

何岩岩,南 灵. 基于 CRITIC 权灰靶模型的土地利用碳排放安全评价——以陕西省为例[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):304-308.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.076

# 基于 CRITIC 权灰靶模型的土地利用碳排放安全评价 ——以陕西省为例

何岩岩,南 灵

(西北农林科技大学经济管理学院,陕西杨凌 712100)

**摘要:**从土地利用碳排放安全内涵出发,分析其影响因素并基于压力-状态-响应(pressure-state-response,简称 PSR)模型构建符合区域特征的土地利用碳排放安全评价指标体系。将改进的指标权重确定(criteria importance through intercriteria correlation,简称 CRITIC)方法引入传统灰靶模型,建立基于 CRITIC 权的改进灰靶模型,并将其应用于陕西省土地利用碳排放安全评价。结果表明,2005—2014 年,陕西省土地利用碳排放安全压力子系统恶化的同时,响应子系统明显好转,状态子系统变化趋势与综合变化趋势基本相吻合。目前陕西省土地利用碳排放安全水平处于低层次、不稳定的较安全等级,情况不容乐观,应该从引导农民科学投入、提高能源利用效率以及加大林业、环保资金投入等方面入手,采取针对性措施,促进陕西省土地利用碳排放与区域人口、环境、资源、经济、社会系统的协调发展。

**关键词:**碳排放安全;土地利用;灰靶模型;陕西省;区域特征

**中图分类号:** F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0304-04

全球气候变暖引发各种环境问题,制约经济社会长足发展已经成为不争的事实,进行碳排放安全评价和预测不仅是应对气候变化、环境治理的需要,也是国家发展战略的要求。土地利用碳排放对大气二氧化碳含量增加的影响仅次于化石燃料燃烧,其安全问题关乎着区域、国家乃至世界范围内的和谐、稳定以及可持续发展。目前,关于土地利用碳排放的研究主要集中于土地利用碳排放的测算<sup>[1]</sup>、时空特征分析<sup>[2]</sup>、碳排放效率分析<sup>[3]</sup>、影响因素分解<sup>[4]</sup>以及脱钩效应分析<sup>[5]</sup>等方面,碳排放安全评价是在研究碳排放的基础上,基于生态安全评价理论拓展出来的新研究领域,目前处于起步阶段,具体到土地利用碳排放安全评价及预测的研究则更为少见。根据相关研究<sup>[6-8]</sup>,土地利用碳排放安全可以理解为土地利用所产生的碳排放放在人类自身生产、生活等各个方面的必要需求得以满足的前提下,与区域人口、环境、社会、经济、资源系统保持协调可持续发展的状态。

对指标合理赋权在评价中具有举足轻重的作用,指标权重确定(criteria importance through intercriteria correlation,简称 CRITIC)赋权法既考虑指标内部差异性,又兼顾指标间的冲突性,比熵值法等更科学合理<sup>[9-10]</sup>,但常规的 CRITIC 赋权法在计算权重时仍有带量纲的标准差不能直接反映指标内部的差异程度以及负相关系数不能合理反映指标独立性权数的问题须要改进。评价方法的选择和参照标准的制定是评价中的关

键,灰靶模型在对复杂的、模糊的、信息不完全的灰色系统进行评价时,具有显著的优势<sup>[11]</sup>,已被成功应用于适宜性评价<sup>[12]</sup>、资源稀缺性评价<sup>[13]</sup>、可持续性评价<sup>[14]</sup>等领域,但在生态系统安全评价方面的应用还很少且其等权不合理问题仍须要改进。

鉴于此,本研究采用融合资源、经济、环境、社会等系统的压力-状态-响应(pressure-state-response,简称 PSR)模型构建土地利用碳排放安全评价指标体系,引入变异系数和相关系数的绝对值对常规 CRITIC 赋权法进行改进,并将改进后的 CRITIC 权引入传统灰靶模型,以解决等权不合理问题,建立基于 CRITIC 权的改进灰靶模型并以陕西省为例进行土地利用碳排放安全评价,旨在为相关部门开展土地利用碳减排,促进陕西省土地低碳绿色可持续利用提供科学依据。

