

李 根,杨庆媛,马寅华,等. 基于熵值法的中国省域耕地生态安全评价[J]. 江苏农业科学,2017,45(9):223-228.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.09.060

# 基于熵值法的中国省域耕地生态安全评价

李 根,杨庆媛,马寅华,罗 明,陈展图,童小容

(西南大学地理科学学院,重庆 400715)

**摘要:**耕地生态安全评价是改善农田生态系统、促进耕地可持续利用的基础性工作。根据耕地资源生态安全内涵及其影响因素,从自然、社会、经济 3 个方面选取 17 个指标,构建了耕地生态安全评价指标体系,选择熵值法确定指标权重,并运用综合评价模型计算全国省域单位 2005—2014 年的耕地生态安全指数,划分耕地生态安全等级。结果表明:近 10 年来全国总体耕地生态安全等级由“临界安全”逐步转变为“较不安全”,耕地生态安全指数整体呈波动下降态势,耕地生态安全朝逆向演化的方向发展。北京市、上海市近 10 年耕地生态安全相对稳定,且基本处于“较安全”等级;2006—2014 年天津市耕地生态安全等级经历“较安全—临界安全”的变化,但在 2012 年后有明显提升;2006—2014 年吉林、黑龙江耕地生态安全明显呈下降态势,大致经历了“临界安全—较不安全—临界安全”的演变历程;近 10 年江苏、浙江、新疆、西藏、内蒙古、海南地区耕地生态安全相对稳定,处于“临界安全”;云南、贵州、广西地区耕地生态安全指数呈波动上升趋势,但也处于“不安全”等级;其他地区近 10 年耕地生态安全总体上虽然小有波动,但一直处于“较不安全”等级。

**关键词:**耕地生态安全;安全等级;熵值法;综合评价

**中图分类号:** F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)09-0223-05

耕地资源是人类生存和发展最宝贵的物质基础,是地球资源的精华所在,我国以占世界 7% 的耕地养活了世界 22% 的人口,取得举世瞩目的成就<sup>[1-2]</sup>。然而近半个世纪以来,由于工业化、城镇化快速发展,建设用地占用以及灾害毁损,耕地资源的稀缺性增强,耕地的生态安全受到极大威胁<sup>[3-5]</sup>。因此,诊断区域耕地生态安全等级、加强耕地生态安全建设显得尤为重要。

国外学者主要把耕地生态安全与可持续利用相结合进行研究,Rasul 等从自然生态环境、社会经济需求方面构建评价指标体系,分析孟加拉耕地可持续利用与自然生态状况<sup>[6]</sup>。Beesley 等认为,农用地利用中,耕地的质量与生态安全越来越受农场主关注<sup>[7]</sup>。国内学者关于耕地生态安全的研究集中在耕地生态安全内涵、耕地生态安全评价、耕地生态安全影响因素以及耕地生态安全调控对策等<sup>[2,8-9]</sup>。朱红波在分析耕地资源生态安全内涵、特征和影响因素的基础上,构建了耕地资源生态安全评价指标体系,认为耕地资源生态安全是指在一定时间和空间尺度内,耕地资源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>。赵其国等分别从耕地利用内外部环境及耕地供给方面探讨了耕地生态安全,但是由于研究对象的复杂性和特殊性,人们对耕地生态安全的内涵认识不足,在评价指标体系构建和研究方法选择上形成的共识多为宏观研究,使得耕地生态安全评

价研究滞后<sup>[10]</sup>。笔者以全国为研究区域,以省域为研究单元,构建基于压力-状态-响应(PSR)模型的耕地生态安全评价指标体系,采用综合评价法和熵值法对我国耕地生态安全进行实证研究,识别并诊断耕地生态安全的制约因子,旨在为改善农田生态系统安全状况、协调人地关系、促进耕地资源可持续利用提供理论依据。

## 1 评价指标体系构建

### 1.1 耕地生态安全的内涵

笔者认为,耕地生态安全是土地生态安全的一个重要方向,主要包括三方面的含义:(1)它是实现耕地与自然、经济、社会可持续发展的前提与基础;(2)它是耕地资源环境和生物环境所处的不受或少受威胁的可持续状态,在这种状态下,耕地生态系统有均衡、充裕、稳定的自然资源可供利用;(3)指在一定时间和空间尺度内,耕地生态系统既能实现自身结构功能的完整,又能满足社会经济发展的需要<sup>[10]</sup>。

### 1.2 耕地生态安全评价指标体系构建

根据我国实际情况,结合国内外学者的研究成果<sup>[10-16]</sup>,遵循科学性、可比性、系统性、可获取性原则,基于压力-状态-响应(PSR)模型,综合考虑自然压力、环境压力、人口压力、社会经济压力、耕地质量、耕地资源状态、环境响应等 7 个方面影响耕地资源生态安全的因素,选取 17 个评价指标为指标层,构建了耕地生态安全评价指标体系(表 1)。

