

李 政,何 伟,吴冬林,等. 四川省耕地生态安全的时空格局及生态阻力分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(18):286-292.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.18.069

四川省耕地生态安全的时空格局及生态阻力分析

李 政,何 伟,吴冬林,刘晋希

(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/四川师范大学地理与资源科学学院,四川成都 610068)

摘要:针对四川省耕地生态安全状况,以四川省 21 个市(州)为研究对象,构建基于压力-状态-响应(pressure-state-response,简称 PSR)模型的耕地生态安全评价指标体系,综合运用地理信息系统(geographic information system,简称 GIS)空间分析法、综合指数法、耕地生态安全动态指数模型对 2004—2014 年四川省耕地生态安全时空格局和阻力值进行分析。结果表明,从时间上看,2004—2014 年期间,四川省耕地生态安全压力指数先上升后下降,响应指数呈连续上升趋势,状态指数与综合指数呈“V”字形变化趋势,综合指数安全等级由一般安全级变为比较安全级。从空间上看,四川省耕地生态安全空间分布格局由环状向片状变化,一般安全级大范围向四川省东部地区延伸,省域内耕地生态安全综合指数值具有较强的空间相关性,空间集聚格局明显。生态阻力方面,单位耕地面积化肥负荷、旱地占比、有效灌溉面积比、污水排放量、人均粮食占有量等成为阻碍耕地生态安全状况改善的主要阻力因子。

关键词:耕地生态安全;PSR 模型;GIS 空间分析法;综合指数法;时空格局;生态阻力;四川省

中图分类号:F323.211 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)18-0286-07

耕地资源属于宝贵的自然资源,是人类的生存之本,具有生产、环保、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成为具有高度耦合性的社会-经济-生态复合系统^[1]。21 世纪以来,伴随着工农业现代化以及城市化进程的加快,耕地利用等生态问题逐渐凸显。一方面建设用地快速扩张导致耕地稀缺性增强;另一方面为追求粮食高产而大量施用化肥和农药导致土壤污染严重,这些都对我国耕地资源的保护与粮食安全的保障提出了巨大的挑战,引起政府部门与学者的广泛关注^[2-3]。因此,开展耕地生态安全评价研究,认识当前耕地生态安全状况,是保障区域经济社会可持续发展、协调人地关系的必要前提。

国外学者在耕地生态安全评价方面,成果颇丰,其中与可持续利用相结合的研究占绝大部分。Rasul 等将生态与社会经济相结合,分析了孟加拉国耕地的可持续利用^[4];Beesley 等将耕地可持续利用与生态安全相结合进行了系统的研

究^[5]。我国对耕地的生态安全研究也不乏亮点,郑华伟等在进行四川省耕地生态安全诊断时,将压力-状态-响应(pressure-state-response,简称 PSR)模型与集对分析相结合,从整体与局部剖析耕地生态安全的内在关系^[6]。张锐等在评价我国耕地生态安全状况时注重方法创新,将 PSR 模型与物元分析法相结合^[7]。总体来看,耕地生态安全评价目前还处于初级阶段,定性分析较多,定量分析较少;理论支撑不够;指标多集中于资源、环境状况,而人类活动、社会经济因素往往被忽视。本研究将四川省 21 个市(州)作为研究对象,构建基于 PSR 模型的耕地生态评价指标体系,运用耕地生态安全动态指数模型、综合指数法、ArcGIS 10.2 软件平台地理信息系统(geographic information system 或,简称 GIS)空间分析模块对 2004—2014 年四川省耕地生态安全进行时间与空间格局的分析,并运用生态阻力模型对影响四川省以及各地区的阻力因子进行分析。旨在响应国家“藏粮于地、藏粮于技”的口号,为四川省耕地资源的合理利用与可持续发展以及生态安全提供参考和理论依据。

1 研究地区概况、技术路线、数据来源

1.1 研究区概况

四川省地处西南腹地,位于 97°21′~108°31′E,26°03′~34°19′N,东临重庆市,西达西藏自治区,北接陕西、甘肃、青海

收稿日期:2017-04-08

基金项目:四川省哲学社会科学规划项目(编号:SC16B066)。

作者简介:李 政(1992—),男,四川广元人,硕士研究生,研究方向为土地利用管理与评价。E-mail:845774791@qq.com。

通信作者:何 伟,硕士,副教授,研究方向为土地资源利用及评价。E-mail:cdwhe@163.com。

[16]贾静涛,杨 华,曾 晖,等. 山地城市土地利用景观格局动态变化分析——以重庆市主城区为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2013,30(4):35-40,171.

[17]李嘉峻,许有鹏,桑银江,等. GIS 支持下的土壤侵蚀动态变化研究:浙江一例[J]. 南京大学学报(自然科学版),2005,41(3):297-303.

[18]门明新,赵同科,彭正萍,等. 基于土壤粒径分布模型的河北省土壤可蚀性研究[J]. 中国农业科学,2004,37(11):1647-1653.

[19]曾凌云,汪美华,李春梅. 基于 RUSLE 的贵州省红枫湖流域土

壤侵蚀时空变化特征[J]. 水文地质工程地质,2011,38(2):113-118.

[20]余 丹,饶 静,王震洪. 基于 GIS 的红枫湖流域的景观格局分析[J]. 农业与技术,2012,32(1):58-59.

