进行分类, 将各省辖市分为3大类, 即快速上升区($Q > 20\%$)、慢速上升区($10\% < Q \leq 20\%$)、基本稳定区($0 \leq Q \leq 10\%$), 结果见表3。

研究表明, 鹤壁市、三门峡市、信阳市3个省辖市属于耕地生态安全综合评价值快速上升区, 开封市、洛阳市、平顶山市等10个省辖市属于耕地生态安全综合评价值慢速上升区, 郑州市、漯河市、商丘市、周口市、驻马店5个省辖市在研究期间耕地生态安全综合评价值变化不大, 则属于基本稳定区。

2006—2015年, 除了郑州市外, 其他17个省辖市的耕地生态安全综合评价值均呈波动上升态势, 主要因为研究期间郑州市城镇化水平不断提高, 人口密度以46%的增长率快速增加, 人均耕地面积不断减少, 由2006年的0.05 hm^2 下降到2015年的0.03 hm^2 , 第一产业占GDP比重不断下降, 由2006年的4%下降到2015年的2%。说明影响郑州耕地生态安全的主要因素是城镇化水平、人口密度、人均耕地面积、第一产业占GDP比重。

表 3 2006—2015 年河南省各省辖市耕地生态安全综合评价价值

省辖市	耕地生态安全综合评价价值										变化率/ %	综合评价价值 时间维
	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年		
郑州市	0.4506	0.4156	0.4660	0.5093	0.3774	0.4531	0.4622	0.4742	0.4128	0.4500	-0.1301	基本稳定区
开封市	1.0399	1.0371	1.0648	1.1163	1.1196	1.1650	1.1453	1.1238	1.1228	1.1533	10.9080	慢速上升区
洛阳市	0.4535	0.4438	0.4928	0.5398	0.4414	0.5225	0.5319	0.5038	0.4795	0.5012	10.5275	慢速上升区
平顶山市	0.7500	0.7639	0.8090	0.8447	0.7737	0.8578	0.8667	0.8502	0.8169	0.8799	17.3139	慢速上升区
安阳市	0.9826	0.9446	1.0481	1.0826	1.0475	1.1352	1.1118	1.0936	1.1187	1.1532	17.3645	慢速上升区
鹤壁市	0.7533	0.8414	0.8632	0.9540	0.8510	0.9131	0.9243	0.9045	0.8803	0.9717	28.9870	快速上升区
新乡市	0.9776	1.0046	1.0265	1.0977	1.0687	1.1093	1.1026	1.0858	1.1202	1.1449	17.1068	慢速上升区
焦作市	0.7598	0.8158	0.8355	0.8858	0.8384	0.8689	0.8693	0.8456	0.8345	0.8551	12.5555	慢速上升区
濮阳市	1.0295	1.0340	1.0535	1.1114	1.0808	1.1575	1.1441	1.1150	1.1337	1.1484	11.5567	慢速上升区
许昌市	0.8742	0.8470	0.9790	1.0307	0.9740	1.0486	1.0111	0.9871	0.9869	0.9906	13.3133	慢速上升区
漯河市	1.0375	0.9308	1.0026	1.0566	1.0249	1.0882	1.0684	1.0545	1.0487	1.0400	0.2420	基本稳定区
三门峡市	0.3513	0.3709	0.4265	0.4764	0.3991	0.4708	0.4940	0.4594	0.4502	0.4560	29.7987	快速上升区
南阳市	0.9760	0.9502	0.9862	1.0534	1.0665	1.0928	1.0583	1.0137	1.0724	1.1059	13.3182	慢速上升区
商丘市	1.2381	1.2120	1.2405	1.3167	1.3501	1.3847	1.3100	1.2796	1.3250	1.3535	9.3256	基本稳定区
信阳市	0.9168	1.0264	1.0669	1.1187	1.2622	1.3766	1.2511	1.1933	1.2823	1.2956	41.3196	快速上升区
周口市	1.3623	1.2735	1.3220	1.3757	1.4315	1.4441	1.3470	1.3051	1.3550	1.3836	1.5655	基本稳定区
驻马店市	1.4035	1.3263	1.3034	1.3493	1.4040	1.5300	1.4009	1.3632	1.4491	1.4832	5.6763	基本稳定区
济源市	0.3864	0.4182	0.3923	0.5006	0.3958	0.4678	0.4670	0.4613	0.4285	0.4304	11.3808	慢速上升区