## 2 耕地生态安全评价方法与模型

### 2.1 数据来源与标准化处理

数据来源于《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国国土资源年鉴》《中国农业年鉴》《中国国土资源公报》和各省、直辖市、自治区(以下简称省市自治

收稿日期:2016-11-07

基金项目:国家社会科学基金重大项目(编号:15ZDC032)。

作者简介:李 根(1990—),男,重庆人,硕士研究生,主要从事土地利用与国土规划研究。E-mail:lg666758@163.com。

通信作者:杨庆媛,博士,教授,博士生导师,主要从事土地经济与政策、土地利用与国土规划研究。E-mail:yizyang@swu.edu.cn。

表 1 耕地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	因素层	指标层	评价函数	指标属性
我国耕地生态安全评价	压力	自然压力	自然灾害受灾率(%)	自然灾害受灾面积/耕地面积	逆向
			耕地地膜负荷(kg/hm <sup>2</sup> )	地膜使用量/耕地面积	逆向
		环境压力	土地废水负荷(t/hm <sup>2</sup> )	废水排放量/土地总面积	逆向
			耕地农药负荷(kg/hm <sup>2</sup> )	农药使用量/耕地面积	逆向
			耕地化肥负荷(kg/hm <sup>2</sup> )	化肥使用量/耕地面积	逆向
	人口压力	人口压力	人口自然增长率(%)		逆向
			人口密度(人/km <sup>2</sup> )	人口总数/土地总面积	逆向
		社会经济压力	城市化水平(%)	非农业人口/总人口	正向
			农业经济比例(%)	第一产业增加值/国内生产总值(GDP)	逆向
	状态	耕地质量	水土协调度(%)	有效灌溉面积/耕地面积	正向
			粮食单产(kg/hm <sup>2</sup> )	粮食总产量/播种耕地面积	正向
		耕地资源状态	垦殖率(%)	耕地面积/土地总面积	逆向
			人均耕地面积(hm <sup>2</sup> )	耕地面积/人口数	正向
响应	环境响应	环境响应	工业固废综合利用率(%)		正向
			自然保护区面积比例(%)		正向
			农业机械化水平(%)	机械总动力/耕地面积	正向
			经济密度(万元/km <sup>2</sup> )	GDP 总量/土地总面积	正向

区)统计年鉴。由于数据的可获取限制性,本研究只对 2005—2014 年我国耕地生态安全水平进行分析。

本研究构建的指标体系对耕地生态安全的影响分为正、负趋向性 2 个方面。正向性指标是数值越大,对耕地生态安全越有利;负向指标是数值越小,对耕地生态安全越有利。在获取原始数据后,需对正、负趋向指标进行无量纲化处理,具体步骤如下:

正向指标: $Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}$ 。(1)

负向指标: $Z_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}$ 。(2)

式中: $X_{ij}$ 指第  $i$  指标第  $j$  省(市、自治区)的原始值; $\max(X_{ij})$ 指第  $i$  指标第  $j$  省(市、自治区)的最大值; $\min(X_{ij})$ 指第  $i$  指标第  $j$  省(市、自治区)的最小值; $Z_{ij}$ 指第  $i$  指标第  $j$  省(市、自治区)标准化后的值。

2.2 指标权重确定

不同的评价指标对耕地生态安全的重要程度存在一定差异,为了反映这一差异,需要对不同的指标赋予权重,确定指标权重的方法主要有主观赋权法与客观赋权法两大类。为了避免人为主观判断的影响,使得出的耕地生态安全权重更有科学性,本研究选取客观赋权法里的熵值法来确定指标权重。熵值法根据评价指标变异程度的大小来确定指标权重,指标变异程度越大,信息熵越少,该指标权重值就越大,反之越小<sup>[15-17]</sup>。

根据公式(1)、(2)得出的标准化值,再计算第  $i$  指标第  $j$  省(市、自治区)的比重  $Y_{ij}$ :

$Y_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sum_{j=1}^m Z_{ij}} (0 < Y < 1)$ 。(3)

计算第  $i$  项评价指标的信息熵值  $e_i$ :

$e_i = -K \sum_{j=1}^m Y_{ij} \ln Z_{ij}$ 。(4)

式中: $e_i \geq 0$ ,  $k$  为调节系数,与样本数  $m$  有关,一般令  $k = \frac{1}{\ln m}$ 。

计算第  $i$  项评价指标的权重  $w_i$ 。

$w_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^m (1 - e_i)}$ 。(5)

