基于 DPSIR-TOPSIS 模型的安徽省耕地资源利用系统健康诊断

王 欢[1], 郑华伟[2,3], 刘友兆[1]

(1. 南京农业大学 公共管理学院, 江苏 南京 210095; 2. 南京农业大学 人文与社会发展学院, 江苏 南京 210095; 3. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: [目的] 研究安徽省 2007—2016 年间耕地资源利用系统的健康状况,为今后的工作提供参考。[方法] 构建 DPSIR 指标评价体系,并利用 TOPSIS 模型测度了 10 a 间安徽省耕地资源利用系统健康状况,同时采用障碍度模型剖析了主要的限制因素。[结果] 2007—2016 年安徽省耕地资源利用系统健康水平由不健康等级转为亚健康等级,健康状况有了明显改善;总体来看,安徽省耕地资源利用系统健康准则层障碍度最高的是压力子系统,主要障碍因子为 GDP 增长率、农作物受灾面积、农药使用量、建设占用耕地面积、农用塑料薄膜使用量等。[结论] 应用 DPSIR 模型构建的安徽省耕地资源利用系统评价指标体系和运用TOPSIS法分析耕地资源利用系统的健康水平是合理可行的。虽然安徽省总体健康水平呈现稳步上升趋势,但是受压力子系统的限制,安徽省耕地资源利用系统仍处于亚健康水平。

关键词: 耕地资源利用系统; 健康诊断; 安徽省; DPSIR 模型

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2019)01-0147-07 **中图分类号**: F301.21

文献参数: 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. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.024; Wang Huan, Zheng Huawei, Liu Youzhao. Health diagnosis of cultivated land resource utilization system in Anhui Province based on DPSIR-TOPSIS model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(1):147-153.

Health Diagnosis of Cultivated Land Resource Utilization System in Anhui Province Based on DPSIR-TOPSIS Model

Wang Huan[1], Zheng Huawei[2,3], Liu Youzhao[1]

(1. *College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*; 2. *College of Humanities and Social Development, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*; 3. *College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*)

Abstract: [Objective] To study the health status of cultivated land resource utilization system in Anhui Province during 2007—2016 in order to provide references for future work. [Methods] The DPSIR index evaluation system was constructed, and the health status of cultivated land resource utilization system in Anhui Province in the past 10 years was measured by using TOPSIS model. Meanwhile, the obstacle model was used to analyze the main restrictive factors. [Results] From 2007 to 2016, the health level of cultivated land resource utilization system in Anhui Province was changed from unhealthy to sub-healthy, and the health condition was improved significantly. Generally, the most serious obstacle in the health criteria of cultivated land resource utilization system was the pressure subsystem. The main obstacles were GDP growth rate, crop disaster area, pesticide use, farmland occupied by construction, and agricultural plastic film use. [Conclusion] Using DPSIR model to construct the evaluation index system of cultivated land resources utilization system and using TOPSIS method to analysis the health level of cultivated land resource utilization system is feasible in Anhui Province. Although the overall health level in Anhui Province shows a steady upward trend, the

收稿日期:2018-08-09 **修回日期**:2018-09-05

资助项目:中国博士后科学基金特别资助项目"农用地整治生态风险的形成、诊断与调控"(2018T110520);江苏省国土资源科技项目(2018028;201320); 中央高校基本科研业务费人文社会科学研究基金一般项目(SKPT2014043)

第一作者:王欢(1992—),女(汉族),安徽省黄山市人,硕士研究生,研究方向为土地可持续利用。E-mail:1079452868@qq.com。

通讯作者:刘友兆(1959—),男(汉族),江苏省涟水市人,博士,教授,博士生导师。主要从事土地可持续利用与土地资源评价研究。E-mail:yzliu@njau.edu.cn。

utilization system of cultivated land resources is still at a sub-health level limited by the pressure subsystem.
Keywords: cultivated land resource utilization system; health diagnosis; Anhui Province; DPSIR model

土地资源保护一直以来都是中国高度重视的问题,因为土地是农民生产生活之本,农业改革之需,农村发展之刚。安徽省作为粮食大省,耕地资源显得尤为重要,但是由于一些人为、自然因素的影响,不可避免地造成了耕地减少、耕地污染、耕地生态系统破坏等一系列的问题,直接限制了安徽省的可持续发展。因此开展耕地资源利用系统的健康诊断刻不容缓,它可以直观的展示安徽省耕地资源利用系统的健康水平,更好地为政府相关部门提供政策依据。

