

Research on Healthy Evolution and Driving Mechanism of Cultivated Land Utilization System in Chongqing Based on PSR-TOPSIS Model

You Chang Li Qiang* Li Wenrui Xu Bin

School of Urban Economics and Public Administration, Capital University of
Economics and Business, Beijing

Abstract: The using system healthily of cultivated land is the cornerstone of food security and ecosystem health, and the analysis of health evolution and driving factors determines the direction of governance and regulation of the system of cultivating land use. Based on the characteristics of the system of cultivating land use, the thesis selects evaluation indicators from the perspectives of pressure, state and response, uses the TOPSIS model to build an indicator of evaluating system, analyzes the healthy evolution of Chongqing's system of cultivated land use from 2000 to 2017, and uses principal component analysis to reveal the land utilizing system healthily of driving mechanism, using GM (1,1) model to predict the trend of cultivated land healthy. The results show that: (1) From 2000 to 2017, the total score of Chongqing's cultivated land use system fluctuated between 0.38 and 0.56, and the fluctuation range was between "unhealthy" and "critical health". The health level of cultivated land in urban areas shows a gradual downward trend; (2) On the evolutionary trend, after 2017, the health score of system of cultivated land use in Chongqing is above 0.35 and has a steady

upward trend; (3) The system healthily of cultivated land use is positive. The driving factors include total agricultural output value, effective irrigation rate, cultivated land reclamation rate, the retentivity of cultivated land, unit arable land agricultural mechanization level, and newly-added water-saving irrigation area; negative driving factors include unit farmland pesticide load and desertified cultivated land area.

Key words: Cultivated land use system; Health evaluation; Driving factors; TOPSIS model

Received: 2020-08-16; Accepted: 2020-08-22; Published: 2020-09-28

基于 PSR-TOPSIS 模型的重庆市耕地利用系统健康演进及驱动机制研究

油 畅 李 强* 李文睿 徐 斌

首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院, 北京

邮箱: eq1977@163.com

摘 要: 耕地利用系统健康是粮食安全与生态系统健康的基石, 健康演进与驱动要素分析决定着耕地利用系统治理调控方向。论文结合耕地利用系统特征, 从压力、状态、响应三个角度出发选取评价指标, 运用 TOPSIS 模型构建评价指标体系, 分析 2000 年到 2017 年重庆市耕地利用系统健康演进状况, 运用主成分分析法揭示耕地利用系统健康的驱动机制, 运用 GM(1, 1) 模型对耕地健康趋势进行预测。结果表明: (1) 2000—2017 年, 重庆市耕地利用系统健康总评分

在0.194—0.539之间波动，波动范围处在“很不健康”与“临界健康”级别之间，伴随年份增加，重庆市大部分区县的耕地健康级别呈逐级下降趋势；（2）在演进趋势上，2017年之后重庆市耕地利用系统健康评分位于0.351以上，且具有平稳上升趋势；（3）耕地利用系统健康的正向驱动因子包括农业总产值、有效灌溉率、耕地垦殖率、耕地保有力度、单位耕地农业机械化水平、新增节水灌溉面积；负向驱动因子包括单位耕地农药负荷、沙化耕地面积等。

关键词：耕地利用系统；健康评价；驱动因素；TOPSIS模型

收稿日期：2020-08-16；录用日期：2020-08-22；发表日期：2020-09-28

Copyright © 2020 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



耕地利用系统健康是区域粮食安全、水土资源安全的基石，对减缓气候变化和维护生物多样性具有重要作用 [1]，随着我国经济社会的快速发展，耕地非农占用、撂荒抛荒、土壤污染、农药化肥过量使用以及其他不合理的利用方式都对耕地利用系统健康造成严重威胁 [2]。国内外众多学者对耕地健康进行表述，Reed 利用土壤微生物指标计算出加拿大的土壤健康程度 [3]；Vaz 等学者对多伦多地区进行研究，结果表明工业占用大量耕地资源，对耕地利用系统健康造成了威胁。Leopold 提出了土地健康的概念，健康的土地是指虽被人类占用，但功能没有被破坏，土地有具有自我更新的能力 [4]。Rapport、Sparling 等提出土壤健康是土壤质量评价的重点，土壤健康更加关注土地内在属性状态，忽略了对土壤功能的考量。Kumar、Hodgson 等也对耕地健康的内涵进行了探讨

[5]。国内学者从不同地区出发,对耕地利用系统健康状况进行分析,从经济、社会、制度、环境、人口等角度出发分析这些因素对耕地系统健康的综合影响程度,并对耕地利用系统健康的变化趋势进行预测。李强等提出耕地健康内涵,构建耕地健康诊断体系、模糊层次评价法,对耕地系统健康状况进行评价[6]。郎文聚等认为健康的耕地体现在耕地作为本体、母体、受体、系统四个不同角色的健康[7]。

