

基于熵权 TOPSIS 法与 ARIMA 模型的四川省 耕地生态安全动态预测预警

李 政^{1,2}, 何 伟^{1,2}, 潘洪义^{1,2}, 陈 林^{1,2}

(1. 四川师范大学 西南土地资源评价与监测教育部重点实验室,
成都 610068; 2. 四川师范大学 地理与资源科学学院, 成都 610068)

摘 要:耕地生态安全预警研究能够有效引导耕地资源可持续利用。以四川省 21 个地州市为研究对象,构建了基于 DPSIR 模型的耕地生态安全预警评价指标体系,采用改进的熵权 TOPSIS 法进行警情分析,并运用 ARIMA 模型模拟未来 5 年警情变化趋势。结果表明:(1) ARIMA 模型拟合度高,能够较好地拟合 2015—2019 年四川省耕地生态安全发展趋势;(2) 总体而言,2005—2019 年四川省耕地生态安全警情由“重警”变为“中警”,预警指数由 0.397(2005 年)上升至 0.501(2019 年),最高值为 0.524(2014 年),总体呈波动上升的态势,表明出现严重生态安全问题的可能性小。(3) 就各子系统而言,2005—2019 年耕地生态安全压力系统是影响警情的变化的主要系统,该系统中预警值呈波动下降趋势,警度将升至“巨警”状态;驱动力、状态、影响与响应系统,预警值则逐年增大,警度等级逐年降低。(4) 未来 5 年,四川省各地州市耕地生态安全压力区域差异明显,不同的区域应对措施不同,一二级区域将是以后调控的重点区。

关键词:耕地生态安全; 预警; 改进的 TOPSIS; ARIMA; 四川省

中图分类号: F323.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)03-0217-07

Dynamic Prediction and Early Warning of Cultivated Land Ecological Security in Sichuan Province Based on Improved TOPSIS Method and ARIMA Model

LI Zheng^{1,2}, HE Wei^{1,2}, PAN Hongyi^{1,2}, CHEN Lin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Southwest Land Resources Evaluation and Monitoring of Ministry of Education, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610068, China; 2. College of Geography and Resources Science, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610068, China)

Abstract: Study on the early warning of cultivated land ecological security can guide the sustainable utilization of cultivated land resources. Based on the DPSIR model, the evaluation index system of cultivated land ecological security was constructed based on 21 cities in Sichuan Province. The improved entropy TOPSIS method was used to analyze the police situation, and the ARIMA model was used to simulate the trend of police intelligence changes in the next five years. The results show that: (1) ARIMA model has high fitting ability, which can fit the development trend of cultivated land ecological security in Sichuan Province during 2015—2020; (2) in general, from 2005 to 2019, the ecological security of cultivated land in Sichuan Province from the ‘heavy police’ to ‘the police’, the early warning index rose from 0.397 in 2005 to 0.501 in 2019, the highest value of 0.524 was found in 2014, the overall trend presented the rising volatility, indicating that the possibility of serious ecological security problems became small; (3) in terms of subsystems, during the period from 2005 to 2019, the ecological security system of cultivated land was the main system that affected the change of police intelligence, in this system, the warning value fluctuated and the warning rose to state, driving force, state, impact and response system, early warning value was increasing year by year, the alarm

level decreased year by year; (4) in the next five years, there will be obvious differences in the regional pressure of cultivated land in Sichuan Province, and different regional response measures will be different. The first and secondary areas will be the key areas for future regulation.

Keywords: ecological safety of cultivated land; early warning; improved TOPSIS; ARIMA; Sichuan Province

耕地资源是重要的自然资源之一,是人类的生存之本,具有生产、环保和空间承载等功能,经人类长期的经营与开发,耕地系统逐渐演变成为具有高度耦合性的社会—经济—生态复合系统^[1-2]。近年来,人类对耕地资源的利用程度加深以及诸多不合理的利用方式导致耕地生态系统遭到严重破坏,并直接威胁到我国粮食安全。在此背景下,耕地生态安全预警研究逐步成为土地可持续利用的热点课题。耕地生态安全预警是对区域耕地环境质量的状态与变化的评价、预测和警报,目的是促使耕地资源生态系统能够基本保持自身正常功能运转以及满足社会经济可持续发展的需要^[3]。