而关于耕地资源利用系统健康的诊断,目前相关研究还没有全面深入的进行。王鹏飞等[1]运用 PSR 模型,从压力系统、状态系统、响应系统 3 方面对北京市耕地利用系统进行了健康评价,赵青等[2]对环京津地区 72 个县(市)耕地资源利用系统健康进行了评价,林航[3]以福建省闽侯、荔城、同安和新罗区(县)耕地为研究对象,利用 GIS 与物元模型开展耕地资源利用系统健康评价。大部分学者在土地可持续发展的基础上,阐释了土地健康评价的具体含义。谢俊奇[4]提出社会、环境、经济的评价指标体系,蔡为民等[5],姚岚等[6]构建了系统结构指数、系统功能指数、系统效益指数 3 个层面的评价体系,同时以 PSR 为模型的指标体系逐渐流行[7-9]。之后有学者根据 PSR 模型形成了 DPSIR 模型[10-11],增加了驱动力与影响指标,使指标体系更加完整。总的来说,当前土地系统健康诊断的指标框架主要有 4 种:①"环境—社会—经济"指标体系[12-13];②"结构—功能—效益"指标体系[14];③"压力—状态—响应"指标体系[15-16];④"驱动力—压力—状态—影响—响应"指标体系。不同的指标体系侧重点不尽相同,均从不同的角度阐释了土地利用系统健康情况。

综上所述,大部分学者都集中在对整个土地利用系统的健康评价研究,而对于其中耕地资源利用系统的健康研究还比较少。鉴于此,本文在前人研究的基础上以安徽省耕地资源为研究对象,2007—2016 年为研究期,构建 DPSIR 模型指标体系,利用 TOPSIS 算法计算出每一年的健康水平并进行排序,以便更直观地看到安徽省这 10 a 间的耕地资源利用系统健康变化趋势,最后运用障碍度模型分析影响系统健康状况的障碍因子,更有针对性地为安徽省政府提供政策建议。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究指标体系

1.1.1 DPSIR 概念模型 由于耕地资源利用系统是一个包含多种系统的混合系统,各子系统相互作用、相互影响,它们的起源、发展过程、结果共同影响着耕地资源利用系统的健康状况。故本文引入 DPSIR模型[17],从系统论的角度来体现耕地资源利用系统健康问题的起源与结果之间相互关系的因果链。用 DPSIR 体系进行分析,不仅能够反映影响耕地资源利用系统健康的驱动力与压力、耕地资源利用系统状态、影响、响应系统五者之间的循环协调机制,还能够阐释耕地资源利用系统健康状况的最终效果。驱动力表示引起安徽省耕地资源利用系统健康状况发生变化的原因(如人口增长,城市发展等);压力表示安徽省城市的社会发展和经济活动对耕地资源利用系统健康产生的压力因子;状态表示耕地资源利用系统在城市发展压力下所处的状态水平;影响表示在人为作用和自然因素影响下的改变情况;响应表示安徽省政府为改善和恢复耕地资源利用系统健康所采取的对策措施(图 1)。

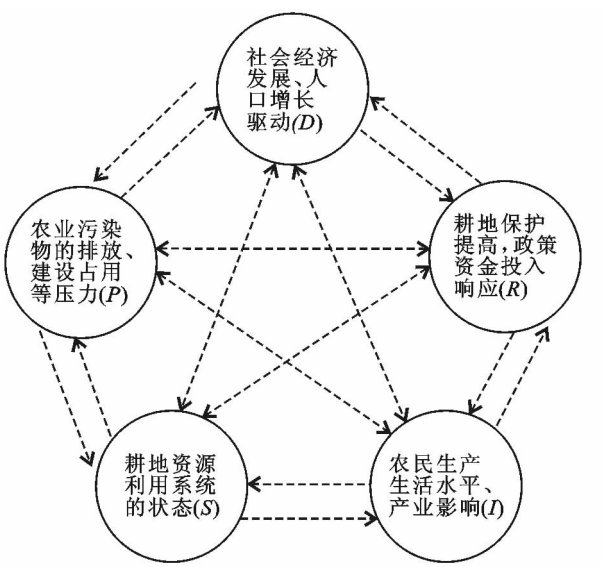


图 1 安徽省耕地资源利用系统健康诊断的 DPSIR 概念模型

1.1.2 评价指标体系的构建 从驱动力—压力—状态—影响—响应基本框架出发,遵循科学性、可比性、系统性等原则,在参考相关研究成果的基础上,并结合安徽省的实际情况,从驱动力维度、压力维度、状态维度、影响维度、响应维度出发构建了 5 个层次的耕地资源利用系统健康评价指标体系。