## 1 指标体系与研究方法

### 1.1 评价指标体系

PSR 模型强调社会经济运作与环境变化的互动关系,具有可测定性、可评价性、可预测性的特点<sup>[15]</sup>。为保证指标体系的科学性、完备性、适用性,首先将目标层分为压力、状态、响应 3 个准则层;其次,从研究土地利用碳排放影响因素的文献[共 48 篇,其中 10 篇学位论文,20 篇中文社会科学引文索引(Chinese social science citation index,简称 CSSCI)期刊文献,5 篇中国科学引文数据库(Chinese science citation database,简称 CSCD)期刊,13 篇核心期刊]中提取高频影响因素,分别为经济发展(38 次)、人口增长(38 次)、土地利用变化(30 次)、能源效率(28 次)、能源结构(25 次)、森林覆盖率(20 次)等,并参考现有土地评价指标文献(52 篇关于土地生态安全评价的文献,38 篇关于土地利用系统健康评价的文献,20 篇关于土地可持续利用评价的文献,14 篇关于低碳发展评价的文献等),初步选择 44 个相关指标构建备选指标集;再次,选择 31 位专家(6 位教授,6 位副教授,12 位专业学

收稿日期:2017-06-01

基金项目:陕西省国土资源厅项目(编号:K14210323);陕西省土地整治战略研究(编号:K332021306)。

作者简介:何岩岩(1992—),女,陕西富平人,硕士研究生,研究方向为土地资源管理。E-mail:18792678760@163.com。

通信作者:南 灵,硕士,副教授,硕士生导师,主要从事土地资源管理、房地产经营与管理教学的科研工作。E-mail:nanling68@126.com。

者,7 位行业从业者)发放问卷进行 2 轮指标筛选,确定 27 个具体指标构成初步体系;最后,通过 CRITIC 赋权法初步赋权,将权重小于 0.01 的影响较小的指标筛去,确定 24 个指标构成评价指标体系(表 1)。其中,压力是指土地利用碳排放安

全受到威胁的原因;状态是指在各方面压力的影响下,土地利用系统所维持的样貌以及土地利用碳排放状态;响应是指预防土地利用碳排放安全恶化、维护土地利用碳排放安全所采取的措施。

表 1 土地利用碳排放安全评价指标体系及权重

目标层	准则层	指标层	指标性质	指标权重
土地利用碳排放安全指数	A1:压力系统(0.420 3)	U1:人口自然增长率(‰)	—	0.014 3
		U2:城市化率(%)	—	0.030 8
		U3:人均国内生产总值(GDP)(万元/人)	—	0.069 9
		U4:单位面积化肥负荷(kg/hm <sup>2</sup> )	—	0.039 8
		U5:单位面积地膜负荷(kg/hm <sup>2</sup> )	—	0.039 8
		U6:单位面积农药负荷(kg/hm <sup>2</sup> )	—	0.067 0
		U7:单位 GDP 能耗(kg/万元)	—	0.023 2
		U8:单位工业增加值能耗(kg/万元)	—	0.040 2
		U9:能源消费弹性系数	—	0.081 4
		U10:煤炭比重(%)	—	0.014 1
	A2:状态系统(0.272 3)	U11:人均建设用地面积(hm <sup>2</sup> /人)	—	0.010 6
		U12:人均生态用地面积(hm <sup>2</sup> /人)	+	0.017 0
		U13:水土协调度(%)	+	0.014 9
		U14:单位 GDP 碳排放(kg/万元)	—	0.028 5
		U15:单位建设用地碳排放(kg/hm <sup>2</sup> )	—	0.043 0
		U16:单位农用地碳吸收(kg/hm <sup>2</sup> )	+	0.018 9
		U17:碳排放增长率(%)	—	0.139 4
		U18:单位面积粮食产量(kg/hm <sup>2</sup> )	+	0.027 2
	A3:响应系统(0.397 4)	U19:能源加工转换效率(%)	+	0.014 1
		U20:工业固体废弃物综合利用率(%)	+	0.053 2
		U21:森林覆盖率(%)	+	0.015 4
		U22:林业投资占 GDP 比重(%)	+	0.096 3
		U23:环境污染治理投资占 GDP 比重(%)	+	0.081 1
		U24:建成区绿化覆盖率(%)	+	0.020 3