目前国内对土地利用健康状况研究较多,随着耕地保护的提出,国家对耕地的重视程度提高,耕地利用系统健康状况的研究也逐渐展开,因此,本文以重庆市为研究区域,科学评价耕地利用系统健康状况,分析耕地利用系统健康演进态势,揭示耕地利用系统健康的驱动要素,以期为耕地利用系统健康监测与治理调控提供支撑,为类似区域的耕地利用系统健康的监测及强化耕地针对性保护提供参考。

1 研究区域概况

重庆坐落于中国西南部,跨越东经 $105^{\circ} 11' \sim 110^{\circ} 11'$ 、北纬 $28^{\circ} 10' \sim 32^{\circ} 13'$ 间青藏高原和长江中下游平原的过渡区,位于长江上游。重庆市共有耕地面积 252.29 万 hm^2 ,人均耕地仅 1.22 亩。全市耕地普遍存在坡度大、地块小、分散零星、农田基础设施薄弱、基础地力产量低等问题。研究重庆市耕地利用系统健康演进及驱动机制,对于深入了解重庆市耕地利用中存在的问题以及对耕地保护相关政策制定具有重要意义。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究所涉数据主要来自 2000—2017 年重庆市统计年鉴、中华人民共和国国家统计局、重庆市土地利用总体规划、重庆市国土资源部网站、《中国国土资源年鉴(2000—2017)》《中国农业年鉴(2000—2017)》《中国农村统计年鉴(2000—2017)》《中国统计年鉴(2000—2017)》。

2.2 研究方法

2.2.1 PSR 评价指标体系构建

从压力、状态、响应三个维度出发构建指标评价体系（见图1）[8]，对耕地健康评价，不仅能反映重庆市耕地利用系统健康中三个不同维度的循环协调机制，而且能反映重庆市耕地利用系统健康的实际状况。

系统压力主要考虑人口增长与经济发展、城市化进程与生态建设、农业污染与自然生态等方面，选取具有代表性的8项指标。系统状态从耕地利用与发展现状、农业产值与农作物产能等角度考虑，选取9项评价指标。系统响应主要从灾害防治与农业科技、土地整治与节水灌溉角度考虑，选取具有代表性的5项指标（见表1）。构建评价指标体系对重庆市耕地利用系统健康进行评价。

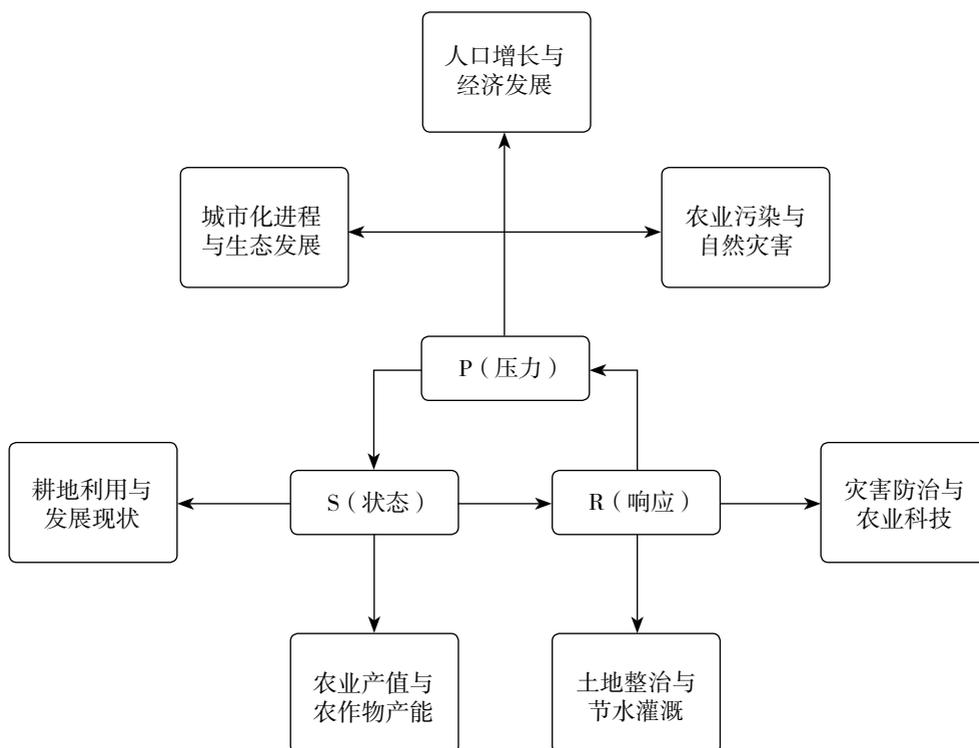


图1 重庆市耕地利用系统健康PSR模型

Figure 1 PSR model of cultivated land use system in Chongqing

表 1 耕地利用系统健康评价指标及含义

Table 1 The indicators of health evaluation and meanings of cultivated land use system

