

基于耗散结构理论的四川省耕地生态安全测度分析

陈磊¹, 田双清¹, 张宽², 陈文宽¹

(1. 四川农业大学 管理学院, 成都 611130; 2. 四川农业大学 经济学院, 成都 611130)

摘要:耕地生态安全直接关系到粮食生产, 粮食生产是关系到社会和谐发展的重大政策问题, 研究四川省耕地生态安全状况, 为保护区域粮食安全、促进社会协调发展提供理论指导和决策参考。以我国西部重要商品粮基地四川省为研究区, 基于耗散结构理论, 运用数学量化模型分析了该省2000—2013年耕地生态安全级别和演变趋势, 并探讨其影响因素。结果表明: (1) 四川省近14 a间耕地生态安全级别总体较安全; (2) 2000—2008年四川省耕地生态安全逐年得以改善, 2008—2013年四川省耕地生态状况略呈下降趋势; (3) 影响四川省耕地生态安全状况的因素是社会经济压力因素、农业科技因素和生态环境因素。因此提出继续加强耕地保护宣传力度, 提高农民生态保护意识; 实施耕地生态安全恢复工程; 结合“互联网+”建立覆盖全省的耕地生态安全监控网络体系的对策建议。

关键词:耕地生态安全; 耗散结构理论; 级别; 影响因素; 四川省

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)02-0307-07

Analysis on the Ecological Security Measure of Cultivated Land in Sichuan Province Based on the Dissipative Structure Theory

CHEN Lei¹, TIAN Shuangqing¹, ZHANG Kuan², CHEN Wenkuan¹

(1. College of Management, Sichuan Agriculture University, Chengdu 611130, China;

2. College of Economics, Sichuan Agriculture University, Chengdu 611130, China)

Abstract: The ecological security of cultivated land is directly related to grain production, and food production is a major policy issue related to the harmonious development of society. In order to provide theoretical guidance and decision-making reference for the regional food security and promoting the coordinated development of the regional grain production, the study on the ecological security of cultivated land in Sichuan Province was carried out. We took the Sichuan Province as the study area of the important commodity grain base in Western China. Based on the dissipative structure theory, the mathematical model was used to analyze the ecological security level and evolution trend of cultivated land in the period from 2000 to 2013 in Sichuan Province, and to explore its influencing factors. The results show that: (1) the ecological security level of cultivated land in Sichuan Province is more secure in 14 years; (2) the ecological security situation of cultivated land in the period from 2000 to 2008 was in the trend of improving year by year, and the security situation of cultivated land in the period from 2008 to 2013 slightly decreased; (3) the main influencing factors are the socioeconomic pressure factors, the agricultural science and technology factors and the ecological environment factors. So, it is necessary to enhance the publicity of cultivated land protection and the farmers' consciousness in ecological protection, to carry out the ecological safety restoration for cultivated land, and to establish a monitoring network system on ecological safety of cultivated land based on the internet plus.

Keywords: ecological security of cultivated land; dissipative structure theory; level; influencing factors; Sichuan Province

收稿日期: 2016-06-22

修回日期: 2016-07-03

资助项目: 四川省社会科学规划重大项目“四川农业产业转型升级战略研究”(SC14ZD09); 四川省哲学社会科学重点研究基地四川省农村发展研究中心重点项目“农业机械化、产业结构和农村劳动力转移”(CR1603); 国家科技支撑项目“空心村综合整治关键技术与示范”(2014BAL01B00); 四川省科技支撑项目“农田有机质提升关键技术应用与推广”(13ZC2570); 四川省社会科学高水平研究团队“四川农村资源市场化研究团队”

第一作者: 陈磊(1990—), 男, 四川德阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为土地经济与农业经济。E-mail: 263665102@qq.com

通信作者: 陈文宽(1959—), 男, 四川苍溪人, 院长, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土地资源管理和农业经济。E-mail: wk9889@163.com

我国正处于新型城镇化发展的加速时期,耕地资源日益成为工业建设、城市建设等相关建设的基础用地,同时受水土流失、工业废气物排放、农业生产过程中化肥农药不合理施用等因素的影响,已导致我国及其各地区耕地数量不断减少,耕地质量不断下降。我国在 2014 年土壤普查中发现,土壤污染超标率最高的是耕地,超标率高达 19.4%,且南方重于北方。同年,四川省首次土壤状况调查显示,全省土壤总点位超标率达 28.7%,其中耕地土壤点位超标率高达 34.3%,仅次于草地,位居全省第二,远高于全国水平。而耕地是进行农业生产的基本资源,主要是用于粮食生产,粮食生产是涉及谁来养活中国的大问题^[1]。因此,在面对严峻的耕地资源现状,加强耕地保护已成为我国的一项基本国策。耕地生态安全是耕地保护的基本内容,从系统科学角度看,耕地安全系统的保障功能在于耕地为人类提供社会、经济、生态服务价值^[2],可在该保障功能的基础上分析耕地生态安全状况。