注:“+”表示正项指标,数值越大越利于安全;“—”表示负向指标,数值越大越威胁安全。

1.2 研究方法

1.2.1 改进的 CRITIC 赋权法 基于指标相关性的 CRITIC 法,是由 Diakoulaki 提出的一种综合独立性权数和信息量权数的客观赋权法<sup>[9]</sup>。独立性权数和信息量权数分别采用相关系数和标准差表示,将二者结合构成综合权数,综合权数越大,相对重要性越大<sup>[10]</sup>,其表达式为

$$C_k = S_k \sum_{i=1}^n (1 - r_{ik}), (k = 1, 2, \cdots, n)。(1)$$

式中: $C_k$ 为常规的综合权数; $S_k$ 为第  $k$  个指标的标准差; $r_{ik}$ 表示第  $i$  个评价指标与第  $k$  个评价指标的相关系数。

但常规的 CRITIC 赋权法存在 2 个问题,(1)带量纲的标准差不能直接反映指标内部的差异程度;(2)出现负相关时,用相关系数反映指标独立性权数不合理,因此采用变异系数和相关系数的绝对值对上述公式进行改进,改进后的综合权数表达式为

$$C_k' = \frac{S_k}{u_k} \sum_{i=1}^n (1 - |r_{ik}|), (k = 1, 2, \cdots, n)。(2)$$

式中: $C_k'$ 表示改进后的综合权数, $S_k$ 为标准差; $u_k$ 为平均数; $|r_{ik}|$ 为第  $i$  个评价指标与第  $k$  个评价指标相关系数的绝对值。因此,第  $j$  个指标的 CRITIC 权重表示为

$$W_j = \frac{C_k'}{\sum_{i=1}^n C_k'}, (k = 1, 2, \cdots, n)。(3)$$

1.2.2 改进的灰靶模型 灰靶模型的核心是在没有统一评

价标准的情况下,通过对比将灰色系统内部最重要的指标数据优选出来构造灰靶及其靶心,然后将评价对象分为一系列待评模式并通过与靶心的比较来计算靶心度,进而进行模式分级,具体步骤见参考文献[11]。传统灰靶模型靶心度的计算公式为

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma[x_0(U_k), x_i(U_k)]。(4)$$

传统的灰靶模型在计算靶心度时,靶心系数采用等权叠加得到,与实际情况不符,因此本研究将改进后的 CRITIC 权重引入靶心度计算公式中,增加客观性的同时使模型更符合实际。改进后的靶心度计算公式为

$$\gamma(x_0, x_i) = \sum_{k=1}^n \omega_k \gamma[x_0(U_k), x_i(U_k)]。(5)$$

式中: $\gamma(x_0, x_i)$ 表示待评模式  $X_i$  的靶心度; $\omega_k$ 表示待评模式  $U_k$  指标的权重; $\gamma[x_0(U_k), x_i(U_k)]$ 表示待评模式  $x_i$  的靶心系数; $n$ 表示指标个数。

2 数据来源与基础数据测算

2.1 研究区域选择

陕西省地处我国内陆腹地,是通往西北、西南的门户,有明显的地理区位优势。作为国家“一带一路”战略安排的重要区域和西部生态环境建设的重点区域,近年来,陕西省工业化、城市化水平得到了很大的提高。然而,在城市化进程中土地生态系统受到了人类活动的较大影响,土地利用强度不

断加强,土地利用碳排放压力逐年增大,土地利用碳排放与区域人口、资源、环境、经济、社会系统的协调发展受到威胁。因此,进行区域土地利用碳排放安全评价并提出土地利用碳排放安全调控对策具有必要性和紧迫性。