目标层	准则层	要素层	指标代表的含义
耕地利用系统健康状态	系统压力	(P1) 人均建设占用耕地面积	建设占用耕地面积 / 总人口
		(P2) 人口自然增长率	当年自然增长人口数 / 前一年户籍人口数
		(P3) 人口密度	区域总人口 / 行政区面积
		(P4) GDP 年增长率	当年 GDP / 前一年 GDP-1
		(P5) 单位耕地农药负荷	农药施用量 / 耕地面积
		(P6) 单位耕地化肥负荷	化肥施用量 / 耕地面积
		(P7) 退耕还林造林面积	生态化建设扩大林地规模所占用的耕地面积
		(P8) 农作物受灾面积	年间受自然灾害, 使农作物减产一成以上的农作物播种面积
	系统状态	(S1) 单位耕地农作物产能	农垦农作物产量 / 耕地面积
		(S2) 农业总产值	农林牧渔业及副产品产量分别乘以各自单位产品价格
		(S3) 有效灌溉率	有效灌溉面积 / 耕地总面积
		(S4) 人均耕地面积	耕地总面积 / 总人口
		(S5) 耕地垦殖率	耕地面积 / 土地总面积
		(S6) 耕地保有力度	当年耕地数量 / 2020 年耕地保有量
		(S7) 森林覆盖率	森林面积 / 土地总面积
		(S8) 单位耕地农业机械化水平	机械总动力 / 耕地面积
		(S9) 沙化耕地面积	由于土壤受侵蚀导致生产力下降的耕地面积
	系统响应	(R1) 堤防保护耕地面积	筑堤防御洪水泛滥所保护的耕地面积
		(R2) 水土流失治理情况	水土流失治理面积 / 土地总面积
(R3) 农业科技人员数		主要包括从事农技、农业经济、园林三方面的专业人员	
(R4) 土地整治新增耕地面积		通过治理低效、不合理、未利用土地增加的耕地面积	
(R5) 新增节水灌溉面积		现有节水灌溉面积 - 原有节水灌溉面积	

2.2.2 耕地利用系统健康评价方法

运用熵权 TOPSIS 法对 2000—2017 年重庆市耕地利用系统健康进行评价, 明确重庆市耕地利用系统健康状况及其在压力、状态、响应子系统与总评分在不同阶段的演进变化趋势, 对其变化原因进行深入分析; 同时将重庆市 38 个区县作为研究区域, 运用熵权 TOPSIS 法对 2000 年、2010 年、2017 年的耕地健康进行评价 [9] [10], 运用 ArcGIS 自然断点法将评价综合指数分为四等分别

为0-0.25、0.25-0.5、0.5-0.75、0.75-1；并将其分别表示为耕地健康的四个等级：很不健康、不健康、临界健康、健康。熵权TOPSIS法计算步骤如下：

(1) 熵权法计算指标权重，构建加权决策矩阵。

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_{m1} & z_{m2} & \cdots & z_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} \times w_1 & z_{12} \times w_1 & \cdots & z_{1n} \times w_1 \\ z_{21} \times w_2 & z_{22} \times w_2 & \cdots & z_{2n} \times w_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_{m1} \times w_m & z_{m2} \times w_m & \cdots & z_{mn} \times w_m \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中： w_j 第j个指标的权重。

(2) 确定正、负理想解并计算距离。

$$Z^+ = \left\{ \max_{1 \leq j \leq m} z_{ij} \mid j=1, 2, \dots, m \right\} = \{z_1^+, z_2^+, \dots, z_m^+\} \quad (2)$$

$$Z^- = \left\{ \min_{1 \leq j \leq m} z_{ij} \mid j=1, 2, \dots, m \right\} = \{z_1^-, z_2^-, \dots, z_m^-\}$$

式中： Z^+ —各指标值达到的一个最优状态， Z^- —各指标值达到的一个最劣状态。

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (z_{ij} - z_i^+)^2} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (z_{ij} - z_i^-)^2} \quad (j=1, 2, \dots, m)$$

式中： D_j^+ —每个年份的评价指标向量到最好状态的差距， D_j^- —到最差状态的差距。

(3) 测算贴近度C，也即健康评价价值。

$$C_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

2.2.3 耕地利用系统健康驱动因子分析及预测方法

运用主成分分析法对22个评价指标进行标准化降维分析，提取主成分因子，分析各项因子在主成分中的载荷量大小，从而找出耕地利用系统健康的正负向驱动因素，为重庆市耕地利用系统健康改进提供理论依据及参考，运用灰色预测模型对往后5a重庆市耕地利用系统健康水平进行预测，计算公式如下：

(1) 输入预测模型得原始数据序列：

$$X^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)] \quad (5)$$

其中： n 为原始数据量； $x^{(0)}(i)$ ， $i=1, 2, \dots, n$ 为模型预测输入值。

(2) 对原始数据进行累加, 组成数据矩阵 B 与 Y:

$$X^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)] \quad (6)$$

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), \quad k=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$B = \begin{bmatrix} -0.5(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)) & 1 \\ -0.5(x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ \dots & 1 \\ -0.5(x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)) & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad (9)$$