目前,耕地生态安全评价研究方面,国内学者施开放等^[3]通过改进 SPA 法研究发现永川区自 2005 年起耕地占补平衡生态安全整体上呈现出由 II 级向 IV 级上升的趋势;刘圣欢等^[4]借助 AHP 法研究表明江汉平原耕地生态安全总体十分安全;乌云嘎等^[5]借助 DPSIR 模型研究表明湖北省耕地生态安全整体处于上升态势;赵宏波等^[6]基于 PSR-EES 模型研究表明吉林省耕地生态安全空间分布差异大;任平等^[7]借助 GIS 分析了长江上游农业主产区耕地生态安全,表明该区耕地生态安全整体处于较差状态,且较差区域呈现“集中连片”的分布态势;张安等^[8]运用 GIS 技术开展了辽宁省凌源市县域尺度的耕地生态环境安全评价研究发现该市耕地生态安全状况总体良好。国外学者诸如 Beesley^[9]、Rasul^[10] 等在不同区域土地生态安全和土地可持续利用相结合的视角下研究了耕地生态安全状况。已有研究表明,耕地生态安全仍是研究热点。本文在国内外学者研究的基础上,从理论角度和系统科学角度出发,运用理论研究方法构建数理量化模型对耕地生态安全状况进行分析。

四川省作为我国西部重要的商品粮基地,在一定程度上直接关系到该省乃至我国的粮食安全状况,而粮食生产离不开耕地,耕地状况又直接影响到粮食生产,二者相辅相成。因此,本文以四川省为实证研究区,通过数学量化模型分析该省耕地生态安全级别及演变趋势,并探讨其影响因素,以期为该省耕地保护、社会协调发展决策提供理论指导,这对如何妥善处理好四川省社会、经济、生态和资源环境协调发展具有重要的现实意义。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 耗散结构理论 耗散结构理论指一个远离平衡状态的开放系统,通过与外界各种物质、能量交换,当外界状况演化达到一定阈值时,该系统会从原本混乱的状态,逐步转变为在时间、空间或者功能上有序的状态^[11]。一个系统若要处于耗散结构,必须满足四个基本条件,即开放性、远离平衡态、非线性状态、“涨落”现象。

1.1.2 耕地“耗散结构理论”的引入 土地是一个“自然—经济”综合体^[12],土地系统本身就是一个耗散结构,因此耕地系统也是一个耗散结构,应满足该理论相关要求。具体表现为:(1) 开放性:耕地在某种程度上属于独立个体,时刻与外界各要素相互作用;同时耕地利用必须通过生物要素以及非生物要素与其他要素之间进行物质、能量、信息的交换,表现为一种熵变现象(图 1);(2) 远离平衡态:从耕地自身状况来看,耕地具有自我调节功能;从外界因素来看,国家政策、经济水平等制约耕地利用,并随之不断变化,远离平衡态;(3) 非线性状态:耕地系统拥有多个子系统,其内部结构相对复杂,子系统与子系统之间以及子系统内部各要素之间相互作用,彼此之间呈现出非线性关系;(4) “涨落”现象:耕地系统内部各要素不是一成不变的,而是随着外部因素的影响不断变化,引起内部要素的“涨落”。

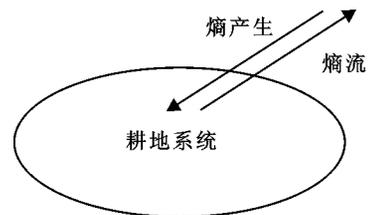


图 1 耕地系统熵变现象

1.1.3 测度耕地生态安全状况的数学量化模型建立

耗散结构理论中,一个系统只要通过自身与外部各种因素不断地交换,增加该系统的负熵流,就会使熵总不断减小,整个系统就会逐步向有序方向发展。一个系统的有序程度通常用“熵”(S)来表达。这种有序程度集中体现在耕地系统开放性之中,即在开放状态下的熵变现象。而熵变现象决定着系统状况,通常用熵总($dS_{\text{总}}$)表示。因此,耕地系统的熵总就是“熵产生”(dS₁)和“熵流”(dS₂)之和,即 $dS_{\text{总}} = dS_1 + dS_2$,且 $dS_{\text{总}} = dS_1 + dS_2 < 0$ 。