4.3.2 各省辖市耕地生态安全空间分异 本研究选取 2006 年、2011 年、2015 年作为典型年份,根据计算的各省辖市的耕地生态安全综合评价价值,生成 18 个省辖市的耕地生态安全空间分布图(图 5)。

2006 年,只有周口市和驻马店市属于安全级别,商丘市属于良好级别,安阳市、开封市、南阳市等 8 个省辖市属于敏感级别,平顶山市、鹤壁市、焦作市这 3 个省辖市属于风险级别,郑州市、洛阳市、三门峡市、济源市属于危险级别;2011 年,属于安全级别的省辖市在 2006 年的基础上增加了两个(商丘市和信阳市),而属于良好级别的省辖市增加了 5 个(开封市、新乡市、南阳市等),属于敏感级别的省辖市则减少了 4 个,属于危险级别的省辖市依旧不变,但是郑州、洛阳、三门峡、济源这 4 个省辖

市的耕地生态安全综合评价价值却均有所上升;到 2015 年,除了漯河市由良好级别降低为敏感级别外,其他省辖市的生态安全状况均保持同 2011 年相同的状态,主要是因为漯河市人口密度的增大、人口自然增长率的升高,仅次于河南省省会郑州,且环境污染投资比例有所下降,由 2011 年的 27%下降到 2015 年的 20%。

从图 5 可以看出,2006 年、2011 年、2015 年属于危险级别的省辖市一直是郑州市、洛阳市、三门峡市、济源市,虽然这 4 个省辖市的耕地生态安全综合评价价值在研究期内均有不同程度的上升,但耕地生态安全状况依旧不容乐观,需加大整治力度。但是总体而言,研究期间河南省各省辖市的耕地生态安全水平都得到了不同程度的提高。

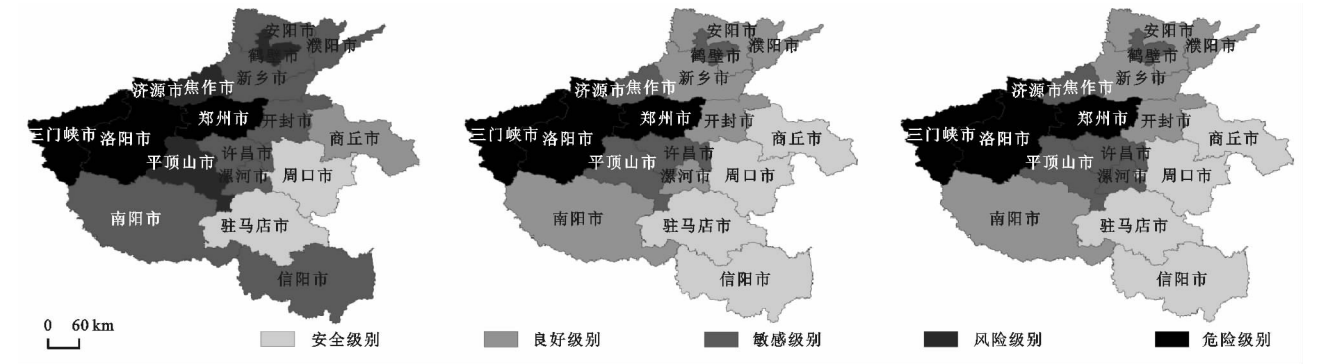


图 5 2006—2015 年河南省各省辖市耕地生态安全空间变化格局

5 讨论与结论

(1) 根据最佳投影方向向量值,压力系统中的人均耕地面积、城镇化率、单位耕地面积化肥负荷,状态系统中的耕地垦殖率、第一产业产值占GDP比重等指标已经成为影响河南省耕地生态安全状况的主要因素,这可作为未来河南省耕地生态安全改进或提升的重点方向。

(2) 2006—2015年,河南省耕地生态安全综合评价从0.8937增加至0.9419,耕地生态安全整体水平呈波动上升态势,以2009年、2011年为分界点,呈现出“快速上升—缓慢下降—波动上升”的阶段性发展态势。表明研究区域耕地生态环境有所改善,生态水平有所提高。