最后,利用熵值法的公式,与均值法相结合,求取全国 2005—2014 年耕地生态安全评价指标权重(表 2)。

表 2 全国耕地生态安全评价指标权重

评价指标	权重	排序
自然灾害受灾率(%)	0.038 5	11
耕地地膜负荷(kg/hm <sup>2</sup> )	0.015 7	15
土地废水负荷(t/hm <sup>2</sup> )	0.011 4	17
耕地农药负荷(kg/hm <sup>2</sup> )	0.023 5	14
耕地化肥负荷(kg/hm <sup>2</sup> )	0.041 3	10
人口自然增长率(%)	0.047 3	7
人口密度(人/km <sup>2</sup> )	0.012 2	16
城市化水平(%)	0.046 5	8
农业经济比例(%)	0.025 6	13
水土协调度(%)	0.082 6	5
粮食单产(kg/hm <sup>2</sup> )	0.063 6	6
垦殖率(%)	0.046 5	9
人均耕地面积(hm <sup>2</sup> )	0.108 7	3
工业固废综合利用率(%)	0.035 2	12
自然保护区面积比例(%)	0.182 3	1
农业机械化水平(W/hm <sup>2</sup> )	0.085 9	4
经济密度(万元/km <sup>2</sup> )	0.133 0	2

2.3 评价模型

国内学者对生态安全的评价多采用灰色关联度评价模型、生态足迹评价模型、模糊综合评价模型等<sup>[18-20]</sup>。本研究采用综合评价模型,定量分析中国省域单位耕地生态安全状况。

$E_j = \sum_{i=1}^n W_i \times Z_{ij}$ 。(6)

式中: $E_j$  为第  $j$  省(市、自治区)的耕地生态安全综合评价指数; $w_i$  为指标  $i$  的权重; $z_{ij}$  为指标  $i$  的标准值。

2.4 评价标准

借鉴相关文献的研究结论<sup>[21-23]</sup>,并且考虑到指标选取的

局限性,表 3 将全国耕地生态安全指数值按其取值范围(0 ~ 1),运用非等间距法分为 5 个安全档次,指数值越大,耕地生态安全度越高,指数值越小,耕地生态安全度越低;并依次将 5 个对应的耕地生态安全等级与特征进行相应描述。

表 3 耕地生态安全等级与特征

<i>E</i> 值范围	安全等级	特征
≥0.6	安全(Ⅰ级)	耕地资源生态环境基本没有受到破坏和干扰,耕地生态系统功能强,结构完整,土地肥沃,无农业污染,无沙化、碱化现象,植被覆盖率高,生态环境问题不显著。
0.5≤ <i>E</i> <0.6	较安全(Ⅱ级)	耕地资源生态环境受到干扰,耕地生态系统功能较强,结构较完整,土地肥力较高,农业污染程度低,水土协调性好,土地利用程度高,生态环境问题不显著。
0.4≤ <i>E</i> <0.5	临界安全(Ⅲ级)	耕地资源生态环境受到一定的破坏,耕地生态系统的结构有恶化趋势,但基本功能能够得到保证,盐碱化程度较高,水土协调性较差,土壤肥力下降,生态环境问题显著。
0.3≤ <i>E</i> <0.4	较不安全(Ⅳ级)	耕地资源生态环境受到较大破坏,耕地生态系统结构恶化明显,功能不全,受外界干扰后不能恢复,盐碱化程度严重,治理困难,一般为低产田,生态环境问题较大,生态灾害较多。
<0.3	不安全(Ⅴ级)	耕地资源生态环境受到严重破坏,耕地生态系统结构残缺不全,功能低下,发生退化性变化,恢复与重建困难,耕地无法正常耕种,生态环境问题严重。

注:*E* 值是根据上述多因素综合评价模型得出的省域单位生态安全综合指数。

3 结果与分析

3.1 全国各省市自治区耕地生态安全等级划分

通过收集中国省域相关数据,根据前文构建的评价指标体系,进行定量计算,得到耕地生态安全评价综合指数值。由于笔者研究的是 2005—2014 年中国省域耕地生态安全状况及动态变化过程,计算量较大,文章篇幅所限,在此省略计算过程。中国省域 2005—2014 年耕地生态安全综合指数见表 4、表 5。