[21]许月卿,邵晓梅. 基于 GIS 和 RUSLE 的土壤侵蚀量计算——以贵州省猫跳河流域为例[J]. 北京林业大学学报,2006,28(4):67-71.

[22]朱会义,李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报,2003,58(5):643-650.

等省,南抵贵州、云南等地区,地域面积约为 48.5 万 km^2 ,位列全国第 5,总人口约 8 800 万人,位列全国第 4,是西部第一大省。地势西高东低,地形类型多样,中部东部以平原、丘陵为主,西部以山地和高原为主。盆地中广布着有机质含量较高的紫色土。气候以亚热带季风气候为主,夏季高温多雨,冬季温暖湿润,适宜居住,可以种植多种作物。如此优越的地理条件使得四川省成为我国重要的农业经济区,粮食、油料、棉花等农作物产量高居全国前列。近年来,随着城市化进程的

加快,建设用地的急剧增加与耕地的不断减少,以及土壤污染加剧导致耕地生态安全受到了极大的冲击,亟待改善。

1.2 技术路线

在熟悉耕地生态安全概念、理论以及国内外研究动态,对比相关研究方法的基础上,梳理论文研究思路并确定评价方法,本研究主要分为 3 个部分:数据的搜集与处理、评价模型的建立与耕地生态安全等级的划分、时空序列与生态阻力分析,具体技术路线如图 1 所示。

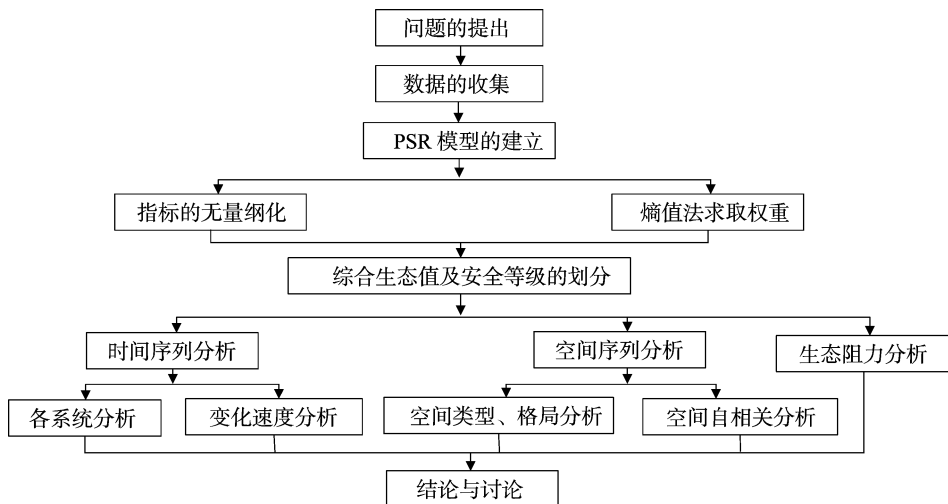


图1 四川省耕地生态安全的时空格局及生态阻力分析技术路线框架

1.3 数据来源

本研究数据主要参考《四川省统计年鉴》(2004—2014 年)、四川省各地区的统计年鉴、国民经济、社会发展统计公报(2004—2014 年)以及四川省农业部门、国土部门、气象部门的相关资料等。

2 研究方法

2.1 PSR 评价体系的构建与指标的选取

PSR 模型是由经济合作与发展组织 (organization for economic co-operation and development, 简称 OECD)、联合国环境规划署 (united nations environment programme, 简称 UNEP) 共同提出的一种测度环境状况的评价框架,揭示了环境保护的“作用—反馈—作用”的循环机制,体现了过程与结果之间的互动关系,被广泛运用于土地质量、生态安全评价等方面^[8]。对于四川省耕地生态评价而言,由于人口不断增长、城市化进程加快、化肥农药大量使用,导致耕地生态系统承受了巨大的压力;在此情况下,耕地生态系统本身的结构和功能呈现出一定的状态;人们为了改变目前耕地的状况做出了一定的响应,采取了一系列的措施,使之朝着可持续的方向发展^[9]。

耕地生态安全是指耕地资源生态系统能够基本保持自身正常功能运转、满足社会经济可持续发展的需要^[10]。本研究在 PSR 模型的评价框架指导下,遵从指标选取的科学性、系统性、可操作性等原则,结合四川省的实际情况,以及数据的可获得性共选取了 17 个正向指标,7 个负向指标,共 24 个评价指标,构建四川省耕地生态评价指标体系,具体情况如表 1 所示。

2.2 评价方法

2.2.1 评价指标的标准化 为了使各指标之间具有可比性,

本研究运用最大离差法对数据进行标准化处理,以消除不同量纲的影响。

(1) 正向指标计算公式:

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m). \quad (1)$$

(2) 负向指标计算公式:

$$X_{ij} = \frac{x_{j\max} - x_{ij}}{x_{j\max} - x_{j\min}} (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m). \quad (2)$$

式中: x_{ij} 、 X_{ij} 分别为标准化前、标准化后的值; $x_{j\max}$ 、 $x_{j\min}$ 分别为第 j 项指标的最大值、最小值; m 、 n 为系统包含的指标数。