当前,国内外学者在耕地生态安全预警研究方面参差不齐。国外由于起步早,已具有较为完整的理论体系和系统方法支撑,所以预警研究主要集中在生态风险评价与生态预报等方面^[4]。例如 Parr 等^[5]构建了完整的检测系统进行土地荒漠化预警; Herrick 等^[6]通过对土壤质量变化的检测建立起一套完整的耕地质量预警系统。国内相关研究在 20 世纪 90 年代后期才起步,导致目前研究主要层次仍停留在耕地安全预警的理论、模型、指标与方法上。预警模型多采用 PSR 和 EES 模型;评价方法有能值分析、BP 神经网络、灰色 GM(1,1)、可拓分析等^[7]。例如张秋霞^[8]采用“PSR”模型对新郑市耕地生态做出预警;赵焯^[9]基于农用地分等定级结果构建了农用地质量监测预警体系与警情调控的模型系统。

总体来看,耕地生态安全预警研究还处于初级阶段,理论支撑不够,警情分析和预测方法较为单一,警情动态演变趋势研究不足。本文以四川省 21 个地州市为研究对象,尝试以 DPSIR 模型构建预警评价指标体系,采用改进的 TOPSIS 模型分析了四川省过去十年耕地生态安全警情状况,运用 ARIMA 模型预测未来 5 a 警情动态变化趋势,在此基础上进行生态安全预警分区并提出治理措施。旨在响应十三五规划“藏粮于地、藏粮于技”的战略,打破传统的“藏粮于仓、藏粮于民、以丰补歉”的策略,不再一味追求粮食产量的连续递增,而是通过保护耕地生态环境,促进粮食生产能力建设与可持续增长。以期对四川省耕地生态安全有效调控与耕地轮作休耕提供参考与理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

四川省地处我国西南腹地,介于 97°21′—108°31′E 和 26°03′—34°19′N,东连重庆,南邻云南、贵州,西接西藏,北界青海、甘肃、陕西。地域面积广阔,资源丰富。全省可利用土地 4 000 多万 hm^2 ,耕地达 670 多万 hm^2 ,水稻、小麦、玉米、油菜、红薯等产量较高。四川作为西南、西北地区唯一的粮食主产区,仅用占全国 4.7% 的耕地,就养活了占全国 6.6%,约 8 204 万的人口,为保障我国粮食安全和促进我国经济发展做出了巨大贡献。但由于四川省以山地为主,具有山地、丘陵、平原和高原 4 种地貌类型,起伏大,水土流失严重,部分地区生态环境脆弱加之水旱灾害时有发生,建设用地的急剧扩张与耕地面积的逐年缩减,以及土壤污染严重,全省耕地生态安全面临沉重压力,虽然环保力度在不断加大,但形势不容乐观。

1.2 数据来源

本论文数据主要来源《四川省统计年鉴》(2006—2015 年)和各地市州的统计年鉴与国民经济和社会发展统计公报(2005—2014 年)以及四川省农业部门、国土部门的相关资料。

1.3 预警模型(DPSIR)与预警指标的选取

DPSIR 模型是 PSR 模型的演化与发展,包含 5 个元素,每个元素统下涉及多个评价指标^[10]。该模型善于从系统的角度看待人类活动与耕地环境的相互关系,把复杂的问题细化,具有综合性、系统性、简洁性的特点,能够更好的分析耕地生态安全预警指标之间的连续反馈机制,开展生态预警研究^[11]。

本文依据 DPSIR 的预警模型,遵从指标选取的完整性、科学性、灵活性、系统性和可操作性等原则,参照相关学者的研究成果^[12-14],结合四川省的实际情况,以及数据的可获得性共选取了 22 个评价指标构建了四川省耕地生态预警指标体系。其中“驱动力”(Driving force)是使耕地生态环境变化的根本原因,包括人口增长与经济发展;“压力”(Pressure)是人类活动对耕地环境的影响,包括耕地数量的减少、大量化肥的使用与工业污水的排放等;“状态”(State)是耕地系统结构与功能面对上述压力所呈现出的状态,体现在耕地结构

和人均粮食占有量等方面;“影响”(Impact)是状态的改变对耕地系统本身以及人类社会经济水平所产生的影响,包括农民人均纯收入与粮食单产等方面;“响应”(Response)是指人类为耕地的可持续利用所采取的一系列措施,主要包括第三产业产值、人数比重与污水处理等方面,具体情况见表 1。