由表 4、表 5 可知,中国省域近 10 年的耕地生态安全总

表 4 2005—2009 年中国省域耕地生态安全综合指数

地区	2005 年		2006 年		2007 年		2008 年		2009 年	
	<i>E</i> 值	等级	<i>E</i> 值	等级	<i>E</i> 值	等级	<i>E</i> 值	等级	<i>E</i> 值	等级
北京	0.496	Ⅲ	0.502	Ⅱ	0.507	Ⅱ	0.513	Ⅱ	0.516	Ⅱ
天津	0.495	Ⅲ	0.515	Ⅱ	0.499	Ⅲ	0.500	Ⅲ	0.492	Ⅲ
河北	0.387	Ⅳ	0.415	Ⅲ	0.396	Ⅳ	0.393	Ⅳ	0.407	Ⅲ
山西	0.303	Ⅳ	0.344	Ⅳ	0.312	Ⅳ	0.306	Ⅳ	0.315	Ⅳ
内蒙古	0.416	Ⅲ	0.425	Ⅲ	0.410	Ⅲ	0.425	Ⅲ	0.424	Ⅲ
辽宁	0.413	Ⅲ	0.425	Ⅲ	0.392	Ⅳ	0.400	Ⅲ	0.391	Ⅳ
吉林	0.401	Ⅲ	0.436	Ⅲ	0.392	Ⅳ	0.407	Ⅲ	0.387	Ⅳ
黑龙江	0.397	Ⅳ	0.434	Ⅲ	0.394	Ⅳ	0.409	Ⅲ	0.417	Ⅲ
上海	0.547	Ⅱ	0.560	Ⅱ	0.544	Ⅱ	0.549	Ⅱ	0.556	Ⅱ
江苏	0.410	Ⅲ	0.432	Ⅲ	0.410	Ⅲ	0.414	Ⅲ	0.425	Ⅲ
浙江	0.447	Ⅲ	0.463	Ⅲ	0.437	Ⅲ	0.440	Ⅲ	0.449	Ⅲ
安徽	0.339	Ⅳ	0.359	Ⅳ	0.349	Ⅳ	0.319	Ⅳ	0.372	Ⅳ
福建	0.353	Ⅳ	0.339	Ⅴ	0.345	Ⅳ	0.351	Ⅳ	0.373	Ⅳ
江西	0.346	Ⅳ	0.360	Ⅳ	0.368	Ⅳ	0.352	Ⅳ	0.374	Ⅳ
山东	0.420	Ⅲ	0.435	Ⅲ	0.422	Ⅲ	0.406	Ⅲ	0.422	Ⅲ
河南	0.346	Ⅳ	0.387	Ⅳ	0.365	Ⅳ	0.362	Ⅳ	0.371	Ⅳ
湖北	0.331	Ⅳ	0.324	Ⅴ	0.326	Ⅳ	0.340	Ⅳ	0.351	Ⅳ
湖南	0.332	Ⅳ	0.342	Ⅳ	0.342	Ⅳ	0.350	Ⅳ	0.357	Ⅳ
广东	0.382	Ⅳ	0.371	Ⅳ	0.363	Ⅳ	0.387	Ⅳ	0.403	Ⅲ
广西	0.305	Ⅳ	0.300	Ⅳ	0.283	Ⅴ	0.279	Ⅴ	0.291	Ⅴ
海南	0.401	Ⅲ	0.424	Ⅲ	0.406	Ⅲ	0.423	Ⅲ	0.430	Ⅲ
重庆	0.346	Ⅳ	0.339	Ⅳ	0.328	Ⅳ	0.333	Ⅳ	0.338	Ⅳ
四川	0.367	Ⅳ	0.355	Ⅳ	0.356	Ⅳ	0.364	Ⅳ	0.378	Ⅳ
贵州	0.277	Ⅴ	0.299	Ⅴ	0.297	Ⅳ	0.307	Ⅳ	0.323	Ⅳ
云南	0.260	Ⅴ	0.289	Ⅴ	0.263	Ⅴ	0.261	Ⅴ	0.267	Ⅴ
西藏	0.418	Ⅲ	0.396	Ⅲ	0.438	Ⅲ	0.452	Ⅲ	0.450	Ⅲ
陕西	0.293	Ⅴ	0.318	Ⅳ	0.300	Ⅳ	0.300	Ⅳ	0.313	Ⅳ
甘肃	0.337	Ⅳ	0.356	Ⅳ	0.331	Ⅳ	0.324	Ⅳ	0.332	Ⅳ
青海	0.372	Ⅳ	0.382	Ⅳ	0.370	Ⅳ	0.385	Ⅳ	0.400	Ⅲ
宁夏	0.339	Ⅳ	0.365	Ⅳ	0.339	Ⅳ	0.344	Ⅳ	0.355	Ⅳ
新疆	0.432	Ⅲ	0.425	Ⅲ	0.421	Ⅲ	0.419	Ⅲ	0.427	Ⅲ

体水平并不高,全部处于生态安全等级的Ⅱ级到Ⅴ级。其中,北京市、上海市的耕地生态安全等级较高,总体处于Ⅱ级(较安全);云南、贵州、广西地区的耕地生态安全水平等级较低,近年来波动较小,基本处于Ⅴ级(不安全)。近年来,河北、河南、陕西、山西、江西、山东、安徽、湖北、湖南、福建、辽宁、广

东、四川、重庆、甘肃、青海、宁夏等地耕地生态安全总体处于Ⅳ级(较不安全),江苏、浙江、天津、内蒙古、吉林、黑龙江、西藏、新疆、海南等地近年来耕地生态安全总体处于Ⅲ级(临界安全)。2005—2014 年中国省域单位耕地生态安全空间分异及耕地生态安全变化分别见图 1、图 2。