“熵”是一个物理学概念,美国数学家 Claude Elwood Shannon 首先在信息论中就已经引入了“熵”的概念,他将“熵”定义为信息熵,主要用于描述一个系

统演变方向是否有序。结合耗散结构理论,可用信息熵的概念定量分析耕地生态安全状况,运用信息熵的分析方法可得到测度耕地生态安全状况的指标信息熵和年份信息熵。其中,指标信息熵用于确定指标权重,进而得到耕地生态安全综合测度值,该测度值用于描述耕地生态安全级别;年份信息熵用于分析耕地生态安全演变趋势。因此,可建立数学量化模型来分析四川省 14 a 间耕地生态安全级别和演变趋势。数学量化模型建立步骤如下:

通常,对 n 个测度指标进行 m 年的耕地生态安全状况测度,首先应对原始指标数据进行标准化处理, Z_{ij} 表示标准化值(1),其中, i 表示(指标)原始数据($i=1,2,3,\dots,n$), j 表示年份($j=1,2,3,\dots,m$)。采用线性比例变换法进行数据标准化处理,公式为:

在矩阵 $X=(x_{ij})_{nm}$ 中,

$$Z_{ij}^{\text{正向指标}} = \frac{x_{ij}}{x_j^*}, \text{其中}, x_j^* = \max_{1 \leq i \leq n} (x_{ij} \neq 0) \quad (1)$$

$$Z_{ij}^{\text{负向指标}} = \frac{x_{ij}^*}{x_{ij}}, \text{其中}, x_j^* = \min_{1 \leq i \leq n} (x_{ij} \neq 0)$$

① 耕地生态安全级别。耕地生态安全级别主要由综合测度值来描述。首先,由指标信息熵 E_i 来确定指标权重 W_i ,公式为:

$$E_i = -\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m \left(\frac{Z_{ij}}{Z_i} \right) \ln \left(\frac{Z_{ij}}{Z_i} \right); W_i = \frac{1 - E_i}{n - Q},$$

$$\text{且} \sum_{i=1}^n W_i = 1, W_i \in [0, 1]$$

$$\text{式中: } Q = -\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m \left(\frac{Z_{ij}}{Z_i} \right) \ln \left(\frac{Z_{ij}}{Z_i} \right) \right], Z_i = \sum_{j=1}^m Z_{ij} \quad (2)$$

其次,基于指标权重 W_i 和标准化值 Z_{ij} 得出综合测度值 D ,公式为:

$$D = \sum_{i=1}^n Z_{ij} \times W_i \quad (3)$$

式中:综合测度值 D 的取值范围由 0~1 划分为 5 个区间,对应于 5 个具体等级,在已有研究成果和四川省耕地系统自身状况的基础上,具体划分等级为: $0 < D < 0.4$ 为极不安全(I), $0.4 \leq D < 0.6$ 为不安全(II), $0.6 \leq D < 0.7$ 为临界安全(III), $0.7 \leq D < 0.9$ 为较安全(IV), $D \geq 0.9$ 为安全(V)。

② 耕地生态安全演变趋势。耕地生态安全演变趋势主要由年份信息熵来体现。耕地系统“熵产生”和“熵流”的计算主要针对不同年份的信息熵,年份信息熵 S_j 的公式为:

$$S_j = \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_{ij}}{Z_j} \right) \ln \left(\frac{Z_{ij}}{Z_j} \right), \text{其中}, Z_j = \sum_{i=1}^n Z_{ij} \quad (4)$$