表 1 耕地生态安全预警指标

目标层	准则层	指标层	安全趋向	权重
耕地生态安全	驱动力	D_1 人口自然增长率(%)	—	0.041
		D_2 人均 GDP(元)	+	0.050
		D_3 第一产业 GDP 增长率(%)	+	0.040
		D_4 单位耕地面积农业产值(元/hm ²)	+	0.052
	压力	P_1 城镇化率(%)	—	0.087
		P_2 人口密度(人/km ²)	—	0.016
		P_3 单位耕地面积化肥施用量(kg/hm ²)	—	0.083
		P_4 污水排放量(万 m ³)	—	0.031
		P_5 土地垦殖率(%)	—	0.038
		P_6 耕地年内减少面积(hm ²)	—	0.016
	状态	S_1 人均耕地面积(hm ² /人)	+	0.087
		S_2 人均粮食占有量(kg/人)	+	0.026
		S_3 有效灌溉面积比(%)	+	0.091
		S_4 耕地结构(%)	—	0.016
	影响	I_1 农村居民人均纯收入(元/人)	+	0.054
		I_2 粮食单产(kg/hm ²)	+	0.020
		I_3 农电集约度(kW·h/hm ²)	+	0.045
		I_4 单位耕地农业机械动力(kW/hm ²)	+	0.045
	响应	R_1 第三产业所占 GDP 的比重(%)	+	0.048
		R_2 非农人口占总人数的比重(%)	+	0.047
		R_3 污水处理率(%)	+	0.031
		R_4 农村投资强度(%)	+	0.036

1.4 预警值计算方法与判别标准

1.4.1 熵权 TOPSIS 法计算预警值 TOPSIS 法是一种有限方案多目标决策分析方法,其实质是一种逼近理想解的排序方法,即通过建立各指标与正负理想解之间距离的二维数据空间,据此对各评价方案进行分析与比较^[15]。传统的 TOPSIS 法多采用较为主观的 AHP, Delphi 法确定权重,本文采用较为客观的熵值法确定权重,是对原方法的一种改进。其具体步骤为:

- (1)极差法进行数据标准化处理;
- (2)熵值法求取指标权重 W_j ;
- (3)建立加权规范化矩阵 U :
- $$U = [U_{ij}]_{m \times n} = W_j \times Y_{ij} \tag{1}$$
- 式中: W_j 为指标权重; Y_{ij} 为标准化矩阵。
- (4)确定正、负理想解:
- 分别以加权规范化决策矩阵 U 中的最大值和最

小值代表正、负理想解,其公式为:

正理想解: $U^+ = \{\max U_{ij} \mid i=1,2,\cdots,m\}$ (2)

负理想解: $U^- = \{\min U_{ij} \mid i=1,2,\cdots,m\}$ (3)

(5)距离的计算,分别计算不同年份评价向量到正负理想解的距离 D^+, D^- :

$$D^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (U_{ij} - U_j^+)^2} \quad (i=1,2,\cdots,m) \tag{4}$$

$$D^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (U_{ij} - U_j^-)^2} \quad (i=1,2,\cdots,m) \tag{5}$$

(6)各评价对象与理想解的帖近度 C_i 计算(预警值):

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \tag{6}$$

1.4.2 判别标准 本文根据计算出的综合预警值,参照相关研究成果^[16-18],结合四川省的实际情况,根据相关标准对评价结果进行分级,最终将其分为巨警、重警、中警、轻警和无警五级,具体情况见表 2。

表 2 四川省耕地生态安全预警等级判别标准

综合预警值 C_i	$0 < C_i \leq 0.2$	$0.2 < C_i \leq 0.4$	$0.4 < C_i \leq 0.7$	$0.7 < C_i \leq 0.9$	$0.9 < C_i \leq 1$
生态预警状态	巨警	重警	中警	轻警	无警

1.5 ARIMA 预测模型

ARIMA 是由统计学家 Box(美)与 Jenkins(英)在 1970 年提出的一种非平稳时间序列数据分析与预测的模型,其反映了时间序列过去、现在与将来之间的