## 2.2 数据来源

本研究所使用的土地利用数据来源于 2005—2014 年陕西省土地利用变更详查资料,国民经济数据来源于 2006—2015 年《陕西统计年鉴》,森林覆盖率来自于全国森林清查成果资料,环境保护投资、湿地面积等环境数据来源于 2005—2014 年《陕西省环境状况公报》《中国环境统计年鉴》,文中部分数据通过原始数据计算得到。需要说明的是:(1)本研究中所用 GDP 数据以 2005 年为基期进行平减,能源消耗按等价值计算;(2)参考 Costanza 等的研究<sup>[16-17]</sup>,本研究中的生态用地包括耕地、园地、林地、草地、水域和湿地 6 种类型;(3)由于水域及未利用地面积在陕西省土地总面积中的占比均不超过 1.5%,因此只计算耕地、园地、林地和草地的碳吸收,耕地碳吸收量为其上农作物光合作用所固定的碳<sup>[2]</sup>,园地、林地、草地碳吸收采用碳吸收系数法测算<sup>[18]</sup>;(4)农用地碳排放量包括农地利用中农用机械使用、化肥施用、灌溉活动、地膜使用等 4 个方面主要碳源产生的碳排放,建设用地碳排放量通过单位 GDP 能耗间接计算<sup>[2]</sup>。

## 3 评价过程

### 3.1 构建标准模式

设定 2005—2014 年为待评模式  $X_1 \sim X_{10}$ ,对于每个指标  $U_k$ ,若指标性质为正,则其标准模式为  $X_0(U_k) = \max_i X_i(U_k) = \max\{X_1(U_k), X_2(U_k), \dots, X_{10}(U_k)\}$ ;若指标性质为负,则其标准模式为  $X_0(U_k) = \min_i X_i(U_k) = \min\{X_1(U_k), X_2(U_k), \dots, X_{10}(U_k)\}$ ;因此,构建标准模式序列为  $X_0 = \{X_0(U_1), X_0(U_2), X_0(U_3), \dots, X_0(U_{24})\} = \{3.690, 25.347, 1.067, 360.235, 5.782, 2.418, 0.977, 1.408, 0.578, 70.520, 0.021, 0.541, 33.142, 0.413, 50.211, 1.673, 6.015, 4396.09, 79.330, 63.521, 43.060, 0.606, 1.770, 40.460\}$ 。

### 3.2 进行灰靶变换

令  $x_0$  为灰靶变换,则  $x_0 = TX_0 = (1, 1)$ ,则对待评模式  $X_1$  中的 24 个指标进行灰靶变换可得:

$$x_1(U_1) = TX_1(U_1) = \frac{\min\{X_1(U_1), X_0(U_1)\}}{\max\{X_1(U_1), X_0(U_1)\}} = \frac{\min(4.01, 3.69)}{\max(4.01, 3.69)} = 0.920;$$

$$x_1(U_2) = TX_1(U_2) = \frac{\min\{X_1(U_2), X_0(U_2)\}}{\max\{X_1(U_2), X_0(U_2)\}} = \frac{\min(25.347, 25.347)}{\max(25.347, 25.347)} = 1;$$

$$\vdots$$

$$x_1(U_{24}) = TX_1(U_{24}) = \frac{\min\{X_1(U_{24}), X_0(U_{24})\}}{\max\{X_1(U_{24}), X_0(U_{24})\}} = \frac{\min(36.20, 40.46)}{\max(36.20, 40.46)} = 0.746。$$

则  $x_1 = \{x_1(U_1), x_1(U_2), \dots, x_1(U_{24})\} = (0.920, 1.000, 1.000, 1.000, 1.000, 0.690, 0.537, 0.584, 0.909, 1.000, 0.911, 0.958, 1.000, 1.000, 0.854, 0.957, 0.855, 0.848, 0.378, 0.778, 0.503, 0.559, 0.746)$ ,同理可由  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{10})$  组成的矩阵。

### 3.3 确定灰关联差异信息空间

令差异信息集  $\Delta = \{\Delta_{0i}(U_k) | i \in I = \{1, 2, 3, \dots, 10\}, k \in$

$K = \{1, 2, 3, \dots, 24\}\}$ ,则  $\Delta_{0i}(U_k) = |x_0(U_k) - x_i(U_k)| = |1 - x_i(U_k)|$ ,其中  $\Delta_{0i}(U_k)$  为待评模式  $X_i$  与标准模式  $X_0$  在  $U_k$  指标下的差异信息,因此,  $\Delta_{01}(U_k) = \{\Delta_{01}(U_1), \Delta_{01}(U_2), \dots, \Delta_{01}(U_{24})\} = (0.080, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.310, 0.462, 0.416, 0.091, 0.000, 0.089, 0.042, 0.000, 0.000, 0.146, 0.043, 0.145, 0.152, 0.622, 0.222, 0.497, 0.441, 0.254)$ ,同理可求出由  $(\Delta_{01}, \Delta_{02}, \Delta_{03}, \dots, \Delta_{010})$  组成的矩阵。最终可得  $\Delta_{0i}(\max) = 0.674, \Delta_{0i}(\min) = 0$ 。