2.2.2 评价指标权重的确定 目前确定指标权重的方法有很多,例如 Delphi 法、层次分析法 (the analytic hierarchy process, 简称 AHP 法)、熵值法等,本研究为了消除人为因素的影响,使权重的确定更具有客观性与科学性,因此采用熵值法确定评价指标的权重,其具体步骤如下:

(1) 计算 i 地第 j 项指标值的比值:

$$p_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m). \quad (3)$$

(2) 计算指标的信息熵:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}); \quad (4)$$

式中: $k > 0$, $k = 1/\ln(n)$; $e_j \geq 0$ 。

(3) 计算第 j 项指标的差异性系数:

$$d_j = 1 - e_j. \quad (5)$$

式中: d_j 为差异性系数。

(4) 计算权重:

$$w_j = d_j / \sum_{i=1}^m d_j. \quad (6)$$

表 1 耕地生态安全评价指标

目标层	准则层	权重	指标层	评价函数	安全趋向	权重
耕地生态安全	压力	0.320	C1:人口密度(人/km ²)		—	0.029
			C2:人口自然增长率(%)		—	0.027
			C3:城市人口比例(%)	非农人口/总人口	+	0.071
			C4:人均耕地面积(hm ² /人)	耕地面积/总人口	+	0.037
			C5:年末实有耕地面积(km ²)		+	0.043
			C6:第一产业所占 GDP 的比例(%)	第一产业 GDP/地区生产总值	—	0.033
			C7:污水排放量(万 m ³)		—	0.011
			C8:单位耕地化肥负荷(kg/hm ²)	化肥施用量/耕地面积	—	0.046
			C9:粮食单产(kg/hm ²)	粮食总产量/粮食播种面积	+	0.023
	状态	0.281	C10:耕地产出率(万元/km ²)	农业 GDP/耕地面积	+	0.029
			C11:年平均降水量(mm)		+	0.050
			C12:人均粮食占有量(kg/人)	粮食产量/总人口	+	0.040
			C13:土地垦殖率(%)	耕地面积/土地面积	+	0.052
			C14:旱地占比(%)	旱地面积/耕地面积	—	0.027
			C15:耕地减少率(%)	(期末耕地-期初耕地)/期初耕地	—	0.033
			C16:污水处理率(%)		+	0.022
			C17:农村居民人均纯收入(元/人)		+	0.028
	响应	0.399	C18:农电集约度(kW·h/hm ²)	农村用电量/耕地面积	+	0.081
			C19:单位耕地农业机械动力(kW/hm ²)	农业机械总动力/耕地面积	+	0.095
			C20:人均 GDP(元)	国内生产总值/总人口	+	0.069
			C21:第三产业所占 GDP 的比例(%)	第三产业 GDP/地区生产总值	+	0.054
			C22:农村投资强度(%)	农村投资/总财政总支出	+	0.033
			C23:教育投资强度(%)	教育投资/总财政总支出	+	0.032
			C24:有效灌溉面积占比(%)	有效灌溉面积/耕地面积	+	0.035

注: + 代表安全; - 代表不安全。

2.2.3 耕地生态安全指数的计算 本研究采用更为直接的综合指数法对四川省以及 21 个市(州)耕地生态进行评价。其公式为

$$F = \sum_{i=1}^m w_i X_{ij}。 \tag{7}$$

式中: F 为耕地生态安全综合指数; w_i 为第 i 子系统的权重; X_{ij} 为标准值。 F 越趋近于 1, 表示耕地生态越安全。

2.2.4 耕地生态安全等级动态模型 为了更好地分析耕地生态安全类型对区域生态安全的影响, 本研究运用耕地生态安全动态等级模型来描述耕地生态安全等级的变化速度, 从而提出可行性的措施^[11]。公式如下:

$$V = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%。 \tag{8}$$

式中: V 为 2 个时间段内耕地生态安全等级动态; U_a 、 U_b 分别为研究初期、末期某种耕地生态安全等级的数量; T 为研究时间^[12]。

2.2.5 耕地生态安全阻力值计算 为了有效改善耕地的环境质量, 提高其生态安全水平, 有必要对单项和分类指标的阻力进行诊断, 找出阻碍因子, 阻力值计算采用阻力诊断模型^[13], 其公式为

$$Z_j = p_{ij} w_j / \sum_{j=1}^m (p_{ij} \times w_{ij}) \times 100\%。 \tag{9}$$

式中: Z_j 为阻力值; $p_{ij} = 1 - X_{ij}$; X_{ij} 为单项指标的标准化值; w_{ij} 为单项指标的标准的权重; w_j 为评价指标的总权重^[14]。

3 耕地生态安全评价标准的确定

不同的研究对象, 其评价的结果通常以级别的方式体现。在计算出耕地生态安全综合指数(F)后, 参照王燕辉等的研究成果^[15], 结合四川省当地的实际情况, 根据相关标准对评价结果进行分级, 最终将其分为 5 个等级: 风险级、敏感级、临界安全级、一般安全级、比较安全级, 具体分级情况见表 2。