(3) 计算发展系数, 并根据 GM(1, 1) 模型根据 j 时期值, 对 j+k 时期值进行预测。

发展系数为

$$[\hat{a}, \hat{u}] = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (10)$$

预测值表示为

$$\hat{x}^{(0)}(j+k) = (\hat{x}(j-n+1) - \hat{u}/\hat{a}) \times (\exp(-\hat{a}(k+n-1))) - \exp(-\hat{a}(k+n-2)) \quad (11)$$

其中: $\hat{x}^{(0)}(j-n+1)$ 为 j-n+1 时期预测值, k 为预测步数。

3 研究结果分析

3.1 耕地健康等级划分

根据重庆市耕地利用特点, 综合研究国内专家学者对评价标准的已有研究, 借鉴有关研究成果, 将重庆市耕地利用系统健康评价标准划分为 4 个等级 (见表 2)。

表 2 耕地利用系统健康评价标准

Table 2 The evaluation criteria of health for cultivated land use systems

综合指数	{ 0, 0.25 }	{ 0.25, 0.5 }	{ 0.5, 0.75 }	{ 0.75, 1.0 }
健康级别	很不健康	不健康	临界健康	健康

3.2 耕地利用系统健康演进

3.2.1 耕地利用系统健康演进纵向分析

从系统压力、状态、响应三个维度出发，选取评价指标（见表3），对重庆市耕地利用系统健康状况评价。运用熵值法，计算出指标权重，TOPSIS模型构建评价指标体系，计算出重庆市耕地利用系统健康评价结果（见表4和图2）[11] [12] [13] [14]。

表3 重庆市耕地利用系统各指标权重

Table 3 Index weights of the cultivated land use system in Chongqing

一级指标	二级指标	权重	
重庆市耕地 利用系统健 康评价	压力 (0.228)	(-) (P1) 人均建设占用耕地面积	0.021
		(-) (P2) 人口自然增长率	0.032
		(-) (P3) 人口密度	0.016
		(-) (P4) GDP 年增长率	0.015
		(-) (P5) 单位耕地农药负荷	0.057
		(-) (P6) 单位耕地化肥负荷	0.029
		(-) (P7) 退耕还林造林面积	0.030
		(-) (P8) 农作物受灾面积	0.029
		状态 (0.425)	(+) (S1) 单位耕地农作物产能
(+) (S2) 农业总产值	0.042		
(+) (S3) 有效灌溉率	0.063		
(+) (S4) 人均耕地面积	0.037		
(+) (S5) 耕地垦殖率	0.037		
(+) (S6) 耕地保有力度	0.038		
(-) (S7) 森林覆盖率	0.039		
(+) (S8) 单位耕地农业机械化水平	0.016		
(-) (S9) 沙化耕地面积	0.120		
响应 (0.347)	(+) (R1) 堤防保护耕地面积	0.042	
	(+) (R2) 水土流失治理情况	0.029	
	(+) (R3) 农业科技人员数	0.019	
	(+) (R4) 土地整治新增耕地面积	0.184	
	(+) (R5) 新增节水灌溉面积	0.073	

注：“+”为效益性指标；“-”为成本型指标。

表 4 重庆市耕地利用系统健康评价结果

Table 4 Evaluation results of cultivated land use system in Chongqing

年份	P (压力)	S (状态)	R (响应)	总评分
2000	0.451	0.219	0.078	0.194
2001	0.533	0.239	0.078	0.222
2002	0.619	0.290	0.073	0.260
2003	0.633	0.311	0.060	0.276
2004	0.322	0.280	0.091	0.212
2005	0.574	0.284	0.103	0.258
2006	0.624	0.289	0.108	0.271
2007	0.662	0.294	0.119	0.281
2008	0.328	0.297	0.098	0.216
2009	0.282	0.331	0.099	0.234
2010	0.202	0.336	0.109	0.232
2011	0.242	0.350	0.706	0.539
2012	0.282	0.363	0.311	0.329
2013	0.257	0.361	0.113	0.252
2014	0.367	0.369	0.163	0.281
2015	0.323	0.381	0.181	0.285
2016	0.339	0.705	0.206	0.423
2017	0.236	0.385	0.216	0.291