相互关系,具有动态性与持续性的特点^[19]。ARIMA(p, d, q)模型是由 ARMA(p, q)(自回归移动平均模型)经过 d 阶差分而得到^[20]。

2 结果与分析

2.1 耕地生态安全预警值预测结果

本文选用 ARIMA 模型对四川省 2015—2019 年的耕地生态安全各子系统预警值进行预测,将各子系统的预测值作为基础值,利用各子系统与综合系统的权重系数关系计算得到综合预警预测值,建模通过 DPS 数据处理软件实现。

(1)耕地生态安全预警值数据的平稳化处理。利用 DPS 软件对四川省 2005—2014 年耕地生态安全各子系统预警值时间序列进行数据序列检验。由 Daniel 检验结果和卡方值的显著水平来推测该时间序列是否为正态或平稳化序列,再根据需要对其进行数据转换和差分处理^[21]。

(2) p 与 q 的确定。在 DPS 中根据 AIC 值、相关系数 R 值和拟合度 C 值的大小定阶,若 AIC 值较小且 R 与 C 值较大,则模型预测精度越高^[21]。根据此原则,从低阶到高阶对 p 和 q 的不同取值分别进行拟合建模,并进行参数估计,选取最佳模型(表 3)。通过拟合试验比较,各模型估计参数检验值 p 小于 0.05 且通过检验是 ϵ_t 白噪声,因此可以运用该模型预测 2014—2019 年耕地生态安全各子系统预警值。

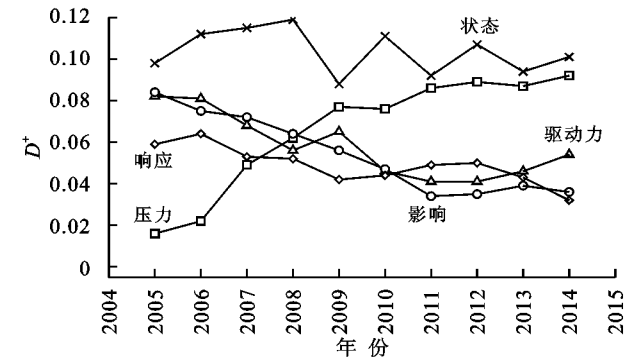


图 1 2005—2014 年四川省耕地生态安全各子系统 D^+ , D^- 演变

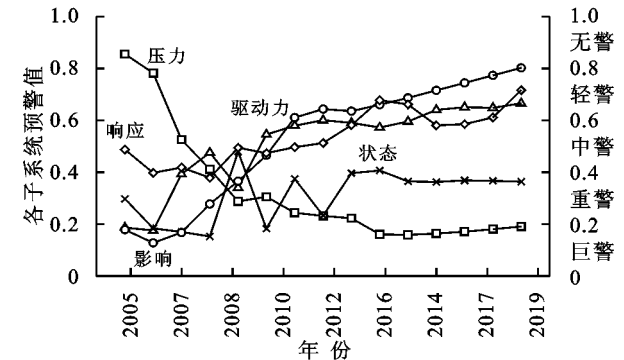


图 2 2005—2019 年四川省耕地生态安全各子系统预警值演变

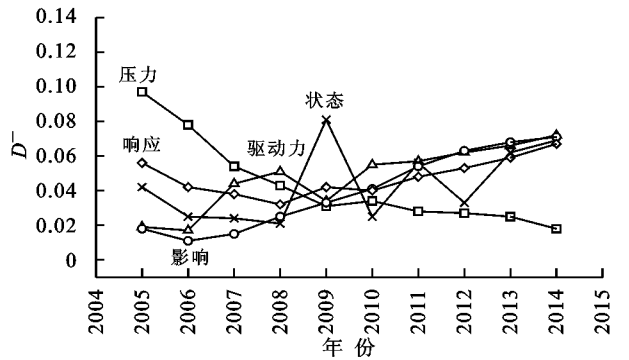
2.2 耕地生态安全预警分析

2.2.1 各子系统预警分析

分析图 1,图 2 可得:
(1) 驱动力系统: D^+ 波动减小, D^- 波动增大,预警值逐年增大,由 2005 年的 0.187 上升到 2014 年的 0.573;若按此趋势,在 2019 年时,预警值将达到 0.666,呈“中警”状态。近 10 a,四川省农业现代化成果显著,单位耕地农业产品的经济转化率持续增加,单位农业产值由 2005 年的 26 553 元上升到 2014 年的 77 108 元。由于农业现代化与经济发展的强大支撑力,全省耕地安全驱动力系统呈现出上升的态势,推动着耕地生态安全的趋好发展。