表 2 耕地生态安全分级和系统标准

F	等级	等级特性
$0.5 < F \leq 0.9$	比较安全级(N_1)	耕地生态系统结构较完整, 生态功能基本完善, 抵御外界干扰能力强, 生态灾害少, 生态问题不显著
$0.4 < F \leq 0.5$	一般安全级(N_2)	耕地生态系统结构尚完整, 生态功能尚完善, 耕地生态环境受到干扰, 土地利用程度较高, 生态灾害不大, 生态问题不显著
$0.3 < F \leq 0.4$	临界安全级(N_3)	耕地生态系统的结构已经有了恶化趋势, 尚能维持基本的功能, 抵御外界干扰能力较弱, 生态灾害时有发生, 生态问题显现
$0.2 < F \leq 0.3$	敏感级(N_4)	耕地生态系统的结构恶化严重, 功能退化, 耕地生态环境受到较大破坏, 受外界干扰后治理相对困难, 生态灾害较多, 生态问题较多
$0.0 < F \leq 0.2$	风险级(N_5)	耕地生态系统的结构残缺不全, 功能低, 耕地生态环境受到很大破坏, 生态环境问题严重, 经常引发生态灾害

4 四川省耕地生态安全时空演变特征分析

4.1 耕地生态安全时间序列分析

在构建基于 PSR 模型耕地生态评价指标体系的基础上,经过最大离差法对数据进行标准化处理,消除不同量纲的影响后,运用综合指数法计算得到四川省 2004 年、2009 年、2014 年的耕地生态安全综合值与各子系统的生态安全指数值。

4.1.1 各子系统分析

4.1.1.1 耕地压力系统 由图 2 可知,研究期间,压力指数先增后减,呈现波动下降的趋势。2004—2009 年压力指数由 0.492 上升到 0.627;2009—2014 年压力指数由 0.627 下降到 0.332。表明四川省耕地所面临的压力在先减小后加增大,自 2009 年以来,随着四川省人口的增加、单位耕地化肥负荷的加大,特别是污水的大量排放,农田生态系统受到一定程度的污染和破坏,耕地压力随即上升。

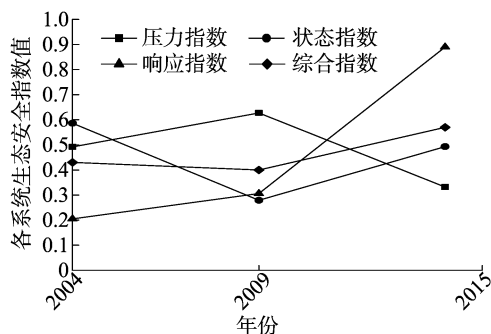


图2 2004—2014 年四川省的耕地生态安全子系统及综合安全指数的变化

4.1.1.2 耕地状态系统 由图 2 可知,状态指数呈“V”字形的变化趋势,由 2004 年的 0.586 下降到 2009 年的 0.279 再上升到 2014 年的 0.493。2004—2009 年为下降时期,该时期四川省自然灾害频发,特别是 2008 年汶川大地震对四川省的自然、社会经济环境造成了巨大的破坏,使得部分地区耕地生态系统短时间内难以恢复,粮食单产下降。同时由于这一时期四川省大力发展经济,忽视了对环境的保护,导致污水未经处理而大量排放,污水处理率下降到最低点,仅为 67.47%。在 2009 年之后,耕地状态开始有所好转,该时期政府加强对农村的投资,农田基本设施逐步完善,以及企业重视环境的保护,使得状态指数逐年提升。

4.1.1.3 耕地响应系统 由图 2 可知,响应指数呈持续上涨的趋势,2 个时间段分别上涨 0.101、0.584,因此 2004—2009 年为上升期,2009—2014 年为快速上升期。这与该时期四川省大力发展国民经济、增加农业的投入、加强农田水利设施建设、注重发展教育培养高科技人才、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政策等密不可分,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,四川省人均 GDP 由 7 771.57 元上升到 32 937.48 元,农村居民人均纯收入约增长 6 223 元,人民生活水平逐年提高。

4.1.2 耕地生态安全综合评价 由图 2 可知,耕地生态安全综合指数呈“V”字形的变化趋势,安全等级经历了一般安全

级—临界安全级—比较安全级的过程,呈现出好转的趋势。综合指数由 2004 年的 0.43 下降到 2009 年的 0.40 再上升到 2014 年的 0.57,出现波动的原因在于 2004 年以来,伴随着城市化进程加快、城市人口增加、一些因人类不良活动(如化肥的大量使用、污水的大量排放、农药的大量)等所带来的环境问题,加之 2008 年汶川地震和一些自然灾害对生态与社会系统的破坏,导致了耕地生态系统的严重受损。在此以后,政府加大对农业、农村、教育的投入,同时将经济发展与环境相协调,一定程度上促进了生态环境的好转。四川省耕地生态安全水平提升速度缓慢,2004—2014 年期间共增长了 0.14,刚好达到比较安全的等级,但仍有较大的提升空间,这就须要继续加大对耕地生态的保护力度。

4.1.3 变化速度特征 由表 3 可知,高水平安全等级数量以相对较高的变化速度在增加,中水平安全等级的数量以相对较高的速度在减少,低水平安全等级数量基本保持不变,四川省耕地生态总体水平在逐年提高。2004—2009 年,四川省耕地生态安全等级动态中,敏感级以 20% 的年速度快速增长,一般安全级以 12% 的年增长速度紧随其后,比较安全级则以 13.3% 的年速度减少;2009—2014 年,比较安全级则以 40% 的年速度增长,临界安全级以 20% 的速度在减少。