### 3.4 计算靶心系数

$$\gamma\{x_0(U_k), x_i(U_k)\} = \frac{\min_i \min_k \Delta_{0i}(U_k) + 0.5 \max_k \max_i \Delta_{0i}(U_k)}{\Delta_{0i}(U_k) + 0.5 \max_k \max_i \Delta_{0i}(U_k)} = \frac{0.337}{\Delta_{0i}(U_k) + 0.337}。$$

由此,可以得到靶心系数  $\gamma\{x_0(U_1), x_1(U_1)\} = 0.809, \gamma\{x_0(U_2), x_1(U_2)\} = 1.000, \dots, \gamma\{x_0(U_{24}), x_1(U_{24})\} = 0.571$ ,同理可得由靶心系数  $\gamma\{x_0(U_k), x_i(U_k)\}$  组成的矩阵。

### 3.5 计算靶心度

将计算所得的靶心系数和指标权重(表 1)代入公式(5)得到待评模式  $X_1 \sim X_{10}$  的靶心度;同理,可按照上述方法求出压力系统、状态系统、响应系统 3 个子系统的靶心度(表 2)。

表 2 陕西省土地利用碳排放安全评价结果

年份	安全评价结果							
	A1		A2		A3		A1 ~ 3	
	$\gamma(A1)$	等级	$\gamma(A2)$	等级	$\gamma(A3)$	等级	$\gamma(A1 \sim 3)$	等级
2005	0.798	II	0.877	I	0.444	V	0.723	II
2006	0.751	II	0.577	IV	0.473	V	0.639	III
2007	0.702	III	0.507	V	0.487	V	0.605	IV
2008	0.733	II	0.508	V	0.504	V	0.624	IV
2009	0.650	III	0.548	IV	0.593	IV	0.626	IV
2010	0.595	IV	0.519	V	0.718	III	0.631	III
2011	0.590	IV	0.496	V	0.643	III	0.602	IV
2012	0.561	IV	0.511	V	0.689	III	0.607	IV
2013	0.614	IV	0.575	IV	0.731	II	0.660	III
2014	0.661	III	0.808	II	0.904	I	0.784	II

注: $\gamma(A1)$ 、 $\gamma(A2)$ 、 $\gamma(A3)$ 分别表示压力、状态、响应等 3 个准则层的靶心度; $\gamma(A1 \sim 3)$ 表示综合靶心度。

## 4 结果与分析

根据  $\gamma$  的取值范围,按照自然断点法将其划分成 5 个等级。 $\gamma$  的值介于 0.444 ~ 0.904 之间,则其等级划分结果为高安全(I 级,  $\gamma > 0.812$ )、较安全(II 级,  $0.720 < \gamma \leq 0.812$ )、一般安全(III 级,  $0.628 < \gamma \leq 0.720$ )、较不安全(IV 级,  $0.536 < \gamma \leq 0.628$ )、不安全(V 级,  $\gamma \leq 0.536$ )。

### 4.1 土地利用碳排放安全总体评价

总体趋势来看,2005—2014 年陕西省土地利用碳排放安全经历了“下降—波动—上升”3 个阶段(图 1),综合靶心度最高为 0.784(2014 年),最低为 0.602(2011 年),安全等级横跨较安全(II 级)至较不安全(IV 级)。具体来说,2005—2007 年陕西省土地利用碳排放安全综合靶心度快速下降,从各指标具体数值和变化趋势来看,由于碳排放增长率的大幅提高导致状态系统的急剧恶化。2007—2012 年,综合靶心度在平稳中上下波动,此时,压力、状态、响应系统相互博弈达到