表 3 各子系统 ARIMA(P,1,q)对应的最佳模型效果指标				
子系统	模型	AIC 值	拟合度 $C/\%$	相关系数 R
驱动力	ARIMA(2,1,2)	-42.652	67.982	0.616
压力	ARIMA(2,1,3)	-61.946	79.281	0.890
状态	ARIMA(2,1,2)	-62.036	98.296	0.991
影响	ARIMA(1,1,1)	-81.042	97.495	0.987
响应	ARIMA(3,1,2)	-135.231	99.991	0.999

(2) 压力系统: D^+ 增加, D^- 减小,预警值减小,由“轻警”变为“巨警”状态,耕地生态安全压力增大。这是由于社会经济发展的负面影响所致,一方面快速城镇化导致生活污水、工业废水大量排放危害农田生态,同时建设用地急剧扩张导致耕地稀缺性增强;另一方面为追粮食高产而大量施用化肥和农药导致土壤污染严重,其对耕地生态安全系统造成巨大的压力。因此,今后社会经济发展的过程中必须以减轻耕地生态的压力为工作的新落脚点。



未来 5 a,将是四川省全面建成小康社会、新型城镇化、脱贫攻坚的关键时期,因此大量交通、水利、开发区项目开始实施,直接导致耕地占用严重、环境污染加剧、生态压力剧增,若不采取调控措施,情况将不容乐观。预测结果显示,压力系统预警指数略有上升,但仍然处于“巨警”状态。

(3) 状态系统: D^+ 波动减小, D^- 波动增加,预警值波动上升,大多维持“重警”状态。其中最低值(0.153)出现在 2008 年,该年份特大自然灾害(汶川大地震)对四川的自然、社会经济与生态环境造成了

巨大的破坏,部分地区耕地生态系统短时间内难以恢复,导致粮食产量下降,人均粮食占有量减少。通过对比状态系统各指标的变化轨迹,可以发现有效灌溉面积减小的年份预警值下降,反之则上升。因此,可以通过适当增加有效灌溉面积来促进状态系统的恢复。

2015—2019年,随着压力系统预警指数的波动下降,耕地生态安全面临沉重压力。虽然《四川新型城镇化规划(2014—2020年)》与“经济五大区规划”等政策逐步实施,城镇布局将更加合理,形态将更加优化,耕地可持续能力有所增强,但状态预警值仍处下降状态。

(4) 影响系统:情况明显好转。2005年以来,随着状态系统的趋于好转,其对经济社会发展的影响也逐步有利,具体表现在全省农业现代化水平显著提升、土地利用集约程度加强、人民生活水平提高和粮食增产等方面。

若照此发展趋势,2019年时将处于“轻警”状态,但在2016年、2017年警度发生明显变化,降至“中警”状态,这主要是由于同时期耕地生态安全压力值上升的原因所致。

(5) 响应系统:预警指数处于波动上升的趋势,维持“中警”状态,发展态势良好。该时期,全省加大农业的投入、加强农田水利设施建设、注重新型技术人才培养、完善社会保障制度、积极治理被污染的耕地、推行土地的集约利用,全面带动了四川省耕地生态安全响应机制的发展。在多种响应措施下,四川省农业现代化进程加快,产业结构逐步优化,城市发展迅速,人民生活水平逐年提高。

未来5a,经济五大区将稳步落成,社会经济快速发展的同时一系列环境保护与耕地保护的措施将逐步推出,各类污染也将得到一定控制,全省耕地可持续利用水平将进一步提升,耕地响应系统持续好转,由“中警”向“轻警”转变。

2.2.2 综合预警分析 分析图3,图4可得:2005—2014年, D^+ 波动变小,逐步趋于正理想解, D^- 波动增大,逐步偏离负理想解,预警指数呈现波动上升的态势,由0.397上升到0.524,警度由“重警”变为“中警”,表明四川省耕地生态安全整体状况好转。

其中2005—2010年耕地生态安全处于缓慢发展阶段,预警值始终围绕0.350上下波动,一直处于“重警”状态。这主要是由于社会经济高速发展对耕地生态系统所产生的负面影响所致。一方面,快速城镇化使得耕地稀缺性增强;另一方面,以牺牲耕地生态环境为代价来发展农业经济使得耕地污染、破坏严重。因此,耕地生态安全压力系统预警指数逐年下降,警度上升,也说明压力系统在全省耕地生态安全格局变