表 3 2004—2014 年四川省耕地生态安全等级动态变化率

安全等级	等级动态变化率(%)	
	2004—2009 年	2009—2014 年
N ₁	-13.3	40.0
N ₂	12.0	7.5
N ₃	-3.3	-20.0
N ₄	20.0	0.0
N ₅	0.0	0.0

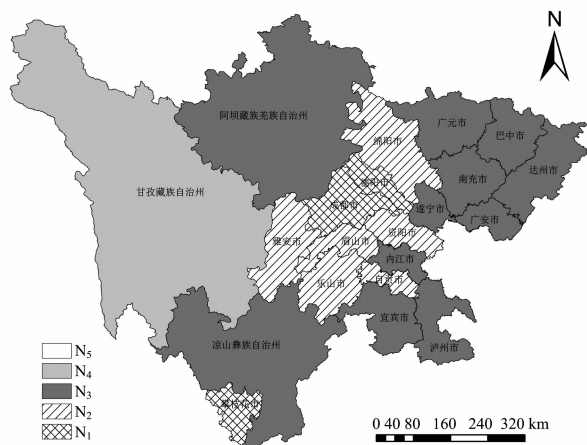
4.2 四川省耕地生态安全的空间演变特征

4.2.1 空间类型的演变 在 2004—2014 年间选取 2004 年、2009 年、2014 年作为关键的时间点来研究耕地生态安全的空间演变特征。由表 4 可知,全省耕地生态安全总体水平在逐年提升。2004 年、2009 年临界安全级的地区数量占比较大,均在 50% 左右;比较安全级和临界安全级的地区数量在递减;一般安全级、敏感级的地区数量在递增;没有出现风险级地区。2009—2014 年,比较安全级和一般安全级的地区数量在增加,其中一般安全级增幅较大,增加到 52.4%;临界安全级的地区数量则减少了 5 个;敏感级、风险级的地区数量则没有变化。

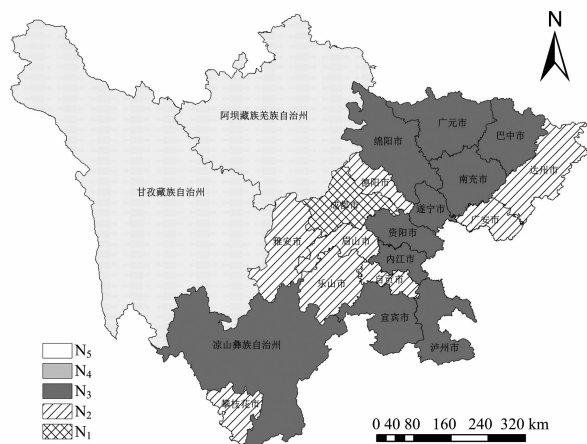
表 4 2004—2014 年四川省耕地生态安全等级空间类型的演变

安全等级	2004 年		2009 年		2014 年	
	数量 (个)	占比 (%)	数量 (个)	占比 (%)	数量 (个)	占比 (%)
N ₁	3	14.3	1	4.8	3	14.3
N ₂	5	23.8	8	38.1	11	52.4
N ₃	12	57.1	10	47.6	5	23.8
N ₄	1	4.8	2	9.5	2	9.5
N ₅	0.0	0	0.0	0	0	0.0

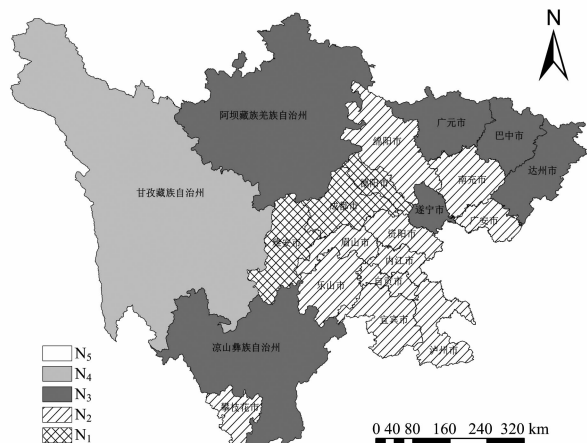
4.2.2 空间格局的演变 运用 ArcGIS 10.2 中的空间分析工具,对四川省 2004 年、2009 年、2014 年这 3 年的地区耕地生态安全等级进行分析,得到其空间分布图。由图 3 可知,研



a. 2004 年耕地生态安全空间格局



b. 2009 年耕地生态安全空间格局



c. 2014 年耕地生态安全空间格局

N_1 —比较安全级; N_2 —一般安全级; N_3 —临界安全级;
 N_4 —敏感级; N_5 —风险级

图3 2004 年、2009 年、2014 年四川省耕地生态安全空间变化格局

究期间,四川省耕地生态安全水平空间分布格局差异明显,敏感级主要分布在四川省西部的阿坝藏族自治州和甘孜藏族自治州,一般安全级和比较安全级多分布在四川盆地的中部平原与东部的低山丘陵地带,临界安全级呈环状分布于四川盆地的边缘地区。耕地生态安全水平自盆地中部向周边地