(3) 河南省各省辖市的耕地生态安全综合评价在时间维上具有动态变化规律,研究期间,除了郑州市,其他各省辖市的耕地生态安全综合评价值整体上均呈上升趋势。空间维上,除了郑州、洛阳、三门峡、济源这4个省辖市的耕地生态安全综合评价值一直处于危险级别外,其他省辖市的耕地生态安全级别均有所提高。郑州市是河南省的省会,人口密度的快速增大、新城区的建设、经济的快速发展等问题是造成郑州市耕地生态安全状况逐年下降的主要原因;洛阳、三门峡、济源这3个城市是河南省的重要矿产城市,矿产的不合理开采对耕地生态安全有较大的影响。因此,河南省应加强对“优生优育”的宣传,控制人控增长过快;加大土地整治力度,严格控制不合理占用耕地现象;规范矿产开采,减少土地污染;提高农药、化肥的利用率,减少残留,降低污染;加强环保投入力度,提高森林覆盖率。

(4) 本文提出的基于多智能体遗传算法的投影寻踪模型,与常规的评价方法相比,其客观可靠,能有效避免人为赋权的干扰,信息表征比较丰富,克服了常规评价方法的不足,评价结果较符合河南省耕地利用现势特点。但是,耕地生态系统是一个复杂的综合系统,河南省跨纬度较大,南北两端不同省辖市间的社会、经济、自然状况差异较大,运用统一的指标体系对其进行评价,对于地域特征比较显著的省辖市可能有失其准确性,因此在评价指标体系的构建方面有待深入研究。

参考文献:

- [1] 杨永霞. 基于空间聚类的西藏耕地后备资源开发组合模型研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(4): 239-247.
- [2] 彭少麟. 生态安全的涵义与尺度[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43(6): 27-31.
- [3] 张虹波. 土地资源生态安全研究进展与展望[J]. 地理科

学进展, 2006, 25(5): 77-85.

- [4] 陈星, 周成虎. 生态安全: 国内外研究综述[J]. 地理科学进展, 2005, 24(6): 8-20.
- [5] 陈保东, 赵方杰, 张莘, 等. 土壤生物与土壤污染研究前沿与展望[J]. 生态学报, 2015, 35(20): 6604-6613.
- [6] 王玉军, 刘存, 周东美, 等. 客观地看待我国耕地土壤环境质量的现状: 关于《全国土壤污染状况调查公报》中有关问题的讨论和建议[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(8): 1465-1473.
- [7] 范胜龙, 杨玉珍, 陈训争, 等. 基于PSR和无偏GM(1,1)模型的福建省耕地生态安全评价与预测[J]. 中国土地科学, 2016, 30(9): 19-27.
- [8] 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时空特征研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(12): 65-69.
- [9] 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.
- [10] 朱红波. 我国耕地资源生态安全的特征与影响因素分析[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(2): 194-197.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 蔡银莺, 罗成. 汉江平原耕地资源生态安全状况及空间聚集格局[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2015(5): 110-120.
- [15] 郭荣中, 杨敏华, 申海建. 长株潭地区耕地生态安全评价研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(10): 193-201.
- [16] 付强, 赵小勇. 投影寻踪模型原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [17] 裴巍, 付强, 刘东, 等. 基于改进投影寻踪模型黑龙江省土地资源生态安全评价[J]. 东北农业大学学报, 2016, 47(7): 92-100.
- [18] 聂艳, 彭雅婷, 于婧, 等. 基于量子遗传投影寻踪模型的湖北省耕地生态安全评价[J]. 经济地理, 2015(11): 172-178.
- [19] 刘蕾, 姜灵彦, 高军侠. 基于P-S-R模型的土地生态安全物元评价: 以河南省为例[J]. 地域研究与开发, 2011, 30(4): 117-121.
- [20] 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.
- [21] 许国平. 中国土地资源安全评价研究进展及展望[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 276-284.
- [22] 杨春红, 张正栋, 田楠楠, 等. 基于P-S-R模型的汕头市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(13): 209-214.