化中具有重要地位。

2011—2014年耕地生态安全处于快速上升阶段,预警值由0.457升至0.524,一直处于“中警”状态。该时期,四川正处于新型城镇化的加速期,建设西部经济发展高地的攻坚期与全面建设小康社会的关键期。政府不断加大对农业与农村的投入,注重新型技术人才培养,积极推行土地的集约利用政策等,使得一系列耕地破坏与污染的现象得到缓解,土地生态面临的压力减小。

未来5a,全省耕地生态安全总体水平略有下降趋势,但仍然维持“中警”状态,不会出现严重的耕地生态问题。2014—2015年处于快速下降期,2016—2019年处于轻微上升期,因此有必要采取一系列措施加以改善和调控。

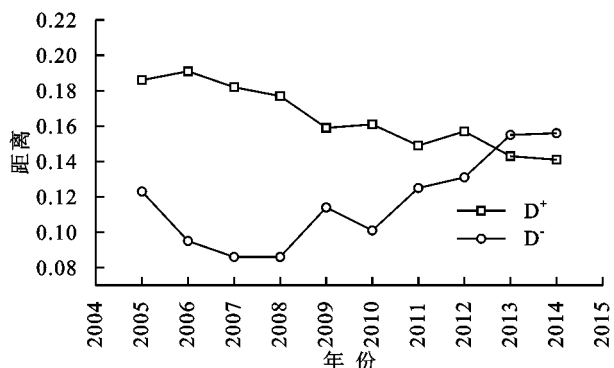


图3 2005—2014年四川省耕地生态安全预警 D^+ , D^- 演变

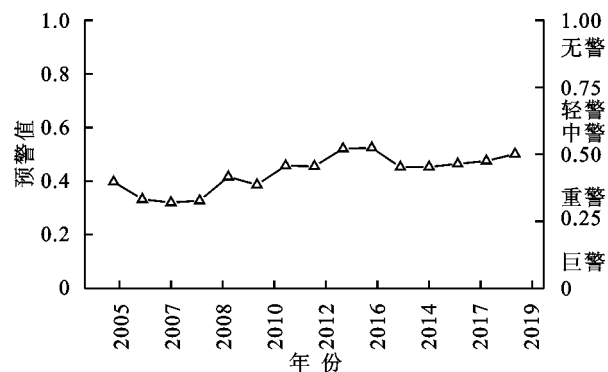


图4 2005—2019年四川省耕地生态安全预警值演变

2.3 耕地生态安全预测预警分区研究

依据四川省2014—2019年耕地生态安全预警值大小与变化趋势为划分标准(表4),将其分为4个不同级别区域(附图6)。等级越低表明区域耕地生态问题越严重;反之,不严重。

一级区主要分布在生态环境脆弱的甘孜州、凉山州、阿坝州以及地形崎岖的广元、泸州与自贡。三州地处川西高原,海拔高,气候条件恶劣,生态脆弱,一直是四川省耕地生态安全低水平区,维持“重警”状态;自贡市与泸州市地处川南的丘陵区,广元市位于盆地北部边缘的山区地带,坡耕地所占比重大,耕地水土流失与破坏严重,生态安全水平低。

表 4 2014—2019 年四川省耕地生态安全预警分区等级划分标准

区域标准	一级区	二级区	三级区	四级区
预警值	≤0.4	≤0.4	>0.4	>0.4
变化趋势	下降	上升	下降	上升
区域特点	处于重警或巨警状态,且预警值逐年下降,耕地生态压力巨大	处于重警或巨警状态,但预警值逐年上升,耕地生态压力大	处于中警状态,但预警值逐年下降,耕地生态压力较大	处于中警状态,且预警值逐年上升,耕地生态压力一般

针对一级区,政府要高度重视并严格治理,给予资金与技术支持,制定相关政策惩治破坏耕地的行为,坚持耕地的可持续利用,部分破坏严重的耕地可采取退耕、休耕轮作的方式。同时加强防灾减灾能力,提高自然灾害的预防与处理能力,建立健全区域耕地生态安全预警监测机制,及时预报耕地生态安全状态,以便控制隐患源,逐渐恢复区域耕地生态。特别是位于川西北生态经济区的甘孜州与阿坝州要积极退耕还林还草,确保长江黄河上游的重要生态安全防线,为打造国家知名生态与文化旅游目的地与可再生资源基地而奋斗。