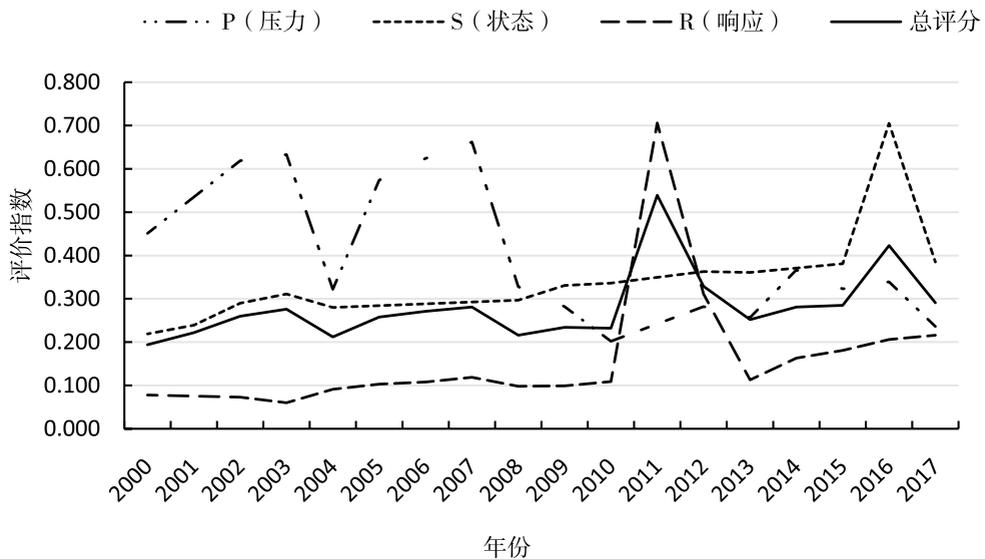


图 2 重庆市耕地利用系统健康状况评分

Figure 2 Overall score of health status of cultivated land use system in Chongqing

2000—2010年,重庆市耕地利用系统健康总评分在 $[0.194, 0.281]$ 的区间内波动,波动范围不超过0.1,其中多数年份的耕地健康级别为“很不健康”,少数年份的耕地健康级别为“不健康”。表明10a间,重庆市耕地健康存在较大问题。系统压力指数波动幅度最大,峰值均在0.6以上,耕地健康主要威胁来自于系统压力。系统状态水平指数的变化趋势与总评分的变化趋势较为接近,但略高于总评分。系统响应指数在0.1上下浮动,且较为平稳。这表明2000—2010年,经济发展使城镇化进程加快、人口增长、耕地污染与毁坏等因素给重庆市耕地健康带来了极大威胁,再加上政府部门响应欠缺,不能采取措施对威胁因素及时处置与调整,使10a间重庆市耕地健康水平始终位于“不健康”级别以下。

2010—2017年,重庆市耕地利用系统健康总评分在 $[0.252, 0.539]$ 的区间内波动,除2011年耕地健康级别为“临界健康”,其余年份耕地健康级别均为“不健康”,与2000—2010年相比,2010—2017年,重庆市耕地健康水平有一定程度提高,但仍存在较多问题,使耕地级别位于“不健康”。系统压力指数波动范围在0.2—0.4之间,变化趋势为先阶梯式上升,后阶梯式下降。这表明较前10a,耕地来自系统压力方面的威胁已大幅降低。2010—2015年,系统状态指数较为稳定,波动幅度小于0.1,2015—2017年出现了一个峰值为0.705。系统响应指数于2010—2013年出现了一个峰值为0.706,2014—2017年变动趋势为稳步提升。在系统压力、状态、响应三者的共同作用下,耕地健康总评分于2010—2013年出现了一个峰值为0.539,这是由于此时系统压力水平较低,系统状态水平保持稳定,系统响应水平的迅猛提升所致。2013—2017年间,总评分先保持稳定后又出现一个较小峰值为0.423,这是由系统响应稳步提升,与系统压力相互抵消,且系统状态出现峰值所共同决定的。

3.2.2 耕地利用系统健康演进横向分析

对重庆市38个区县的耕地健康进行评价(见图3)[15][16]。2000—2010年,重庆市少部分区县呈现耕地健康级别上升的趋势,包括大足区、合川区、以及主城区中的渝北区;10a间,大足区、渝北区第二第三产业处在发展探索阶

段，第一产业为其支柱性产业；合川区是国家商品粮基地，耕地质量好，农作物产量大，促进了该区域耕地健康水平的提高。重庆市大部分区县耕地质量有所下降，主要集中在重庆东部，包括开州区、云阳县、奉节县、忠县、丰都县、彭水苗族土家族自治县、酉阳土家族苗族自治县、长寿区、綦江区，重庆东部及南部地区的经济水平较中西部更为落后，最初主要依靠农业实现经济增长，其中云阳县、忠县均为农业县，长寿区也被誉为“鱼米之乡”。10a 的发展，重庆东南部地区工业、旅游业等其他产业的经济结构比重不断增加，发展速度均快于农业。开州区被列入工业试点园区，其余区县的旅游业也不断发展，彭水县、奉节县均为旅游度假胜地。重庆东部、南部经济建设加快的同时，城镇化进程也不断加快，逐步实现经济结构转型，使得该区域的耕地健康水平下降。