表 5 2010—2014 年中国省域耕地生态安全综合指数

地区	2010 年		2011 年		2012 年		2013 年		2014 年	
	<i>E</i> 值	等级	<i>E</i> 值	等级	<i>E</i> 值	等级	<i>E</i> 值	等级	<i>E</i> 值	等级
北京	0.509	Ⅱ	0.511	Ⅱ	0.521	Ⅱ	0.529	Ⅱ	0.522	Ⅱ
天津	0.483	Ⅲ	0.476	Ⅲ	0.429	Ⅲ	0.447	Ⅲ	0.443	Ⅲ
河北	0.390	Ⅳ	0.398	Ⅳ	0.349	Ⅳ	0.363	Ⅳ	0.356	Ⅳ
山西	0.304	Ⅴ	0.322	Ⅳ	0.288	Ⅴ	0.306	Ⅳ	0.304	Ⅳ
内蒙古	0.419	Ⅲ	0.433	Ⅲ	0.394	Ⅳ	0.420	Ⅲ	0.408	Ⅲ
辽宁	0.389	Ⅳ	0.407	Ⅲ	0.379	Ⅳ	0.392	Ⅳ	0.364	Ⅳ
吉林	0.403	Ⅲ	0.420	Ⅲ	0.384	Ⅳ	0.409	Ⅲ	0.409	Ⅲ
黑龙江	0.420	Ⅲ	0.441	Ⅲ	0.393	Ⅳ	0.426	Ⅲ	0.423	Ⅲ
上海	0.558	Ⅱ	0.547	Ⅱ	0.508	Ⅱ	0.539	Ⅱ	0.553	Ⅱ
江苏	0.419	Ⅲ	0.409	Ⅳ	0.381	Ⅳ	0.409	Ⅲ	0.409	Ⅲ
浙江	0.440	Ⅲ	0.429	Ⅲ	0.373	Ⅳ	0.399	Ⅳ	0.400	Ⅲ
安徽	0.365	Ⅳ	0.369	Ⅳ	0.328	Ⅳ	0.362	Ⅳ	0.371	Ⅳ
福建	0.347	Ⅳ	0.365	Ⅳ	0.322	Ⅳ	0.358	Ⅳ	0.356	Ⅳ
江西	0.372	Ⅳ	0.378	Ⅳ	0.351	Ⅳ	0.327	Ⅳ	0.333	Ⅳ
山东	0.415	Ⅲ	0.410	Ⅲ	0.363	Ⅳ	0.388	Ⅳ	0.383	Ⅳ
河南	0.363	Ⅳ	0.358	Ⅳ	0.313	Ⅴ	0.333	Ⅳ	0.320	Ⅳ
湖北	0.345	Ⅳ	0.341	Ⅳ	0.309	Ⅳ	0.339	Ⅳ	0.353	Ⅳ
湖南	0.349	Ⅳ	0.353	Ⅳ	0.320	Ⅳ	0.331	Ⅳ	0.354	Ⅳ
广东	0.396	Ⅳ	0.400	Ⅳ	0.368	Ⅳ	0.359	Ⅳ	0.353	Ⅳ
广西	0.279	Ⅴ	0.294	Ⅴ	0.268	Ⅴ	0.295	Ⅴ	0.280	Ⅴ
海南	0.421	Ⅲ	0.457	Ⅲ	0.425	Ⅲ	0.440	Ⅲ	0.420	Ⅲ
重庆	0.333	Ⅳ	0.325	Ⅳ	0.292	Ⅴ	0.326	Ⅳ	0.327	Ⅳ
四川	0.369	Ⅳ	0.381	Ⅳ	0.357	Ⅳ	0.355	Ⅳ	0.354	Ⅳ
贵州	0.322	Ⅳ	0.325	Ⅳ	0.248	Ⅴ	0.254	Ⅴ	0.267	Ⅴ
云南	0.268	Ⅴ	0.282	Ⅴ	0.283	Ⅴ	0.283	Ⅴ	0.281	Ⅴ
西藏	0.435	Ⅲ	0.450	Ⅲ	0.438	Ⅲ	0.438	Ⅲ	0.442	Ⅲ
陕西	0.300	Ⅳ	0.316	Ⅳ	0.284	Ⅴ	0.300	Ⅳ	0.292	Ⅴ
甘肃	0.330	Ⅳ	0.343	Ⅳ	0.302	Ⅳ	0.323	Ⅳ	0.312	Ⅴ
青海	0.388	Ⅳ	0.381	Ⅳ	0.352	Ⅳ	0.357	Ⅳ	0.348	Ⅳ
宁夏	0.347	Ⅳ	0.344	Ⅳ	0.313	Ⅳ	0.337	Ⅳ	0.319	Ⅳ
新疆	0.418	Ⅲ	0.427	Ⅲ	0.374	Ⅳ	0.404	Ⅲ	0.376	Ⅳ