1.2 数据来源

本研究数据主要来源于《四川统计年鉴》(2001—2014),四川省国民经济和社会发展统计公报(2000—

2013年),其中水土流失治理面积、土壤有机质含量、农药施用量等原始数据来源于四川省农业厅的统计数据。

2 四川省耕地安全测度

在耗散结构理论中,支配其他变量变化,并控制系统整体演化过程的参数量叫做序参量,其大小决定着系统有序程度的高低,可用序参量来表示系统的演变状况^[13]。耕地系统的各项功能主要表现为粮食生产功能、生态服务功能等方面,因此,本文认为耕地生态安全是指耕地系统在自身正常功能的基础上,能满足社会、经济、生态“三位一体”协调发展的一种状态。本文基于耗散结构理论,结合四川省耕地现状,选用生态变化引起耕地系统熵变(简称“生态熵变”)和社会经济发展引起耕地系统熵变(简称“社会经济熵变”)两大方面作为宏观序参量,同时结合徐辉^[14]、陈文宽^[15]、陈磊^[16]、李春华^[17]等相关研究,考虑指标的重要程度和数据的可得性,并根据耕地系统熵变现象中“熵产生”和“熵流”的复杂程度,分别从生态熵变方面和社会经济熵变方面各选取 6 个测度指标。通常,正向指标表示向上(或向前)发展(或增加)的指标,负向指标表示向下(或向后)发展(或减小)的指标,故本文把能促使耕地系统熵增产生的正向指标定义为耕地系统的“熵产生”,把能促使耕地系统熵减产生的负向指标定义为耕地系统的“熵流”,“熵产生”和“熵流”共同作用于耕地生态安全状况。指标体系详见表 1。

根据该指标体系和基础数据,运用数学量化模型计算出 2000—2013 年耕地生态安全测度指标权重(表 1)、指标年份信息熵(表 2)和综合测度值(表 3)。

3 结果与分析

3.1 耕地生态安全测度分析

3.1.1 耕地生态安全级别分析 通过综合测度状况来把握耕地生态安全级别。由表 3 可知,2000—2013 年,四川省除 2000 年耕地生态状况处于临界安全($0.6 \leq D = 0.6882 < 0.7$)外,其余年份该省耕地生态状况均为较安全($0.7 \leq D < 0.9$),因此,2000—2013 年四川省耕地生态状况总体较安全。这是因为国家连续聚焦耕地保护问题,四川省加强耕地保护,切实落实相关工作,具体表现为:2000—2013 年,虽然社会经济发展对耕地生态安全状况造成了一定的影响,其中最为凸显的影响之一是为了满足社会经济发展的需求,以及受客运量增加等因素的影响,四川省加大了交通道路及相关设施建设,而交通建设用地多为耕地,特别是占用部分优质耕地,造成耕地压力增大,但由于四川省近 14 a 间加强水土流失治理工作,全

面改良农业受灾土地,使得水土流失治理面积逐年增加,农业受灾面积逐年减少,并通过增施有机肥、绿肥、实施秸秆还田等方式使得耕地土壤有机质含量逐

年增加,耕地生态安全状况略有提高;此外,随着单位面积农机总动力的增加,以及化肥农药施用量的减少,在一定程度上促使了耕地生态安全状况得以改善。

表 1 耕地生态安全熵变模型指标体系及权重

目标层	准则层	指标层(单位)	指标解释	趋势	权重
耕地生态安全测度	生态熵变 0.507947	熵 C ₁ 农业成灾面积(hm ²)	农业成灾面积越多,耕地压力越大	-	0.102675
		产 C ₂ 化肥施用量(t)	直接影响耕地质量和耕地生态状况	-	0.080991
		生 C ₃ 农药施用量(t)		-	0.080946
		熵 C ₄ 土地垦殖率(%)	通常反映出耕地质量状况,耕地质量越好,土地垦殖率越高	+	0.080920
		流 C ₅ 土壤有机质含量(%)	有机质含量越高,耕地质量越好	+	0.080939
		C ₆ 水土流失治理面积(hm ²)	治理面积越多,耕地系统越安全	+	0.081476
	社会 经济 熵变 0.492053	熵 C ₇ 人口密度(人/hm ²)	人口密度越大,耕地压力越大	-	0.080917
		产 C ₈ 复种指数(%)	复种指数越大,耕地生态状况越差	-	0.080918
		生 C ₉ 客运量(人)	客运量直接关系到交通压力状况,且交通建设多占用耕地	-	0.081975
		熵 C ₁₀ GDP 增长率(%)	反映出社会经济水平状况	+	0.081414
		流 C ₁₁ 单位面积农机动力(kW/hm ²)	反映农业生产效率和生产技术水平	+	0.082312
		C ₁₂ 农民人均纯收入(元)	反映农民生活水平状况	+	0.084517