二级区主要分布在四川偏东的低山丘陵区,包括川东北经济区与成都平原经济区的部分市域,占全省总面积的 13.7%,GDP 则达全省总量的 25.8%。该地区,处盆地边缘的低山丘陵区,水土流失相对严重,耕地很容易被破坏,耕地生态预警值低。

十三五规划中,川东北经济区将被打造成川渝陕甘结合部的经济中心,国家重要的清洁能源化工基地、生态文化旅游区、川陕革命老区振兴示范区。近年来,《四川新型城镇化规划(2014—2020)》逐步实施以及农业厅发布《2016 年四川省耕地保护与质量提升项目实施方案》将会进一步促进城乡一体化、农业现代化与耕地利用可持续化。未来几年,该区域将继续落实耕地保护与经济建设各项政策,坚持社会经济与耕地生态相协调,促进建设用地与农用地集约利用,积极推进农村土地综合治理、农田生态环境建设和中低产田改造,保证耕地数量与质量的双重平衡,从而保持预警值的增长趋势,恢复耕地生态安全水平。

三级区主要包括攀枝花市,其煤铁、钒钛等矿产资源丰富,是典型的资源型城市。近年来,该市由工业城市向旅游城市逐渐转型,耕地生态压力减缓。未来几年,该市要充分发挥其位于攀西经济区的优势,积极响应“打造四川亚热带特色农业基地,全国知名阳光康养旅游度假胜地”的号召。

四级区主要包括经济发达的成绵德乐四市以及雅安、眉山、宜宾等地,该区域在应对耕地生态的问题上,主要目的是保持与防范。未来几年是全面建成小康社会的攻坚时期,要采取经济与生态同步发展的方

针,走资源节约型与环境友好型的道路,坚持区域协同发展,优化区域产业结构,强化耕地生态建设与环境保护,防止预警值下降。

3 讨论与结论

3.1 讨论

耕地生态安全预警问题是复杂的、系统的,科学、全面、有效的指标体系构建和合理方法选择是研究的基础。本文将熵权 TOPSIS 法与 ARIMA 模型相结合,充分考虑四川省的实际情况,有利于揭示四川省耕地生态安全预警情况。但是由于部分数据的可获得性、连续性导致指标体系不一定健全,有待今后改进。同时本文虽然对四川省耕地生态安全预警未来发展态势进行了区域划分并依据区域划分结果、十三五规划和区域特点制定了相应的区域调控对策,但对策不够具体,有待今后进一步细化。

3.2 结论

本文基于 DPSIR 模型,综合考虑自然、社会、人类活动因素,建立了以 22 个指标为基础的耕地生态安全预警体系,并运用改进的 TOPSIS 法进行预警评价,最后运用非平稳时间序列 ARIMA 模型预测预警值,预测结果拟合精度高,符合四川省的实际情况,能够反映出耕地生态安全整体发展趋势。结果表明:(1) 2005—2014 年,四川省耕地生态安全整体状况好转,预警指数呈现波动上升的态势,由 0.397 上升到 0.542,警度由“重警”变为“中警”。若按此发展趋势,2015—2019 年全省耕地生态安全总体警度将维持“中警”状态,出现严重生态安全问题的可能性小。(2) 就各子系统而言,2005—2019 年,驱动力、状态、影响、响应系统,预警值均逐年增大,警度等级降低;压力系统中,2005—2014 年预警值逐年减小;未来 5 a,将维持“巨警”状态。(3) 2014—2019 年,四川省总体耕地安全水平发展趋势良好,但各地区耕地生态压力不同。压力一级区面积所占比重最大,四级区次之,三级区最小,其中单位耕地面积化肥施用量、有效灌溉面积比、人均耕地面积、城镇化率等是影响耕地生态安全的主要因子,占据主导作用。因此,在今后社会经济发展的过程中必须解决主要阻力因子同时坚持整体与部分、全省与区域,因地制宜的解决实际耕地生态问题。

参考文献:

[1] 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.

[2] 郑华伟,夏梦蕾,张锐,等. 基于熵值法和灰色预测模型的耕地生态安全诊断[J]. 水土保持通报, 2016,36(3): 284-289.