收集中国省域单位有关耕地生态安全评价指标数据,经分析整理后,按照熵值法确定各评价指标的权重(表 2),将耕地生态安全评价指标数据带入综合评价模型,计算得出中国省域单位 2005—2014 年的耕地生态安全指数,再运用非等间距法将耕地生态安全指数分为 5 个安全等级。生态安全指数越大,耕地生态安全度越高;生态安全指数越小,耕地生态安全度越低。研究表明,北京、上海地区近 10 年耕地生态安全指数稳定,达到“较安全”等级,处于国内领先地位。江苏、浙江、天津、山东、内蒙古、吉林、黑龙江、西藏、新疆、海南等地近 10 年耕地生态安全指数波动明显,但基本处于“临界安全”等级。其中,2006—2014 年天津市耕地生态安全等级经历“较安全—临界安全”的变化,2012 年后耕地生态安全指数有明显提升;2006—2014 年吉林、黑龙江地区耕地生态安全指数呈明显下降态势,大致经历了“临界安全—较不安全—临界安全”的演变历程。河北、河南、陕西、山西、江西、安徽、湖

北、湖南、福建、辽宁、广东、四川、重庆、甘肃、青海、宁夏等地近 10 年耕地生态安全指数总体稍有波动,基本处于“较不安全”等级;其中,2006—2012 年辽宁省耕地生态安全指数波动明显,由“临界安全”下降为“较不安全”,2012 年后稍有回升。近 10 年陕西省耕地生态安全指数总体由“不安全”等级提升到“较不安全”等级,到 2014 年又稍有回落,下降为“不安全等级”。云南、贵州、广西地区的耕地生态安全指数波动较小,基本处于“不安全”等级。其中,2005—2007 年广西耕地生态安全指数经历了“较不安全—不安全”的演变历程,且之后几年一直处于“不安全”等级。

4 结论与讨论

本研究通过对中国省域 2005—2014 年的耕地生态安全进行分析与评价,结果表明,近 10 年全国总体耕地生态安全等级由“临界安全”逐步转变为“较不安全”,耕地生态安全指