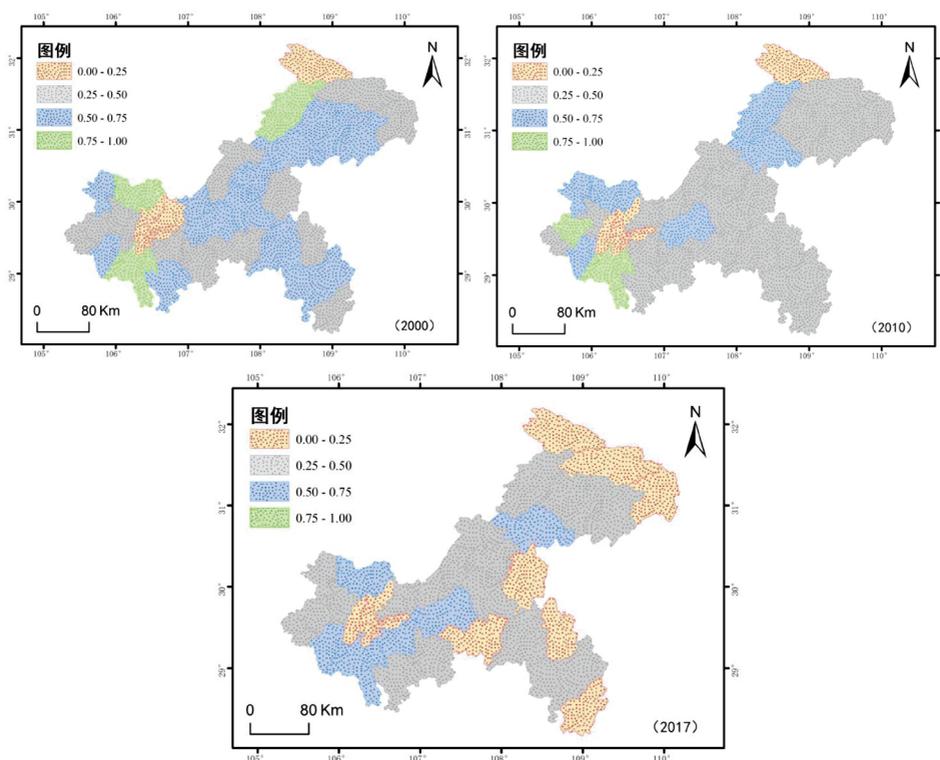


图 3 重庆市耕地健康级别分布图

Figure 3 Distribution of cultivated land health levels in Chongqing

2010—2017年，除巴南区耕地健康水平有所提高，其余区县的耕地健康级别均呈不变或下降趋势。7a间重庆市经济发展速度不断加快，东部地区的各个区县大多已开辟新的经济增长途径，且发展较为成熟，包括旅游业、工业、国际贸易、零售加工、交通运输业等。其中，武隆区、秀山县、江津区交通运输业的发展尤为突出；西南地区经济较为发达，由主城区向周边不断开拓，大足区、潼南区近年来也发展为重庆重要经济圈，城市群聚集地；在以上因素综合作用下，重庆市政府对农业的各方面投入均有所下降，使得大部分的区县耕地健康水平难以提高。

3.3 耕地健康主成分驱动因素分析

对影响重庆市耕地利用系统健康的22个因子进行分析（见表5），前6项主成分方差累积解释值为89.339%。对主成分1作用显著的因子包括单位耕地农药负荷、农业总产值、有效灌溉率、耕地垦殖率、耕地保有力度，其对主成分1的影响占比均超过90%，表明生产力提高，耕地治理、保护力度加强均有益耕地健康，而农药污染严重损害耕地健康。对主成分2、3影响显著的因子均为单位耕地农业机械化水平，影响程度分别为72.5%、63.2%，表明机器生产代替劳动，不仅能提高农业生产效率，还有益耕地健康。对主成分4影响显著的因子为新增节水灌溉面积，影响程度为74.3%，表明增加农田灌溉面积，有益耕地健康。对主成分5影响显著的因子为沙化耕地面积，影响程度为69.7%，表明土壤侵蚀有损耕地健康。对主成分6影响显著的因子为退耕还林造林面积，影响程度为64.3%，表明发展生态仍需加强耕地保护，否则会威胁耕地健康。

表5 主成分得分系数矩阵

Table 5 Principal component score coefficient matrix

	成分					
	1	2	3	4	5	6
(P1) 人均建设占用耕地面积	0.051	0.088	-0.212	-0.004	0.445	-0.004
(P2) 人口自然增长率‰	0.067	0.120	0.015	0.167	0.110	-0.286