表 2 耕地生态安全测度指标年份信息熵

年份	生态熵变						社会经济熵变						总熵变 S _总
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	
2000	-2.3179	-0.8660	-0.9072	-0.8593	-0.9102	-1.1360	-0.8593	-0.8593	-0.8805	-1.0676	-1.2378	-1.4294	-13.3305
2001	-2.3988	-0.8743	-0.8764	-0.8748	-0.9182	-1.1175	-0.8704	-0.8698	-0.8690	-1.0684	-1.2281	-1.4242	-13.3901
2002	-2.0823	-0.8751	-0.8766	-0.9003	-0.9204	-1.0956	-0.8760	-0.8890	-0.8962	-1.0152	-1.1930	-1.4043	-13.0240
2003	-2.2522	-0.8791	-0.8791	-0.9223	-0.9250	-1.0778	-0.8849	-0.8997	-0.8949	-0.9783	-1.1654	-1.3878	-13.1465
2004	-1.3852	-0.9008	-0.9018	-0.9337	-0.9317	-1.0667	-0.8995	-0.9182	-0.9535	-0.9603	-1.1528	-1.3406	-12.3446
2005	-2.0398	-0.9009	-0.8975	-0.9223	-0.9157	-1.0365	-0.8904	-0.9142	-0.9709	-0.9522	-1.1077	-1.2961	-12.8443
2006	-1.3606	-0.9242	-0.9217	-0.9314	-0.9212	-1.0293	-0.9043	-0.9281	-1.0365	-0.9406	-1.0901	-1.2772	-12.2653
2007	-1.3730	-0.9443	-0.9402	-0.9334	-0.9199	-1.0198	-0.9136	-0.9242	-1.0668	-0.9193	-1.0685	-1.2165	-12.2395
2008	-0.9164	-0.9758	-0.9650	-0.9539	-0.9311	-1.0298	-0.9396	-0.9463	-1.0845	-1.1029	-1.0665	-1.1780	-12.0899
2009	-1.6799	-0.9647	-0.9528	-0.9301	-0.9071	-0.9953	-0.9235	-0.9268	-1.0946	-0.9131	-1.0134	-1.1264	-12.4277
2010	-1.9240	-0.9690	-0.9590	-0.9334	-0.9084	-0.9847	-0.9286	-0.9277	-1.1350	-0.9011	-0.9918	-1.0738	-12.6364
2011	-2.0412	-0.9804	-0.9635	-0.9425	-0.9103	-0.9782	-0.9374	-0.9404	-1.1623	-0.9101	-0.9624	-1.0093	-12.7381
2012	-2.0665	-0.9834	-0.9533	-0.9420	-0.9092	-0.9658	-0.9394	-0.9434	-1.1995	-0.9806	-0.9334	-0.9561	-12.7726
2013	-2.0939	-0.9868	-0.9479	-0.9478	-0.9137	-0.9137	-0.9470	-0.9508	-1.2217	-1.0796	-0.9137	-0.9137	-12.8305

表 3 耕地生态安全综合测度值及安全级别

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
D	0.6882	0.7050	0.7124	0.7233	0.7499	0.7245	0.7486	0.7580	0.8150	0.7592	0.7662	0.7784	0.7793	0.7913
级别	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ

综上可知,近 14 a 间四川省在满足社会经济发展的同时也加强了耕地修复等耕地恢复和保护工作,使得耕地系统与社会需求协调发展,耕地生态状况总体较安全。

3.1.2 耕地生态安全演变趋势分析 基于耗散结构理论,判断耕地生态安全演变趋势,主要通过熵总的变化来体现。根据表 2 绘制出四川省 2000—2013 年耕地生态安全状况熵总变化趋势图(图 2)。

由图 2 可知,四川省 2000—2013 年耕地生态安全动态变化趋势大致为倒“U”型发展趋势,其变化趋势以 2008 年为拐点,2000—2008 年处于上升趋势,

2008—2013 年处于下降趋势。具体表现为:2000—2008 年熵总在逐年上升,表明四川省耕地系统在逐年有序发展,耕地生态安全逐年改善。由于水土流失、农业受灾土地以及化肥农药施用等土壤污染的治理具有后制性且恢复的可逆性较差,使得耕地生态状况在短时间内变化缓慢,因此,此阶段耕地生态安全状况逐年改善的主要原因是随着 GDP 的增长,经济水平不断提升,促使农业财政、农业科技投入增加,农业发展状况得到改善,同时农民人均纯收入也随着经济水平的提升而不断增加,农民有能力增加耕地地力修复投入,耕地地力得以优化,耕地生态安全状况向

有序方向发展。2008—2013 年熵总逐年下降,表明四川省耕地系统逐年向无序方向发展,耕地生态安全状况随之下降。此阶段影响耕地生态安全状况的主要原因是社会经济建设不断推进,使得人口密度、复种指数等增加造成耕地自身状况不断变化,耕地压力增大,加之汶川大地震灾毁耕地,以及灾后重建占用大量耕地(特别是优质耕地的占用),耕地生态安全状况呈现出无序方向发展的趋势。