(1) 驱动力维度。选取了"城市化率,人口自然增长率,人均 GDP,GDP 增长率"4 个指标。其中城市化率(即安徽省城镇总人口与常住总人口的比重)、

人均 GDP(即安徽省 GDP 总量除以总人口)、GDP 增长率(即 GDP 增长量除以基期水平),这 3 个指标反映了安徽省社会经济发展水平对耕地资源利用系统的潜在驱动力;其中人口自然增长率(即安徽省年度人口自然增长的数量除以该段时间内人口总数)反映了由于人口变化对耕地资源利用系统健康产生的驱动力,该项指标为负向指标。

(2) 压力维度。选取了“建设占用耕地面积、人口密度、农药使用量、农用化肥施用折纯量、农用塑料薄膜使用量”5 个指标。其中建设占用耕地面积(即年度因安徽省城市建设占用的耕地总面积)和人口密度(即安徽省总的人口数量除以总的耕地面积),这两个指标反映了城市建设和人口增长对耕地资源数量产生的压力;其中农药使用量、农用化肥施用折纯量、农用塑料薄膜使用量这 3 个指标反映了由于农业污染而造成的耕地资源利用系统的健康压力。以上 5 个指标均为负向指标。

(3) 状态维度。选取了“人均耕地面积、土地垦殖率、有效灌溉面积、农作物受灾面积”4 个指标。其中“人均耕地面积(即耕地面积除以总人口)、土地垦殖率(即安徽省年度耕地面积除以总面积)、有效灌溉面积(即相关相关配套设施齐全能够正常进行灌溉的耕地面积)”这 3 个指标反映了耕地资源利用的程度与结构情况。其中农作物受灾面积(即安徽省年度农作物受到自然灾害的面积),反映了耕地资源利用系统健康的安全状态,该项指标为负向指标。

(4) 影响维度。选取了“人均粮食产量、粮食单产、农民家庭人均纯收入、农业收入占比、农业机械总动力”5 个指标。其中人均粮食产量(即安徽省年度粮食总产量除以总人口)、粮食单产(即安徽省年度粮食总产量除以实际耕地面积),这两个指标反映了耕地资源利用系统的农业生产效果;其中农民家庭人均纯收入、农业收入占比,这两个指标反映了安徽省耕地资源利用所带来的经济效益;其中农业机械总动力(即主要用于农业的各种机械的动力之和)反映了耕地资源利用的规模化和机械程度。

(5) 响应维度。选取了“水土流失综合治理面积、堤防保护耕地面积、土地整治总面积、新增节水灌溉面积”5 个指标。其中“水土流失综合治理面积(即对水土流失的土地进行综合治理的面积)、堤防保护耕地面积(即年度内为保护耕地耕地面积建设的堤防面积)、土地整治总面积(即安徽省年度土地整治项目实施的总面积),这 3 个指标反映了安徽省政府部门为提高耕地资源利用的合理性、加强耕地利用系统健康所采取的综合治理措施;其中新增节水灌溉面积(即安徽年度新增加的能最大限度提高单位灌溉水量的农作物产量和产值的灌溉措施)这个指标反映了安徽省政府为促进耕地资源的利用率而进行的水利工程建设。

综上所述,本文从“耕地资源利用系统驱动力—耕地资源利用系统压力—耕地资源利用系统状态—耕地资源利用系统影响—耕地资源利用系统响应”5 个维度出发,构建了一套含有 22 项指标的健康评价指标框架(表 1)。

1.2　研究方法

1.2.1　*改进的熵值法*　由于评价指标的不同对耕地资源利用系统健康的影响有很大差异,故需要对每个指标赋予权重,本文采用的是改进的熵值法来确定权重[18-19]:

(1) 指标标准化处理。

$$X_{ij}''=(X_{ij}-\overline{X}_j)/s_j(i=1,2,\cdots,m;\ j=1,2,\cdots,n) \quad (1)$$

式中:X_{ij}''——评价指标标准化后的值;X_{ij}——第 i 个样本第 j 项评价指标的原始值;$\overline{X}_{ij}$——第 j 项评价指标的均值;s_j——第 j 项评价指标的标准差。

(2) 测算每项指标的比重、熵值与系数。

$$p_{ij}=X_{ij}''/\sum_{i=1}^{m}X_{ij}'' \quad (2)$$

$$e_j=-k\sum_{i=1}^{m}P_{ij}\ln P_{ij} \quad (k>0,\ e_j>0) \quad (3)$$

$$g_j=1-e_j \quad (4)$$

式中:p_{ij}——第 j 项评价指标下的 i 个样本值的比重;e_j——第 j 项评价指标熵值;g_j——差异性系数,$i=1,2,\cdots,m$;$j=1,2,\cdots,n$。

(3) 计算每项指标的所占有的权重(w_j)。

$$w_j=g_j/\sum_{j=1}^{n}g_j$$

1.2.2　*TOPSIS 综合评价法*　为了将很多分散的数据放在一个统一的模型里计算最后的诊断结果,本文采用 TOPSIS 法建立模型。TOPSIS 法通过建立一个理想模型确立最优和最劣的水平,最终计算出健康值,明确安徽省耕地资源利用系统健康的状态[20-21]。

(1) 构建加权的决策矩阵。

$$\boldsymbol{Z}=\begin{bmatrix}z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n}\\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ z_{m1} & z_{m2} & \cdots & z_{mn}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}z_{11}*w_1 & z_{12}*w_1 & \cdots & z_{1n}*w_1\\ z_{21}*w_2 & z_{22}*w_2 & \cdots & z_{2n}*w_2\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ z_{m1}*w_m & z_{m2}*w_m & \cdots & z_{mn}*w_m\end{bmatrix} \quad (5)$$

式中：$i=1,\cdots,n$；$j=1,2,\cdots,m$。w_j——第 j 个指标的权重。

(2) 确定正、负理想解并计算距离。

$$Z^+=\{\max_{1\leqslant j\leqslant m}Z_{ij}\mid j=1,2,\cdots,m\}=\{z_1^+,z_2^+,\cdots,z_m^+\} \quad (6)$$

$$Z^-=\{\min_{1\leqslant j\leqslant m}Z_{ij}\mid j=1,2,\cdots,m\}=\{z_1^-,z_2^-,\cdots,z_m^-\} \quad (7)$$

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。

$$D_j^+=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}(z_{ij}-z_j^+)^2} \quad (j=1,2,\cdots,m) \quad (8)$$

$$D_j^-=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}(z_{ij}-z_j^-)^2} \quad (j=1,2,\cdots,m) \quad (9)$$

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，也即健康评价值。

$$C_j=\frac{D_j^-}{D_j^+-D_j^-} \quad (j=1,2,\cdots,m) \quad (10)$$

表 1 安徽省耕地资源利用系统健康评价指标体系

目标层 A	准则层 B	指标层 C	权 重
耕地资源利用系统健康	耕地资源利用系统驱动力 B_1	城市化率 C_1/%	0.046 4
		人口自然增长率 C_2/‰*	0.046 8
		人均 GDP C_3(元/人)	0.046 6
		GDP 增长率 C_4/%	0.045 5
	耕资源地利用系统压力 B_2	建设占用耕地面积 C_5/hm^2*	0.046 1
		人口密度 C_6(人/km)*	0.0384
		农药使用量 C_7/kg*	0.053 5
		农用化肥施用折纯量 C_8/kg*	0.047 7
		农用塑料薄膜使用量 C_9/kg*	0.047 3
	耕地资源利用系统状态 B_3	人均耕地面积 C_{10}/hm^2	0.041 6
		土地垦殖率 C_{11}/%	0.041 6
		有效灌溉面积 C_{12}/hm^2	0.043 6
		农作物受灾面积 C_{13}/hm^2*	0.046 8
	耕地资源利用系统影响 B_4	人均粮食产量 C_{14}/kg	0.047 1
		粮食单产 C_{15}/(kg·hm^{-2})	0.044 7
		农民家庭人均纯收入 C_{16}(元)	0.044 2
		农业收入占比 C_{17}/%	0.047 9
		农业机械总动力 C_{18}/kW	0.046 7
	耕地资源利用系统响应 B_5	水土流失综合治理面积 C_{19}/hm^2	0.048 7
		堤防保护耕地面积 C_{20}/hm^2	0.043 7
		土地整治总面积 C_{21}/hm^2	0.039 3
		新增节水灌溉面积 C_{22}/hm^2	0.045 8