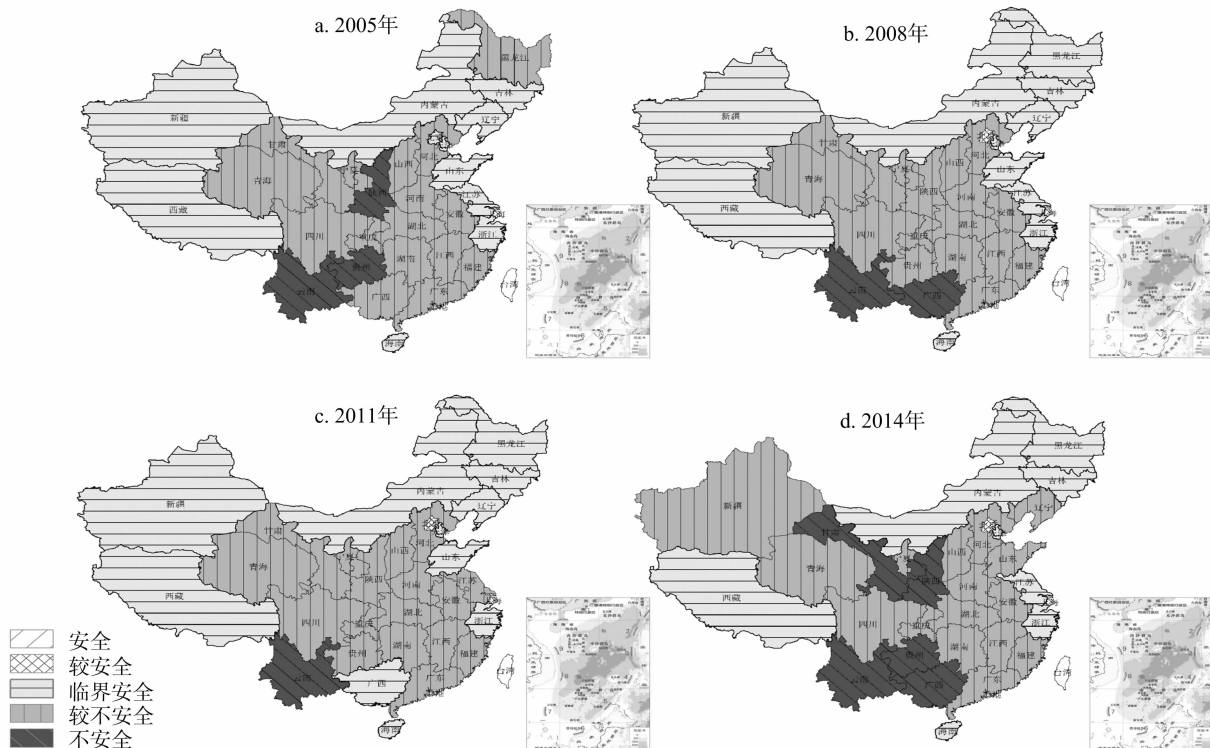


图1 2005—2014年中国省域耕地生态安全空间分异图

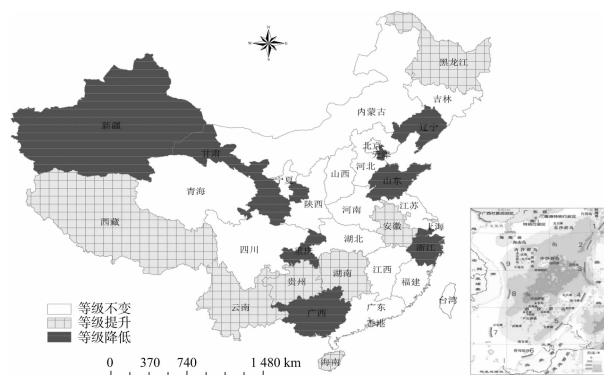


图2 2005—2014年中国省域耕地生态安全变化情况

数整体呈波动下降态势,耕地生态安全朝逆向演化的方向发展。

近年,中国省域耕地生态安全发展态势未得到根本性转变,这与城市化的快速扩张、人口快速增长、工业迅速发展、土地利用方式不合理等因素有密切关系。今后,应积极制定应对措施确保全国耕地生态安全,推进人地协调发展与土地可持续利用。本研究结果表明,耕地农药和化肥负荷、农业机械化水平、自然环境污染程度、人均耕地面积是制约农田生态系统安全状况改善的关键因素。因此,须加快发展现代农业,提倡农业技术创新,适地适量施用农药、地膜、化肥,减少对耕地资源的污染;积极开展高标准基本农田建设,加强农村土地综合整治,增加有效耕地,提升耕地资源质量;重视耕地生态环境的建设与中低产田改造,严格控制建设用地占用耕地,从根本上解决人为抛荒、侵占和压损问题,保证耕地数量与质量的

平衡,保障粮食安全;合理控制人口增长,使人口规模在土地承载力范围以内;加强预防灾害能力建设,完善并优化防灾减灾以及抗旱、救灾响应结构,建立耕地生态安全预警监测体系,为耕地资源的可持续利用与管理提供支撑,政府须加大资金投入力度,有效提升耕地生态安全等级。

#### 参考文献:

- [1] 张凤荣,郭力娜,关小克,等. 生态安全观下耕地后备资源评价指标体系探讨[J]. 中国土地科学,2009,23(9):4-8,14.
- [2] 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.
- [3] 杨庆媛,周滔,张鹏飞,等. 耕地保护社会约束机制建设探讨[J]. 创新,2010(4):60-64.
- [4] 吴大放,刘艳艳,刘毅华,等. 耕地生态安全评价展望[J]. 中国生态农业学报,2015,23(3):257-267.
- [5] 付国珍,摆万奇. 耕地质量评价研究进展及发展趋势[J]. 资源科学,2015,37(2):226-236.
- [6] Rasul G, Thapa G B. Sustainability analysis of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh[J]. World Development, 2003,31(10):1721-1741.
- [7] Beesley K, Ramsey D. Agricultural land preservation international encyclopedia of human geography[M]. Oxford: Elsevier Press, 2009: 65-69.
- [8] 张传华. 耕地生态安全评价研究[D]. 重庆:西南大学,2006.
- [9] 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.
- [10] 赵其国,周炳中,杨浩,等. 中国耕地资源安全问题及相关对策思考[J]. 土壤,2002(6):293-302.

夏 婷,杨建国,魏玉清. 旱作盐碱农田洗盐措施效果评价[J]. 江苏农业科学,2017,45(9):228-231.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.09.061

# 旱作盐碱农田洗盐措施效果评价

夏 婷<sup>1</sup>, 杨建国<sup>2</sup>, 魏玉清<sup>1</sup>

(1. 北方民族大学生物科学与工程学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏银川 750002)

**摘要:**为研究旱作盐碱农田的有效洗盐方式,在旱作条件下设置排盐沟、深松耕等不同处理,开展农田快速淋盐试验。结果表明:(1)“灌水量  $2\ 700\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  + 排盐沟 + 深松耕”处理对  $0\sim 40\ \text{cm}$  表层土壤全盐淋洗效果最佳,增加灌水量反而会减弱其排盐作用;(2)  $2\ 700\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  灌水量下,3个排盐处理能均等有效地降低土壤耕层  $0\sim 40\ \text{cm}$  中  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  等盐离子含量,明显消除  $20\sim 100\ \text{cm}$   $\text{Mg}^{2+}$  聚集;升高灌水量至  $5\ 100\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ ,深松耕处理的排盐效果部分减弱,对照组  $80\ \text{cm}$   $\text{Mg}^{2+}$  聚集现象消失。“灌水定额  $2\ 700\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  + 排盐沟 + 深松耕”模式全盐和分盐的淋洗效果最佳,为盐碱地改良提供了技术参考。