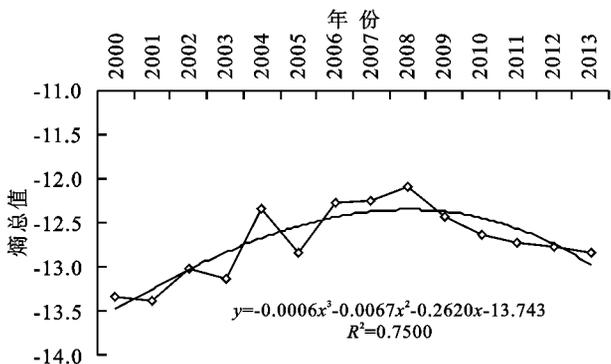


图 2 耕地生态安全状况熵总变化趋势

总之,2000—2008 年四川省耕地生态安全状况在逐年改善,2008—2013 年四川省耕地生态状况虽然处于较安全阶段,但安全状况略呈现出下降趋势。若要使四川省耕地生态安全状况处于有序发展状态

或更加有序发展,就要增加负熵,降低熵总。

3.2 影响耕地生态安全状况的因素分析

耕地生态安全状况主要取决于耕地系统中生态熵变和社会经济熵变的综合影响,而这两大方面又受到指标层各项影响因子的影响。因此,为把握影响四川省耕地生态安全状况的具体因素,就应重点对影响该省耕地生态安全状况的各项影响因子进行研究。考虑到各项影响因子的复杂程度,及其相互之间的关联程度,本文采用因子分析法,该方法能有效地把各项影响因子化繁为简,减弱各项影响因子之间的关联程度。利用 SPSS 17.0 软件对本文指标体系中 12 个指标进行因子分析,分析结果如下:

通过 KMO 和 Bartlett 的检验结果显示(表 4),KMO 统计量为 $0.652 > 0.5$,同时,Bartlett 球形检验,拒绝单位相关阵的原假设, $p = 0.000 < 0.001$,因此适合采用因子分析法。基于此得出解释的总方差(表 5)。

表 4 KMO 和 Bartlett 的检验

取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量	0.652
Bartlett 的球形度检验	近似卡方 336.319
	df 66
	Sig. 0.000

表 5 解释的总方差

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差百分数	累积百分比	合计	方差百分数	累积百分比	合计	方差百分数	累积百分比
1	8.558	71.320	71.320	8.558	71.320	71.320	7.009	58.408	58.408
2	1.919	15.993	87.313	1.919	15.993	87.313	3.469	28.905	87.313
3	0.874	7.281	94.594						
4	0.453	3.778	98.372						
5	0.080	0.667	99.039						
6	0.066	0.550	99.589						
7	0.027	0.228	99.817						
8	0.015	0.124	99.942						
9	0.006	0.047	99.989						
10	0.001	0.008	99.996						
11	0.000	0.003	100.000						
12	4.496 E-5	0.000	100.000						

由表 5 可知,前 2 个主成分的特征值大于 1,两个主成分的累计贡献率为 $87.313\% > 70\%$,达到了因子分析法的要求。由此进一步得出成分矩阵(表 6),根据 0.5 原则,各项指标在各类因子上的解释不明显,为了更好地解释各项因子的意义,需要进行旋转,得到旋转成分矩阵(表 6)。

由表 6 可知,经过旋转后,旋转成分矩阵中,第一主成分中 $C_2, C_3, C_5, C_6, C_7, C_9, C_{11}, C_{12}$ 具有较大的载荷,包括以 C_7, C_9, C_{12} 为主的社会经济压力因素,

以 C_5, C_{11} 为主的农业科技因素和以 C_2, C_3, C_6 为主的生态环境因素。第二主成分中 C_1, C_4, C_{10} 具有较大的载荷,包括以 C_1, C_4 为主的生态环境因素和以 C_8, C_{10} 为主的社会经济压力因素。因此,影响四川省耕地生态安全的因素主要是社会经济压力因素、农业科技因素和生态环境因素。

3.2.1 社会经济压力因素 2000—2013 年,四川省 GDP 增长率、人口密度和复种指数有所增加,但增幅较小。伴随着社会经济快速发展,农民人均纯收入由

2000年的1 915元/人增加到2013年的7 895元/人,增加了75.74%;客运量由2000年的143 072人增加到2013年的291 749人,增加了50.96%。因此,客运量增加无疑会增加耕地压力,影响耕地生态状况,但不足以对全省耕地生态安全状况造成威胁,加之农民收入水平的不断增加,一方面农民有能力增加耕地地力投入,另一方面部分农民不再靠土地生存,从土地中脱离出来从事非农工作,耕地闲置间接促使耕地休耕,耕地地力恢复,耕地生态安全状况得以改善。