[3] 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.

[4] 徐美. 湖南省土地生态安全预警及调控研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.

[5] Parr J F, Papendick R I, Meyer S B H R E. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture[J]. American Journal of Alternative Agriculture, 1992,7(1):5-11.

[6] Herrick J E, Brown J R, Tugel A J, et al. Application of soil quality to monitoring and management: Paradigms from rangeland ecology[C]// Symposium on Soil Quality as An Indicator of Sustainable Land Management, 2002.

[7] 高奇. 基于 CPM-RBF 模型的区域土地生态安全预警研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2015.

[8] 张秋霞,张合兵,刘文锴,等. 新郑市耕地生态安全动态预警研究[J]. 水土保持研究, 2017,24(1):256-264.

[9] 赵烨,袁顺全,郎文聚,等. 农用地资源安全的监测—评价—预警系统[J]. 农业工程学报, 2007,23(1):77-81.

[10] 刘宝涛,王冬艳,刘惠清. 基于 DPSIR 模型与 TOPSIS 算法的吉林省土地利用系统健康诊断[J]. 吉林农业大学学报, 2017,39(1):74-81.

[11] 徐美,朱翔,李静芝. 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的湖南省土地生态安全评价[J]. 冰川冻土, 2012,34(5): 1265-1272.

[12] 郑华伟,张锐,孟展,等. 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(12):42-50.

[13] 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.

[14] 杨俊,宋振江,李争. 基于 PSR 模型的耕地生态安全评价:以长江中下游粮食主产区为例[J]. 水土保持研究, 2017,24(3):301-307.

[15] 黄海,谭晶今,陈春,等. 基于 TOPSIS 方法的山东省土地生态安全动态评价[J]. 水土保持研究, 2016,23(3): 220-224.

[16] 徐成龙,程钰,任建兰. 黄河三角洲地区生态安全预警测度及时空格局[J]. 经济地理, 2014,34(3):149-155.

[17] 陈英,孔喆,路正,等. 基于 RBF 神经网络模型的土地生态安全预警:以甘肃省张掖市为例[J]. 干旱地区农业研究, 2017,35(1):264-270.

[18] 张玉泽,任建兰,刘凯,等. 山东省生态安全预警测度及时空格局[J]. 经济地理, 2015,35(11):166-171.

[19] 王耕,王嘉丽,苏柏灵. 基于 ARIMA 模型的辽河流域生态足迹动态模拟与预测[J]. 生态环境学报, 2013(4):632-638.

[20] 董晓晓,李玉环,王静,等. 基于 ARIMA 模型的生态足迹模拟与预测[J]. 水土保持通报, 2015,35(1):143-152.

[21] 李希国,谭鼎山,邵金花,等. 基于 ARIMA 的烟台地区降水量研究[J]. 山东水利, 2006(2):39-41.

~~~~~

(上接第 216 页)

[25] 赵中秋,蔡运龙,付梅臣,等. 典型喀斯特地区土壤退化机理探讨:不同土地利用类型土壤水分性能比较[J]. 生态环境, 2008,17(1):393-395.

[26] Leung A K, Garg A, Coo J L, et al. Effects of the roots of Cynodon dactylon and Schefflera heptaphylla on water infiltration rate and soil hydraulic conductivity[J]. Hydrological Processes, 2015,29(15):3342-3354.

[27] 何晴波,赵凌平,白欣,等. 封育和放牧对典型草原地上植被的影响[J]. 水土保持研究, 2017,24(4):247-251.

[28] 郭砾,夏北成,倪国祥. 不同森林类型的土壤持水能力及其环境效应研究[J]. 中山大学学报, 2005,44(4): 327-330.

[29] 马宗泰. 三江源北部天然草地土壤水分动态变化规律[J]. 安徽农业科学, 2009,37(8):3619-3620.

[30] 白晓,张兰慧,王一博,等. 祁连山区不同土地覆被类型下土壤水分变异特征[J]. 水土保持研究, 2017,24(2):17-25.

[31] 候琼,王英舜,杨泽龙,等. 基于水分平衡原理的内蒙古典型草原土壤水动态模型研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011,29(5):197-203.

[32] Schenk H. Vertical vegetation structure below: Scaling from root to globe[J]. Progress in Botany, 2005, 66(2):341-373.