区递减。2004 年,四川省耕地生态评价水平空间分布格局大致呈环状,自内向外依次为比较安全级、一般安全级、临界安全级,敏感级分布在川西高原。2009 年,敏感级向东部延伸,四川省东北部地区出现了一般安全级,比较安全级范围在缩小,总体变化不大。2014 年,环状分布的格局被打破,耕地生态安全水平呈片状分布,西部和西北部依然是敏感级分布区,中部平原为比较安全级,临界安全级分布在四川省南部和四川省东北部,一般安全级则向东突围,占据了大片低山丘陵地区,面积大增。表明近年来,四川省耕地保护措施与环境治理措施有一定成效,耕地生态水平得到进一步提升。

4.2.3 空间自相关分析 运用 Geoda 10.0 软件的全局空间自相关功能求出四川省耕地生态安全综合指数的 Moran's I 指数,从而判断其空间集聚程度。2004 年、2009 年、2014 年生态安全综合指数的 Moran's I 值分别为 0.118 560、0.071 655、0.128 075。说明 2014 年空间集聚格局分布最为明显,2004 年相对明显,2009 年最不明显。通过 Moran 散点图能够清楚地定性各区域与周边区域某地理现象或某一属性值的相互关系。Moran 散点图 4 个象限中的属性值分别代表不同的关联性,HH 为高-高空间关联区,LH 为低-高空间关联区,LL 为低-低空间关联区,HL 为高-低空间关联区。其中,落入 HH、LL 象限的属性值存在较强的空间正相关,具有均质性;落入 LH、HL 象限的属性值则存在较强的空间负相关,具有异质性。由图 4 可知,2004 年耕地生态安全综合指数位于 HH、LL 象限的地区数量达样本总数的 66.6%,位于 LH、HL 象限的占 33.4%,存在较强正相关的地区主要分布在成都市、绵阳市、乐山市、眉山市、资阳市以及四川省东北部和东南部的部分市域。2009 年耕地生态安全综合指数位于 HH 和 LL、LH 和 HL 的地区数量分别占 52.4%、47.6%,存在较强正相关的地区主要分布在四川省中部的成都市、绵阳市、乐山市、德阳市以及四川省东北部的南充市、巴中市和四川省西部地区。2014 年耕地生态安全综合指数位于 HH 和 LL、LH 和 HL 的地区数量分别占 66.7%、33.3%,存在较强正相关的地区主要分布在四川省中部的成都市、绵阳市、德阳市,以及四川省东北部、东南部的部分市域。综上所述,2004—2014 年四川省耕地生态安全在省域内具有较强的空间相关性,空间集聚格局明显,存在较强正相关的地区主要分布在成都平原及平原偏东地区,存在较强负相关的地区主要分布在内江市、遂宁市、阿坝藏族自治州、凉山彝族自治州等地区。

5 四川省及其各地区耕地安全阻力分析

5.1 四川省耕地生态安全阻力分析

为提高耕地生态安全水平,有必要找出影响它的主要因素,本研究通过阻力诊断模型计算得到四川省耕地生态安全的阻力因子,再根据阻力值的大小选取排名前 6 的主要阻力因子作为分析对象。由表 5 可知,污水排放量、单位耕地化肥负荷、人均粮食占有量、耕地减少率、旱地占比、有效灌溉面积占比等是影响耕地生态安全的主要因子,占据主导作用。近年来,四川省人口增加、城市化进程加快,一方面大量耕地被占用,导致耕地面积逐年减少,粮食减产,人均粮食占有量减少,在粮食需求的巨大压力下人们为追求耕地的高产出而大量使用化肥、农药,对耕地生态环境造成了巨大的压力;另一

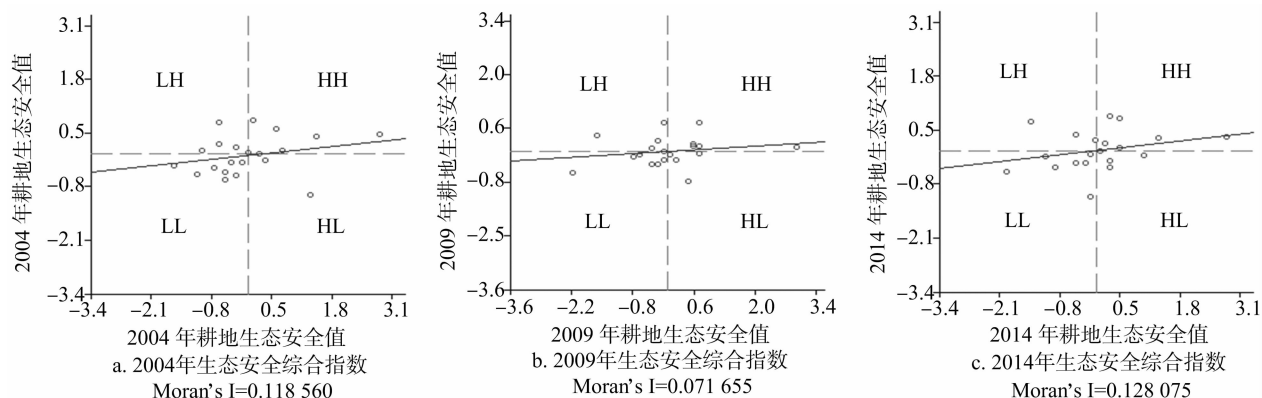


图4 四川省耕地生态安全综合指数 Moran 散点图

表5 四川省耕地生态安全的阻力因子排序及阻力值

年份	1		2		3		4		5		6	
	阻力因子	阻力值 (%)	阻力因子	阻力值 (%)	阻力因子	阻力值 (%)	阻力因子	阻力值 (%)	阻力因子	阻力值 (%)	阻力因子	阻力值 (%)
2004	C8	10.22	C10	7.92	C17	7.38	C9	7.34	C22	7.17	C24	7.00
2009	C14	10.47	C12	9.22	C7	9.19	C24	8.06	C15	7.75	C16	5.62
2014	C14	15.66	C12	14.36	C7	13.94	C15	12.85	C8	11.38	C5	8.21