相对均衡。2012—2014 年,综合靶心度持续上升且上升幅度逐渐增大,土地利用碳排放安全系统面临的压力减小且维护安全所采取的措施略有成效,这一阶段碳排放增长率降低、能源利用效率提高且国家对林业和环境保护投资比例逐年增大。

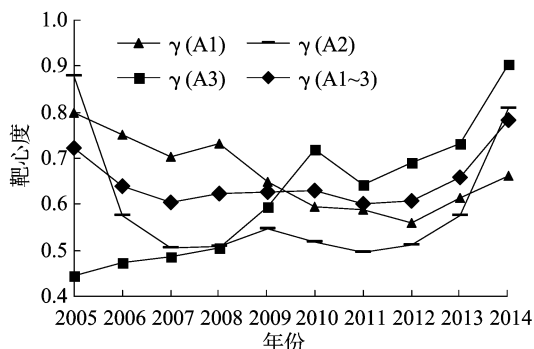


图1 陕西省2005—2014年土地利用碳排放安全靶心度

#### 4.2 压力系统安全评价

2005—2012 年土地利用碳排放安全压力系统靶心度曲折下降,之后呈上升趋势(图 1),安全程度整体上先降低后提高。压力系统指标均为负(表 1),说明影响土地利用碳排放安全的驱动力因素在 2012 年之前逐渐增强,2012 年之后有所减弱。2005—2012 年期间,陕西省的城市化率和人均 GDP 逐年提高,城市化进程中的土地利用碳排放也随之增加,使得建设用地碳排放安全威胁不断增大;此外,农业生产中化肥、农药、农膜的不当使用也对土地利用碳排放安全构成威胁。2012—2014 年,科技的进步促进能源使用效率大幅度提高,单位 GDP 能耗、单位工业增加值能耗等随之降低,压力系统靶心度提高。在整个研究时段内,单位面积地膜使用量、单位面积农药使用量呈逐年递增趋势,平均农用地地膜使用量增长  $79.6 \text{ kg/hm}^2$ ,说明须进一步引导农民对农资的科学合理使用;单位工业增加值能耗、单位 GDP 能耗在整个研究时段内呈逐年减少趋势,这是一个利好因素,今后更应该加快科技进步,提高能源利用效率。

#### 4.3 状态系统安全评价

土地利用碳排放安全状态系统靶心度经历了先快速下滑后趋于平稳再快速上升的变化过程(图 1),变化趋势与综合靶心度基本吻合,但变化幅度较之更大。2005—2007 年碳排放增长率快速提高,导致状态系统靶心度快速下降。2007—2012 年状态系统靶心度波动变化,先小幅上升再小幅下降,总体波动较为平稳,但这一阶段状态系统始终处于较不安全、不安全等级,安全级别较低,碳排放强度、碳排放增长率的波动变化导致了状态系统靶心度的波动变化。2012—2014 年状态系统靶心度快速上升,主要是由于碳排放增长率的快速下降。总体来说,状态系统靶心度的变化与土地利用碳排放增长率、碳排放强度的变化密切相关,而土地利用碳排放增长率的变化又由建设用地碳排放和农用地碳吸收的博弈引起,因此,降低建设用地碳排放的同时,提高农用地的碳汇能力对保证土地利用碳排放安全显得至关重要。

#### 4.4 响应系统安全评价

土地利用碳排放安全响应系统靶心度在曲折中上升,从 0.444 提高到 0.904,最高值 0.904 出现在 2014 年(图 1),由

于响应系统的指标性质全部为正(表 1),说明预防土地利用碳排放安全恶化、维护土地利用碳排放安全所采取的措施成效逐年显现出来。状态系统靶心度逐年提高的主要原因包括 3 个方面,(1)科技进步带来的能源加工转换效率、固体废物综合利用率的稳步提升;(2)森林覆盖率、建成区绿化覆盖率的提高带来植被固碳能力的提高;(3)国家对于林业投资、环境污染治理投资的增加,而状态系统靶心度的波动主要由粮食单产和环境污染治理投资比例的波动引起。

## 5 结论

借鉴土地生态安全评价理论进行土地利用碳排放安全评价研究,从土地利用碳排放安全的内涵出发,基于 PSR 模型设计指标体系,采用改进的 CRITIC 赋权法确定指标权重,并将 CRITIC 权赋予灰靶模型对其进行改进,客观有效地反映了评价期内陕西省土地利用碳排放安全的变化特征。