表6 成分矩阵与旋转成分矩阵

成分矩阵 ^a			旋转成分矩阵 ^b		
因子	成分1	成分2	因子	成分1	成分2
C ₁	-0.593	0.641	C ₁	-0.209	-0.848
C ₂	0.962	0.210	C ₂	0.944	0.281
C ₃	0.685	0.327	C ₃	0.757	0.044
C ₄	-0.519	0.806	C ₄	-0.065	-0.957
C ₅	0.976	0.189	C ₅	0.946	0.306
C ₆	0.965	0.078	C ₆	0.883	0.398
C ₇	0.989	0.116	C ₇	0.922	0.377
C ₈	0.816	-0.501	C ₈	0.473	0.833
C ₉	0.964	0.225	C ₉	0.953	0.268
C ₁₀	0.554	-0.473	C ₁₀	0.256	0.681
C ₁₁	0.970	0.171	C ₁₁	0.932	0.319
C ₁₂	0.915	0.312	C ₁₂	0.952	0.169

注:提取方法:主成分分析法;a.已提取了2个成分。旋转法:具有Kaiser标准化的四分旋转法;b.旋转在3次迭代后收敛。

3.2.2 农业科技因素 农业科技因素主要体现在单位面积农机总动力和土壤有机质含量的逐年提高,其中,单位面积农机总动力由2000年的3.85 kW/hm²增加到2013年的9.86 kW/hm²,增加了60.95%;土壤有机质含量由2000年的2.46增加到2013年的2.77,增加了11.19%。这是因为随着农业科技的提升,农业生产投入就会增加,表现之一为农业生产投入增加有助于加大耕地改良,增加土壤有机质含量,提高耕地肥力,保障耕地生态安全。

3.2.3 生态环境因素 生态环境因素主要包括化肥施用量、农药施用量、农业成灾面积和水土流失治理面积,其中化肥、农药施用量增幅不大。耕地生态安全状况主要表现为,四川省近14 a间通过合理调整产业结构、退耕还林(草)等方式加大水土流失治理,以及通过土地复垦、土地整理等工程技术措施修护灾毁耕地,使得四川省水土流失治理面积由2000年的391.80万hm²增加到2013年的779.21万hm²,增加了49.72%;农业成灾面积由2000年的251.30万hm²减少到2013年的125.80万hm²,减少了99.76%,耕地生态安全状况有所改善。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文以我国西部重要商品粮基地四川省为研究区,基于耗散结构理论,运用数学量化模型分析该省2000—2013年耕地生态安全级别和演变趋势,并探讨其影响因素,得出以下结论:

(1) 2000—2013年四川省耕地生态安全级别为耕地生态状况总体较安全。具体表现为:除2000年该省耕地生态状况处于临界安全外,2001—2013年该省耕地生态状况一直较安全,其安全级别状况总体比较乐观。

(2) 2000—2013年四川省耕地生态安全演变趋势为2000—2008年四川省耕地生态安全逐年得以改善,2008—2013年四川省耕地生态安全状况略呈现下降趋势。具体表现为:2000—2008年四川省耕地系统熵总逐年上升,熵总值由2000年的-13.330 5上升至2008年的一12.089 9,表明该省耕地系统在逐年有序发展,耕地生态安全状况也在逐年改善;2008—2013年四川省耕地系统熵总逐年下降,熵总值由2008年的一12.089 9下降至2013年的一12.830 5,表明该省耕地系统呈现出无序发展的趋势,虽然此段年限四川省耕地生态较安全,但其安全状况略呈下降趋势。

(3) 影响因素分析表明:四川省耕地生态安全状况主要受社会经济压力因素、农业科技因素和生态环境因素的影响。

4.2 讨论

(1) 实证研究表明:四川省2000—2013年耕地生态状况总体较安全,但从2008年后其安全状况略呈下降趋势。因此,四川省应继续加强耕地保护,特别应注重耕地生态安全保护,在重点完善当前各项有效政策的基础上,从实际情况入手,因地制宜,协调经济社会发展与耕地生态安全保护的关系。一方面,要继续加强耕地保护宣传力度,提高农民耕地生态安全保护意识,进一步引导农民合理施用农药化肥,并通过施用农家肥等方式主动进行土壤肥力培育;另一方面,实施耕地生态安全恢复工程,优化土地利用结构和空间布局,严格实施“占补平衡”,并通过财政补贴耕地地力保护资金;此外,结合“互联网+”,建立覆盖全省的耕地生态安全监控网络体系,严格监控耕地生态安全状况。