方面,工业废水未经完全处理而大量排放,导致耕地污染严重。这一系列的恶性循环成为重要的限制因素。农村居民人均纯收入、粮食单产、耕地产出率、农村投资强度等是影响耕地生态安全的不稳定因子,仅出现在2004年前后。该时期经济发展水平相对较低,政府投入不足,导致农田水利设施落后,农业发展缓慢,耕地产出与粮食单产下降,但随着科技的进步、政府部门投入的加大,这些因素之后并没有成为阻碍耕地生态安全的主要阻力因子。

2个时期的主要阻力因子变化趋势具有明显的差异。2004—2009年,仅有有效灌溉面积比没有变化,其余的因子各不相同;2009—2014年,污水排放量、人均粮食占有量、旱地占比、耕地减少率均无变化,仅少量因子出现变化。这说明,随着社会经济的发展,一些原本是主要阻力的因子逐步得到改善,但仍然有一些因子没有得到解决,这些因子是制约目前生态安全水平提高的主要阻力,也是今后亟待解决的中心问题。因此,要改善耕地生态安全水平,须要从提高人均粮食占有量、改进农业耕作的技术和方法、加大农业水利设施建设、合理分配水田和旱地的占比、减少工业废水的排放等方面进行实施。

5.2 不同地区阻力因素的差异

通过分析四川省耕地生态安全的阻力,得到影响各地区生态安全前6位的阻力因子(表6)。对各地区3年的阻力因子进行对比分析,不仅能够得到每年主要的阻力因子,还能提取出各地区一直都存在的主要阻力因子,为进一步改善耕地生态环境政策的调整提供了重要依据。由表6可知,大部分地区主要阻力因子相同。自贡市、绵阳市、广元市、遂宁市、内江市、乐山市、眉山市、宜宾市、南充市、广安市、达州市、资阳市、凉山彝族自治州、巴中市、甘孜藏族自治州、阿坝藏族羌族自治州等的耕地生态安全阻力因子主要有农电集约度(C18)、单位耕地农业机械动力(C19)、人均GDP(C20)等,表明这些市、州须要提高经济发展水平,增加人民的收入,同时

须要大力发展农业机械。

极少数地区的主要阻力因子不同,例如成都市、泸州市等。成都市的耕地生态安全阻力因子主要有单位耕地农业机械动力(C19)、农村投资强度(C22)、人均粮食占有量(C12)等,表明成都市须要加强农业投入,改进农业耕作的技术与方法从而提高粮食产量;泸州市的耕地生态安全阻力因子主要有城市人口比例(C3)、人均GDP(C20)、单位耕地农业机械总动力(C19)等,表明泸州市须要在挖掘和利用耕地资源的基础上提高农业机械化水平。

不同时期的主要阻力因子变化不大。通过对比分析四川省21个地区2004—2009年、2009—2014年2个时期耕地生态主要的阻力因子,可以发现影响各地区的生态安全阻力因子具有稳定性,即不同时间段各地区的主要阻力因子中存在诸多因子是没有变化的。这表明各地区在耕地生态的治理中,主要问题没有得到很好地解决,这是制约耕地生态水平的关键。因此,只有因地制宜地解决好各地区的主要生态阻力因子,才能促进四川省整体耕地生态水平的提高。

6 结论与讨论

基于PSR模型,综合考虑自然、社会、人类活动因素,建立了以24个指标为基础的耕地生态安全评价体系。在时间尺度上,2004—2014年四川省耕地生态安全压力指数先上升后降低,状态和响应指数先降低后上升,综合指数呈现“V”字形趋势,表明在压力和状态的影响下,四川省积极采取应对措施,使得耕地生态安全有所好转。在研究区域内,高水平安全等级的地区数量以相对较高的变化速度在增加,中水平安全等级的地区数量以相对较高的速度在减少,低水平安全等级的地区数量基本保持不变,表明四川省耕地生态水平逐年提高。在空间尺度上,四川省耕地生态安全空间分布格局由环状向片状变化,其中一般安全级向川东地区延伸,且地区数量增长最多。耕地生态安全在省域内具有较强的空间相关性,