陕西省土地利用碳排放安全评价结果表明,2005—2014 年,影响土地利用碳排放安全的驱动力因素在增强,但压力子系统恶化的同时,响应子系统发生明显好转,状态子系统的变化趋势与综合变化趋势基本相吻合,其靶心度经历“下降—波动—上升”3 个阶段,虽然 2012 年以后综合靶心度呈上升趋势,但土地利用碳排放安全仍处于低层次且不稳定状态,安全情况不容乐观。

为促进陕西省土地利用碳排放与区域人口、资源、环境、经济、社会系统的协调发展,相关部门可从人均 GDP、单位面积农药使用量、单位工业增加值能耗、碳排放增长率、林业投资以及环境污染治理投资占 GDP 的比重等相对敏感的指标入手,采取针对性的措施。决策者应该提高解决经济发展与环境保护之间矛盾的综合决策能力;推广生态农业,引导农民科学合理地使用农药、农膜,进行测土配方施肥并逐步以农家肥替代化肥;提高能源利用效率,改进生产工艺,提高清洁能源使用率;通过财政转移加大林业投资、环境保护资金投入,逐步建立生态补偿机制;加大宣传力度,提高公众对土地利用碳排放安全保护重视程度以及参与和监督的积极性。

土地利用碳排放安全评价是一项复杂而系统的工作,在指标筛选、评价体系构建等方面还须进一步研究完善,此外,研究的重点应该向时间和空间相结合方向发展,并将评价与预测相结合。

#### 参考文献:

- [1] 朱巧娟,梅 昀,陈银蓉,等. 基于碳排放测算的湖北省土地利用结构效率的 DEA 模型分析与空间分异研究[J]. 经济地理, 2015,35(12):176—184.
- [2] 王桂波,南 灵. 陕西省土地利用碳排放效应时空差异分析[J]. 资源与产业,2012,14(1):124—130.
- [3] 张 苗,甘臣林,陈银蓉. 基于 SBM 模型的土地集约利用碳排放效率分析与低碳优化[J]. 中国土地科学,2016,30(3):37—45.
- [4] 冯 杰,王 涛. 中国土地利用碳排放演变与影响因素分析[J]. 软科学,2016,30(5):87—90.
- [5] 周 峰. 上海市土地利用的碳排放效应及影响因素分析[D]. 合肥:合肥工业大学,2016.
- [6] 刘 勇,刘友兆,徐 萍. 区域土地资源生态安全评价——以浙江嘉兴市为例[J]. 资源科学,2004,26(3):69—75.

吕文星,张学成,周鸿文,等. 湟水流域灌区水循环规律研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):308-312.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.077

# 湟水流域灌区水循环规律研究

吕文星<sup>1</sup>, 张学成<sup>1</sup>, 周鸿文<sup>1</sup>, 李 东<sup>1</sup>, 王永峰<sup>2</sup>, 刘东旭<sup>1</sup>

(1. 黄河水利委员会水文局, 河南郑州 450004; 2. 青海省水文水资源勘测局, 青海西宁 810008)

**摘要:**水资源作为基础性自然资源与战略性经济资源,担负着支撑人类社会经济发展、维系生态环境安全的重任。开展青海湟水流域大峡灌区耗水系数研究,为进一步完善流域管理与行政区管理相结合的水资源管理体制提供技术支持。通过对典型地块的引退水量、地下水监测井和不同土层土壤含水量的动态监测,在综合考虑地表和地下退水量、田间灌溉水下渗量等因素后,采用引排差法计算得到的大峡灌区春灌期和苗灌期典型地块耗水系数为 0.51。