- [7] 李春光,徐元国,屈时雨. 河南承接产业转移城市综合承载力的时空演变[J]. 经济地理, 2017, 37(1): 134-141.
- [8] 李兰图,陈文宽,孙丽娜. 江苏省土地综合承载力时空差异分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 12-16, 23.
- [9] 孙钰,李新刚. 山东省土地综合承载力协调发展度分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(11): 123-129.
- [10] 方昌敢. 珠江—西江经济带旅游产业协调发展研究[J]. 广西社会科学, 2016(6): 95-99.
- [11] 蒋团标,常玲. 珠江—西江经济带产业联动的实证分析[J]. 改革与战略, 2016, 32(2): 76-83, 119.
- [12] 李恩康,陆玉麒,黄群芳,等. 泛珠江—西江经济带经济差异时空演变及其驱动因素[J]. 经济地理, 2017, 37(5): 20-27.
- [13] 李顺明,杨清源,蒋晓辉,等. 统筹推进珠江:西江经济带一体化发展的财政对策思考[J]. 财政研究, 2015(2): 15-18.
- [14] 黎鹏,杨宏昌. 珠江—西江经济带新型城镇化空间分布格局及其动力研究[J]. 学术论坛, 2016, 39(12): 69-74, 85.
- [15] 蒋团标,赵础昊. 珠江—西江经济带城镇化协调度分析[J]. 广西师范大学学报:哲学社会科学版, 2016, 52(2): 1-7.
- [16] 中华人民共和国国家发展和改革委员会地区经济司. 珠江—西江经济带发展规划[EB/OL]. 北京:中华人民共和国发展和改革委员会地区经济司, 2014[2017-5-10]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201408/t20140801_620974.html
- [17] 易平,方世明. 地质公园社会经济与生态环境效益耦合协调度研究:以嵩山世界地质公园为例[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 206-216.
- [18] 王凯,李悦铮,江海旭. 区域旅游—经济—环境耦合协调度研究:以辽宁沿海经济带为例[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(6): 658-661.
- [19] 于广华,孙才志. 环渤海沿海地区土地承载力时空分异特征[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4860-4870.
- [20] 詹长根,邢玉玲,杨如军. 广西城市土地综合承载力时空差异分析[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 281-285.
- [21] 周智,黄英,黄娟. 水土资源承载力区域差异与影响因素[J]. 水土保持通报, 2015, 35(2): 344-349.
- [22] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系:以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理, 1999(2): 76-82.
- [23] 舒小林,高应蓓,张元霞,等. 旅游产业与生态文明城市耦合关系及协调发展研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(3): 82-90.
- [24] 张玉萍,瓦哈甫·哈力克,党建华,等. 吐鲁番旅游—经济—生态环境耦合协调发展分析[J]. 人文地理, 2014, 29(4): 140-145.
- [25] 李茜,胡昊,李名升,等. 中国生态文明综合评价及环境、经济与社会协调发展研究[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1444-1454.

~~~~~

(上接第 263 页)

- [23] 孙奇奇,宋戈. 基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 234-238.
- [24] 邓楚雄,谢炳庚,李晓青,等. 基于投影寻踪法的长株潭城市群地区耕地集约利用评价[J]. 地理研究, 2013, 32(11): 2000-2008.
- [25] 张锐,郑华伟,刘友兆. 基于压力—状态—响应模型与集对分析的土地利用系统健康评价[J]. 水土保持通报, 2014, 34(5): 146-152.
- [26] 谢花林,刘曲,姚冠荣,等. 基于 PSR 模型的区域土地利用可持续性水平测度:以鄱阳湖生态经济区为例[J]. 资源科学, 2015, 37(3): 449-457.
- [27] 颜利,王金坑,黄浩. 基于 PSR 框架模型的东溪流域生态系统健康评价[J]. 资源科学, 2008, 30(1): 107-113.
- [28] 张锐,郑华伟,刘友兆. 基于 PSR 模型与集对分析的耕地生态安全诊断[J]. 中国土地科学, 2015, 29(12): 42-50.
- [29] 毛德华,邹君,李杰,等. 基于遗传算法的投影寻踪方法在洞庭湖区洪涝灾害易损性评价中的应用[J]. 冰川冻土, 2010, 32(2): 389-396.
- [30] 陈曜,丁晶,赵永红. 基于投影寻踪原理的四川省洪灾评估[J]. 水利学报, 2010, 41(2): 220-225.
- [31] 曹永强,马静,李香云,等. 投影寻踪技术在大连市农业干旱脆弱性评价中的应用[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1106-1110.
- [32] 王茜茜,周敬宣,李湘梅,等. 基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 6224-6230.
- [33] 陈文峰. 基于投影寻踪模型的河南城市化水平综合评价[J]. 经济地理, 2012, 32(9): 61-66.