表 6 2004—2014 年四川省耕地生态安全各地区排名前 6 的阻力因子

地区	2004 年	2009 年	2014 年
成都市	C19、C4、C1、C22、C8、C12	C19、C22、C11、C23、C15、C12	C19、C11、C12、C4、C22、C8
自贡市	C18、C19、C20、C3、C22、C4	C19、C18、C21、C24、C20、C11	C19、C18、C21、C20、C15、C5
攀枝花市	C18、C4、C22、C5、C23、C13	C21、C18、C22、C19、C11、C23	C21、C19、C18、C11、C13、C5
泸州市	C18、C20、C3、C19、C4、C24	C13、C19、C20、C24、C21、C3	C19、C21、C8、C20、C11、C3
德阳市	C3、C19、C20、C8、C4、C1	C19、C23、C22、C21、C20、C15	C19、C21、C8、C20、C11、C3
绵阳市	C18、C20、C19、C3、C4、C8	C19、C23、C18、C22、C20、C11	C19、C18、C21、C20、C11、C3
广元市	C18、C20、C3、C19、C4、C8	C18、C19、C23、C20、C22、C24	C19、C18、C20、C21、C17、C10
遂宁市	C18、C20、C3、C19、C4、C8	C19、C18、C20、C21、C3、C11	C19、C18、C21、C20、C8、C5
内江市	C20、C3、C18、C19、C1、C4	C19、C21、C20、C18、C11、C3	C19、C21、C18、C20、C3、C8
乐山市	C20、C18、C3、C19、C4、C22	C19、C21、C18、C20、C23、C24	C19、C21、C18、C20、C13、C17
南充市	C18、C20、C19、C3、C4、C8	C19、C18、C20、C21、C11、C3	C19、C18、C21、C20、C3、C17
眉山市	C20、C18、C3、C19、C22、C8	C19、C18、C21、C20、C23、C11	C19、C21、C18、C20、C8、C2
宜宾市	C18、C20、C3、C19、C22、C4	C19、C18、C21、C24、C20、C11	C19、C21、C18、C20、C3、C11
广安市	C18、C20、C3、C19、C4、C8	C19、C18、C20、C24、C21、C3	C19、C18、C21、C20、C3、C17
达州市	C18、C20、C3、C19、C4、C8	C19、C18、C20、C21、C24、C3	C19、C18、C21、C20、C3、C15
雅安市	C18、C20、C3、C19、C8、C4	C23、C21、C20、C15、C22、C3	C21、C20、C13、C5、C8、C3
巴中市	C18、C20、C3、C19、C8、C4	C19、C18、C20、C24、C3、C15	C19、C18、C20、C21、C17、C10
资阳市	C18、C20、C3、C19、C4、C24	C19、C18、C21、C20、C3、C24	C19、C21、C18、C20、C3、C11
阿坝藏族自治州	C20、C18、C3、C19、C1、C4	C19、C24、C18、C23、C20、C22	C19、C18、C21、C20、C13、C17
甘孜藏族自治州	C18、C20、C3、C19、C22、C24	C19、C18、C24、C20、C23、C11	C19、C18、C20、C13、C17、C3
凉山彝族自治州	C18、C20、C19、C3、C24、C22	C19、C18、C24、C20、C3、C21	C19、C18、C21、C20、C3、C13

空间集聚格局明显。阻碍四川省耕地生态安全状况改善的阻力因子主要包括单位耕地面积化肥负荷、旱地占比、有效灌溉面积占比、污水排放量、人均粮食占有量、耕地减少率等。就地区而言,主要的阻力因子因地域差异而不同,但也存在着共性,大部分地区的共同阻力因子包括农电集约度、单位耕地农业机械动力、城市人口比例、人均 GDP 等。因此,政府部门不仅要从全局出发还要依据各地区的个体差异制定出相应的解决措施,从而全面提升四川省的耕地生态安全水平。

耕地生态安全问题是复杂的、系统的,科学全面地构建指标体系、选择合理的方法是研究的基础。由于数据的可获得性、连续性以及研究方法自身的局限性等因素导致本研究并不完善。四川省作为我国重要的农业大省、人口大省以及西部第一大省,在保障国家粮食安全方面具有重要的战略地位,因此,研究四川省耕地生态安全问题是当下和以后重要的使命。

参考文献:

[1]王 千,金晓斌,周寅康,等. 河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因[J]. 生态学报,2011,31(1):247-256.

[2]王 千,金晓斌,周寅康,等. 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.

[3]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.

[4]Rasul G, Thapa G B. Sustainability analysis of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh [J]. World

Development,2003,31(10):1721-1741.

[5]Beesley K B, Ramsey D. Agricultural land preservation [J]. International Encyclopedia of Human Geography,2009,25(6):65-69.

[6]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,2015,29(12):42-50.

[7]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[C]//生态经济与美丽中国——中国生态经济学学会成立 30 周年暨 2014 年学术年会论文集. 2014:16.

[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]苏 刚,冯 菲,张俊梅. 黄骅市耕地生态安全评价及生态阻力分析[J]. 贵州农业科学,2015,43(11):179-184.

[10]谢戈力. 广州市耕地资源生态安全研究[J]. 广东农业科学,2011,38(22):152-154.

[11]王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展,1999,18(1):81-87.

[12]赵宏波,郑 辉,苗长虹,等. 东北粮食主产区农业生态系统健康格局与因子诊断——以吉林省为例[J]. 应用生态学报,2016,27(10):3290-3298.

[13]邓楚雄,谢炳庚,吴永兴,等. 上海都市农业生态安全定量综合评价[J]. 地理研究,2011,30(4):645-654.

[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]王燕辉,陈 卓,曹 禺,等. 河北省近 20 年耕地生态安全动态变化及阻力分析[J]. 水土保持研究,2017,24(1):194-199,206.