**关键词:**耗水系数;引排差法;地下水监测;湟水流域;大峡灌区

**中图分类号:** S274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0308-05

水资源作为基础性自然资源与战略性经济资源,担负着支撑人类社会经济发展、维系生态环境安全的重任。青海省农耕地空间分布极不均衡,黄河河滩、谷地以及湟水河流域耕地约占全省总耕地面积的 64%,是全省农业发展的主要基地,也是国民经济发展的重要支撑和保障。青海省黄河流域耕地总灌溉面积 121.9 万  $\text{hm}^2$ , 占全省灌溉面积的 81.8%,其中湟水流域耕地灌溉面积 81.7 万  $\text{hm}^2$ , 占青海省黄河流域灌溉面积的 67.0%。根据《青海省水资源综合规划》,2010 年青海省黄河流域地表水资源开发利用率为 7.5%,需水量 22.5 亿  $\text{m}^3$ ,可供水量 18.8 亿  $\text{m}^3$ ,缺水率达 16.1%。按照社会经济发展、需水、供水预测及平衡分析进行了水资源配置,湟水规划到 2020 年和 2030 年,地表水耗水分别达 12.2 亿、14.5 亿  $\text{m}^3$ 。由此可见,当前水资源的制约作用已经凸显,且

随着社会经济的进一步发展,青海省黄河流域耗水量持续增加,预计到 2020 年,地表水耗水量将超过 2015 年“三条红线”取水许可总量控制指标 5.2 亿  $\text{m}^3$ ;到 2030 年,仅湟水流域地表水耗水量将超过当前确定的全省黄河流域取水许可总量控制指标,水资源供需矛盾将成为区域社会经济可持续发展的主要制约因素。

在此背景下,对青海湟水流域大峡灌区典型地块采用引排差法开展耗水系数研究,加强区域水资源管理,进而完善灌区取水、需水和配水计划,制定合理的灌溉制度,为进一步完善流域管理与行政区管理相结合的水资源管理体制提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

本试验布设在青海省黄河支流湟水河流域大峡灌区,地处  $102^{\circ}15' \sim 102^{\circ}24'E$ 、 $36^{\circ}13' \sim 36^{\circ}30'N$ ,海拔 1 650 ~ 4 400 m。大峡灌区位于河谷平原川水区,该区沿湟水干流及其一级支流呈带状分布,由河滩和 1 ~ 5 级阶地坡洪积扇组成,土体构型较好,质地松,是青海省海东市乐都县的主要产粮区。

灌区属半干旱的高原大陆性气候类型,寒冷和干旱是区内主要气候特点。年平均气温  $4.5 \sim 7.5^{\circ}\text{C}$ ,无霜期 130 ~

收稿日期:2017-05-16

基金项目:国家重点研发计划课题(编号:2016YFC0402405)。

作者简介:吕文星(1985—),男,辽宁盖州人,博士,工程师,主要从事水土保持和水文水资源研究。Tel: (0371) 66028227; E-mail: 489428073@qq.com。

通信作者:张学成,博士,教授级高级工程师,主要从事水文水资源研究。Tel: (0371) 66028380; E-mail: 1692654584@qq.com。

[7] 荣培君,杨群涛,秦耀辰,等. 中国省域能源消耗碳排放安全评价[J]. 地理科学进展,2016,35(4):487-495.

[8] 李 昊,李世平,银敏华. 中国土地生态安全研究进展与展望[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(9):50-56.

[9] 张立军,张 潇. 基于改进 CRITIC 法的加权聚类方法[J]. 统计与决策,2015,22(18):65-68.

[10] 曹 玮,王 瑛. 基于改进 CRITIC-CPM 的科技奖励评价模型[J]. 科学与科学技术管理,2012,33(2):17-21.

[11] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002:171-201.

[12] 文 博,刘友兆,夏 敏,等. 基于灰靶模型的宜兴市农村居民点布局适宜性评价及分类调控研究[J]. 地域研究与开发,2016,35(5):153-157.

[13] 李 红,周 波. 基于改进后灰靶模型的四川省水资源紧缺度

评价[J]. 四川大学学报(工程科学版),2012,41(1):43-49.

[14] 张俊凤,花 盛,刘友兆,等. 基于改进灰靶模型的土地整治可持续性评价研究——以江苏省为例[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(2):153-160.

[15] 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.

[16] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(6630):253-260.

[17] 陈 娟,南 灵. 陕西省农地非农化生态系统服务价值损失评价[J]. 西南农业学报,2013,26(1):259-263.

[18] 田 云,张俊彪,李 波. 中国农业碳排放研究:测算、时空比较及脱钩效应[J]. 资源科学,2012,34(11):2097-2105.