注：带“*”为负向指标，权重计算方法见下文。

1.2.3 障碍度模型 在评价安徽省耕地资源利用系统健康值之后，构建障碍度模型，找出最主要的制约因素，以便更好地为制定相关政策提供一些依据。障碍度模型通过各项指标因子的贡献程度，各项指标的偏离程度、以及障碍度 3 个指标来评价各项指标的耕地资源利用系统的健康的存在多大的制约[24-25]。

$$X_{ij}=1-X_{ij}' \quad (11)$$

$$y_i=X_{ij}\times V_j/\sum_{j=1}^{n}(X_{ij}\times V_j)\times 100\% \quad (12)$$

$$Y_i=\sum y_i \quad (13)$$

式中：V_j——每一个指标对耕地资源利用系统健康的影响程度；X_{ij}'——各项指标与耕地资源利用系统健康目标之间的差距；障碍度(Y_i，y_i)——每一年的指标层指标和维度层指标对耕地资源利用系统健康的影响，是耕地资源利用系统健康障碍诊断最终得出的结果。

1.3 数据来源

本文选择安徽省为研究对象，以 2007—2016 年为研究期，数据主要来源于《中国国土资源年鉴》《中国农业年鉴》《安徽统计年鉴》。2007—2016 年安徽省国民经济与社会发展统计公报以及统计局网站数据等。

2 结果与分析

2.1 健康等级划分

根据相关专家对评级标准的研究设定[22-23]，并依据安徽省耕地资源利用的实际状况，将安徽省耕地资源利用系统分成 4 个健康等级(表 2)。

表 2　安徽省耕地资源利用系统健康级别划分

健康等级	健康状态	亚健康状态	不健康状态	病态
综合指数	[0.75～1.0]	[0.5～0.75)	[0.25～0.5)	[0～0.25)

2.2　耕地资源利用系统健康状况综合分析

本文通过相关年鉴收集了关于安徽省 2007—2016 年这 10 a 间有关耕地资源利用系统健康的评价指标数据,经分析整理后,按照改进的熵值法计算出了耕地资源利用系统各项评价指标的所占的权重(表 1)。最后通过构建的 Topsis 评价模型,对 2007—2016 年 10 a 间安徽省耕地资源利用系统健康进行测算,得出计算结果(表 3)。

表 3　2007－2016 年安徽省耕地资源利用系统健康评价运算结果

年份	驱动力	排名	压力	排名	状态	排名	影响	排名	响应	排名	综合	排名
2007	0.6831	2	0.2631	10	0.3716	6	0.2358	9	0.3024	10	0.3849	10
2008	0.6482	3	0.4862	8	0.2111	9	0.2229	10	0.3695	9	0.4143	9
2009	0.7232	1	0.4008	9	0.3999	5	0.2971	8	0.3889	8	0.4322	8
2010	0.4659	5	0.5998	6	0.3451	7	0.3965	7	0.4252	6	0.4540	7
2011	0.5124	4	0.7686	3	0.2418	8	0.4240	6	0.4478	5	0.4992	6
2012	0.4258	6	0.6955	4	0.2016	10	0.5707	5	0.4922	3	0.5038	5
2013	0.3999	7	0.8186	2	0.4780	4	0.5980	3	0.4239	7	0.5500	4
2014	0.3783	9	0.8616	1	0.6003	3	0.5902	4	0.4860	4	0.5752	3
2015	0.3946	8	0.6221	5	0.6648	2	0.6922	2	0.5998	2	0.5922	2
2016	0.2819	10	0.5033	7	0.7540	1	0.8628	1	0.7309	1	0.5924	1

总体而言,安徽省在 2007—2016 年这 10 a 间,耕地资源利用系统健康值逐年增加,健康状况由不健康等级逐步转为亚健康等级。具体有以下几点:

(1) 2007—2011 年这 5 a 间,安徽省耕地资源利用系统健康值处于 0.38～0.49 之间,虽然这 5 a 均为不健康等级,但是每一年的健康值相比较上一年均有不同程度的增加,由 2007 年的 0.384 9 增加到 2011 年的 0.499 2,年均增长率为 6.7%。在 2012—2016 年之后 5 a 间,安徽省耕地资源利用系统健康值处于 0.50～0.60 之间,健康状况提高到亚健康等级,年均增长率为 4.1%。

(2) 安徽省总体健康状况一直处于稳步上升的良好发展态势,健康值由 2007 年的 0.384 9 上升到 2016 年的 0.592 4,年均增长率达到 4.9%。并由不健康水平提高为亚健康水平,表明过去 10 a 内安徽省的耕地资源利用系统健康状况有了明显好转。这说明安徽省政府出台的相关耕地保护政策起到了积极的调控作用,严格控制城乡增减挂钩指标等工作真正落到了实处。

2.3　DPSIR 子系统健康状况分析

安徽省耕地资源利用各子系统的健康值呈现了不同的变化情况。

(1) 驱动力子系统。2007—2016 年 10 a 间,安徽省驱动力子系统的贴近度整体处于下降的态势,由 2007 年的 0.683 1 降低为 2016 年 0.281 9,健康状态由亚健康等级转为不健康等级。这主要在于安徽省经济发展的速度逐渐放缓,如 GDP 增长率由 2007 年的 20%下降到 2016 年的 10%,另一方面由于产业布局的调整与改变,第一产业占据的比重越来越少,导致对耕地资源利用系统健康的驱动能力渐渐下降。

(2) 压力子系统。2007—2016 年 10 a 间,安徽省压力子系统的贴近度呈现“M”形变化趋势,压力子系统健康状况很不稳定。这说明在经济发展的同时,还需要进一步注意农药、化肥、薄膜等物质给耕地资源带来的污染等问题,严格控制好城市建设用地进一步扩张的速度,减轻对耕地资源利用系统健康造成的压力。

(3) 状态子系统。2007—2011 年 5 a 间,状态子系统的呈现波动变化趋势,自 2 012 后开始呈现快速上升趋势,由 2007 年的 0.371 6 增长到 2016 年的 0.754 0,健康状况甚至达到了健康等级。这说明人均耕地面积、土地垦殖率和有效灌溉面积的增加,对于提升耕地资源利用系统的健康水平具有积极意义。

(4) 影响子系统。2007—2016 年 10 a 间,安徽省影响子系统的贴近度总体呈现稳步上升趋势,由 2007 年的 0.235 8 增长到 2016 年的 0.862 8,年均增长率达到了 15.5%,健康水平有了大幅度的提升。这说明粮食产量和农民收入等方面的提高对耕地资源利用系统的健康起到了重要作用。

(5) 响应子系统。2007—2016 年响应子系统呈现逐步上升趋势,由 2007 年的 0.302 4 增长到 2016 年的 0.730 9,由不健康等级转为亚健康等级,健康状况得到了强有力的改善。说明安徽省在耕地保护、土地整治等工作上重视程度越来越高,工作效果越来越

凸显，这些强大的政府方针、措施给安徽省耕地资源利用系统的健康状况改善提供了坚实的保障。

2.4 障碍因素诊断

为了更有效地提高耕地资源利用系统健康水平，还需要进一步剖析影响耕地资源利用系统健康的主要影响因素，才能更有目的性的解决问题。本文利用障碍度模型，具体分析各维度层和各指标层的主要障碍因子。

(1) 准则层指标的障碍度。总体来看(表 4)，2007—2016 年 10 a 间影响安徽省耕地资源利用系统健康的最重要障碍为压力子系统，压力子系统的障碍度在 2015 年和 2016 年达到了最高值，均超过了 30%。说明安徽省的城市发展和人口等方面的压力限制了耕地资源利用系统的健康发展。