**关键词:**盐碱土;洗盐;深松耕;排盐沟

**中图分类号:** S156.4    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1002-1302(2017)09-0228-04

随着世界范围内资源和生态环境地恶化,土壤盐渍化逐渐成为制约农业健康发展的症结<sup>[1]</sup>。我国 34 个省级行政区中有 17 个出现不同程度的土壤盐碱化问题,主要集中在北方和滨海地区,盐渍土总面积已达到  $3\ 455\ \text{万}\ \text{hm}^2$ <sup>[2-3]</sup>。面对耕地面积日益萎缩的残酷现实,开发改良盐碱地能快速提高低产田单产,在缓解粮食危机的同时还能起到改良生态环境的良好效果<sup>[3]</sup>。经过科研工作者的长期努力,盐碱地改良技术取得了长远发展,研究发现  $0\sim 10\ \text{cm}$  表层土壤是盐分积累的主要土层<sup>[4]</sup>。施用脱硫石膏、有机肥能够显著促进盐碱土壤脱盐,提高土壤保肥能力,实现产量、品质提升的目的<sup>[5-7]</sup>。针对土壤盐分的聚集特征,将表层耕作土作为主要的研究和改良对象。本试验以西大滩盐碱原土为研究对象,

采用灌水定额、排盐沟、深松耕等技术措施,研究不同水盐调控措施对土壤总盐和分盐的冲洗效果,确定旱作盐碱农田的快速淋盐模式,为干旱、半干旱地区盐碱地改良提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于宁夏石嘴山市平罗县前进农场 ( $106^\circ 24' 209''\text{E}$ ,  $38^\circ 50' 289''\text{N}$ , 海拔  $1\ 156\ \text{m}$ ) 进行。 $0\sim 100\ \text{cm}$  的土壤机械组成依次为黏壤土、粉(沙)质黏土、粉(沙)质黏壤、粉(沙)壤土。按各土层的不同土壤质地采集土样,自然风干后过  $1\ \text{mm}$  筛,测定总盐及分盐含量。旱田试验区为氯化物硫酸盐类型的重度盐化碱土。

### 1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,分别设置对照(无排盐沟、不深松耕,CK)、处理 1(深松耕,SS)、处理 2(设置排盐沟,SED)、处理 3(设置排盐沟 + 深松耕,SED + SS)。排盐沟垂直于农沟,深度  $1.0\ \text{m}$ ,宽度  $0.8\ \text{m}$ ,使用  $20\ \text{cm}$  沙子 +  $20\ \text{cm}$  土壤均匀回填。试验各处理的灌水管理一致,2013 年 5 月 23 日灌水  $1\ 500\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ ,6 月 12 日油菜播种,5 月 27 日、6 月 15 日、7 月 2 日分别灌水  $1\ 200\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ ,灌水后  $15\ \text{d}$

收稿日期:2016-07-21

基金项目:国家自然科学基金(编号:31060180);国家科技支撑计划课题(编号:2013BAC02B05);2016 年研究生创新项目(编号:YCX1648)。

作者简介:夏 婷(1990—),女,云南宣威人,硕士研究生,主要从事植物生理生态研究。E-mail:xiating723822@163.com。

通信作者:魏玉清,博士,教授,主要从事植物逆境生理和生物质能源研究。E-mail:weiyuqing1969@163.com。

[11] 郝 军,苏根成,郭文艳. 内蒙古耕地资源安全评价[J]. 内蒙古师范大学学报,2008,37(4):558-561.

[12] 张 锐,郑华伟,刘友兆. 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.

[13] 左晓英. 基于 PSR 模型的耕地生态安全评价[D]. 保定:河北农业大学,2014.

[14] 余 敦,陈文波. 潘阳湖生态经济区土地生态安全研究[J]. 水土保持研究,2011,18(4):107-111.

[15] 吴 晓. 山峡库区重庆东段生态安全评价研究[D]. 武汉:华中师范大学,2014.

[16] 易 军,梅 昀. 基于 PSR 框架的耕地集约利用及其驱动研究:江西省为例[J]. 干旱区流域资源与环境,2010,19(8):895-900.

[17] 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.

[18] 郑华伟,刘友兆,王希睿. 中国城镇化与土地集约利用关系的动态计量分析[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(9):1029-1034.

[19] 陶晓燕,章仁俊,徐 辉,等. 基于改进熵值法的城市可持续发展能力的评价[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(5):38-41.

[20] 胡永宏,贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京:科学出版社,2000.

[21] 伍恒雨. 基于熵权物元模型的万州区土地生态安全评价研究[D]. 重庆:西南大学,2015.

[22] 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):184-192.

[23] 文 森,邱道持,杨庆媛,等. 耕地资源安全评价指标体系研究[J]. 农业资源与环境科学,2007,23(8):466-470.