续表

	成分					
	1	2	3	4	5	6
(P3) 人口密度	0.037	0.013	-0.206	0.399	-0.103	-0.148
(P4) GDP 年增长率	-0.006	-0.151	0.258	-0.110	0.106	-0.236
(P5) 单位耕地农药负荷	-0.093	0.066	0.053	0.037	0.012	-0.068
(P6) 单位耕地化肥负荷	-0.077	0.137	0.152	0.088	0.011	-0.130
(P7) 退耕还林造林面积	-0.046	0.070	-0.040	-0.164	0.101	0.628
(P8) 农作物受灾面积	-0.081	-0.054	-0.018	-0.037	0.113	-0.222
(S1) 单位耕地农作物产能	0.033	0.187	0.020	-0.141	-0.399	0.264
(S2) 农业总产值	0.089	0.082	0.090	-0.008	-0.014	0.053
(S3) 有效灌溉率	-0.088	0.108	0.058	0.036	0.018	-0.032
(S4) 人均耕地面积	0.087	-0.122	-0.023	-0.021	-0.021	0.070
(S5) 耕地垦殖率	0.091	-0.096	-0.008	-0.022	-0.027	0.069
(S6) 耕地保有力度	0.091	-0.095	-0.010	-0.021	-0.026	0.069
(S7) 森林覆盖率	0.086	0.032	0.132	0.126	0.067	-0.084
(S8) 单位耕地农业机械化水平	0.000	0.207	0.311	0.089	-0.025	-0.053
(S9) 沙化耕地面积	0.031	0.119	-0.001	-0.201	0.604	0.018
(R1) 堤防保护耕地面积	0.085	0.072	0.179	0.027	-0.010	0.054
(R2) 水土流失治理情况	0.087	0.097	0.126	-0.017	-0.063	0.044
(R3) 农业科技人员数	0.036	0.168	-0.208	-0.246	-0.083	-0.320
(R4) 土地整治新增耕地面积	0.011	-0.147	0.297	-0.128	0.114	-0.010
(R5) 新增节水灌溉面积	-0.017	-0.015	0.057	0.446	0.236	0.382

综上所述，重庆市耕地利用系统健康的正向驱动因子为农业总产值、有效灌溉率、耕地垦殖率、耕地保有力度、单位耕地农业机械化水平、新增节水灌溉面积。重庆市耕地利用系统健康的负向驱动因子为单位耕地农药负荷、沙化耕地面积、退耕还林造林面积。

3.4 重庆市耕地利用系统健康水平预测

构建 GM (1, 1) 模型，对重庆市耕地健康指数进行预测（见图 4），为保证预测精度，取 2018—2022 年的预测值。5a 间耕地健康评价指数位于 [0.351, 0.386] 处在“不健康”的耕地健康级别，变化趋势为逐年递增，表明重庆市耕地利用系统健康水平发展势头良好，现有的耕地保护措施具有可取之处。但要想实现重庆市耕地利用系统健康的大幅度提升，从“不健康”向“健康”级别的逐级过渡并维持稳定，重庆市有关部门在耕地保护方面仍需进行艰辛地探索。

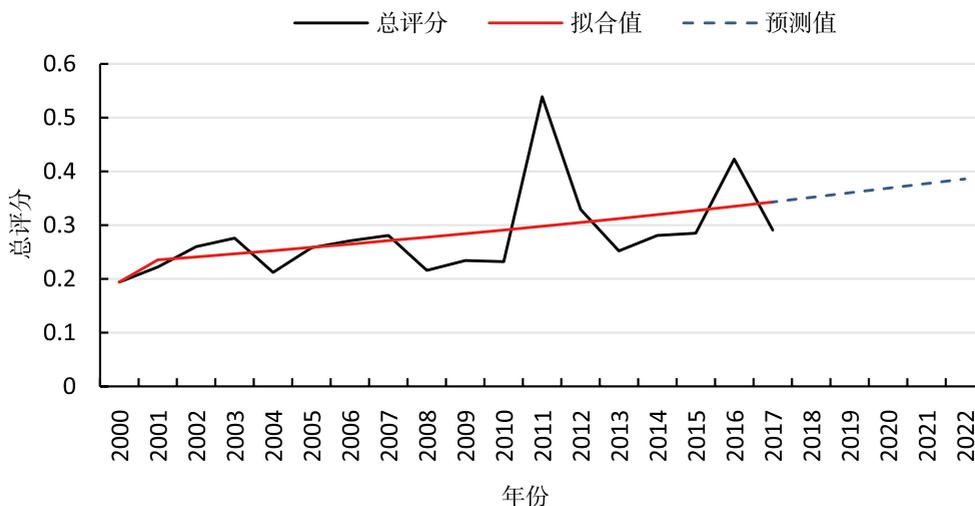


图 4 重庆市耕地利用系统健康预测结果

Figure 4 Health prediction results of cultivated land use system in Chongqing

4 研究结论

本研究从压力、状态、响应三个维度出发，选取评价指标，运用熵权TOPSIS法计算出指标权重，分析2000—2017年重庆市耕地利用系统健康演进状况；选取重庆市38个区县作为研究区域，运用ArcGIS自然段点法将评价结果分级显示，主成分分析法得出重庆市耕地利用系统健康的正负向驱动因子，并构建灰色预测模型对2017年后5a的耕地健康指数进行预测。研究表明：