表 4 耕地资源利用系统健康准则层指标障碍度 %

年份	耕地资源利用系统驱动力	耕地资源利用系统压力	耕地资源利用系统状态	耕地资源利用系统影响	耕地资源利用系统响应
2007	19.03	25.67	12.57	26.15	16.58
2008	18.96	20.19	18.00	26.80	16.05
2009	20.21	25.52	13.84	24.37	16.07
2010	15.52	21.55	18.91	25.74	18.29
2011	18.43	15.22	22.64	25.39	18.33
2012	16.63	21.11	26.06	19.18	17.03
2013	18.25	14.78	19.34	20.71	26.91
2014	18.25	19.70	15.43	23.72	22.90
2015	19.50	33.63	13.72	15.86	17.30
2016	18.99	30.72	17.08	17.69	15.51

(2) 指标层重要因子的障碍度。由于本文设计的指标数量比较多，为了便于观察和归纳，本文提取了均值排名前 5 位的主要指标因子(表 5)。根据结果可知，影响安徽省耕地资源利用系统健康水平的障碍因子主要表现在 GDP 增长率、农作物受灾面积、农药使用量、建设占用耕地面积、农用塑料薄膜使用量中。这说明，伴随着城市社会和经济的双重发展，安徽省所占用的耕地越来越多；同时在农业生产中，大量化学农药、薄膜等污染物质的使用破坏了耕地资源利用系统的生态安全，直接影响着耕地资源利用系统的健康，而自然灾害的频发进一步动摇了耕地资源利用系统的健康水平。

表 5 耕地资源利用系统健康指标层重要障碍因子障碍度

类 别	指标排序				
	1	2	3	4	5
障碍因素	C_4	C_{13}	C_7	C_5	C_9
障碍度平均值/%	5.27	5.20	4.95	4.88	4.65

3 结论和建议

3.1 结 论

2007—2016 年安徽省耕地资源利用系统健康水平由不健康转为亚健康，总体状况有明显的好转；驱动力子系统健康水平处于下降态势，压力子系统健康状况呈现“M”形发展趋势，状态、影响、响应子系统均呈现不同程度的增长趋势；在 5 个子系统中，2007—2016 年安徽省耕地资源利用系统的主要的障碍子系统为压力子系统；制约安徽省耕地资源利用系统健康的主要因素为 GDP 增长率、农作物受灾面积、农药使用量、建设占用耕地面积、农用塑料薄膜使用量等。

3.2 建 议

为了提高安徽省耕地资源利用系统健康水平，根据本文的研究结果，主要提出几点建议：

(1) 安徽省应积极采取经济、行政、技术等不同的手段来更好的保护耕地资源的数量和质量，如加大对耕地保护的资金投入，完善行政规划的管理机制，探索健康长效的耕地保护鼓励机制，运用遥感等新技术实现耕地保护的信息化与智能化。

(2) 随着社会经济发展进程的加快，安徽省应进一步落实耕地保护责任制与考核机制，严格保护永久基本农田，重点推进高标准农田建设，并在城乡统筹发展过程中认真贯彻耕地占补平衡与增减挂钩政策，积极利用市场指标交易等手段在不改变耕地资源数量的情况下满足不同地区耕地资源的需求。

(3) 学习其他省份的先进经验，如江苏省耕地保护的“双+”机制，云南、甘肃等试点省份的耕地轮作休耕等创新方式等。

(4) 针对农药、化肥、农用薄膜的污染情况，应在全省范围内开展全面调查，及时了解各市(区)耕地资源的污染程度，根据污染现状积极加强宣传教育工作，统一回收处理污染物，并推广使用新型环保农用产品等。

(5) 针对自然灾害问题，应加强水土流失、旱涝洪涝灾害的治理，提前做好预警准备工作，并做好后续保障工作，尽力将灾害损失降为最低。

(6) 为促进耕地利用的合理性、提高耕地利用效率，在全省范围内加大土地整治等工程的投入，进而推动农村规模化经营，为发展新型、特色农业提供有力保障。并配套实行人地挂钩新机制，探索农村宅基地与经营性用地改革，促进农村建设用地与耕地资源的优化配置。

[参 考 文 献]

[1] 王鹏飞,程琳琳,蒋舒,等. 基于 PSR 的北京市耕地资源利用系统健康评价[J]. 湖北农业科学,2015,54(3):582-586.

[2] 赵青,于水潇,夏书培,等. 环京津地区耕地资源利用系统健康评价研究[J]. 土壤通报,2017,48(2):285-291.

[3] 林航. 基于 GIS 与物元模型技术的区域耕地资源利用系统健康评价[D]. 福州:福建农林大学,2015.