(2) 耕地生态保护是粮食安全的基础,粮食安全是关系到社会和谐发展的重大政策问题。四川省是我国西部重要的商品粮基地,研究该省耕地生态安全状况直接关系到区域粮食安全,这具有重要的现实意义。

义。从研究内容来看,本文主要从时序角度分析了四川省耕地生态安全状况,并在此基础上进一步探讨其影响因素,仅仅把握了该省耕地生态安全总体状况。下一步还需着重从空间角度研究该省耕地生态安全空间变化状况,通过对该省 21 个市州耕地生态安全状况进行分析,以期为该省相关主管部门在耕地保护方面的决策管理提供参考,确保耕地生态保护政策及措施的有效实施。

参考文献:

- [1] 贺雪峰.地权的逻辑.Ⅱ:地权变革的真相与谬误[M].北京:东方出版社,2013.
- [2] 李春华,李宁,石岳,等.两型社会建设背景下长株潭城市群耕地安全性评价[J].中国农学通报,2010,26(16):301-308.
- [3] 施开放,刁承泰,孙秀锋,等.基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价[J].生态学报,2013,33(4):1317-1325.
- [4] 刘圣欢,彭婵,董利民.江汉平原耕地资源生态安全研究[J].统计与决策,2014,22(3):119-121.
- [5] 乌云嘎,聂艳,罗毅,等.湖北省耕地生态安全时空演变特征研究[J].江汉大学学报:自然科学版,2015,43(4):317-322.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 张安,孙福军,贾树海,等. GIS 在县域耕地生态环境安全评价中的应用研究:以凌源市为例[J].土壤通报,2013,44(2):292-295.
- [9] Beesley K B, Ramsey D. Agricultural land preservation [J]. International Encyclopedia of Human Geography, 2009,25(6):65-69.
- [10] Rasul G, Thapa G B. Sustainability analysis of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh [J]. World Development, 2003,31(10):1721-1741.
- [11] 孙飞,李青华.耗散结构理论及其科学思想[J].黑龙江大学学报自然科学学报,2004,21(3):76-79.
- [12] 毕宝德.土地经济学[M].6版.北京:中国人民大学出版社,2011.
- [13] 瓦哈甫·哈力克,史蒂文,杨晋娟.基于耗散结构理论的耕地系统生产能力评价[J].农业系统科学与综合研究,2010,26(2):186-191.
- [14] 许辉,雷国平,崔登攀,等.耕地生态安全评价研究:以黑龙江宁安市为例[J].水土保持研究,2011,18(6):180-189.
- [15] 陈文宽,杨春,李兰图.地震灾后重建村级土地协同调控效果评价研究:以四川省安县柏杨村为例[J].农业技术经济,2012(6):65-73.
- [16] 陈磊,陈燕,陈宇阳,等.四川省耕地演变时空特征及影响因素研究[J].广东农业科学,2015,42(20):176-181.
- [17] 李春华,李宁,史培军,等.基于信息熵的江苏省耕地安全系统演化分析[J].资源科学,2008,30(1):43-51.
- [8] 严茂超,李海涛,程鸿,等.中国农林牧渔业主要产品的能值分析与评估[J].北京林业大学学报,2001,23(6):66-69.
- [9] 隋春花,蓝盛芳.广州与香港的环境经济能值分析[J].重庆环境科学,2003,25(1):47-48,55.
- [10] 陈春兰,侯海军,秦红灵,等.南方双季稻区生物质还田模式生态效益评价[J].农业资源与环境学报,2016,33(1):80-91.
- [11] 周科平,王明球,李斌,等.2012年湖南省农业生态系统的能值分析[J].水土保持通报,2015,35(1):297-302.
- [12] 杜博洋.河北省耕地系统能值分析[D].河北保定:河北农业大学,2008.
- [13] 曹志宏,郝晋珉,梁流涛.黄淮海地区农业生态经济系统能值分析[J].农业现代化研究,2009,30(4):466-470.
- [14] 邱翠华.基于能值分析的黄河下游平原农业生态系统可持续发展研究[D].河南开封:河南大学,2013.
- [15] Bastianoni S, Marchettini N, Panzieri M, et al. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy) [J]. Journal of Cleaner Production, 2001,9(4):365-373.

(上接第 306 页)