(1) 2000—2017年，重庆市耕地利用系统健康评价得分介于[0.194, 0.539]之间，耕地健康级别在“很不健康”到“临界健康”的范围内波动。2000—2010年，在系统压力的主要作用下，耕地健康级别均处在“不健康”及以下，变动趋势较为稳定，总评分波动幅度小于0.1；2010—2017年，在压力、状态、响应系统三者交互作用下，重庆市耕地健康总评分出现俩两次峰值，突破“临界健康”级别。

(2) 2000—2017年，重庆市大部分区县的耕地健康级别有所下降。2000年，重庆市东部大部分区县为农业县，第一产业在经济结构中的比重较大，因此耕地健康状况总体较好。到2010年，重庆市东部及南部区县的第二、三产业发展

速度远超第一产业，逐渐开始发展工业、旅游业等其他产业，对科技的重视程度也逐渐加强，导致农业发展相对滞后，耕地健康水平下降。到 2017 年，重庆市东部及南部的大多数区县已开辟新的经济增长途径，第二、三产业的发展已较为成熟，成为当地经济发展主力，中西部地区在主城区的影响下，逐渐形成经济圈与城市群聚集地，在以上因素综合作用下，重庆市政府对农业的投入下降，使得重庆市耕地利用系统健康水平下降。

重庆市耕地利用系统健康的正向驱动因子包括：农业总产值、有效灌溉率、耕地垦殖率、耕地保有力度、单位耕地农业机械化水平、新增节水灌溉面积。重庆市耕地利用系统健康的负向驱动因子包括：单位耕地农药负荷、沙化耕地面积、退耕还林造林面积。

GM (1, 1) 模型预测结果显示，重庆市耕地利用系统健康总评分于 2018—2022 年处在 [0.351, 0.386] 的波动范围，即“不健康”的耕地健康级别。在前 17a 的基础上有小幅上升趋势，但实现耕地健康的目标仍任重道远。

耕地健康问题是影响国计民生的大问题，值得予以高度重视。耕地利用系统健康的演进及驱动因素研究对于区域耕地健康的深刻了解及耕地保护的方案制定具有重要意义。

基金项目

北京市教委社科重点项目 (SZ201810038022)；教育部哲学社会科学研究后期资助重大项目 (19JHQ013)；中国人民大学教育基金会林增杰土地科学发展基金优秀学术论文资助项目 (2020)。

参考文献

- [1] Yang H, Chen Y, Zhang F. Evaluation of comprehensive improvement for mild and moderate soil salinization in arid zone [J]. PLOS ONE 14 (11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224790>
- [2] 鄯文聚, 吴克宁, 张小丹. 中国耕地健康问题及防治对策 [J]. 中国发展, 2019, 19 (4): 34–37.

- [3] 赵青, 于水潇, 夏书培, 等. 环京津地区耕地利用系统健康评价研究 [J]. 土壤通报, 2017, 48 (2): 285-291.
- [4] 王鹏, 况福民, 邓育武, 等. 基于主成分分析的衡阳市土地生态安全评价 [J]. 经济地理, 2015, 35 (1): 168-172.
- [5] 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.
<https://doi.org/10.5846/stxb201209191319>
- [6] 李强. 基于能值分析与模糊评价的粮食主产区耕地健康评价——以石家庄市栾城县为例 [J]. 地理与地理信息科学, 2012, 28 (6): 85-89+95.
- [7] 高涵, 陈伟强, 郟文聚. 耕地健康及其管理问题探讨 [J]. 中国土地, 2018 (12): 23-25.
- [8] 钟少华, 时鹏, 杨文刚, 等. 基于PSR模型的土地利用系统健康评价及障碍因子诊断——以延长县为例 [J]. 水土保持研究, 2019, 26 (2): 283-289.
- [9] 王欢, 郑华伟, 刘友兆. 基于DPSIR-TOPSIS模型的安徽省耕地资源利用系统健康诊断 [J]. 水土保持通报, 2019, 39 (1): 147-153.
- [10] 匡丽花, 叶英聪, 赵小敏, 等. 基于改进TOPSIS方法的耕地系统安全评价及障碍因子诊断 [J]. 自然资源学报, 2018, 33 (9): 1627-1641.
- [11] Shan M, Wang X. Trade-off Analysis between the Indexes of Cultivated Land Health Evaluation [C]. EDP Sciences, 2018.
- [12] 辛芸娜, 孔祥斌, 郟文聚. 北京大都市边缘区耕地多功能评价指标体系构建——以大兴区为例 [J]. 中国土地科学, 2017, 31 (8): 77-87.
- [13] 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+313.
- [14] 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.
- [15] 王鹏飞, 程琳琳, 蒋舒, 等. 基于PSR的北京市耕地利用系统健康评价 [J]. 湖北农业科学, 2015, 54 (3): 582-586.
- [16] 李强, 彭文英. 生态脆弱区耕地健康诊断体系构建及评价实践 [J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28 (7): 67-72.