[4] 谢俊奇. 土地利用系统可持续性研究:指标、评价和规划[D]. 北京:中国农业大学,1999.

[5] 蔡为民,唐华俊,陈佑启,等. 土地利用系统健康评价的框架与指标选择[J]. 中国人口·资源与环境,2004,14(1):33-37.

[6] 姚岚,吴次芳,吕添贵,等. 基于三角模型的喀斯特地区土地利用系统健康评价[J]. 农业工程学报,2015,31(14):246-254.

[7] 张锐,郑华伟,刘友兆. 基于压力—状态—响应模型与集对分析的土地利用系统健康评价[J]. 水土保持通报,2014,34(5):146-152.

[8] 郑华伟,张锐,杨兴典,等. 基于 PSR 模型的土地利用系统健康评价及障碍因子诊断[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(9):1099-1105.

[9] 郭杰,吴斌. 土地利用系统健康评价[J]. 中国土地科学,2011,25(4):71-77,96.

[10] 苏学平. 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的恩施州土地利用系统健康评价研究[D]. 武汉:华中师范大学,2017.

[11] 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.

[12] 陈美球,刘桃菊. 土地健康与土地资源可持续利用[J]. 中国人口·资源与环境,2003,13(4):67-70.

[13] 陈美球,赵小敏. 土地健康与土地保护[J]. 中国土地科学,1998,12(4):19-21,33.

[14] 胡晓雪,杨晓华,郦建强,等. 河流健康系统评价的集对分析模型[J]. 系统工程理论与实践,2008(5):17-170,174.

[15] 洪惠坤,廖和平,魏朝富,等. 基于改进 TIPSIS 方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价[J]. 生态学报,2015,35(24):8016-8027.

[16] 王玉芳. 长株潭地区土地利用系统健康评价研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2006.

[17] 周景斌,张英杰,何宾线. 松木防腐材在园林木结构建筑和小品上的应用[J]. 北方园艺,2015(10):93-98.

[18] 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.

[19] 刘亚男,李淑杰,黄烁秋. 基于 PSR 和改进熵值法的县域耕地生态安全评价研究[J]. 江西农业学报,2017,29(8):114-118.

[20] 罗文斌. 中国土地整理项目绩效评价、影响因素及其改善策略研究[D]. 杭州:浙江大学,2011.

[21] 洪惠坤,廖和平,魏朝富,等. 基于改进 TOPSIS 方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价[J]. 生态学报,2015,35(24):8016-8027.

[22] 肖风劲,欧阳华. 生态系统健康及其评价指标和方法[J]. 自然资源学报,2002,17(2):203-209.

[23] 蔡燕,王会肖. 生态系统健康及其评价研究进展[J]. 中国生态农业学报,2007,15(2):184-188.

[24] 余亮亮,蔡银莺. 基于农户满意度的耕地保护经济补偿政策绩效评价及障碍因子诊断[J]. 自然资源学报,2015,30(7):1092-1103.

[25] 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.

(上接第 146 页)

[16] Lin Chunfu, Wang Shengde. Fuzzy support vector machines[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2002,13(2):464-471.

[17] Chiang J H, Hao Peiyi. A new kernel-based fuzzy clustering approach: Support vector clustering with cell growing[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2003,11(4):518-527.

[18] Yi Lin. Support vector machines and the bayes rule in classification[J]. Data mining and Knowledge Discovery, 2002,6(3):259-275.

[19] Huang Hanping, Liu Yihung. Fuzzy support vector machines for pattern recognition and data mining[J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2002,4(3):826-835.

[20] 许翠云,业宁. 基于类向心度的模糊支持向量机[J]. 计算机工程与科学,2014,36(8):1623-1628.

[21] 鞠哲,曹隽喆,顾宏. 用于不平衡数据分类的模糊支持向量机算法[J]. 大连理工大学学报,2016,56(5):525-531.

[22] 李飞,黄瑾辉,李雪,等. 基于随机模糊理论的土壤重金属潜在生态风险评价及溯源分析[J]. 环境科学学报,2015,35(4):1233-1240.

[23] 张礼兵,程吉林,金菊良,等. 农业灌溉水质评价的投影寻踪模型[J]. 农业工程学报,2006,22(4):15-18.